**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA AMBIENTAL**

TATIANE MORAIS FERREIRA

**EFEITO DA MASSA E DOS CONSTITUINTES QUÍMICOS DO
MATERIAL PARTICULADO INALÁVEL SOBRE ADMISSÕES
HOSPITALARES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS E
CIRCULATÓRIAS EM CIDADE DE PORTE MÉDIO**

**SÃO PAULO
2015**

TATIANE MORAIS FERREIRA

**EFEITO DA MASSA E DOS CONSTITUINTES QUÍMICOS DO MATERIAL
PARTICULADO INALÁVEL SOBRE ADMISSÕES HOSPITALARES POR
DOENÇAS RESPIRATÓRIAS E CIRCULATÓRIAS EM CIDADE DE PORTE
MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciência Ambiental
(PROCAM) da Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de Mestre em
Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Nelson da Cruz
Gouveia

Versão Original

(versão original disponível na Biblioteca da Unidade que aloja o Programa e na Biblioteca Digital de Teses e
Dissertações da USP)

**SÃO PAULO
2015**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Ferreira, Tatiane Moraes.

Efeito da massa e dos constituintes químicos do material particulado inalável sobre admissões hospitalares por doenças respiratórias e circulatórias em cidade de porte médio./ Tatiane Moraes Ferreira; orientador: Nelson da Cruz Gouveia. – São Paulo, 2015.

112 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental) – Universidade de São Paulo

1. Políticas públicas. 2. Poluição ambiental. I. Título

TATIANE MORAIS FERREIRA

Efeito da massa e dos constituintes
químicos do material particulado
inalável sobre admissões hospitalares
por doenças respiratórias e circulatórias
em cidade de porte médio.

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Ciência
Ambiental (PROCAM) da
Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Mestre em
Ciências.

Aprovada em: _____

BANCA EXAMINADORA

Examinador (a): _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Examinador (a): _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Presidente (a): _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Dedicatória

Dedico esse trabalho aos meus pais, Carlos e Terezinha, e a todos meus familiares pela compreensão ao longo caminho de minha formação. De maneira especial, ao Domênico, meu adorável sobrinho, pelos momentos de descontração e, ao Fernando, meu querido companheiro, pela compreensão, apoio e incentivo em todos os momentos do desenvolvimento deste trabalho.

Agradecimentos

Primeiramente a Deus por dai-me força e serenidade na trajetória desse caminho.

A Capes pela bolsa de estudo concedida para a realização deste trabalho.

A Maria Cristina Forti pelo apoio e disponibilização dos dados ambientais do INPE.

A Clarice Umbelino Freitas, Felipe Parra Nascimento e Washington Junger por sempre estarem disponíveis no auxílio das análises estatísticas.

A todos familiares e amigos que contribuíram e incentivaram para a elaboração deste trabalho.

E ao professor Nelson da Cruz Gouveia pela confiança em mim depositada e orientação no desenvolvimento deste trabalho.

Epígrafe

“A experiência dos erros é tão importante quanto às experiências dos acertos, porque vistos de um jeito certo, os erros, nos preparam para nossas vitórias e conquistas futuras, porque não há aprendizado na vida que não passe pelas experiências dos erros”

Pe. Fábio de Melo

RESUMO

FERREIRA, Tatiane Morais. **Efeito da massa e dos constituintes químicos do material particulado inalável sobre admissões hospitalares por doenças respiratórias e circulatórias em cidade de porte médio**, 2015. 112f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental (PROCAM) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Segundo a Organização Mundial da Saúde, a poluição atmosférica é atualmente o principal fator de risco ambiental para a saúde no mundo, principalmente aos grupos mais vulneráveis como crianças e idosos. Em relação ao material particulado inalável (MP10) ainda há incertezas quanto às características físico-químicas que são determinantes de sua toxicidade na saúde. Diversos estudos vêm correlacionando níveis de poluentes com o estado de saúde populacional. Entretanto, tais correlações têm sido feitas principalmente em cidades de grande porte. Assim, é de grande importância estender as avaliações para outras cidades, como as de médio porte, a fim de conhecer os níveis de concentração a qual a população está sendo exposta, para que medidas preventivas possam ser tomadas. O objetivo deste estudo foi analisar a associação entre as concentrações de MP_{<2}, MP2-10 e MP10 e seus constituintes químicos (Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺) com as admissões hospitalares por doenças respiratórias e circulatórias em crianças e idosos. Para isso, realizou-se um estudo ecológico de séries temporais a partir de dados de internação por doenças respiratórias em crianças (≤5 anos) e idosos (≥60 anos) e por doenças cardiovasculares em idosos, residentes em São José dos Campos, São Paulo, entre março/2010 e fevereiro/2011. Para a análise utilizou-se regressão de Poisson em Modelo Aditivo Generalizado, com ajuste para tendência temporal, variáveis meteorológicas (temperatura e umidade), dias da semana e feriados. Foi encontrada associação estatisticamente significativa entre MP10 e MP2-10 apenas com as doenças respiratórias em crianças e idosos. A cada 10 µg/m³ de MP2-10 o aumento no risco de internações para crianças e idosos foi de 20% (IC95%: 11;30) e 23% (IC95%: 13;34), respectivamente, e para MP10 o risco foi cerca de 13% em ambos os grupos. Para o MP_{<2} observou-se associação estatisticamente significativa para as doenças respiratórias em crianças e circulatórias em idosos. A cada 10 µg/m³ de MP_{<2} o aumento no risco de

internação foi de 26% (IC95%: 9;45) para doenças respiratórias em crianças e 20% (IC95%: 6;35) para doenças circulatórias em idosos. Quanto às espécies químicas observaram-se riscos específicos para cada constituinte sobre cada causa analisada. De modo geral, o SO_4^{2-} no MP2-10 e o K^+ no MP<2 foram os constituintes associados ao aumento no risco de internação por todas as causas e em todos os grupos avaliados. Esses resultados estão em acordo com as evidências de que os riscos para diferentes causas variam em relação à fração do MP10 e sua composição química. Porém, para valer-se de estimativas de maior confiabilidade, há necessidade da disponibilização de dados para os demais constituintes químicos de ambas as frações do MP10 e por um período de tempo maior.

Palavras-chave: Poluição do ar. Constituintes químicos. Hospitalização. Material particulado. Séries temporais.

ABSTRACT

FERREIRA, Tatiane Moraes. **Mass and the chemical constituents effect of inhalable particulate matter on hospital admissions for respiratory and circulatory diseases in medium-sized city**, 2015. 112f. Thesis Master's Dissertation - Graduate Program of Environmental Science, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

According to the World Health Organization, air pollution is currently the main environmental risk factor for health in the world, especially to the most vulnerable groups such as children and the elderly. Regarding the inhalable particulate matter (PM₁₀) there is still uncertainty about the physical and chemical characteristics that are determinants for toxicity in health. Several studies have correlated pollutant levels with the health status of the population. However, these correlations were performed mainly in large cities. Therefore, it is very important to extend the evaluation for other cities, such as medium-sized, in order to know the concentration levels to which the population is being exposed so that preventive measures can be taken. The objective of this study was to analyze the association between PM_{<2}, PM₂₋₁₀ and PM₁₀ concentrations and its chemical constituents (Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺) with hospital admissions for respiratory and circulatory diseases in children and the elderly. To do so, we carried out an ecological time-series study using hospitalization data for respiratory diseases in children (≤5 years) and elderly (≥60 years) and cardiovascular disease among elderly people living in São José dos Campos, São Paulo, between March 2010 and February 2011. For the analysis we used Poisson Regression in Generalized Additive Model, adjusted for temporal trends, meteorological variables (temperature and humidity), day of week and holidays. A statistically significant association between PM₁₀ and PM₂₋₁₀ was found only with respiratory diseases in children and elderly. The increase in hospitalization risk for children and the elderly was 20% (CI_{95%}: 11;30) and 23% (CI_{95%}: 13;34) for every 10 µg/m³ of PM₂₋₁₀, respectively, and for the PM₁₀ the risk was about 13% in both groups. For the PM_{<2} there was a statistically significant association for respiratory diseases in children and circulatory in the elderly. The increase in hospitalization risk was 26% (CI_{95%}: 9;45) for respiratory diseases in children and 20% (CI_{95%}: 6;35) for circulatory diseases in the elderly, for every 10 µg/m³ of PM_{<2}. For chemical species we observed risks specific to each constituent and for each cause of

hospitalization analyzed. In general, the SO_4^{2-} in the PM₂₋₁₀ and the K^+ in PM_{<2} were the constituents associated with an increase in the hospitalization risk for all causes and for all study groups. These results are in accordance with the evidence that the risks for different causes vary according to different fractions of PM₁₀ and its chemical composition. However, to obtain more reliable estimates, one needs data on other chemical constituents of both PM₁₀ fractions and over a longer period of time.

Keywords: Air pollution. Chemical constituents. Hospitalization. Particulate matter. Time series.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estação de monitoramento no INPE (a) e na CETESB (b).....	38
Figura 2 – Concentração diária dos poluentes, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, coletados pela estação de monitoramento do INPE e CETESB	45
Figura 3 – Contribuição percentual dos íons solúveis no $\text{MP}<2$ e $\text{MP}2\text{-}10$ no período entre 05/03/2010 a 17/02/2011.....	46
Figura 4 – Concentração diária dos constituintes químicos inorgânicos solúveis, em ng/m^3 , do $\text{MP}<2$	48
Figura 5 – Concentração diária dos constituintes químicos inorgânicos solúveis, em ng/m^3 , do $\text{MP}2\text{-}10$	49
Figura 6 – Número diário e suavizado de internações por doenças respiratórias em crianças (≤ 5 anos) e idosos (≥ 60 anos) e doenças cardiovasculares em idosos, no período entre 05/03/2010 e 17/02/2011.....	51
Figura 7 – Gráficos diagnósticos do modelo para doenças respiratórias em crianças (≤ 5 anos).....	53
Figura 8 – Gráficos diagnósticos do modelo para doenças respiratórias em idosos (≥ 60 anos).....	54
Figura 9 – Gráficos diagnósticos do modelo para doenças circulatórias em idosos (≥ 60 anos).....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos parâmetros analíticos utilizados para a caracterização da fração solúvel do material particulado inalável (MP<2 e MP2-10).....	39
Tabela 2 – Parâmetros utilizados para a suavização e as defasagens ou <i>lags</i> escolhidos por melhor explicar a relação entre a temperatura e umidade.....	41
Tabela 3 – Estatística descritiva dos poluentes, variáveis meteorológicas e internações hospitalares, São José dos Campos, Brasil, 2010- 2011.....	44
Tabela 4 – Estatística descritiva dos constituintes químicos da fração fina (MP<2) e fração grossa (MP2-10), São José dos Campos, Brasil, 2010-2011.....	47
Tabela 5– Percentual do Risco Relativo (%RR) e Intervalo de Confiança (IC:95%), em estrutura de defasagem polinomial (PDLM) no acumulado de 5 dias, para internações de crianças e idosos por causas respiratórias e circulatórias a cada aumento em 10 µg/m ³ de poluente.....	57
Tabela 6– Percentual do Risco Relativo (%RR) e Intervalo de Confiança (IC:95%), em estrutura de defasagem polinomial (PDLM) no acumulado de 5 dias, para internações de crianças e idosos por causas respiratórias e circulatórias a cada aumento em 10 ng/m ³ de poluente.....	58

LISTA DE SIGLAS

AIC	Critério de Informação de Akaike
AIH	Autorização de Internação Hospitalar
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CID	Classificação Internacional de Doenças
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DP	Desvio Padrão
FUNCATE	Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais
GL	Grau de Liberdade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IQR	Intervalo Interquartil
LAQUATEC	Laboratório de Pesquisa Ambiental em Aerossóis, Soluções Aquosas e Tecnologias
LQ	Limite de Quantificação
MAG	Modelos Aditivos Generalizados
OMS	Organização Mundial da Saúde
PROCONVE	Programa de Controle das Emissões Veiculares
PVC	Cloreto de Polivinila
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
ROS	Espécies de Oxigênio Reativas
RR	Risco Relativo
SIHSUS	Sistema de Informação Hospitalar do Sistema Único de Saúde
SJC	São José dos Campos
SUS	Sistema Único de Saúde
UGRHI	Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Grau Celsius
Al	Alumínio
Ba	Bário
BC	Black Carbon
Br	Bromo
C ₇ H ₅ NO ₄	Ácido Dipicolínico
Ca	Cálcio
Ca ²⁺	Íon Cálcio
Cd	Cádmio
CE	Carbono Elementar
Cl	Cloreto
Cl ⁻	Íon Cloreto
Co	Cobalto
CO	Monóxido de Carbono
Cr	Cromo
Cu	Cobre
ERT	Compostos de Enxofre Reduzido Total
F ⁻	Íon Fluoreto
Fe	Ferro
HNO ₃	Ácido Nítrico
I	Iodo
IC95%	Intervalo de Confiança 95%
K	Potássio
K ⁺	Íon Potássio
La	Lantânio
Mg	Magnésio
Mg ²⁺	Íon Magnésio
ml.min ⁻¹	Mililitro por minuto
mmol.L ⁻¹	Micromol por Litro
Mn	Manganês
MP	Material Particulado

MP _{≤ 0,1}	Material Particulado Ultrafino
MP _{≤2,5}	Material Particulado Fino
MP10	Material Particulado Inalável
MP2,5-10	Material Particulado Grosso
MPa	Megapascal
Na	Sódio
Na ⁺	Íon Sódio
Na ₂ CO ₃	Carbonato de Sódio
NaHCO ₃	Bicarbonato de Sódio
NH ₃	Amônia
NH ₄ ⁺	Íon Amônio
Ni	Níquel
NO	Monóxido de Nitrogênio
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
NO ₃ ⁻	Nitrato
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
O ₃	Ozônio
P	Fósforo
p	Nível Descritivo
Pb	Chumbo
PO ₃ ⁴⁻	Fosfato
Rb	Rubídio
S	Enxofre
Sc	Escândio
Si	Silício
Sm	Samário
SO ₂	Dióxido de Enxofre
SO ₄ ²⁻	Sulfato
Sr	Estrôncio
Ti	Titânio
V	Vanádio
Zn	Zinco
µg/m ³	Micrograma por Metro Cúbico
µL	Microlitro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	19
2.1	O PROBLEMA DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	19
2.2	MATERIAL PARTICULADO INALÁVEL.....	20
2.3	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO MP10	22
2.4	MATERIAL PARTICULADO INALÁVEL E IMPACTOS NA SAÚDE.....	22
2.5	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO MP10 E EFEITOS NA SAÚDE	23
2.6	EFEITOS BIOLÓGICOS	25
2.7	ESTUDOS SOBRE POLUIÇÃO E SAÚDE NO BRASIL	27
3	OBJETIVO	30
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
4	METODOLOGIA.....	31
4.1	LOCAL DE ESTUDO.....	31
4.2	CARACTERÍSTICAS DO DELINEAMENTO DO ESTUDO E ASPECTOS DE MODELAGEM	32
4.2.1	Delineamento do Estudo	32
4.2.2	Características do Modelo	33
4.3	POPULAÇÃO DE ESTUDO E OBTENÇÃO DOS DADOS DE INTERNAÇÃO.....	35
4.4	OBTENÇÃO DE DADOS DOS POLUENTES E PARÂMETROS METEOROLÓGICOS	36
4.5	MÉTODO DE COLETA DAS AMOSTRAS DE MP10 E ANÁLISE QUÍMICA	37
4.5.1	Coleta de MP10	37
4.5.2	Obtenção da Fração Solúvel e Análise Química.....	39
4.6	ANÁLISES DOS DADOS	40
5	RESULTADOS	43
5.1	ANÁLISE DESCRITIVA	43
5.2	CALIBRAÇÃO DOS MODELOS	52
5.3	ANÁLISE INFERENCIAL.....	56
6	DISCUSSÃO	60
7	CONCLUSÃO.....	71
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
	APÊNDICES	83
	ANEXOS	106

1 INTRODUÇÃO

O material particulado inalável (MP10), partículas menores que 10 μm de diâmetro, é um poluente que pode ser emitido diretamente para a atmosfera (poluentes primários) através de fontes naturais e antrópicas bem como ser formado na atmosfera por meio de reações químicas (poluentes secundários). Em função da fonte de emissão, as partículas variam em tamanho aerodinâmico e são classificadas basicamente em grossas (MP2,5-10 μm) e finas (MP<2,5 μm) (SEINFELD, 2004). Em regiões urbanas os principais responsáveis pela emissão de particulado são as indústrias e veículos, fazendo com que a qualidade do ar nos grandes centros seja diretamente influenciada pela intensidade dessas emissões. Entre os impactos da poluição na saúde estão o aumento dos casos de mortes e hospitalizações por problemas no aparelho respiratório e circulatório. Os efeitos têm sido observados, sobretudo, na população de idosos e crianças por serem os grupos mais vulneráveis (TOLEDO; NARDOCCI, 2011).

A associação entre MP10 e efeitos nocivos na saúde pública é observada em muitos trabalhos realizados em vários países. No entanto, ainda há incertezas quanto as características físico-químicas do MP10 determinantes de sua toxicidade na saúde (STAFOGGIA et al., 2013; BELL et al., 2014; PUN et al., 2014). Além disso, os resultados obtidos numa região não são sempre transferíveis para outras regiões, visto que, as condições climáticas, fatores sócio-econômicos e fontes de emissão podem ser diferentes.

Contudo, a partir das evidências obtidas, vários países estabeleceram padrões mais rígidos para os níveis de material particulado no ambiente e aumentaram suas redes de monitoramento. No entanto, no Brasil, a legislação vigente CONAMA/ nº 03/90 de 28/06/1990 para MP10, além de ser três vezes superior ao estabelecido pela Organização Mundial da Saúde (OMS), não define uma legislação para partículas finas. Além disso, a rede de fiscalização e monitoramento do MP10 é realizada principalmente nos grandes centros urbanos e o parâmetro examinado é a concentração do MP10 (CETESB, 2013).

Nesse contexto, é de grande importância estender as avaliações para outras cidades, como as de médio porte, uma vez que pouco se conhece das características físico-químicas e dos efeitos da poluição nessas regiões. Estudos devem ser realizados a fim de conhecer os níveis

de concentração e impacto a qual a população está sendo exposta, para que medidas preventivas possam ser tomadas, bem como para propor uma revisão da legislação vigente.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Nesta seção apresenta-se a questão da poluição atmosférica por material particulado inalável (MP10) como problema à saúde. Estão descritos as características do MP10 e as evidências referentes aos efeitos sobre a saúde obtidas até o momento.

2.1 O Problema da Poluição Atmosférica

A preocupação relacionada aos efeitos da poluição sobre a saúde pública surgiu a partir dos episódios agudos de poluição ocorridos no Hemisfério Norte no século XX. Entre os casos marcantes estão àqueles ocorridos no Vale da Meuse (Bélgica), em 1930, onde 63 pessoas morreram pela poluição por SO₂; em Donora (Pensilvânia), 1948, com 20 casos de mortes associadas a poluição por SO₂ e partículas em suspensão; e os maiores desastres ocorridos em Londres, 1952, e Nova York, 1962, com 4000 e 168 mortes, respectivamente, registradas em decorrência da poluição atmosférica (FIRKET, 1936; LOGAN, 1953).

Após esses grandes episódios, foram criados os primeiros padrões de regulamentação dos poluentes e, desde então, a ciência tem contribuído com informações que visam níveis de poluentes cada vez mais baixos. As evidências dos efeitos adversos do material particulado sobre a saúde pública, observado inicialmente nos países desenvolvidos, fizeram com que vários países estabelecessem padrões mais rígidos para os níveis de material particulado no ambiente (BRAGA et al., 2001). Nos Estados Unidos, em 1997, os padrões de qualidade do ar ambiente para o material particulado atmosférico foram revisados, mantendo os indicadores de MP10 e criando um novo indicador para MP_{2,5}. Posteriormente, um sistema de monitoramento nacional deste poluente foi implementado e dados de MP_{2,5} são disponíveis em muitas partes dos Estados Unidos, desde 1999 até os dias de hoje, permitindo, assim, avanços nos estudos epidemiológicos (BELL et al., 2007; DOMNICI et al., 2006).

Atualmente, a poluição atmosférica é um problema observado com maior intensidade nos países em desenvolvimento, sobretudo nas grandes cidades e regiões que sofrem com queimadas (LARA et al., 2005; ANDRADE FILHO et al., 2013). A razão para isto deve-se ao

crescimento desordenado das áreas urbanas, com a instalação de indústrias e ao aumento da frota de veículos automotores, além da fragilidade das leis vigentes para emissão de poluentes atmosféricos. Portanto, é de grande importância implementar redes de monitoramento que permitam avaliar diariamente as condições da atmosfera em diferentes regiões.

No Estado de São Paulo o monitoramento da qualidade do ar é realizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). A agência é responsável por fornecer dados diários da concentração de poluentes e das condições meteorológicas e, também, por classificar a qualidade do ar e fornecer informações de prevenção de riscos à saúde dependendo dos níveis monitorados. O sistema de monitoramento conta com estações automáticas e manuais para a análise de vários poluentes (MP10, MP_{≤2,5}, SO₂, NO, NO₂, NO_x, CO, O₃ e ERT (compostos de enxofre reduzido total) e parâmetros meteorológicos (umidade relativa, temperatura, velocidade e direção do vento, pressão e radiação). Em 2011, além de 42 estações automáticas fixas e de duas estações móveis, houve monitoramento manual em 41 pontos, distribuídos em 13 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos-UGRHI localizadas nas Unidades Vocacionais: Industrial, Em Industrialização e Agropecuária (CETESB, 2011).

2.2 Material Particulado Inalável

De acordo com a definição da Resolução CONAMA N° 3 de 28/06/1990, considera-se poluente atmosférico “qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade”.

O material particulado (MP) ou aerossol atmosférico consiste em qualquer partícula sólida ou líquida na atmosfera. São emitidos por fontes naturais (poeiras, *spray* marinho e vulcões) e por fontes antrópicas (queima de combustíveis). As mais estudadas são aquelas com diâmetro aerodinâmico $\leq 10 \mu\text{m}$, denominado material particulado inalável (MP10), cujas partículas classificam-se em partículas grossas (MP_{2,5-10} μm), partículas finas (MP_{<2,5} μm) e

partículas ultrafinas ($MP \leq 0,1 \mu m$). O interesse em estudar o MP10 deve-se aos impactos no clima, ecossistemas, patrimônios históricos e, principalmente, pelos efeitos nocivos sobre a saúde pública (ALVES, 2005; SEINFELD, 2004).

As partículas variam tanto nos aspectos físicos quanto na composição química em decorrência da fonte e do processo de formação (GODOY et al., 2009). Partículas grossas ($MP_{2,5-10}$) provêm principalmente de fontes naturais a partir de processos mecânicos como, por exemplo, as poeiras re-suspendidas e os sais do *spray* marinho cujos elementos químicos refletem a composição do solo (Al, Fe, Si, Ca, Mn, Sr, Sc, Ti, La, Sm, V) e do mar (Na, Mg, Cl), respectivamente (GODOY et al., 2009; MIRANDA; ANDRADE, 2005; MIRANDA; TOMAZ, 2008). Por esta razão são partículas maiores e de formato irregular (ARTÍÑANO et al., 2004; SLEZAKOVA et al., 2008).

Já as partículas finas ($MP < 2,5$) e ultrafinas ($MP \leq 0,1$) são emitidas principalmente por fontes antropogênicas através de processos de combustão industrial e veicular. Estas partículas são formadas por acumulação de material condensado e geralmente possuem formato arredondado (BREED et al., 2002; PERRINO et al., 2008; SLEZAKOVA et al., 2008). Entre os elementos químicos encontrados na fração fina estão: Cu, Mg, Br e Pb (origem industrial), V (produto do diesel e queima de óleo), S (produto da queima de combustível fóssil e industrial), Zn, CO e BC (combustão), K e P (partículas biogênicas), BC, S, K, Zn, Br, Rb e I (queima de biomassa) (MIRANDA; ANDRADE, 2005; MIRANDA; TOMAZ, 2008). Nesta fração encontram-se também as partículas secundárias, formadas por oxidação na atmosfera. Entre as espécies químicas mais encontradas nos aerossóis secundários de áreas urbanas estão as espécies inorgânicas de sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+), formados a partir dos gases precursores SO_2 , NO_x e NH_3 , respectivamente, representando cerca de 40% da massa de partículas finas ($MP \leq 2,5$) (SILLANPÄÄ et al., 2006).

Em ambientes urbanos, além das partículas emitidas pelas fontes naturais há aquelas lançadas pelas fontes antropogênicas o que intensifica a degradação da qualidade do ar nessas regiões (BERNABÉ et al., 2005; SLEZAKOVA et al., 2007; TOLEDO et al., 2008). Modelos estatísticos indicam como principais fontes de emissão do MP10, em áreas urbanas, os veículos automotores e as indústrias. Porém, elementos do solo e a queima de resíduo sólido e biomassa também contribuem com as emissões de MP10 (GODOY et al., 2009; TOLEDO et al., 2008; VASCONCELLOS et al., 2007).

2.3 Características Químicas do MP10

A composição química do MP10 urbano consiste de espécies químicas orgânicas (carbono e hidrocarbonetos) e inorgânicas como, por exemplo, sulfato, nitrato, cloreto, minerais e metais traço (BERNABÉ et al., 2005; SILLANPÄÄ et al., 2006). A queima de combustíveis fósseis (gasolina e diesel) pelos veículos automotores contribui para a emissão predominante de espécies carbonáceas (carbono orgânico e carbono elementar, encontradas principalmente no $MP_{\leq 2,5}$), hidrocarbonetos e NO_x . As indústrias bem como o tráfego de veículos são também responsáveis pela emissão de metais em concentrações elevadas nos grandes centros urbanos (ARTIÑANO et al., 2004; DALAROSSA et al., 2008; MIRANDA; ANDRADE, 2005; MIRANDA; TOMAZ, 2008, SILLANPÄÄ et al., 2006; SLEZAKOVA et al., 2007).

A partir do conhecimento das diferentes espécies químicas que compõe o MP10, atenção também deve ser dada aos íons inorgânicos e orgânicos solúveis em água. Segundo Adamson, Frieditis e Vincent (1999), a fração solúvel do particulado é a fração de maior toxicidade, pois é eficientemente adsorvida pelo corpo humano devido aos fluidos corpóreos serem aquosos. Entre os elementos químicos encontrados na fração solúvel do MP10 estão os cátions (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NH_4^+), ânions (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_3^{4-} , F^-) e metais traço (Al, Mn, Fe, Pb, Zn, Ti, V, Ni, Cu, Co, Cd, Ba, Cr) (MARIANE; MELLO, 2007; RAVINDRA et al., 2008; VASCONCELLOS et al., 2007).

2.4 Material Particulado Inalável e Impactos na Saúde

As principais evidências sobre os efeitos da poluição por material particulado na saúde humana foram relatadas nos países do Hemisfério Norte, possivelmente em função dos investimentos para o estabelecimento de grandes redes de monitoramento e controle da poluição do ar. Entre os efeitos prejudiciais relacionados a exposições agudas e crônicas por material particulado (MP), estão a mortalidade e altas taxas de admissões hospitalares por morbidades respiratórias e cardíacas, principalmente, em crianças e idosos (DOMINICI et al., 2006; OSTRO et al., 2009).

Os efeitos nocivos estão associados com as diferentes frações do particulado atmosférico. Estudo realizado em Estocolmo, Suécia, estimou os efeitos da exposição, em curto prazo, ao particulado grosso (MP_{2,5-10}) proveniente principalmente da re-suspensão de poeiras do solo e quartzo. O incremento em 10 µg/m³ do MP_{2,5-10} levou ao aumento da mortalidade (exceto para causas externas) em 1,68% (IC95%: 0,20% a 3,15%) e mesmo quando inserido a fração fina (MP_{≤2,5}) no modelo sua estimativa se manteve superior. O aumento estimado foi de 0,90% (IC95%: -0,62 a 2,41) e 1,33% (-0,26 a 2,92) para MP_{≤2,5} e MP_{2,5-10}, respectivamente (MEISTER; JOHANSSON; FORSBERG, 2012).

Dominici et al. (2006) avaliaram, em 204 regiões dos EUA, o risco de exposição a curto período ao MP_{≤2,5}, para admissões hospitalares por doenças cardiovasculares e respiratórias, em idosos (>65 anos). O maior efeito do MP_{≤2,5} foi observado para o diagnóstico de falência do coração, ou seja, a cada aumento de 10 µg/m³ de particulado o aumento no risco de hospitalização por essa causa foi de 1,28% (IC95%: 0,78 a 1,78) para o mesmo dia de exposição a essas partículas. Para doenças respiratórias, o risco foi de 0,91% (IC95%: 0,18 a 1,64) para doença pulmonar obstrutiva crônica, para o mesmo dia de exposição, e 0,92% (IC95%: 0,41 a 1,43) para infecções do trato respiratório com defasagem de 2 dias após a exposição.

Estudo realizado em Helsinki, Finlândia, encontrou associação entre todas as frações do MP₁₀ e saúde cardiovascular e respiratória em idosos (≥ 65 anos). As associações mais fortes foram observadas com partículas pertencentes a moda de acumulação, ou seja, partículas com diâmetro aerodinâmico entre 0,1 a 0,29 µm, e mortalidade (respiratória total e por pneumonia) e admissão hospitalar (pneumonia e asma-DPOC). Em relação ao MP_{≤2,5}, para o incremento em 10 µg/m³ houve aumento em 3,9% e 4,9% na admissão por doença respiratória total e pneumonia, respectivamente. Para asma-DPOC o aumento foi de 5,0% e 5,3%, respectivamente (HALONEN et al., 2009).

2.5 Características Químicas do MP₁₀ e Efeitos na Saúde

Embora saiba-se que o MP₁₀ seja nocivo a saúde, avaliar os efeitos apenas em função dos níveis de concentração da massa não é uma medida suficiente, visto que, sua composição

química é bastante heterogênea. Acredita-se que o $MP_{\leq 2,5}$ deva ter maior toxicidade do que partículas maiores e que algumas espécies químicas modificam significativamente a associação entre $MP_{\leq 2,5}$ e admissão hospitalar (ZANOBETTI et al., 2009). Conforme já exposto acima, o $MP_{\leq 2,5}$ pode ser constituído por metais, compostos orgânicos e compostos inorgânicos (BELL et al., 2007). É provável que esta heterogeneidade química do $MP_{\leq 2,5}$, implique em efeitos variáveis na saúde. Entre os constituintes que parecem gerar riscos à saúde estão àqueles derivados principalmente da queima de combustíveis fósseis e de biomassa (OSTRO et al., 2009). Desse modo, elucidar o impacto da poluição sobre a saúde, em função dos constituintes químicos do MP_{10} , é necessário para que se possam estabelecer padrões mais seguros de qualidade do ar.

Estudos têm associado vários componentes químicos do MP_{10} com mortalidade e admissões hospitalares por doenças cardíacas e respiratórias. Num estudo de série temporal, realizado em seis cidades na Califórnia no período de quatro anos, foram verificados os efeitos de 19 constituintes químicos do $MP_{\leq 2,5}$ sobre a mortalidade diária em idosos. O risco para mortalidade variou com constituintes específicos e foi observada forte associação para massa de $MP_{\leq 2,5}$, CE, NO_3^- , Cl, Cu, Fe, K, Ti, V, e Zn. Mortalidade cardiovascular foi associada fortemente com CE, K, Zn, e $MP_{\leq 2,5}$, modestamente para CO, NO_3 , Fe e Ti, e associações fracas com V e Zn. O aumento nos casos de mortalidade cardiovascular foi de 1,6% para $MP_{\leq 2,5}$, 2,1% para CE, 1,6% para CO, 1,5% para NO_3^- e 2,2 % para Z para o IQR de 14,6, 0,8, 4,6, 5,5 e $0,01 \mu g/m^3$, respectivamente, para defasagem de três dias (OSTRO et al., 2007).

Zanobetti et al. (2009) em estudo realizado em 26 comunidades nos EUA, também com idosos, verificaram que a associação entre $MP_{\leq 2,5}$ e doenças cardíacas foi modificada por espécies relacionadas ao tráfego de veículos (Br), emissões de navio (Ni e V), sal da rua ou marinho (Na) e poeira da rua e solo (Al). O aumento de Br, V, Ni e Na, na massa de $MP_{\leq 2,5}$, foi associado ao aumento de 0,81%, 0,7%, 0,9% e 0,87 %, respectivamente, na admissão por doenças cardíacas.

Também é observado aumento no número de atendimentos pediátricos por sintomas nas vias aéreas superiores (MOURA et al., 2008). Em estudo realizado em seis cidades na Califórnia entre 2000 e 2003, com pessoas <19 anos, foi observado que 75% das admissões por doenças respiratórias foram crianças menores de cinco anos, sensíveis ao $MP_{\leq 2,5}$ e vários de seus

componentes incluindo CE, CO, NO₃, SO₄, Fe e Si e K. Os componentes do MP_{≤2,5} foram associados a bronquites aguda, pneumonia e asma. Foi observada associação entre exposição diária para NO₃ e doenças respiratórias e entre SO₄ e bronquite aguda (OSTRO et al., 2009).

Os efeitos dos constituintes químicos sobre a saúde demonstram ter variação temporal e sazonal. Zhou et al. (2011) verificaram que os efeitos do MP_{≤2,5} sobre a mortalidade diária varia com a fonte, estação e local, sendo consistente com a hipótese de que a composição do MP₁₀ influencia os efeitos na saúde. Para Bell et al. (2009), a composição química do MP_{≤2,5} contribui para heterogeneidade sazonal e geográfica do efeito sobre a saúde. Em estudo realizado em 106 municípios dos EUA, observou-se efeito estatisticamente significativo do MP_{≤2,5} nas hospitalizações por doenças cardiovasculares e respiratórias, em municípios e estações com alto conteúdo de CE, N ou V.

2.6 Efeitos Biológicos

O mecanismo central pelo qual a exposição ao material particulado leva às lesões, doenças e morte devem-se ao estresse oxidativo. Tal mecanismo é responsável por iniciar uma série de reações na célula, como ativação de cascatas de quinases e fatores de transcrição, liberação de mediadores inflamatórios, inflamação e apoptose (FLECHA, 2004;GHIO; CARRAWAY; MADDENI, 2012). As evidências científicas obtidas na última década indicam que o desequilíbrio entre oxidantes e antioxidantes no ambiente celular pode resultar em mecanismos de estresse oxidativo, inflamação, carcinogênese e envelhecimento (VALAVANIDIS et al., 2013).

Gualtieriet al.(2009) analisaram os efeitos citotóxicos (*in vitro*) sobre células pulmonares de várias espécies químicas orgânicas e inorgânicas. Observaram que as partículas são capazes de entrar na célula, por endocitose, e diminuir progressivamente sua viabilidade conforme aumenta a concentração de partículas e o tempo de exposição. Constataram também que as células quando expostas a altas concentrações de material particulado apresentam grandes quantidades de espécies de oxigênio reativas (ROS) distribuídos irregularmente no citoplasma sugerindo a participação de algumas organelas como, por exemplo, a mitocôndria, no estresse oxidativo. Em acordo com esta evidência, Moller et al. (2010) verificaram que a exposição

celular às partículas altera a função da mitocôndria, o que pode levar a geração excessiva de ROS pela cadeia de transporte de elétrons. Em paralelo, observaram que os particulados provocam danos no DNA de modo indireto, ou seja, os danos podem ocorrer mesmo sem a presença das partículas no núcleo celular.

Já Kroll et al. (2013) observaram o aumento no estresse oxidativo sobre células de mamíferos com a diminuição do tamanho da partícula, mas não com endotoxinas, íons e metais, sugerindo que a formação de ROS dependa do número e tamanho das partículas ao invés de sua massa. Isto coloca as partículas finas e ultrafinas como as de maior potencial em induzir o estresse oxidativo e exercer o efeito tóxico.

No entanto, estudos clínicos têm relatado que partículas grossas podem ser tão tóxicas quanto às partículas finas e ultrafinas. A diferença no risco pode ser explicada, no mínimo parcialmente, por diferenças nos mecanismos biológicos. Por exemplo, partículas pequenas (<10 nm) translocam com maior eficiência do que partículas maiores (<100 nm). No entanto, enquanto pequenas partículas solúveis translocam para o sistema circulatório, partículas ultrafinas de núcleo de carbono não se difundem através das membranas pulmonares na mesma extensão, embora os revestimentos solúveis delas possibilitem essa difusão. Muitas dessas partículas são tomadas por macrófagos intersticiais e transportadas pelo sistema linfático para o trato gastrointestinal, porém as partículas ultrafinas podem escapar desses mecanismos de defesa natural (CASSEE et al., 2013).

Happo et al. (2008) estudaram a associação dos íons solúveis de MP2,5-0,2 e MP2,5-10 com a atividade inflamatória em pulmões de camundongos. Dentre os íons do MP2,5-0,2, apenas o Ca^{2+} correlacionou positivamente com todos os parâmetros inflamatórios medidos; NO_3^- , NH_4^+ , K^+ e Cl^- tiveram correlação negativa significativa ou próximo da significância com o número de células; e SO_4^{2-} , Na^+ e Mg^{2+} não tiveram associação clara com qualquer parâmetro de resposta. Por outro lado, no MP2,5-10, NO_3^- , K^+ e Mg^{2+} correlacionaram positivamente com o número de células; Ca^{2+} teve correlação positiva quase significativa com vários parâmetros e Na^+ com número de células e proteína total; SO_4^{2-} e NH_4^+ tiveram correlação positiva ou negativa próximo da significância com os parâmetros inflamatórios.

Mais recentemente, um grupo de trabalho envolvendo especialistas de 11 países classificou a poluição atmosférica e material particulado como carcinogênico, com base em fortes

evidências de carcinogenicidade em humanos e a partir de experimentos com animais. Entre os danos causados estão anormalidades citogenéticas, mutações em células germinativas e somáticas, e expressão alterada do gene, que tem sido associado ao aumento de risco de câncer em humanos (LOOMIS, 2013). Vale ressaltar, que as células inflamatórias são eficazes na geração de espécies de oxigênio reativas e outras espécies reativas aumentando, assim, o dano oxidativo e contribuindo para a carcinogênese (VALAVANIDIS et al., 2013).

Vale ressaltar ainda, que os efeitos do MP10 podem não estar limitados a população mais susceptível como, por exemplo, pessoas hipertensas ou asmáticas. Segundo Amatullah et al.(2012) acredita-se que o MP10 também possa contribuir para o desenvolvimento do estresse cardiopulmonar em indivíduos normais e saudáveis. Em estudo com camundongos, esses autores verificaram que a exposição a MP2,5-10 induziu o aumento estatisticamente significativo ($p < 0,05$) na resistência respiratória de base, e que partículas ultrafinas alteraram a frequência cardíaca. Segundo os autores, a concentração não afeta a magnitude da resposta inflamatória, mas esta pode ser uma consequência da infiltração e retenção de partículas grossas em função de não serem facilmente eliminadas. Os achados sustentam a hipótese de que $MP \leq 2,5$ e MP2,5-10, que provavelmente depositam nas vias aéreas, podem influenciar a função pulmonar mesmo em camundongo normais enquanto MP ultrafino pode contribuir por alterar a função do coração.

2.7 Estudos sobre Poluição e Saúde no Brasil

No Brasil, os estudos relacionados aos problemas da poluição do ar na saúde foram realizados principalmente nas capitais e em regiões metropolitanas. Os estudos demonstram que os níveis de MP10 estão associados com efeitos nocivos na saúde mesmo estando dentro dos padrões de qualidade do ar atualmente considerados seguros. Bakonyi et al. (2004) verificaram efeitos adversos a saúde de crianças menores de 14 anos mesmo quando a concentração de poluentes estão abaixo dos limites estabelecidos pela legislação nacional. Associações positivas foram encontradas entre doenças respiratórias e MP10, fumaça e NO_2 . Não obstante, os riscos relativos foram maiores para as médias móveis de 3 dias mostrando que há efeito cumulativo da exposição aos poluentes do ar.

Estudo realizado nas duas maiores metrópoles, Rio de Janeiro e São Paulo, evidenciaram efeitos adversos da poluição na saúde da população de crianças menores de 5 anos e idosos maiores de 65 anos. No Rio de Janeiro, o aumento em $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contribuiu para aumento das internações por doenças respiratórias em 1,8% (IC95%: 0,4 a 3,3) e 3,5% (IC95%: 1,2 a 5,9) em crianças e idosos, respectivamente. Em São Paulo, o risco foi de 6,7% (IC95%: 4,9-8,6) e 1,9% (IC95%: 1,1-2,7) para crianças e idosos, respectivamente (GOUVEIA et al., 2002).

Outros estudos realizados na cidade de São Paulo mostram associação estatisticamente significativa para admissões hospitalares e mortalidade em crianças e idosos. O incremento em $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ do PM10 aumentou em 1,1% os casos de mortes em idosos e 1,3% as internações por doenças respiratórias (FREITAS et al., 2004). O aumento diário de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10 esteve associado ao aumento de 2,4%, 4,6% e 2,1% nas internações por doenças respiratórias, asma e pneumonia, respectivamente, em crianças menores de 5 anos no município de São Paulo. Em idosos o aumento das hospitalizações foi 2,2% para doenças respiratórias, 4,3% para DPOC, 1,9% para pneumonia, 1% para doenças circulatórias e 1,5% para doença isquêmica (GOUVEIA, et al., 2006).

As investigações relacionadas aos impactos da poluição na saúde pública em cidades de porte pequeno e médio são escassas. No entanto, um estudo realizado na cidade de São José dos Campos mostrou impactos adversos à saúde. O efeito acumulado de 8 dias, para o incremento médio de $24,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10, contribui para aumento em 9,8% nas internações por pneumonias em crianças menores de 10 anos (NASCIMENTO et al., 2006).

Assim, há indício de que a poluição atmosférica não seja um problema observado apenas nas grandes metrópoles e, portanto, é fundamental que sejam realizadas investigações nas cidades de pequeno e médio porte. Segundo a literatura consultada, uma das limitações em realizar estudos conclusivos relacionados aos efeitos da poluição sobre a saúde deve-se a falta de dados diários dos constituintes de MP10. A proposta deste trabalho é identificar a possível influência das frações fina e grossa do MP10 e os íons solúveis sobre a saúde respiratória e circulatória nos grupos mais vulneráveis da população a partir de dados diários de concentração e constituintes químicos de ambas as frações do MP10. Acredita-se que os constituintes do MP10 e suas frações tenham toxicidade diferencial para o aparelho respiratório e sistema cardiovascular. Cabe ressaltar, que é um estudo pioneiro realizado no

Brasil, numa cidade de porte médio, no âmbito dos efeitos de ambas frações do MP10 e seus constituintes químicos.

A escolha de uma cidade de porte médio, São José dos Campos, para a realização do estudo deve-se ao fato de que a cidade localiza-se numa região em processo de intenso desenvolvimento, o que tem colaborado com o processo de conurbação e, conseqüentemente, com o aumento das emissões de poluentes. A cidade localiza-se as margens da rodovia Presidente Dutra, principal via de acesso entre as duas maiores metrópoles, Rio de Janeiro e São Paulo, cujo tráfego de veículos automotivos é intenso. Não obstante, a cidade conta com uma refinaria de petróleo, cujas emissões de poluentes preocupam a população que vive nas proximidades.

3 OBJETIVO

Avaliar a associação do material particulado inalável (MP10) e seus constituintes químicos inorgânicos sobre efeitos adversos à saúde respiratória e circulatória em crianças e idosos em uma cidade de porte médio, São José dos Campos, São Paulo.

3.1 Objetivos Específicos

- 1) Verificar associação e estimar os efeitos entre a concentração em massa do MP10 e suas frações fina ($MP < 2 \mu m$) e grossa ($MP 2-10 \mu m$) com internações por doenças respiratórias em crianças (≤ 5 anos) e por doenças respiratórias e circulatórias em idosos (≥ 60 anos);
- 2) Verificar associação e estimar os efeitos entre a concentração dos íons solúveis para cátions (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) e ânions (Cl^- , NO_3^- e SO_4^{2-}) na fração fina ($MP < 2 \mu m$) e grossa ($MP 2-10 \mu m$) com internações por doenças respiratórias em crianças (≤ 5 anos) e por doenças respiratórias e circulatórias em idosos (≥ 60 anos);
- 3) Comparar a concentração diária de MP10 coletada pela estação de monitoramento do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com os dados coletado pela estação de monitoramento da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), bem como seu efeito sobre as internações por doenças respiratórias em crianças (≤ 5 anos) e por doenças respiratórias e circulatórias em idosos (≥ 60 anos).

4 METODOLOGIA

Esta seção está dividida em subseções que descrevem as características do local de estudo, o processo de obtenção dos dados, bem como o modelo de análise utilizado.

4.1 Local de Estudo

A cidade de São José dos Campos (SJC) está localizada no Vale do Paraíba, nas coordenadas 23° 10' 47" S e 45° 53' 14" O, a 91 km da capital de São Paulo e a 100 km do litoral. O município abrange uma área territorial total de 1.099,60 km², sendo 361,95 km² área urbana e 734,39 km² área rural, estando aproximadamente 52,36% da área sob proteção ambiental (PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2009a). Localizada entre a Serra da Mantiqueira e a Serra do Mar, numa altitude média de 600 m acima do nível do mar, possui uma topografia com relevo constituído por serras, montanhas e morros cristalinos com grandes desníveis, por planícies de inundação, colinas aplainadas e terraços modernos onde se encontra a parte urbana da cidade (NASCIMENTO, 2005). O clima é tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno. Aproximadamente 70% da precipitação anual ocorrem no período entre outubro e março e os ventos predominantes são de nordeste a sudeste. A temperatura média anual é de 21,3°C, podendo atingir temperatura máxima média no verão em torno dos 30°C e temperatura mínima média por volta dos 10°C no inverno (CEPAGRI, 2010).

O município possui importante pólo industrial, diversificado e em ampliação, com 1.492 indústrias nas áreas automotiva, química-farmacêutica, petroquímica e aeroespacial (PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2009b). Além disso, a região é cortada por importantes rodovias com alto fluxo veicular, entre estas estão: Rodovia Presidente Dutra (BR-116), principal acesso entre as metrópoles de São Paulo e Rio de Janeiro; Rodovia Carvalho Pinto (SP-70), paralela à via Dutra, que faz a ligação da Região Metropolitana de São Paulo ao Vale do Paraíba; Rodovia dos Tamoios (SP-99), via de acesso ao litoral norte paulista; e SP-50, que liga a região ao Sul de Minas Gerais (ANEXO A).

Segundo último censo, realizado em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a população estimada é de 627.544 habitantes e a frota de veículos automotores registrados até o ano de 2009 é 280.824 dos quais: 208.401 são automóveis, 5.896 caminhões, 1.433 ônibus, 41.374 motocicletas e 23.720 outros (IBGE, 2011).

O monitoramento da qualidade do ar é realizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). No município há uma estação de monitoramento automático para MP10, SO₂, O₃ e variáveis meteorológicas (umidade relativa, temperatura, velocidade e direção do vento). Existe ainda uma estação manual para monitoramento de fumaça.

Quanto a estrutura da rede municipal de saúde, o município conta com 3 hospitais, 5 unidades de pronto atendimento, 40 unidades básicas de saúde, 16 unidades especializadas em saúde, além de hospitais contratados e conveniados. Aproximadamente 400 mil pessoas são atendidas pelo Sistema Único de Saúde (SUS), que corresponde a 60% da população (O VALE, 2012)

4.2 Características do Delineamento do Estudo e Aspectos de Modelagem

Esta subseção descreve as características do delineamento do estudo e os aspectos cruciais a serem considerados nos modelos de análise utilizados.

4.2.1 Delineamento do Estudo

Para avaliar os efeitos da poluição sobre a saúde da população de crianças e idosos foi utilizado estudo ecológico de série temporal. Uma das vantagens deste delineamento é a possibilidade de usar dados secundários, ou seja, dados já coletados e disponíveis para análises. Tal característica faz deste delineamento uma primeira abordagem metodológica na investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde (KATSOUYANNI et al. 1996; JUNGER, 2008).

Em estudo ecológico de série temporal, deve-se conhecer o número diário de eventos sob investigação para compará-los aos níveis diários dos poluentes. A unidade de análise é uma unidade de tempo (dia) numa mesma área geográfica e, portanto, a população é seu próprio controle. Esta condição minimiza possível confusão por características da população como, por exemplo, idade, condição sócio-econômica, ocupação e tabagismo visto que estes fatores não variam diariamente (CASTRO; GOUVEIA; CEJUDO, 2003; GOUVEIA et al., 2006).

Por outro lado, variáveis que apresentam variação sistemática no tempo devem ter estes padrões removidos para que as regressões em séries temporais não sejam enviesadas. Assim, condições meteorológicas (temperatura e umidade) e dias da semana são variáveis que apresentam variação diária e são correlacionados com a poluição sendo potenciais variáveis de confusão e, portanto, devem ser ajustados na análise. Além disso, dados de saúde, de poluição e condições meteorológicas podem apresentar sazonalidade e tendência temporal de longo prazo que também devem ser removidas da análise. Outra característica peculiar destes dados, e que deve ser considerada nas análises, é que a relação entre os fatores meteorológicos e efeitos na saúde pode ser não linear (SCHWARTZ et al., 1996; CASTRO; GOUVEIA; CEJUDO, 2003; BELL; SAMET; DOMINICI, 2004; GOUVEIA et al., 2006).

Embora com este delineamento não seja possível atribuir o resultado obtido em nível do grupo para o nível individual, é possível estimar os efeitos da poluição nas internações hospitalares assumindo que a variação no nível médio de poluição do ar em um determinado dia e região reflita a variação na exposição média de cada indivíduo residente nela (GOUVEIA et al., 2006).

4.2.2 Características do Modelo

Segundo Schwartz et al. (1996) em estudos sobre a relação entre contagens de eventos de saúde e poluição atmosférica diária há duas questões cruciais que devem ser consideradas. A primeira refere-se ao tipo de distribuição da variável dependente. Nesse caso, considerando que apenas uma pequena parcela da população vai a óbito ou é internada no hospital, pode-se assumir apenas números inteiros e não negativos. Desse modo, sugere-se a distribuição de Poisson como a abordagem mais adequada para lidar com dados de saúde.

A segunda questão refere-se aos métodos de modelagem. Diante a complexidade das relações entre as variáveis analisadas muitos estudos de séries temporais têm utilizado a classe de Modelos Aditivos Generalizados (MAG) (CENGIZ; TERZI, 2012; CONCEIÇÃO; SALDIVA; SINGER, 2001; JUNGER, 2008; NARDOCCI et al., 2013). Esta classe de MAG, desenvolvida a mais de duas décadas e muito utilizada desde então, possibilita ajustar associações não lineares complexas por permitir incluir funções não-paramétricas ou semi-paramétricas das variáveis explicativas (HASTIE; TIBSHIRANI, 1987). Além disso, o MAG é mais parcimonioso, pois requer uma quantidade menor de variáveis explicativas tornando este modelo mais eficiente na detecção de associações (CONCEIÇÃO; SALDIVA; SINGER, 2001). Tais características tornaram esta metodologia padrão em vários estudos multicêntricos relacionados aos efeitos da poluição na saúde (KATSOUYANNI et al., 1996; JUNGER, 2008; ROMIEU; GOUVEIA; CIFUENTES, 2012).

Outra vantagem do MAG é que não há necessidade em conhecer previamente a forma da relação entre as variáveis, mas é possível estimá-las a partir de uma função. A função estimada ou curva alisada, por não ser uma estrutura rígida como em funções paramétricas, permite descrever a forma e possíveis não linearidades nas relações analisadas. Os valores da função estimada possuem menor variabilidade do que os valores de y (valores originais), ou seja, são mais “suaves”. Vale ressaltar, que ao utilizar o alisador para modelar a sazonalidade, tendência e fatores meteorológicos devem-se definir um parâmetro que apreenda apenas tais padrões. Ou seja, o alisador não deve capturar a variabilidade diária do desfecho, pois este pode ser explicado por outras variáveis como a poluição (CONCEIÇÃO; SALDIVA; SINGER, 2001). Há vários alisadores que podem ser utilizados para a suavização, alguns mais sofisticados que outros, entre eles: média móvel, *loess*, binário e *splines* (CONCEIÇÃO; SALDIVA; SINGER, 2001; HASTIE; TIBSHIRANI, 1987; SCHWARTZ et al., 1996). Neste estudo utilizou-se a *spline* cúbica natural para a suavização.

Uma característica peculiar deste tipo de estudo, e que deve ser considerada nas análises, é o período de latência ou defasagem entre o período de exposição aos poluentes e variáveis meteorológicas até a ocorrência do efeito na saúde (KATSOUYANNI et al., 1996; SCHWARTZ et al., 1996). Este intervalo entre exposição e desfecho pode ser devido a vários fatores como diferenças no mecanismo biológico e comportamento do indivíduo frente a diferentes doenças. Por exemplo, em casos de infarto do miocárdio e acidente vascular cerebral a internação pode ser mais imediata, ao passo que para doenças respiratórias pode

demorar algum tempo até que a condição seja considerada grave suficiente para justificar a hospitalização (KIM et al., 2012).

Neste contexto, para verificar o possível efeito da poluição na saúde no mesmo dia de exposição bem como em dias anteriores é importante que o período de estudo contemple dados diários e que não existam lacunas para as variáveis independentes. Diante disso, foi realizada a imputação para os dados faltantes das variáveis independentes por meio de um procedimento desenvolvido para este fim, através da biblioteca *mtsd*, disponível no programa R, desenvolvida por (JUNGER, 2008).

O método de imputação utilizado foi baseado no algoritmo EM (*expectation-maximisation*), que considera as estruturas de dependência entre as variáveis bem como as estruturas de dependência temporal de cada variável. A fim de reduzir a superestimação da precisão dos estimadores é aplicado no modelo um fator de penalização, ou seja, uma quantidade linear inversamente proporcional ao número de valores imputados em uma dada linha do banco de dados de concentrações de poluentes (JUNGER; LEON, 2015). De modo geral, a imputação tenta prever o nível de poluição para os dias faltantes com base nos níveis de concentração dos outros dias, ou seja, a partir dos dados existentes.

4.3 População de Estudo e Obtenção dos Dados de Internação

Segundo a OMS, os grupos da população de maior vulnerabilidade aos efeitos da poluição atmosférica são as crianças e os idosos principalmente no que se refere aos problemas do sistema respiratório e circulatório (WHO, 2014). Assim, a população de estudo constituiu-se de idosos (≥ 60 anos) e crianças (≤ 5 anos) residentes da cidade de São José dos Campos, São Paulo.

Para seleção dos dados de internações utilizou-se a 10^a Revisão da Classificação Internacional de Doenças (CID-10) para doenças do sistema respiratório (J00-J99) e para doenças do sistema circulatório (I00-I99). Foram selecionados dados diários de internação por doenças respiratórias para crianças e idosos e por doenças circulatórias para idosos.

Os dados de internação foram obtidos de fonte secundária, DATASUS, a partir da base de dados AIH do Sistema de Informação Hospitalares do SUS (SIHSUS). O DATASUS trata-se do Departamento de Informática do SUS, o qual disponibiliza informações que podem ser utilizadas para subsidiar análises objetivas da situação sanitária, tomadas de decisão baseadas em evidências e elaboração de programas de ações de saúde.

4.4 Obtenção de Dados dos Poluentes e Parâmetros Meteorológicos

Os dados de concentração de MP<2 e MP2-10 bem como as concentrações dos seus constituintes químicos para cátions (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e NH_4^+) e ânions (Cl^- , SO_4^{2-} e NO_3^-) foram fornecidos pelo Laboratório de Pesquisa Ambiental em Aerossóis, Soluções Aquosas e Tecnologias (LAQUATEC) do INPE.

Os dados correspondem a coletas realizadas no período entre 05 de março de 2010 e 17 de fevereiro de 2011, a partir de um sistema instalado em um ponto fixo no INPE de SJ. A localização consiste numa região residencial e industrial, no bairro Jardim da Granja. A estação foi construída sobre o telhado a cerca de 20 metros de altura (FIGURA 1). A concentração do MP10 obtido pela estação de monitoramento do INPE corresponde à soma das duas frações (MP<2 e MP2-10).

Quanto ao MP10 coletado pela estação de monitoramento da CETESB, os dados correspondem ao MP10 total. Os dados meteorológicos de superfície (temperatura e umidade relativa) também foram fornecidos pela CETESB. Tanto os dados meteorológicos quanto as concentrações de MP10 desta estação correspondem a registros feitos a cada hora (1 a 24 hs) em uma estação localizada no bairro Monte Castelo, cerca de 2,6 Km de distância do INPE (ANEXO B).

Embora não seja objetivo do estudo identificar a influência dos parâmetros meteorológicos sobre os níveis de concentração do MP10 bem como as fontes predominantes de emissão no município, procurou-se verificar a contribuição da direção e velocidade dos ventos predominantes na região. Uma forma para analisar estes parâmetros é através de rosas de ventos, que permitem observar as direções predominantes e velocidades médias dos ventos

(DRHEA, 2002). Desse modo, foram utilizados os dados de superfície para velocidade e direção do vento oferecido pelo sistema *stradema web*, da Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais (FUNCATE), o qual disponibiliza as rosas dos ventos. Os dados correspondem a registros obtidos a cada dez minutos numa estação meteorológica localizada no INPE (FUNCATE, 2012). Tais dados correspondem também ao período entre 05 de março de 2010 e 17 de fevereiro de 2011.

4.5 Método de Coleta das Amostras de MP10 e Análise Química

Nesta subseção são descritos o processo de coleta dos dados das frações do MP10 e seus constituintes químicos.

4.5.1 Coleta de MP10

As amostras de MP10 coletadas pela estação de monitoramento do INPE foram realizadas a partir de um amostrador para pequeno volume o qual separa o MP10 nas frações MP<2,0 e MP2-10 (*Gent Stacked Filter*). O sistema é composto por um *inlet* de cloreto de polivinila (PVC), que funciona como suporte para o porta filtro de polietileno com dois estágios para filtros de 47 mm de diâmetro (*Stacked Unit Filter*); por uma bomba de vácuo (Gast - MAA-V103-HB) que aspira o ar atmosférico a um fluxo aproximado entre 15 e 16 L/min; e por um medidor de gás (Lao G1) que fornece o volume total de ar amostrado (HOPKE et al., 1997).

O princípio de operação do equipamento consiste na aspiração do ar pelo *inlet*, cujo formato seleciona as partículas através de propriedades aerodinâmicas, permitindo apenas a entrada de partículas menores de 10 µm de diâmetro aerodinâmico com a separação das partículas por meio de impactação e filtração nas frações grossa (MP2-10 µm) e fina (MP<2 µm) (HOPKE et al., 1997).

As amostras correspondem a coletas de 24 horas, com início as 9:00 h aproximadamente, exceto para os finais de semana e feriados, quando os filtros permaneceram expostos por 48

horas a fim de obter uma concentração de material suficiente para a análise química, e nos períodos de chuva em que foi impossível efetuar a troca dos filtros. O procedimento detalhado do sistema de amostragem, manipulação e determinação da massa do MP10 está descrito em Ferreira, Forti e Alvalá (2012).

Os dados de MP10 coletados pela estação da CETESB foram obtidos por uma estação automática com medição pelo método da radiação beta. A rede é ligada a uma central de computadores através do sistema de telemetria que registra de modo contínuo as concentrações na atmosfera. Os dados de MP10, bem como os dados meteorológicos são processados com base nas médias e, então, disponibilizados o valor para cada hora em boletim diário na internet (CETESB, 2013a). Assim, a fim de comparar os dados de MP10 entre as duas estações de monitoramento, calculou-se a média diária da concentração de MP10 e dos dados meteorológicos entre os horários das 9:00 as 8:00 h do dia seguinte.

A figura 1 representa a estação de monitoramento manual do INPE para MP2-10 μm e MP<2,0 μm e a estação automática da CETESB para MP10 e variáveis meteorológicas (temperatura e umidade).

a

b

Figura 1 – Estação de monitoramento no INPE (a) e na CETESB (b)

Fonte: (FERREIRA; FORTI; ALVALÁ, 2011 (a); CETESB, 2013 (b))

4.5.2 Obtenção da Fração Solúvel e Análise Química

Para a obtenção da fração solúvel os filtros amostrados foram solubilizados em 30 mL de água Tipo II (condutividade 0,05 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e submetidos ao ultrassom por 30 minutos para aceleração do processo. A solução obtida foi filtrada em filtros de acetato de celulose de 25 mm de diâmetro e 0,22 μm de poro (MS®) para a retenção de partículas e esterilização das amostras para que apenas os íons das amostras fossem injetados e analisados por cromatografia iônica (Metrohm-850 Professional IC). As amostras permaneceram refrigeradas a 4°C até serem analisadas. Filtros brancos foram submetidos ao mesmo procedimento e o valor médio do resultado obtido foi subtraído dos resultados das amostras. Os parâmetros analíticos utilizados para a análise dos ânions e cátions encontram-se na Tabela 1.

Todo o procedimento analítico para a obtenção dos íons solúveis, estocagem das amostras, cálculo dos limites de detecção e quantificação, bem como a validação do método para a análise química das amostras utilizadas neste estudo está publicado em Protocolos do INPE (FORTI; ALCAIDE, 2011, 2012, 2014). Para as espécies químicas não identificadas por estarem abaixo do limite de detecção, utilizou-se metade do valor do limite de quantificação (LQ) do método para cada um dos constituintes químicos.

Tabela 1 – Descrição dos parâmetros analíticos utilizados para a caracterização da fração solúvel do material particulado inalável (MP<2 e MP2-10).

Parâmetros analíticos	Especificações	
	Ânions	Cátions
Eluente	Na ₂ CO ₃ (3,2 mmol.L ⁻¹)	C ₇ H ₅ NO ₄ (0,7 mmol. L ⁻¹)
	NaHCO ₃ (1 mmol.L ⁻¹)	HNO ₃ (1,7 mmol.L ⁻¹)
Fluxo	0,700 ml.min ⁻¹	0,900 ml.min ⁻¹
Volume de injeção	110,67 μL	300,42 μL
Coluna	Metrosep A SUPP 5	Metrosep C 4 100
Pré-coluna	Metrosep A SUPP 4/5	Metrosep C 4 guard
Detector	Condutivímetro IC 18.509.010	Condutivímetro IC 18.509.010
Tempo de análise	11 minutos	30 minutos
Pressão de bomba	5,18 MPa	4,67 MPa
Temperatura	25,5 °C	25,5 °C

Fonte: FORTI; ALCAIDE, 2011, 2012, 2014

4.6 Análises dos Dados

Conforme exposto acima, trata-se de um estudo ecológico de série temporal realizado a partir de dados de internação hospitalar por doenças respiratórias e cardiovasculares e dados de poluição atmosférica em MAG com regressão de Poisson. No modelo de regressão de Poisson a variável dependente é o logaritmo do número diário de eventos e em sua forma canônica trata-se de um modelo de Risco Relativo (RR) (SCHWARTZ et al.,1996). Neste modelo assumi-se a seguinte função:

$$\text{LOG}(E(Y)) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_p X_p \quad (1)$$

Onde Y é a contagem de admissões hospitalares em um dado dia, E(Y) é o valor esperado de Y naquele dia, $X_1 \dots X_p$ são os preditores diários, $\beta_1 \dots \beta_p$ são os coeficientes de regressão para cada preditor.

Assim, assumindo a distribuição de Poisson em MAG, a equação segue como:

$$\text{LOG}(E(Y)) = \beta X_{1t} + \sum S_i(X_{it}) \dots \dots \dots (2)$$

Onde X_{1t} é a concentração de um dado poluente no dia t, S_i são as funções suaves das variáveis preditoras (X_{it}).

A estratégia de análise baseou-se na construção de um modelo de linha de base ou *core model*. O intuito foi explicar ao máximo a variabilidade no número de internações por meio do controle das possíveis variáveis de confusão: tendência temporal, sazonalidade, fatores meteorológicos (temperatura e umidade), dias da semana e feriados. Para o controle do efeito de calendário (dias da semana e feriados) foram utilizados variáveis indicadoras e para as demais variáveis (tendência temporal, sazonalidade, temperatura e umidade) foi utilizado o recurso da suavização a partir de *spline* cúbica natural. Os parâmetros utilizados para a suavização e as defasagens ou *lags*, escolhidos por melhor explicar a relação entre a temperatura e umidade com cada desfecho, podem ser observados na Tabela 2 e APÊNDICE A. Foram utilizados os valores mínimos diários para temperatura e umidade por estes apresentarem o menor valor do Critério de Informação de Akaike (AIC).

Tabela 2 – Parâmetros utilizados para a suavização e as defasagens ou *lags* escolhidos por melhor explicar a relação entre a temperatura e umidade.

Causas de interações	Respiratória crianças (≤ 5 anos)	Respiratória idosos (≥ 60 anos)	Circulatória
Parâmetro	Grau de liberdade (GL)		
Tendência temporal e Sazonalidade	4	4	3
Temperatura mínima	3	3	3
Umidade mínima	2	2	2
Defasagem			
Temperatura mínima	ma 02	ma 02	l 02
Umidade mínima	ma 12	l 0	ma 01

ma = média móvel em dias

l = intervalo simples em dia

O critério de seleção do melhor modelo foi com base empírica, a partir das seguintes estatísticas: Critério de Informação de Akaike (AIC), *Deviance Residual* e Parâmetro de Dispersão, bem como por meio da análise dos gráficos diagnósticos. Os gráficos são fundamentais nestas análises para avaliar se os pressupostos do modelo estão mantidos, garantindo assim a precisão das estimativas. Entre os gráficos analisados, estão: gráfico de valores previstos: indica se o modelo reproduz bem a tendência e sazonalidade da série analisada; gráfico de resíduos: permite verificar se há algum padrão no comportamento entre a diferença do valor observado e o estimado pelo modelo e possíveis *outliers*; gráfico da distância de *Cook*: possibilita visualizar possíveis *outliers*; gráfico da função de autocorrelação parcial: indicado para verificar se há algum padrão sazonal e autocorrelação; periodograma: permite ver o controle das variações cíclicas; e gráfico de normalidade: indicado para visualizar a distribuição dos resíduos. Maiores detalhes do processo estatístico de modelagem estão descritos em Katsouyanni et al. (1996), Schwartz et al. (1996) e Junger (2008).

Decidiu-se manter no *core model* todas as variáveis com p-valor menor que 0,10, com exceção das variáveis meteorológicas que foram mantidas no modelo independente de sua significância.

Estabelecido o *core model*, as concentrações das variáveis independentes foram inseridas no modelo assumindo uma relação linear com a variável resposta para estimar seus efeitos sobre o desfecho. As estimativas do RR foram obtidas a partir do modelo de defasagem distribuída

polinomial (PDLM) cuja estrutura possibilita considerar a distribuição conjunta com defasagens anteriores (JUNGER, 2008). Para melhor compreensão do impacto relativo das concentrações observadas dos poluentes, os resultados estão apresentados como a porcentagem de excesso de risco em admissões hospitalares para o aumento em $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ das exposições diárias ao MP10 e frações, onde o percentual do RR para cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3 = [(e^{beta \times 10} - 1) \times 100]$, sendo e^{beta} o coeficiente de regressão. Quanto aos constituintes químicos, o percentual do RR foi estimado para cada $10 \text{ ng}/\text{m}^3$. Adotou-se um nível de significância de 5% nas análises.

Todo o processo de análise dos dados (estatística descritiva e modelagem) foi realizado no programa R versão 3.0.2 (R development Core Team 2013), através da biblioteca Ares desenvolvida para a análise de séries temporais do efeito da poluição sobre a saúde (JUNGER, 2008).

5 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados para a análise descritiva, calibração dos modelos e análise inferencial.

5.1 Análise Descritiva

O período de estudo (05/03/10 a 17/02/2011) correspondeu ao total de 350 dias. Nesse período foram coletadas 282 amostras na estação de monitoramento do INPE para cada fração do MP10 (MP2-10 e MP<2,0), que representa 80% do período. Dessas amostras, 57 (20%) corresponderam aos filtros de coleta que permaneceram expostos por mais de 24 h, ou seja, amostras acumuladas nos finais de semana, feriados ou dias de chuva. Portanto, do período de análise, apenas 11 dias permaneceram sem coleta. Assim, a imputação de dados foi realizada para 68 dias (amostras acumuladas e ausência de dados), ou seja, 19% do período de estudo. Os resultados com a análise descritiva, para as concentrações de MP10 e suas frações, a partir do banco original (sem imputação) estão no APÊNDICE B. O teste t não indicou diferença estatisticamente significativa, ao nível de 95%, entre as médias do banco original e as do banco imputado. Quanto aos dados ambientais obtidos pela estação automática da CETESB não foi necessário realizar imputação.

A partir do banco de dados completo, realizou-se a análise descritiva simples para a concentração das frações do MP10, variáveis meteorológicas e dados de internações, os resultados estão na Tabela 3. A concentração média diária no período de estudo para MP10, MP2-10 e MP<2 foi $12,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $8,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $4,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Entre as frações, observou-se maior concentração do MP2-10, e uma razão de 0,66 entre MP2-10/MP10. Tanto a concentração diária quanto a concentração média anual para MP10 e MP<2 não ultrapassou os padrões estabelecidos pela OMS para MP10 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 24 hs e $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anual) e MP<2,5 ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 24 hs e $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anual).

Tabela 3 – Estatística descritiva dos poluentes, variáveis meteorológicas e internações hospitalares, São José dos Campos, Brasil, 2010-2011.

Parâmetros	N (dias)	Média	DP	Valor Mínimo	P25	P50	P75	Valor máximo	T*
Material Particulado Inalável ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)									
MP<2	350	4,35	2,42	0,22	2,56	3,93	5,73	15,12	
MP2-10	350	8,37	5,57	0,08	4,29	7,07	11,16	29,65	
MP10	350	12,72	7,23	0,65	7,42	11,20	16,73	36,82	
MP10 (CETESB)	350	24,52	13,56	6,20	15,20	21,02	30,27	93,56	
Variáveis Meteorológicas									
Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$)	350	17,53	3,50	8,30	15,12	17,94	20,79	23,73	
Temperatura média ($^{\circ}\text{C}$)	350	21,91	3,34	13,01	19,25	22,34	24,37	28,98	
Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$)	350	28,64	4,58	17,06	25,26	29,00	32,51	37,25	
Umidade mínima(%)	350	56,87	16,39	20,10	45,93	55,89	66,02	99,11	
Umidade média (%)	350	81,08	9,95	49,13	75,27	81,9	87,06	99,24	
Internações (casos/dia)									
Idosos (≥ 60 anos)									
Doenças circulatórias	350	5	2	0	3	5	7	12	1765
Doenças respiratórias	350	3	2	0	1	3	4	9	972
Crianças (≤ 5 anos)									
Doenças respiratórias	350	3	2	0	1	3	4	15	1128

DP= Desvio Padrão

P= Percentil

*=Total das internações

Em relação aos dados coletados pela estação de monitoramento da CETESB para MP10 observou-se valores superiores, aproximadamente o dobro, aos observados pela estação do INPE. A concentração máxima diária e média anual de MP10 foi $93,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $24,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente e, portanto, acima dos limites estabelecidos pela OMS. No entanto, a distribuição dos níveis de concentração de MP10 observados pelas duas estações de monitoramento foi semelhante no período avaliado. O gráfico da Figura 2 representa as concentrações diárias e suavizadas por *spline* do MP10 e suas frações. A curva suavizada não indica tendência de longo prazo. Porém, notam-se maiores concentrações no período seco (abril a agosto) e diminuição no período chuvoso para as frações avaliadas, com exceção de MP<2 que embora também tenha diminuição no período chuvoso apresenta um comportamento mais constante ao longo do tempo (Figura 2).

Figura 2 – Concentração diária dos poluentes, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, coletados pela estação de monitoramento do INPE e CETESB.

*Estação de coleta da CETESB

Linha vermelha: suavização por *spline* com 6 graus de liberdade

Em relação ao banco de dados com a análise dos constituintes químicos, foram disponibilizados os resultados de 263 amostras para cada fração do MP10. Isto representa 75% do período total de estudo e, portanto, a imputação de valores foi realizada para os 87 dias (25%) restantes. Quanto aos constituintes não identificados nas amostras, o número e percentual de dias em que foi atribuída metade do valor de LQ para cada espécie química pode ser observado no APÊNDICE C. Desse modo, foi considerado como estimativas confiáveis os constituintes químicos que apresentaram no máximo 25% do período com valores não detectados. O teste t não indicou diferença estatisticamente significativa, ao nível de 95%, entre as médias do banco original e as do banco imputado. A análise descritiva com o banco imputado pode ser observada na Tabela 4 e a do banco original no APÊNDICE C.

Os íons solúveis representaram 17% do MP<2 e 11% do MP2-10 no período de estudo (Figura 3). Gráficos mensais com a percentual dos íons em cada fração analisada podem ser observados no APÊNDICE D. Observou-se maior contribuição das espécies secundárias (NO_3^- , SO_4^{2-} e NH_4^+) na composição de ambas frações do MP10. Para MP<2 observou-se maior concentração de SO_4^{2-} enquanto para MP2-10, o NO_3^- foi predominante. A ordem de contribuição dos constituintes para MP<2 foi: SO_4^{2-} > NH_4^+ > NO_3^- > Ca^{2+} > Na^+ > Cl^- > K^+ > Mg^{2+} . Já para MP2-10 a ordem foi: NO_3^- > Ca^{2+} > SO_4^{2-} > Cl^- > Na^+ > NH_4^+ > K^+ > Mg^{2+} (Tabela 4).

Figura 3 – Contribuição percentual dos íons solúveis no MP<2 e MP2-10 no período entre 05/03/2010 a 17/02/2011.

Tabela 4 – Estatística descritiva dos constituintes químicos da fração fina (MP<2) e fração grossa (MP2-10), São José dos Campos, Brasil, 2010-2011.

Parâmetros	N (dias)	Média	DP	Valor Mínimo	P25	P50	P75	Valor máximo
MP<2 (ng/m ³)								
Cl ⁻	350	38,24	24	0,73	21,83	38,81	43,07	188,03
NO ₃ ⁻	350	79,55	83,43	3,67	35,22	46,45	93,46	599,02
SO ₄ ²⁻	350	399,17	314,4	0,62	186,41	320,34	530,28	1957,47
Na ⁺	350	40,35	39,41	1,36	20,58	25,08	44,57	285,58
NH ₄ ⁺	350	98,28	94,82	0,28	43,67	63,35	120,69	636,81
K ⁺	350	26,68	24,92	0,11	8,95	22,96	31,36	208,57
Ca ²⁺	350	50,88	55,47	0,14	24,98	36,28	47,41	542,33
Mg ²⁺	350	14,18	14,12	0,05	3,45	8,32	28,3	88,36
MP2-10 (ng/m ³)								
Cl ⁻	350	82,65	119,31	2,05	31,29	44,15	90,78	1073,95
NO ₃ ⁻	350	284,67	295,02	5,24	106,38	202,72	384,32	3566,54
SO ₄ ²⁻	350	158,7	149,89	0,18	64,37	110,51	212,88	1286,44
Na ⁺	350	79,23	101,24	1,24	25,83	50,67	96,6	1006,51
NH ₄ ⁺	350	45,28	65,13	0,82	20,19	37,47	50,63	896,12
K ⁺	350	31,54	36,34	0,62	14,3	21,17	32,37	282,84
Ca ²⁺	350	167,86	176,37	7,58	62,15	121,41	216,87	2157,75
Mg ²⁺	350	28,49	23,59	0,21	12,98	24,37	38,41	307,35

DP= Desvio Padrão

P= Percentil

De modo geral, com exceção do NO₃⁻, as espécies secundárias foram predominantes no MP<2, enquanto que os demais constituintes (espécies primárias) apresentaram maiores concentrações no MP2-10 (p<0,05). As Figuras 4 e 5 representam a concentração diária e suavizada dos constituintes químicos no MP<2 e MP2-10, respectivamente, ao longo do período de estudo. Embora haja variabilidade diária e reduções no período chuvoso, não há evidência marcante de padrões de tendência de longo prazo e sazonalidade.

Figura 4– Concentração diária dos constituintes químicos inorgânicos solúveis, em ng/m^3 , do MP<2>.

Figura 5— Concentração diária dos constituintes químicos inorgânicos solúveis, em ng/m^3 , do MP2-10.

A direção e velocidade do vento mensal e para o período de estudo podem ser observadas nos gráficos do ANEXO C. Os ventos predominantes são oriundos da região sudoeste e nordeste, com velocidade média relativamente baixa (~ 1 m/s). Nota-se uma contribuição maior de ventos vindos também da região sudeste nos meses de junho e julho.

Em relação às internações, observou-se maior quantidade para as doenças circulatórias em idosos ($n=1765$), seguidas por doenças respiratórias em crianças ($n=1128$) e idosos ($n=972$). A média diária foi de aproximadamente 5 internações para doenças circulatórias e 3 para doenças respiratórias nos dois grupos de estudo (Tabela 3). A distribuição das internações para o período do estudo pode ser observado na Figura 6. Embora, não seja possível observar padrões de tendência de longo prazo e sazonalidade marcantes, devido ao período de tempo relativamente curto do estudo, observa-se maior número de internações de idosos para doenças respiratórias no período seco, enquanto para crianças observa-se maior internação no início do período seco, seguido de uma diminuição e mantendo-se constante ao longo do período. Quanto a doenças circulatórias em idosos, as internações parecem manter-se constantes ao longo do tempo.

Os gráficos (*box plot*) referentes à distribuição dos dados (banco imputado) de concentração das frações do MP10, composição química e dados de internações podem ser observados no APÊNDICE E.

Figura 6– Número diário e suavizado de internações por doenças respiratórias em crianças (≤ 5 anos) e idosos (≥ 60 anos) e doenças cardiovasculares em idosos, no período entre 05/03/2010 e 17/02/2011.

Linha vermelha: suavização por *spline* com 4 GL (a e b) e 3 GL (c)

5.2 Calibração dos modelos

As Figuras 7 a 9 correspondem aos gráficos diagnósticos de cada modelo obtido para cada variável dependente ajustado para as variáveis de confusão antes da inserção dos poluentes. Cada modelo corresponde ao conjunto de variáveis que “melhor” explicou a variabilidade diária no número de internações e, portanto, aqueles com menor valor de AIC e ausência de autocorrelação e *outliers*. As variáveis de tendência temporal, sazonalidade, temperatura e umidade permaneceram nos três modelos, independente de suas significâncias. Contudo, tendência, sazonalidade e umidade não foram significativas ($p < 0,10$) para ambas as causas e grupos avaliados, enquanto que temperatura foi significativa ($p < 0,05$) apenas para doenças respiratórias em idosos. Dias da semana foi significativo ($p < 0,01$) para doenças respiratórias em crianças e circulatórias em idosos.

Os gráficos referentes à relação entre temperatura e umidade mínima contra os resíduos de cada modelo das internações, já ajustado para as demais variáveis de confusão, em diferentes defasagens podem ser observados no APÊNDICE A. Não se observa qualquer padrão na relação entre tais variáveis.

Figura 7– Gráficos diagnósticos do modelo para doenças respiratórias em crianças (≤ 5 anos).

Figura 8– Gráficos diagnósticos do modelo para doenças respiratórias em idosos (≥ 60 anos).

Figura 9. Gráficos diagnósticos do modelo para doenças circulatórias em idosos (≥ 60 anos).

5.3 Análise Inferencial

A estimação dos efeitos da massa do material particulado inalável e os constituintes químicos em cada fração analisada sobre as internações podem ser observados na Tabela 5 e 6, respectivamente. Os resultados correspondem ao efeito acumulado em 5 dias obtido pelos modelos de defasagem distribuída polinomiais (PDLM). Decidiu-se representar os resultados a partir desta estrutura visto que esta apresentou maior sensibilidade na detecção das associações em relação aos modelos de defasagem simples (dados não mostrados). Os gráficos com as estimativas em porcentagem de risco relativo (RR) em cada intervalo e no acumulado para a massa do MP10, MP<2 e MP2-10 podem ser observados no APÊNDICE F e para os constituintes químicos do MP<2 e MP2-10 no APÊNDICE G.

Foi encontrada associação estatisticamente significativa entre aumentos na concentração de MP10 e MP2-10 apenas com as doenças respiratórias em crianças e idosos, sendo o MP2-10 a fração de maior risco nos casos de internação. Para cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP2-10 houve aumento em 20% (IC95%: 11;30) e 23% (IC95%: 13;34) no risco de internações para crianças e idosos, respectivamente, enquanto para MP10 o risco foi cerca de 13% em ambos os grupos. Em relação às estimativas obtidas a partir dos dados coletados pela estação de monitoramento da CETESB, observaram-se resultados semelhantes as do INPE, exceto para o grupo das crianças cuja associação não foi observada com os dados da CETESB. Contudo, observou-se risco de 9% (IC95%: 5;13) apenas para internações por doenças respiratórias em idosos. Para a fração MP<2 observou-se associação estatisticamente significativa para as doenças respiratórias em crianças e circulatórias em idosos. A cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP<2 o aumento no risco de internação foi de 26% (IC95%: 9;45) para doenças respiratórias em crianças e 20% (IC95%: 6;35) para doenças circulatórias em idosos (Tabela 5).

Tabela 5– Percentual do Risco Relativo (%RR) e Intervalo de Confiança (IC:95%), em estrutura de defasagem polinomial (PDLM) no acumulado de 5 dias, para internações de crianças e idosos por causas respiratórias e circulatórias a cada aumento em $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de poluente.

Crianças (≤ 5 anos)					Idosos (≥ 60 anos)							
Doenças respiratórias					Doenças respiratórias				Doenças circulatórias			
Poluentes	RR	LI	LS	p-valor	RR	LI	LS	p-valor	RR	LI	LS	p-valor
MP<2	26,0	9,5	45,1	0,001	8,5	-6,8	26,3	0,292	19,6	6,4	34,6	0,003
MP2-10	20,3	11,0	30,4	0,000	23,5	13,5	34,3	0,000	0,8	-5,8	7,7	0,824
MP10	13,5	7,1	20,3	0,000	12,8	6,0	20,0	0,000	2,7	-2,2	7,9	0,282
MP10 CETESB	2,2	-1,4	5,9	0,234	8,9	5,2	12,8	0,000	1,2	-1,7	4,0	0,427

LI= Limite Inferior; LS= Limite Superior

Em relação às estimativas de RR dos constituintes químicos foi considerado como resultado válido somente as espécies químicas com no máximo 25% de seus valores com metade do LQ. Assim, quanto à composição química da fração grossa (MP2-10), com exceção do NH_4^+ , verificou-se associação positiva estatisticamente significativa entre todos os constituintes químicos com as internações por doenças respiratórias em crianças, sendo Mg^{2+} a espécie de maior risco (RR: 6%; IC95%:4;8) (Tabela 6). Já no grupo dos idosos apenas o SO_4^{2-} foi associado ao aumento de 0,4% (IC95%: 0,1;0,6) no risco de internações por causas respiratórias e NO_3^- , SO_4^{2-} e K^+ com as doenças circulatórias (Tabela 6). De modo geral, o SO_4^{2-} nesta fração do MP10 foi o constituinte associado ao aumento no risco de internação por todas as causas e em todos os grupos avaliados.

Tabela 6– Percentual do Risco Relativo (%RR) e Intervalo de Confiança (IC:95%), em estrutura de defasagem polinomial (PDLM) no acumulado de 5 dias, para internações de crianças e idosos por causas respiratórias e circulatórias a cada aumento em 10 ng/m³ de poluente.

Constituintes	Crianças (5 ≤ anos)				Idosos (≥ 60 anos)							
	Doenças respiratórias				Doenças respiratórias				Doenças circulatórias			
	RR	LI	LS	p-valor	RR	LI	LS	p-valor	RR	LI	LS	p-valor
MP<2												
Cl ⁻	0,9	-0,8	2,6	0,312	-3,3	-5,0	-1,6	0,000	-5,5	-6,7	-4,2	0,000
NO ₃ ⁻	0,2	-0,2	0,7	0,331	-1,4	-1,9	-1,0	0,000	0,6	0,2	0,9	0,001
SO ₄ ²⁻	0,0	-0,1	0,1	0,782	0,0	-0,1	0,1	0,464	0,2	0,1	0,3	0,000
Na ⁺	0,1	-0,8	1,1	0,786	-4,4	-5,4	-3,4	0,000	2,4	1,6	3,1	0,000
NH ₄ ⁺	0,6	0,2	0,9	0,003	-0,3	-0,7	0,1	0,099	1,2	1,0	1,5	0,000
K ⁺	2,0	0,4	3,6	0,013	2,7	1,1	4,3	0,001	1,6	0,3	2,8	0,013
Ca ²⁺	-0,8	-1,4	-0,2	0,015	-0,3	-0,9	0,3	0,363	-0,2	-0,6	0,3	0,452
Mg ²⁺	-9,6	-11,7	-7,6	0,000	-0,4	-2,8	2,0	0,719	7,7	5,8	9,7	0,000
Constituintes MP2-10												
Cl ⁻	0,9	0,6	1,2	0,000	-0,5	-0,8	-0,2	0,003	-0,7	-0,9	-0,4	0,000
NO ₃ ⁻	0,3	0,2	0,4	0,000	-0,1	-0,2	0,1	0,395	0,2	0,1	0,3	0,000
SO ₄ ²⁻	0,5	0,3	0,7	0,000	0,4	0,1	0,6	0,004	0,8	0,6	1,0	0,000
Na ⁺	0,4	0,1	0,7	0,013	-0,4	-0,8	0,0	0,031	-0,3	-0,6	0,0	0,021
NH ₄ ⁺	-1,2	-1,7	-0,6	0,000	0,3	-0,2	0,9	0,187	1,4	1,0	1,8	0,000
K ⁺	2,0	1,1	3,1	0,000	-0,2	-1,2	0,8	0,680	1,0	0,2	1,8	0,010
Ca ²⁺	0,6	0,3	0,8	0,000	0,0	-0,2	0,2	0,865	0,1	-0,1	0,3	0,337
Mg ²⁺	6,2	4,4	7,9	0,000	0,1	-1,5	1,8	0,870	0,4	-0,9	1,7	0,550

LI= Limite Inferior; LS= Limite Superior

em negrito: estimativas válidas, máximo de 25% das amostras no LQ

Quanto à fração fina (MP<2), apenas as espécies químicas de SO₄²⁻, NH₄⁺ e K⁺ estiveram dentro das condições determinadas como estimativa válida. O SO₄²⁻ foi associado apenas com aumento no risco de internação por doenças circulatórias em idosos (RR: 0,2%; IC95%: 0,1;0,3). Em relação ao NH₄⁺ observou-se associação estatisticamente significativa com internações por causas respiratórias em crianças (RR: 0,6%; IC95%: 0,2;0,9) e doenças circulatórias em idosos (RR: 1,2%; IC95%: 1,0;1,5). Já o K⁺ nesta fração foi o constituinte químico associado com todas as causas e grupos avaliados (Tabela 6); o RR estimado para o aumento das internações por doenças respiratórias em crianças e idosos foi de 2,0% (IC95%:0,4;3,6) e 2,7% (IC95%: 1,1;4,3), respectivamente, e para as internações por doenças circulatórias o RR estimado foi de 1,6% (IC95%: 0,3;2,8).

Analisando os dados, observaram-se também associações negativas estatisticamente significativas entre Cl^- e Na^+ do MP2-10 e as duas causas avaliadas no grupo dos idosos. (TABELA 6 e APÊNDICE G). Estes constituintes, nesta fração, apresentaram alta correlação estatisticamente significativa (r 0,78). A correlação entre os demais poluentes avaliados estão no APÊNDICE H. Observam-se correlações moderada e forte, estatisticamente significativas, principalmente entre MP<2 e MP2-10 com os constituintes que contribuíram mais com a massa em cada uma dessas frações. O mesmo acontece entre os constituintes de maior concentração, com exceção do Mg^{2+} , que embora tenha menor contribuição na massa de ambas as frações, apresenta correlações moderada e forte com os demais constituintes analisados no MP2-10 (APÊNDICE H).

6 DISCUSSÃO

A poluição atmosférica é um importante problema de saúde pública que tem sido bem documentado por estudos realizados em várias partes do mundo. O interesse da Saúde Pública em conhecer os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde deve-se ao grande número de indivíduos expostos a ela e, conseqüentemente, pelo seu impacto econômico negativo (AMÂNCIO; NASCIMENTO, 2012). Segundo estudo recente, realizado pelo Instituto Saúde e Sustentabilidade (2013), no Estado de São Paulo, em 2011, ocorreu 68.499 internações públicas atribuíveis à poluição. Os gastos públicos e privados das internações por doenças cardiovasculares, pulmonares e câncer de pulmão foram R\$ 76 milhões e R\$ 170 milhões, respectivamente, totalizando um gasto de R\$ 246 milhões para o Estado; 0,55% do orçamento para o mesmo ano.

No Brasil, as avaliações epidemiológicas sobre os efeitos da poluição do ar na saúde foram conduzidas principalmente nas áreas metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro (OLIVEIRA; IGNOTTI; HACON, 2011). O presente estudo analisou a associação entre as concentrações diárias de $MP_{<2,0}$, $MP_{2,0-10}$, MP_{10} e os constituintes inorgânicos solúveis de $MP_{<2,0}$ e $MP_{2,0-10}$ com as internações por doenças respiratórias e circulatórias, nos grupos mais vulneráveis, numa cidade de médio porte. As estimativas obtidas sugerem associações positivas específicas a cada fração e grupo avaliado.

Acredita-se, até o momento, que o estudo seja pioneiro no país no que se refere aos efeitos das frações fina e grossa e composição química do MP_{10} sobre a saúde. No Brasil, os estudos ecológicos de série temporal tratam apenas dos efeitos do MP_{10} , desconsiderando suas frações e composição química. A razão disso, possivelmente, deve-se a falta de dados disponíveis para as frações do MP_{10} , visto que não há legislação e monitoramento a nível nacional para $MP_{\leq 2,5}$. Vale ressaltar que o recurso da análise de série temporal para avaliar os efeitos de curto período da poluição na saúde é de grande importância para vigilância em saúde. Segundo Nardocci et al. (2013), estes estudos podem dar subsídios para as ações de controle e alerta aos serviços de saúde na ocorrência de picos da poluição. Para isso, é necessária a expansão da rede de monitoramento da qualidade do ar, para os poluentes e variáveis climáticas, e ter os dados disponibilizados diariamente e, portanto, sem interrupção. No entanto, no Brasil, apenas seis estados (Paraná, Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de

Janeiro, São Paulo e Rio Grande do Sul) declaram ter municípios com monitoramento contínuo da qualidade do ar que, por sua vez, totaliza 28 monitores (FREITAS, et al., 2013).

Quanto ao conhecimento do impacto da qualidade do ar na população de SJC, recentemente foi avaliado a associação de MP10 com internações por asma brônquica em crianças com até 10 anos de idade. Amâncio e Nascimento (2012) observaram no período entre 2004 e 2005 que o incremento de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10 implicou no aumento do RR entre 16% e 19% nas internações deste grupo populacional. No presente estudo foi observado resultado semelhante, o RR associado ao incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para internações por doenças respiratórias em crianças foi de 13,5% (IC 95%: 7,1-20,3). Destaca-se, que estas estimativas estão bem acima das observadas na literatura. Estudo realizado na cidade de Cubatão, SP, o RR para cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10, estimado também em modelo polinomial de defasagem (cumulado de 5 dias), nas internações por doenças respiratórias em crianças (<5 anos) e doenças cardiovasculares em adultos (>39 anos), foi de 5,7% (IC 95%: 3,80-7,51) e 2,3% (IC95%: 0,86-3,73), respectivamente (NARDOCCI et al., 2013). Estimativas ainda menores são observadas no estudo de Pun et al. (2014), com hospitalizações por causas cardiorespiratórias no departamento de emergência, em Hong Kong, entre 2001 a 2007. Para cada $44,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10, o RR para doenças cardiovasculares e respiratórias foi de 1,53% (IC95%: 0,68-2,38) no *lag* 0, e 0,95% (IC95%: 0,22-1,68) no *lag* 1, respectivamente.

Diante a falta de monitoramento e caracterização da composição química para a fração $\text{MP}_{\leq 2,5}$ e $\text{MP}_{2,5-10}$, a comparação dos resultados obtidos neste estudo com outros trabalhos nacionais é limitada. Assim, embora a associação positiva para o aumento das concentrações para cada uma das frações do MP10 com as internações esteja em concordância com trabalhos desenvolvidos na Europa, EUA e China, a magnitude destas estimativas também foi superior as observadas na literatura internacional (STAFOGGIA et al., 2013; BELL et al., 2014; PUN et al., 2014). No presente estudo, o RR estimado para os efeitos de $\text{MP}_{<2,0}$ nas internações por doenças respiratórias em crianças e doenças circulatorias em idosos, bem como os efeitos do MP_{2-10} por doenças respiratórias nos dois grupos de estudo foram na ordem de 20%. Esta estimativa é bem superior a observada no estudo de Stafoggia et al. (2013), realizado em 10 cidades de vários países da Europa, entre 2001 e 2010, com pessoas ≥ 15 anos de idade. A cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{\leq 2,5}$, $\text{MP}_{2,5-10}$ e MP10, no *lag* 0-1, observou-se aumento de 0,51% (IC95%: 0,12-0,90), 0,73% (IC95%: 0,16-1,30) e 0,36 (IC95%: 0,04-0,69), respectivamente, nas admissões cardiovasculares, sugerindo um efeito do $\text{MP}_{2,5-10}$ 40% superior do que

MP_{2,5}. Para doenças respiratórias o aumento das internações a cada 10 µg/m³ do MP_{2,5} e MP_{2,5-10} foi 1,36% (IC95%: 0,23 a 2,49) e 1,95% (IC95%: -0,51 a 4,48), respectivamente.

Outro estudo recente também com admissões hospitalares por doenças cardiorespiratórias em idosos (≥65 anos) é o de Bell et al. (2014), realizado em 4 cidades de Connecticut and Massachusetts (EUA). A estimativa central para MP_{2,5} indicou associação positiva para ambos efeitos em todos os *lags* avaliados, mas apenas a associação com admissões cardiovasculares, no *lag* 0, foi estatisticamente significativa. O incremento IQR de 10,7 µg/m³ aumentou em 1,88% (IC95%: 0,47-3,31) as admissões hospitalares. No presente trabalho o MP_{<2} também foi associado apenas com as internações por doenças circulatórias no grupo dos idosos. No entanto, para cada 10 µg/m³ o RR estimado foi de 19,6% (IC95%: 6,4-34,6).

Estimativas altas, semelhantes a este trabalho, foram observadas no estudo de Lepeule et al. (2012), em que avaliaram a associação de MP_{2,5} com mortalidade em seis cidades dos EUA no período de 1974 a 2009. A cada 10 µg/m³ do PM_{2,5}, o risco de morte por todas as causas, por cardiomiopatia vascular e por câncer de pulmão aumentou em 14% (IC 95%: 7-22%), 26% (IC 95%: 14-40%) e 37% (IC 95%: 7-75%), respectivamente. Segundo o autor, os efeitos não mudaram ao longo do tempo, sugerindo uma toxicidade mesmo a níveis ambientais baixos. Por outro lado, estudo realizado na cidade de Nova York, entre 2000 e 2006, com pessoas ≥40 anos, o MP_{2,5} também associou-se com mortalidade cardiovascular, porém os riscos foram bem menores. O risco estimado a cada 10 µg/m³ do MP_{2,5} na estação quente foi 2,0 % (IC95%: 0,7-3,3) e na estação fria 1,0 % (IC95%: -0,1-2,2) (Ito et al., 2011).

De acordo com a revisão de Brunekreef e Forsberg (2005) partículas grossas e finas exercem efeitos similares sobre as doenças respiratórias e há evidências de que partículas grossas exerçam também efeitos cardiovasculares. Tal evidencia pode ser observada no estudo de Stafoggia et al. (2013), citado anteriormente. No entanto, para o autor os efeitos de curto período do MP_{2,5-10} sobre as hospitalizações ainda são poucos e inconsistentes (STAFOGGIA et al., 2013). Segundo Malig et al. (2013), embora o foco das pesquisas e agências regulatórias esteja em estudar e monitorar MP_{2,5}, a redução de MP_{2,5-10} pode melhorar a saúde pública, particularmente de pessoas asmáticas. No estudo que incluiu 35 cidades da Califórnia, EUA, entre 2005 e 2008, os autores identificaram associação positiva entre MP_{2,5-10} e visitas de emergência por doença respiratória. Asma associou-se ao MP_{2,5-10} mesmo após ajuste ao MP_{2,5} e retirada dos valores extremos, a cada 10 µg/m³ o aumento

no risco foi de 3,3% (IC 95%: 2,0-4,6%) no *lag* de 2 dias. No presente estudo, o MP2-10 foi associado apenas com doenças respiratórias em crianças e idosos. Vale destacar, que a magnitude do RR estimado para o MP2-10, para os casos de doenças respiratórias em crianças, foi semelhante ao observado também para MP<2 neste grupo.

Em relação aos efeitos dos constituintes químicos, o RR estimado em cada uma das frações do MP10 foi menor que os obtidos para a massa total, com magnitude semelhante aos observados em outros trabalhos. Porém, vale ressaltar que as estimativas correspondem aos efeitos para cada 10 ng/m³ de cada poluente e, portanto, considera-se que ainda sejam estimativas altas em relação à observada na literatura, a qual geralmente utiliza a comparação na ordem de µg/m³ de poluente. No entanto, as estimativas obtidas neste estudo devem ser interpretadas com cautela principalmente no âmbito dos efeitos das espécies químicas com alto percentual de dias em que foi atribuído a metade do valor do LQ. Foi considerado como resultados confiáveis aqueles com no máximo 25% de valores com LQ, por este ser o valor também considerado para amostras válidas em outros estudos e monitoramento (CETESB, 2013; PUN et al., 2014). A baixa concentração de massa do particulado coletado pela estação do INPE pode ter dificultado sua identificação. Além disso, as espécies químicas em que os valores foram considerados metade do LQ correspondem aquelas que não são constituintes majoritários de determinada fração.

Contudo, no grupo dos idosos, entre os constituintes do MP2-10, observou-se associação estatisticamente significativa com as espécies de SO₄²⁻ e doenças circulatórias e respiratórias e NO₃⁻ e K⁺ apenas com doenças circulatórias. Resultados semelhantes foram observados por Pun et al. (2014), em Hong Kong, onde vários componentes do MP10 foram associados a internações por causas cardiorespiratórias no setor de emergência. Entre os componentes, NO₃⁻ e K⁺ foram associados com internações cardiovasculares e SO₄²⁻ com internações respiratórias.

Já Bell et al. (2009) avaliaram a associação entre componentes do MP_{≤2,5} sobre internações por doenças respiratórias e cardiovasculares em idosos com idade ≥65 anos. Embora as espécies de NH₄⁺, NO₃⁻, SO₄²⁻, CO e CE fossem os constituintes de maior contribuição para a massa total de MP_{2,5}, a associação estatisticamente significativa foi observada apenas com V, Ni, e CE, mas não com os íons solúveis. Krall et al. (2013) também avaliaram a exposição de curto período aos sete constituintes mais predominante na fração de MP_{2,5}, com mortalidade

em todas faixas etárias, em 72 comunidades urbanas dos EUA entre 2000-2005. Associações estatisticamente significantes foram observadas com as espécies carbonáceas, silício e íon Na^{2+} mas não com as espécies secundárias (NO_3^- , SO_4^{2-} e NH_4^+). Em relação ao Na^+ para um aumento de $0,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (IQR) o risco estimado foi 0,16% (IC95%: 0,00-0,32). Em contrapartida, Cao et al. (2012) examinaram a associação de curto prazo entre os constituintes do $\text{MP}_{\leq 2,5}$ e mortalidade cardiopulmonar em Xi'an, China. Embora seja uma cidade altamente poluída da China, observaram-se associações menores em magnitude, comparado aos estudos dos países desenvolvidos. Além das espécies carbonáceas e metais, apenas as espécies de NH_4^+ , NO_3^- e Cl^- permaneceram associadas aos efeitos após o ajuste ao $\text{MP}_{\leq 2,5}$. Observou-se forte associação para NO_3^- com mortalidade cardiovascular e total. A cada $15,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_3^- foi associado ao aumento de 3,8% (IC95%: 1,7-5,9) da mortalidade total.

De acordo com uma revisão dos estudos epidemiológicos nacionais, crianças são mais susceptíveis aos problemas respiratórios em função das variações nos níveis de MP_{10} ; as estimativas do RR de internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças foram superiores as encontradas em idosos (OLIVEIRA; IGNOTTI; HACON, 2011). No presente trabalho, as estimativas do $\text{MP}_{2,0-10}$ e MP_{10} para crianças e idosos foram semelhantes, enquanto para $\text{MP}_{<2}$, a estimativa foi maior e estatisticamente significativa apenas para crianças. Observou-se também que as crianças foram mais sensíveis aos constituintes do MP_{2-10} , com exceção do NH_4^+ , todos os constituintes foram associados a doenças respiratórias em crianças. No entanto, não foram encontrados outros estudos referentes aos efeitos dos constituintes analisados neste trabalho com crianças, limitando assim a comparação dos achados.

O comportamento das internações no grupo das crianças ao longo do período de estudo foi atípico. Esperava-se maior número de internações no período seco, assim como observado no grupo dos idosos, em que os meses de junho a agosto foram aqueles com maior número de internações. No entanto, houve um aumento nas internações no início de março, com pico maior no mês de abril ($n=188$). Comportamento semelhante foi observado no estudo de Amâncio e Nascimento (2012), que avaliaram o período entre 2004 e 2005 e os meses de abril a junho foram aqueles com maior número das internações. Curiosamente, no mês de abril os íons solúveis contribuíram em menor proporção para a composição da massa de $\text{MP}_{<2}$ (11%) e MP_{2-10} (8%), ou seja, houve 89% e 92%, respectivamente, de outros constituintes não analisados. Não obstante, os íons solúveis representaram um percentual menor da massa do

MP2-10 e MP<2 em relação a outros trabalhos realizados na cidade de SJC, os quais encontraram em média 21% e 28 % de íons solúveis no MP2,5-10 e MP_{≤2,5}, respectivamente (SOUZA et al., 2010, 2011), enquanto no presente trabalho este percentual foi de 11% e 17% para cada fração do MP10, respectivamente. Diante disso, visto que estudos sugerem que o risco do MP10 sobre a saúde deve-se a fração carbonácea e metais (GAN et al., 2013; MCCracken et al., 2010; CAO et al., 2012) e que o município de SJC está localizado entre grandes rodovias e conta com importante indústria de refinaria petroquímica; ressalta-se a importância em estender as análises para estes constituintes do MP10, em suas diferentes frações, e num período mais longo, para que os efeitos da poluição no município de SJC possam ser melhor elucidados.

Vale ressaltar que os dados ambientais utilizados neste estudo não tinham como propósito inicial serem utilizados em estudos na área da saúde. Assim, há limitações quanto às espécies químicas do MP10 de maior interesse epidemiológico; embora ainda note-se incerteza sobre quais constituintes químicos do MP10 de fato comprometem a saúde. Segundo Reiss et al. (2007), a evidência de risco a saúde obtida em estudos toxicológicos, com as espécies químicas de SO₄²⁻ e NO₃⁻, não sustenta a associação causal relatada em estudos epidemiológicos. Isto porque as concentrações testadas em estudos toxicológicos são muito superiores as concentrações ambientais. Porém, recentemente especialistas das principais instituições do mundo conduziram uma importante pesquisa de revisão de artigos toxicológicos. Cassee et al. (2013) concluíram que o *Black Carbon* pode não ser o principal componente tóxico do MP_{≤2,5}, mas que ele pode atuar como um carreador universal de ampla variedade de constituintes químicos derivados da combustão (tais como metais de transição e fração orgânica semi volátil) de variável toxicidade para alvos sensíveis do corpo humano como pulmões, células maiores de defesa e, possivelmente, para a circulação arterial sistêmica. Não obstante, embora haja poucos estudos toxicológicos referentes aos constituintes inorgânicos de SO₄²⁻ e NO₃⁻, não se pode excluir que estas espécies secundárias produzam um efeito biológico interativo com outros constituintes, como metais e partículas orgânicas, influenciando assim a biodisponibilidade de outros componentes, como os metais.

Embora as publicações científicas relacionem a poluição com efeitos na saúde, a comparação desses achados nem sempre é possível devido ao uso de diferentes métodos, desfechos e faixas etárias (NARDOCCI et al., 2013). Além disso, observa-se muita variabilidade nas associações e estimativas dos constituintes químicos e frações do MP10. Segundo Son et al.

(2012), as variações na composição química do material particulado podem afetar os riscos na saúde e explicar porque o efeito estimado difere por local de estudo. Já para Akhtar et al. (2014) a resposta biológica provavelmente pode ser causada pelo efeito combinado de diferentes propriedades físico-químicas das partículas, como massa, tamanho, superfície de área e composição química. Portanto, estes padrões complexos impedem fazer generalizações simples e ambas propriedades físico-químicas devem ser consideradas ao explicar a toxicidade do MP10. Em seu estudo realizado com células do epitélio alveolar de tecido humano, *in vitro*, a resposta biológica, quanto a defesa antioxidante, pró-inflamatória e morte celular, foi relacionado aos efeitos combinados do tamanho e composição química do particulado. Todas as frações de tamanho exibiram efeitos biológicos diferentes em relação ao estresse oxidativo, resposta inflamatória e morte celular. Partículas grossas exibiram maior resposta citotóxica do que partículas finas e ultrafinas, enquanto a resposta antioxidante e inflamatória foram tão altas para partículas ultrafinas quanto para partículas grossas e finas.

Outra questão a ser considerada neste estudo trata-se da necessidade, ou não, em ajustar as análises para os poluentes gasosos. Segundo Pun et al. (2014), é importante que seja investigado o potencial efeito de confusão dos poluentes gasosos sobre as associações observadas, visto que em seu estudo o ajuste para copoluentes gasosos diminuiu o efeito do MP10. Por outro lado, Cao et al. (2012) não observaram alteração na associação positiva ao incluir NO₂ e SO₂ no modelo. No presente estudo, decidiu-se não ajustar o modelo aos poluentes gasosos pelo fato do estudo ter sido realizado em um período de tempo relativamente pequeno; o ajuste levaria a perda de mais graus de liberdade e, portanto, as estimativas poderiam ter perda do poder estatístico.

Embora o presente estudo tenha sido realizado com dados coletados em apenas um local é possível considerar os resultados como representativos para o município. Segundo a Diretoria de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental (2002), uma escala espacial de representatividade para um determinado poluente, refere-se à extensão da parcela de ar no entorno da estação de monitoramento que apresenta concentrações relativamente uniformes e similares às concentrações medidas na estação. Contudo, uma estação é classificada como urbana, em termos do uso do solo e população exposta, quando não está localizada próxima a fontes específicas e, portanto, quando representa as concentrações de fundo da área urbana como um todo. Ainda, de acordo com o Decreto Estadual nº 59113/2013, uma escala urbana refere-se à representatividade espacial de cidades ou regiões metropolitanas numa ordem de 4

a 50 km. Nesse contexto, se considerarmos o raio de abrangência de 10 Km do ponto de coleta e que os ventos predominantes na cidade de SJG foram de sudoeste e nordeste, em cujas regiões se encontram as porções urbanas do município e a rodovia Presidente Dutra, acredita-se que o sistema de coleta do INPE é representativo da qualidade do ar a qual a população está exposta, no que se refere aos níveis de MP10.

Vários outros estudos utilizaram dados de MP10 coletados de único monitor tanto para a análise da qualidade do ar (SOUZA et al., 2010, 2011; MIRANDA; TOMAZ, 2008) quanto para estudos epidemiológicos na avaliação do impacto na saúde (KIM et al., 2012; NARDOCCI et al., 2013). Nardocci et al. (2013) avaliaram os efeitos da poluição na saúde da população de Cubatão, SP, a partir de dados do monitor central da cidade, excluindo das análises dados de outros dois monitores, por julgá-lo mais representativo da exposição da população e, portanto, por propiciar uma estimativa mais realista. Kim et al. (2012) avaliaram os efeitos do $MP_{\leq 2,5}$ e admissão hospitalar por doenças cardiovasculares e respiratórias em Denver, Colorado, a partir de um monitor localizado numa área residencial por este representar a concentração residencial e não ser influenciado por fontes de emissão próxima. Aproximadamente, 90 % da população avaliada viviam a 25 Km de distância do local do monitor. Malig et al. (2013) limitaram o estudo aos moradores que residiam num raio de 20 Km do monitor e verificaram que não há diferença estatisticamente significativa entre aqueles que estavam a 10 ou 20 km de distância do monitor.

O fato das concentrações do MP10 observadas pela estação do INPE serem menores em relação as da CETESB, possivelmente deve-se as características de cada um dos sistemas de coleta utilizado assim como a altura em que se deu a amostragem. A coleta das amostras de MP10 na estação da CETESB se deu por um sistema automático numa faixa de altura entre 3 a 4 metros, enquanto a do INPE foi por sistema manual a cerca de 20 metros acima do solo, representando, possivelmente, a concentração de fundo do local. Além disso, o MP10 coletado pela estação do INPE foi composto em 66% por MP2-10, que difere dos observados por outros estudos (SOUZA et al., 2010, 2011) bem como aos resultados obtidos pela CETESB em cidades nas quais é monitorado o $MP_{\leq 2,5}$. Este comportamento pode ter sido influenciado pelo sistema do INPE fracionar em $MP_{< 2}$ e MP2-10. Portanto, podemos sugerir que parte do $MP_{\leq 2,5}$ pode ter sido retida no filtro de coleta do MP2-10 e, assim, ter contribuído por sua maior concentração. No entanto, tal característica deve ser melhor avaliada visto que este comportamento também pode ser peculiar do local de estudo. Estudo

envolvendo 35 cidades da Califórnia, EUA, também observou regiões com concentrações maiores de $MP_{2,5-10}$ em relação a $MP_{\leq 2,5}$ (MALIG et al., 2013).

É importante salientar que os estudos têm evidenciado efeitos adversos do MP_{10} mesmo em concentrações dentro dos limites atualmente aceitáveis pela OMS. Recentemente foi publicado o primeiro estudo multicêntrico de longo período referente a exposição de poluentes do ar e mortalidade em 22 coortes de 13 países da Europa. Os resultados indicaram que o $MP_{\leq 2,5}$ foi o poluente com associação mais consistente com mortalidade de causa natural; a cada $5 \mu g/m^3$ o risco foi 1,07 (IC95%:1,02-1,13) (BEELEN et al., 2014). Para Langrish e Mills (2014) apesar das melhorias da qualidade do ar nos últimos 50 anos, estes dados juntamente com outros estudos chamam atenção para que novas intervenções políticas ambientais e de saúde pública sejam tomadas para redução da morbidade e mortalidade. Ainda, o movimento em direção as diretrizes mais rigorosas, como recomendado pela OMS, deve ser uma prioridade urgente. De modo geral, estudos têm ressaltado que o estabelecimento de políticas públicas que visem reduzir $MP_{\leq 2,5}$ e $MP_{2,5-10}$ resultará em benefícios para saúde pública (LEPEULE et al., 2012; MALIG et al., 2013).

O presente estudo, assim como o de Amâncio e Nascimento (2012), está em concordância com estas evidências, visto que as estimativas observadas indicam que o MP_{10} e suas frações, mesmo nas concentrações na faixa aceitável perante a legislação CONAMA/1990, contribuíram para o aumento do risco das internações por causas específicas. Além disso, vale ressaltar que os padrões nacionais ainda estão muito acima dos padrões estabelecidos pela OMS. A legislação vigente no âmbito Nacional para os poluentes da atmosfera foram estabelecidos por meio da Resolução CONAMA Nº 03/90 (CONAMA, 1990) e, portanto, está desatualizada a mais de 20 anos. Os valores para MP_{10} determinados pelo CONAMA/1990 são três vezes superiores ao recomendado pela OMS. Não obstante, não há legislação e monitoramento para $MP_{\leq 2,5}$. Contudo, apenas recentemente foram estabelecidos novos padrões de qualidade do ar compatíveis aos recomendados pela OMS; porém, aplicado apenas para o estado de São Paulo (DECRETO nº 59.113 de abril de 2013).

Diante a variabilidade das estimativas referentes aos efeitos dos constituintes e fontes do MP_{10} na saúde, é importante que se estenda as redes de monitoramento e estudos das frações e constituintes químicos para, assim, fornecer evidências científicas a fim de propor revisão da legislação atualmente vigente. Isto porque os resultados observados em determinado local

não podem ser generalizados para outros locais e períodos de tempo, já que num mesmo local a composição química do particulado pode mudar ao longo do tempo devido a mudanças nas fontes (BELL et al., 2014). Há sugestão de que as políticas destinadas aos tipos de fontes possam ser mais eficazes para proteger a saúde do que os regulamentos destinados a concentração em massa do particulado (BELL et al., 2009).

Nesse contexto, percebe-se, no Brasil, uma deficiência na formulação, implementação e avaliação de políticas públicas no âmbito da poluição atmosférica como problema de saúde pública. Embora medidas de controle das emissões, como o Programa de Controle das Emissões de Indústria e o Programa de Controle das Emissões Veiculares contribuam para a diminuição da poluição nas grandes cidades como São Paulo, o modelo de desenvolvimento econômico do país e estilo de vida da sociedade moderna contribuiu para que os veículos automotores se tornassem atualmente a principal fonte de poluição do ar em áreas urbanas. Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) verifica-se que a partir de 2006 houve uma interrupção na tendência de queda dos níveis de material particulado inalável (MP10), sendo que a estabilidade observada nos últimos anos parece indicar que, mesmo com as emissões veiculares cada vez mais baixas, estas são suficientes apenas para compensar o aumento da frota e o comprometimento das condições de tráfego (CETESB, 2012). Segundo dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), em dez anos a frota de veículos dobrou. Em abril de 2013 foram registrados mais de 77 milhões de veículos, dos quais 55,9% são automóveis, 22,2% motocicletas e apenas 0,67% da frota total correspondem a ônibus. O Estado de São Paulo conta com mais de 30% da frota nacional (23 milhões), sendo 63,4% automóveis e 0,60% ônibus (DENATRAN, 2013). Diante deste cenário, é notório o impacto negativo na vida dos cidadãos que além de enfrentar os grandes congestionamentos convivem com a degradação da qualidade do ar devido às emissões de gases e particulados nocivos à saúde e ao meio ambiente.

Considerando que atualmente a principal fonte de poluição atmosférica nos centros urbanos são os veículos (CETESB, 2012), e que o aumento da frota de veículos é um problema que compromete não apenas os grandes centros, mas também pequenas e médias cidades, muitas das quais sem rede de monitoramento da qualidade do ar é necessário que haja expansão da rede de monitoramento, bem como a atualização dos padrões ainda vigentes em âmbito nacional. Tais medidas são necessárias para que se possam elaborar políticas públicas que visem condições melhores e seguras para a saúde da população. Segundo Cassee et al.

(2013), para reduzir a poluição do ar e o risco associado a saúde é necessário que as ações das autoridades públicas ocorram a nível regional, nacional e internacional e que envolvam uma abordagem multisetorial com órgãos competentes, tais como transporte, habitação, produção de energia e indústria.

7 CONCLUSÃO

Os resultados corroboram com as evidências científicas de que os riscos para diferentes causas variam em relação à fração do MP10 e sua composição química. Observou-se associação entre MP2-10 apenas com doenças respiratórias em crianças e idosos e MP<2 com doenças respiratórias em crianças e doenças circulatórias em idosos;

As crianças foram mais sensíveis aos constituintes químicos da fração MP2-10 do que os idosos, com exceção do NH_4^+ todos os constituintes foram associados a doenças respiratórias em crianças enquanto apenas SO_4^{2-} foi associado com idosos. Por outro lado, os idosos foram mais sensíveis aos constituintes do MP<2 para doenças circulatórias, observaram-se associação com o SO_4^{2-} , NH_4^+ e K^+ ;

Os níveis diários de concentração de MP10 observada pela estação de coleta do INPE retrataram a concentração de fundo do local de estudo, porém o comportamento de distribuição ao longo do período de estudo foi semelhante ao observado pela estação da CETESB. As estimativas do RR obtidas a partir de dados de ambas as estações foram semelhantes nos grupos dos idosos, mas não para as crianças cuja associação não foi observada para os dados da CETESB;

Sugere-se que crianças e idosos residentes no município de SJC estejam expostos aos riscos do MP<2 e MP2-10. Porém, para valer-se de estimativas de maior confiabilidade, há necessidade da disponibilização de dados para os demais constituintes químicos de ambas as frações do MP10 por um período de tempo maior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMSON, I.Y.R.; PRIEDITIS, H.; VINCENT, R. Pulmonary Toxicity of an Atmospheric Particulate Sample Is Due to the Soluble Fraction. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 157, p. 43–50, 1999.

AKHTAR, U.S. et al. The combined effects of physicochemical properties of size-fractionated ambient particulate matter on in vitro toxicity in human A549 lung epithelial cells. **Toxicology Reports**, v.1, p.145–156, 2014.

ALVES, C. Aerossóis atmosféricos: perspectiva histórica, fontes, processos químicos de formação e composição orgânica. **Quim. Nova**, v.28, n.5, p.859-870, 2005.

AMÂNCIO, C.T; NASCIMENTO, L.F.C. Asma e poluentes ambientais: um estudo de séries temporais. **Rev Assoc Med Bras**, v.58, n.3, p.302-307, 2012.

AMATULLAH, H. et al. Comparative cardiopulmonary effects of size-fractionated airborne particulate matter. **Inhalation Toxicology**, v.24, n.3, p.161–171, dec. 2012.

ANDRADE FILHO, V.S. et al. Aerossóis de queimadas e doenças respiratórias em crianças, Manaus, Brasil. **Rev Saúde Pública**, v.47, n.2, p.239-47, 2013.

ARTÍÑANO, B. et al. Influence of traffic on the PM10 and PM2.5 urban aerosol fractions in Madrid (Spain). **Science of the Total Environment**, p. 111– 123, 2004.

BAKONYI, S.M.C. et al. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. **Rev Saúde Pública**, v.38, n.5, p.695-700, 2004.

BEELEN et al. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. **The Lancet**, v.383, n.9919, p.785-795, mar. 2014.

BELL, M.L et al. Spatial and Temporal Variation in PM2.5 Chemical Composition in the United States for Health Effects Studies. **Environmental Health Perspectives**, v.115, n.7, p.989-995, jul. 2007.

BELL, M.L. et al. Associations of PM2.5 Constituents and Sources with Hospital Admissions: Analysis of Four Counties in Connecticut and Massachusetts (USA) for Persons ≥ 65 Years of Age. **Environmental Health Perspectives**, v.122, n.2, p.138-144, feb. 2014.

BELL, M.L. et al. Hospital Admissions and Chemical Composition of Fine Particle Air Pollution. **Am J Respir Crit Care Med**, v.179, p.1115-1120, mar. 2009.

BELL, M.L.; SAMET, J.M.; DOMINICI, F. Time-Series Studies of Particulate Matter. **Annu. Rev. Public Health**, v.25, p.247-280, 2004.

BERNABÉ, J.M. et al. Mineralogy and origin of atmospheric particles in the industrial area of Huelva (SW Spain). **Atmospheric Environment**, v. 39, p.6777–6789, 2005.

BRAGA, A. et al. Poluição atmosférica e saúde humana. **REVISTA USP**, n.51, p.58-71, set/Nov. 2001.

BREED, C.A., et al. Possible sources of PM10 in Prince George (Canada) as revealed by morphology and in situ chemical composition of particulate. **Atmospheric Environment**, v.36, p.1721–1731, 2002.

BRUNEKREEF, B.; FORSBERG, B. Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health. **European Respiratory Journal**, v.26, n.2, p.309-318, 2005.

CAO, J. et al. Fine Particulate Matter Constituents and Cardiopulmonary Mortality in a Heavily Polluted Chinese City. **Environmental Health Perspectives**, v.120, n.3, p.373-378, mar. 2012.

CASSEE, F.R. et al. Particulate matter beyond mass: recent health evidence on the role of fractions, chemical constituents and sources of emission. **Inhal Toxicol**, v.25, n.14, p.802–812, dec. 2013.

CASTRO, H.A.; GOUVEIA, N.; CEJUDO, J.A.E. Questões metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde. **Rev. Bras. Epidemiol.** v.6, n.1, p.1-15, 2003.

CENGIZ, M.A.; TERZI, Y. Comparing models of the effect of air pollutants on hospital admissions and symptoms for chronic obstructive pulmonary disease. **Cent Eur J Public Health**, v.20, n.4, p.282–286, 2012.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA (CEPAGRI). **Clima dos Municípios Paulistas**. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_560.html. Acesso em: 17 fev 2010.

CLASSIFICAÇÃO INTERNACIONAL DE DOENÇAS (CID-10). Disponível em: <<http://apps.who.int/classifications/icd10/browse/2010/en#/IX>>. Acesso em: 02 nov 2013.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB)a. Qualidade do ar. **Redes de monitoramento**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/Informa??es-B?sicas/23-Redes-de-Monitoramento>>. Acesso em: 5 mar 2013.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Qualidade do ar no estado de São Paulo. **Série Relatórios 2011**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>>. Acesso em: 5 mar 2013.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Qualidade do ar no estado de São Paulo 2012. **Série Relatórios 2012**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-%20publicacoes-e-relatorios>>. Acesso em: 10 ago 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Qualidade do ar no estado de São Paulo. **Série Relatórios 2013**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>. Acesso em: 10 out 2014.

CONCEIÇÃO, G.M.S.; SALDIVA, P.H.N.; SINGER, J.M. Modelos MLG e MAG para análise da associação entre poluição atmosférica e marcadores de morbi-mortalidade: uma introdução baseada em dados da cidade de São Paulo. **Rev. Bras. Epidemiol.** v.4, nº3, p. 206-219, 2001.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução/conama/N.º 003 de 28 de junho de 1990. Publicada no D.O.U, de 22/08/90, Seção I, p. 15.937 a 15.939. Disponível em: <http://www.ibram.df.gov.br>. Acesso em: 14 ago 2009.

DALAROSSA, J. et al. Study of the chemical elements and polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric particles of PM10 and PM2.5 in the urban and rural areas of South Brazil. **Atmospheric Research**, v. 89, p. 76–92, 2008.

DATASUS. Disponível em: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php>. Acesso em: 02 nov 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). Frota de veículos, 2013. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/frota2013.htm>. Acesso em: 10 mai 2014.

DIRETORIA DE RECURSOS HÍDRICOS E ENGENHARIA AMBIENTAL (DRHEA). Departamento de Qualidade Ambiental. Divisão de Qualidade do Ar. Caracterização das Estações da rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar na RMSP; Estação São Caetano do Sul Fevereiro 2002. Disponível em: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsair/e/repindex/rep82/experien/expbra.htm>. Acesso em: 25 set 2014.

DOMINICI, F. et al. Fine Particulate Air Pollution and Hospital Admission for Cardiovascular and Respiratory Diseases. **Jama**, v. 295, n.10, p.1127-1134, mar. 2006.

FERREIRA, T.M.; FORTI, M.C.; ALVALÁ, P.C. Caracterização morfológica e química do material particulado atmosférico em uma região urbana: São José dos Campos. INPE, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/39PAU6H>>. Acesso: 24 abr 2014.

FERREIRA, T.M.; FORTI, M.C.; ALVALÁ, P.C. Protocolo para coleta de material particulado atmosférico. INPE, São José dos Campos, 2012. Disponível em: <http://mtc-m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2012/01.30.16.15/doc/publicacao.pdf>. Acesso: 24 abr 2014.

FIRKET, J. Fog along the Meuse valley. **Trans. Faraday Soc**, v.32, p.1192-1196, 1936 Disponível em: <http://pubs.rsc.org/sci-hub.org/en/Content/ArticleLanding/1936/TF/tf9363201192>. Acesso em: 31 dez 2014.

FLECHA, B.G. Oxidant mechanisms in response to ambient air particles. **Molecular Aspects of Medicine**, v.25, p.169–182, 2004.

FORTI, M.C; ALCAIDE, R.L.M. Protocolo de determinação de ânions inorgânicos em soluções aquosas por cromatografia iônica. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3B86KQ5>. Acesso em: 18 jun 2014.

FORTI, M.C; ALCAIDE, R.L.M. Protocolo de determinação de cátions inorgânicos em soluções aquosas por cromatografia líquida de íons. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3FJFPGL>. Acesso em: 02 jul 2014.

FORTI, M.C; ALCAIDE, R.L.M. Validação de métodos analíticos do Laboratório de Aerossóis, Soluções Aquosas e Tecnologias – LAQUATEC. INPE, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/39QJ7P2>. Acesso em: 18 jun 2014.

FREITAS, C. et al. Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. **Rev Saúde Pública**, v.38, n.6, p.751-7, 2004.

FREITAS, C.U. et al. Poluição do ar em cidades brasileiras: selecionando indicadores de impacto na saúde para fins de vigilância. **Epidemiol. Serv. Saúde**, v.22, n.3, p.445-454, jul./set. 2013.

FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIAS ESPACIAIS (FUNCATE). **Stradema web**. Disponível em: <http://strademaweb.funcate.org.br/STRADEMAWEB/>. Acesso em: 2012.

GAN, W.Q. et al. Associations of Ambient Air Pollution with Chronic Obstructive Pulmonary Disease Hospitalization and Mortality. **Am J Respir Crit Care Med**, v.187, n.7, p.721–727, apr. 2013.

GHIO, A.J.; CARRAWAY, M.S.; MADDEN, M.C. Composition of Air Pollution Particles and Oxidative Stress in Cells, Tissues, and Living Systems. **Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B**, v.15, p.1–21, 2012.

GODOY, M.L.D.P et al. Coarse and fine aerosol source apportionment in Rio de Janeiro, Brazil. **Atmospheric Environment**, v.43, p.2366–2374, 2009.

GOUVEIA, N. et al. Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no município de São Paulo, Brasil. **Cad. Saúde Pública**, v.22, n.12, p.2669-2677, dez. 2006.

GOUVEIA, N. et al. Poluição do Ar e Saúde em Duas Grandes Metrôpoles Brasileiras na Década de 90. **Informe Epidemiológico do SUS**, v.11, n.1, p.41-43, jan./mar. 2002.

GUALTIERI, M. et al. Winter fine particulate matter from Milan induces morphological and functional alterations in human pulmonary epithelial cells (A549). **Toxicology Letters**, v.188, p.52–62, mar. 2009.

HALONEN, J.I. et al. Particulate Air Pollution and Acute Cardiorespiratory Hospital Admissions and Mortality Among the Elderly. **Epidemiology**, v.20, n.1, p.143-153, jan. 2009.

HAPPO, M.S. et al. Chemical Compositions Responsible for Inflammation and Tissue Damage in the Mouse Lung by Coarse and Fine Particulate Samples from Contrasting Air Pollution in Europe. **Inhalation Toxicology**, v.20, p.1215-1231, 2008.

HASTIE, T.;TIBSHIRANI, R. Generalized Additive Models: Some Applications. **Journal of the American Statistical Association**, v.82, p.371-386, 1987.

HOPKE, P.K. et al. Characterization of the Gent Stacked Filter Unit PM10 Sampler. **Aerosol Science and Technology**, v.27, n.6, p.726-735, dec. 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 24 fev 2011.

INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE. **Avaliação do impacto da poluição atmosférica no estado de São Paulo sob a visão da saúde**. São Paulo, 2013. Disponível em: http://www.saudeesustentabilidade.org.br/site/wpcontent/uploads/2013/09/Documentofinalda_pesquisapadiao_2409-FINAL-sitev1.pdf. Acesso em: 10 ago 2014.

ITO, K. et al. Fine Particulate Matter Constituents Associated with Cardiovascular Hospitalizations and Mortality in New York City. **Environmental Health Perspectives**, v.119, n.4, p.467-473, apr. 2011.

JUNGER, Washington Leite. Análise, imputação de dados e interfaces computacionais em estudos de séries temporais epidemiológicas. 2008. 178 f. **Tese** (Doutorado em Saúde Coletiva) - Programa de Pós-graduação em Saúde Coletiva, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

KATSOUYANNI, K. et al. Short term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiologic time series data: the APHEA protocol. **Journal of Epidemiology and Community Health**, v.50, n1, p.S12-S18, 1996.

KIM, S.Y. et al. The Temporal Lag Structure of Short-term Associations of Fine Particulate Matter Chemical Constituents and Cardiovascular and Respiratory Hospitalizations. **Environmental Health Perspectives**. v.120, n.8, p.1094-1099, aug. 2012.

KRALL, J.R. et al. Short-term Exposure to Particulate Matter Constituents and Mortality in a National Study of U.S. Urban Communities. **Environmental Health Perspectives**, v.121, n.10, oct/sep. 2013.

KROLL, A. et al. In Vitro Toxicology of Ambient Particulate Matter: Correlation of Cellular Effects with Particle Size and Components. **Environ Toxicol**, v.28, n.2, p.76- 86, feb. 2013.

LANGRISH, J.P.; MILLS, N.L. Air pollution and mortality in Europe. **The Lancet**, v.383, p.758-760, mar. 2014.

LARA, L.L. et al. Properties of aerosols from sugar-cane burning emissions in Southeastern Brazil. **Atmospheric Environment**, v.39, p.4627–4637, 2005.

LEPEULE, J. et al. Chronic Exposure to Fine Particles and Mortality: An Extended Follow-up of the Harvard Six Cities Study from 1974 to 2009. **Environmental Health Perspectives**, v.120, n.7, p. 965-970, jul. 2012.

LOGAN, W.F. Mortality in the London fog incident, 1952. **Lancet**. v.14, p.336-8, 1953.

LOOMIS, D. et al. The carcinogenicity of outdoor air pollution. **The Lancet Oncology, News**, v.14, n.13, p.1262-1263, dec. 2013.

MALIG, B.J. et al. Coarse Particles and Respiratory Emergency Department Visits in Californi. **Am J Epidemiol**, v.178, n.1, p.58–69, 2013.

MARIANE R.L.; MELLO W.Z. PM_{2.5-10}, PM_{2.5} and associated water-soluble inorganic species at a coastal urban site in the metropolitan region of Rio de Janeiro. **Atmospheric Environment**, v.41, p.2887–2892, 2007.

MCCRACKEN, J. et al. Annual Ambient Black Carbon Associated with Shorter Telomeres in Elderly Men: Veterans Affairs Normative Aging Study. **Environmental Health Perspectives**, v.118, n.11, p.1564-1570, nov. 2010.

MEISTER, K.; JOHANSSON, C.; FORSBERG, B., Estimated Short-Term Effects of Coarse Particles on Daily Mortality in Stockholm, Sweden. **Environmental Health Perspectives**, v.120, n.3, p.431-436, mar. 2012.

MIRANDA R.; TOMAZ, E. Characterization of urban aerosol in Campinas, São Paulo, Brazil. **Atmospheric Research**, v.87, p.147–157, 2008.

MIRANDA R.; TOMAZ, E.Characterization of urban aerosol in Campinas, São Paulo, Brazil. **Atmospheric Environment**, v.87, p. 147–157, 2008

MIRANDA R.M.; ANDRADE M.F. Physicochemical characteristics of atmospheric aerosol during winter in the São Paulo Metropolitan area in Brazil. **Atmospheric Environment**, v.39, p. 6188–6193, 2005.

MOLLER, P. et al. Role of oxidative damage in toxicity of particulates. **Free Radical Research**, v.44, n.1, p.1–46, jan. 2010.

MOURA, M. et al. Qualidade do ar e transtornos respiratórios agudos em crianças. **Rev Saúde Pública**, v.42, n.3, p.503-511, 2008.

NARDOCCI, A.C. et al. Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: estudo de séries temporais em Cubatão, São Paulo, Brasil. **Cad. Saúde Pública**, v.29, n.9, p.1867-1876, set. 2013.

NASCIMENTO, L.F.C. et al. Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP. **Rev Saúde Pública**, v.40, n.1, p.77-82, 2006.

NASCIMENTO, P. S. R. Aspectos geomorfológicos do município de São José dos Campos (SP): Ênfase na área urbana. **Revista eletrônica do curso de geografia do campus avançado de Jataí-GO**, 2005. Disponível em: <www.jatai.ufj.br/geo/geoambiente.htm>. Acesso em: 25 ago 2009.

O VALE. S. José faz cadastramento para restringir ‘forasteiros’ na saúde. São José dos Campos. 25 fev. 2012. Caderno Nossa Região. Disponível em: <http://www.ovale.com.br/nossa-regi-o/s-jose-faz-cadastramento-para-restringir-forasteiros-na-saude-1.223717>. Acesso em: 08 ago 2015.

OLIVEIRA, B.F.A.; IGNOTTI, E.; HACON, S.S. A systematic review of the physical and chemical characteristics of pollutants from biomass burning and combustion of fossil fuels and health effects in Brazil. **Cad. Saúde Pública**, v.27, n.9, p.1678-1698, set. 2011.

OSTRO, B. et al. The effects of Components of Fine Particulate Air Pollution on Mortality in California: Results from CALFINE. **Environmental Health Perspectives**, v.115, n.1, p.13-19, jan. 2007.

OSTRO, B. et al. The effects of Fine particle Components on Respiratory Hospital Admissions in Children. **Environmental Health Perspectives**, v.117, n.3, p.475-480, mar. 2009.

PENG *et al.* “Coarse Particulate Matter Air Pollution and Hospital Admissions for Cardiovascular and Respiratory Diseases Among Medicare Patients”. **Jama**, 18 (299): 2172-2179, 2008.

PERRINO, C., et al. Inorganic constituents of urban air pollution in the Lazio region (Central Italy). **Environ Monit Assess**, v 136, p. 69–86, 2008.

PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. **Investidor: Parque**

Industrial. Disponível em: <www.sjc.sp.gov.br/investidor/pqindustrial.asp>. Acesso em: 16 ago 2009b.

PREFEITURA DA CIDADE DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. **Perfil Municipal: Caracterização do Território.** Disponível em: <www.sjc.sp.gov.br/acidade/caract_territorio.asp>. Acesso em: 16 ago 2009a.

PUN, V.C. et al. Short-Term Associations of Cause-Specific Emergency Hospitalizations and Particulate Matter Chemical Components in Hong Kong. **Am J Epidemiol**, v.179, n.9, p.1086–1095, 2014.

RAVINDRA, K., et al. Chemical characterization and multivariate analysis of atmospheric PM_{2.5} particles. **J AtmosChem**, v.59, p.199–218, 2008.

REISS, R. et al. Evidence of Health Impacts of Sulfate- and Nitrate-Containing Particles in Ambient Air. **Inhalation Toxicology**, v.19, p.419–449, 2007.

ROMIEU, I.; GOUVEIA, N.; CIFUENTES, L.A. Multicity Study of Air Pollution and Mortality in Latin America (the ESCALA Study). Research Report 171. **Health Effects Institute**, Boston, MA, 2012.

SÃO PAULO. Decreto nº 59.113 de 23 de abril de 2013. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/ar/decreto-59113de230413.pdf>. Acesso em: 05 ago 2014.

SCHWARTZ, J. et al. Methodological issues in studies of air pollution and daily counts of deaths or hospital admissions. **Journal of Epidemiology and Community Health**, v.50, n. 1, p.S3-S11, 1996.

SEINFELD, J.H. Air Pollution: A Half Century of Progress. **American Institute of Chemical Engineers Journal**, v. 50, n. 6, p.1096-1108, Jun. 2004.

SILLANPÄÄ, M. et al. Chemical composition and mass closure of particulate matter at six urban sites in Europe. **Atmospheric Environment**, v.40, p.S212–S223, 2006.

SLEZAKOVA, K. et al. Influence of traffic emissions on the composition of atmospheric particles of different sizes – Part 1: concentrations and elemental characterization. **J Atmos Chem**, v.58, p.55–68, 2007.

SON, J.Y. et al. Characterization of Fine Particulate Matter and Associations between Particulate Chemical Constituents and Mortality in Seoul, Korea. **Environmental Health Perspectives**, v.120, n.6, jun. 2012.

SOUZA, P.A. et al. Caracterização do Material Particulado Fino e Grosso e Composição da Fração Inorgânica Solúvel em água em São José dos Campos (SP). **Quim. Nova**, v.33, n.6, p.1247-1253, 2010.

SOUZA, P.A. et al. Variações temporais do Material Particulado Inalável fino e grosso e íons inorgânicos solúveis em São José dos Campos, SP. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.29, n.1, p.71-82, 2011.

STAFOGGIA, M. et al. Short-term Associations between Fine and Coarse Particulate Matter and Hospitalizations in Southern Europe: Results from the MED-PARTICLES Project. **Environmental Health Perspectives**, v.121, n.9, p.1026-1033, sep. 2013.

TOLEDO, G.I.F.M; NARDOCCI, A.C. Poluição veicular e saúde da população: uma revisão sobre o município de São Paulo (SP), Brasil. **Rev Bras Epidemiol**, v.4, n.3, p.445-54, 2011.

TOLEDO, V.E. et al. Evaluation of levels, sources and distribution of toxic elements in PM10 in a suburban industrial region, Rio de Janeiro, Brazil. **Environ Monit Assess**, v.139, p.49–59, 2008.

VALAVANIDIS, A. et al. Pulmonary Oxidative Stress, Inflammation and Cancer: Respirable Particulate Matter, Fibrous Dusts and Ozone as Major Causes of Lung Carcinogenesis through Reactive Oxygen Species Mechanisms. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v.10, p. 3886-3907, aug. 2013.

VASCONCELLOS, P.C. et al., Water-Soluble Ions and Trace Metals in Airborne Particles Over Urban Areas of the State of São Paulo, Brazil: Influences of Local Sources and Long Range Transport. **Water Air Soil Pollut**, v.186, p.63–73, 2007.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). 7 million premature deaths annually linked to air pollution. **News release**. Disponível em:<<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>>. Acesso em: 25 mar 2014.

ZANOBETTI, A. et al. Fine particulate air pollution and its components in association with cause-specific emergency admissions. **Environmental Health**, v.58, n.8, p.1-12, dec. 2009.

ZHOU, J. et al. Time-Series Analysis of Mortality Effects of Fine Particulate Matter Components in Detroit and Seattle. **Environmental Health Perspectives**, v.4, n.119, p.461-466, apr. 2011.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Gráficos da temperatura e umidade contra os resíduos do modelo para cada internação avaliada

Figura 1– Efeito da temperatura mínima sobre os resíduos do modelo de internação por doenças respiratórias em crianças (≤ 5 anos) em diferentes defasagens.

Figura 2 – Efeito da temperatura mínima sobre os resíduos do modelo de internação por doenças respiratórias em idosos (≥ 60 anos) em diferentes defasagens.

Figura 3 – Efeito da temperatura mínima sobre os resíduos do modelo de internação por doenças circulatórias em idosos (≥ 60 anos) em diferentes defasagens.

Figura 4 – Efeito da umidade mínima sobre os resíduos do modelo de interação por doenças respiratórias em crianças (≤ 5 anos) em diferentes defasagens.

Figura 5 – Efeito da umidade mínima sobre os resíduos do modelo de interação por doenças respiratórias em idosos (≥ 60 anos) em diferentes defasagens.

Figura 6 – Efeito da umidade mínima sobre os resíduos do modelo de internação por doenças circulatórias em idosos (≥ 60 anos) em diferentes defasagens.

APÊNDICE B – Análise descritiva para o banco de dados original

Tabela 1 – Estatística descritiva dos poluentes, coletados pela estação do INPE, São José dos Campos, Brasil, 2010-2011.

Parâmetros	N (dias)	Média	DP	Valor mínimo	P25	P50	P75	Valor máximo
Material Particulado Inalável ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
MP<2	282	4,58	2,53	0,22	2,71	4,22	6,05	15,12
MP2-10	282	8,79	5,68	0,09	4,43	7,32	11,76	29,65
MP10	282	13,36	7,34	0,65	7,83	11,91	17,13	36,82

APÊNDICE C – Análise descritiva para o banco de dados original

Tabela 2– Estatística descritiva dos constituintes químicos da fração fina (MP<2) e fração grossa (MP2-10), São José dos Campos, Brasil, 2010-2011.

Parâmetros	N (dias)	*1/2 LQ (%)	Média	DP	Valor mínimo	P25	P50	P75	Valor máximo
MP<2 (ng/m ³)									
Cl ⁻	263	223 (85)	41,91	25,93	0,73	35,71	39,69	43,58	188,03
NO ₃ ⁻	263	94 (36)	88,59	93,74	3,67	34,82	45,97	114,11	599,02
SO ₄ ²⁻	263	20 (8)	426,21	345,89	0,62	164,90	343,67	614,03	1957,47
Na ²⁺	263	72 (27)	43,22	44,50	1,36	20,86	24,86	47,93	285,58
NH ₄ ⁺	263	27 (10)	109,88	105,93	0,28	43,22	65,35	144,47	636,81
K ⁺	263	43 (16)	28,37	26,23	0,11	9,74	24,46	32,10	208,57
Ca ²⁺	263	144 (55)	56,96	62,28	0,14	31,88	37,18	58,26	542,33
Mg ²⁺	263	87 (33)	16,27	15,34	0,05	3,00	10,83	30,15	88,36
MP2-10 (ng/m ³)									
Cl ⁻	263	54 (21)	91,65	135,09	2,05	32,09	43,84	95,56	1073,95
NO ₃ ⁻	263	21 (8)	303,70	322,61	5,24	85,61	229,83	422,08	3566,54
SO ₄ ²⁻	263	47 (18)	167,22	164,33	0,18	60,32	118,21	225,80	1286,44
Na ²⁺	263	38 (14)	85,25	115,22	1,24	22,94	46,92	104,98	1006,51
NH ₄ ⁺	263	147 (56)	50,93	74,03	0,82	20,45	46,68	52,66	896,13
K ⁺	263	24 (9)	34,22	41,04	0,62	12,14	23,43	37,27	282,84
Ca ²⁺	263	15 (6)	182,65	186,62	7,58	66,09	139,31	248,43	2157,75
Mg ²⁺	263	5 (2)	30,21	25,77	0,21	12,91	26,49	42,43	307,35

*número e percentual de valores não detectados os quais foram atribuídos metade do limite de quantificação (LQ).

APÊNDICE D – Percentual mensal dos íons solúveis no MP<2 e MP2-10

Figura 7 – Contribuição percentual dos íons solúveis na massa para a fração MP<2 e MP2-10 em cada mês de estudo no período entre 05/03/2010 a 17/02/2011.

APÊNDICE E – Gráficos *box plot* para os dados de poluentes e interações

Figura 8 – Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) diária de MP10 e suas frações fina (MP<2) e grossa (MP2-10) coletada pela estação de monitoramento do INPE e MP10 coletado pela estação da CETESB.

*Estação de monitoramento da CETESB

Figura 9 – Concentração (ng/m^3) diária dos constituintes químicos inorgânicos (ânions) nas frações fina (MP<2) e grossa (MP2-10) obtida pela estação de monitoramento do INPE.

Figura 10 – Concentração (ng/m³) diária dos constituintes químicos inorgânicos (cátions) nas frações fina (MP<2) e grossa (MP2-10) obtida pela estação de monitoramento do INPE.

Figura 11 – Número diário das internações hospitalares por doenças circulatórias e respiratórias em idosos (≥ 60 anos) e doenças respiratórias em crianças (≤ 5 anos).

APÊNDICE F – Gráficos dos Riscos Relativos obtidos a partir de modelos de defasagem distribuída polinomiais para a massa de MP10 e frações

Figura 12 – Percentual do Risco Relativo, por intervalo e acumulado de 5 dias, para o aumento em $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP<2, MP2-10 e MP10 em internações por doenças respiratórias em crianças (≤ 5 anos).

*= MP10 coletado pela CETESB

Figura 13 – Percentual do Risco Relativo, por intervalo e acumulado de 5 dias, para o aumento em $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP<2, MP2-10 e MP10 em internações por doenças respiratórias em idosos (≥ 60 anos).

*= MP10 coletado pela CETESB

Figura 14 – Percentual do Risco Relativo, por intervalo e acumulado de 5 dias, para o aumento em $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP<2, MP2-10 e MP10 em internações por doenças respiratórias em idosos (≥ 60 anos).

*= MP10 coletado pela CETESB

APÊNDICE G – Gráficos dos Riscos Relativos obtidos a partir de modelos de defasagem distribuída polinomiais para os constituintes químicos

Figura 15 – Percentual do Risco Relativo, por intervalo e acumulado de 5 dias, para o aumento em 10 ng/m^3 de cada constituinte químico de $\text{MP}_{<2}$ nas internações por doenças respiratórias em crianças (≤ 5 anos).

Figura 16 – Percentual do Risco Relativo, por intervalo e acumulado de 5 dias, para o aumento em 10 ng/m^3 de cada constituinte químico de MP2-10 nas internações por doenças respiratórias em crianças (≤ 5 anos).

Figura 17 – Percentual do Risco Relativo, por intervalo e acumulado de 5 dias, para o aumento em 10 ng/m³ de cada constituinte químico de MP<2 nas internações por doenças respiratórias em idosos (≥60 anos).

Figura 18 – Percentual do Risco Relativo, por intervalo e acumulado de 5 dias, para o aumento em 10 ng/m³ de cada constituinte químico de MP2-10 nas internações por doenças respiratórias em idosos (≥60 anos).

Figura 19 – Percentual do Risco Relativo, por intervalo e acumulado de 5 dias, para o aumento em 10 ng/m^3 de cada constituinte químico de MP_{2.5} nas interações por doenças circulatórias em idosos (≥ 60 anos).

Figura 20 – Percentual do Risco Relativo, por intervalo e acumulado de 5 dias, para o aumento em 10 ng/m^3 de cada constituinte químico de MP2-10 nas internações por doenças circulatórias em idosos (≥ 60 anos).

APÊNDICE H – Coeficientes de correlação entre os poluentes analisados

Tabela 3 – Coeficientes de correlação entre os constituintes químicos e massa das frações MP<2 e MP2-10.

	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ²⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
MP<2	0,00	0,04	0,56	-0,03	0,39	0,63	0,12	-0,05
Cl ⁻		0,26	-0,12	0,25	-0,10	0,02	0,28	0,28
NO ₃ ⁻			0,22	0,56	0,21	0,06	0,31	0,22
SO ₄ ²⁻				0,12	0,86	0,32	0,03	-0,17
Na ²⁺					0,04	-0,08	0,05	0,03
NH ₄ ⁺						0,22	-0,04	-0,14
K ⁺							0,17	0,12
Ca ²⁺								0,14
Mg ²⁺								

	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ²⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
MP2-10	-0,08	0,46	0,45	0,04	0,12	0,24	0,57	0,46
Cl ⁻		0,07	-0,03	0,78	0,03	0,01	0,02	0,39
NO ₃ ⁻			0,63	0,51	0,28	0,41	0,79	0,84
SO ₄ ²⁻				0,25	0,19	0,26	0,45	0,48
Na ²⁺					0,18	0,21	0,35	0,71
NH ₄ ⁺						0,14	0,32	0,32
K ⁺							0,49	0,42
Ca ²⁺								0,83
Mg ²⁺								

em negrito: correlação estatisticamente significativa (p<0,05)

ANEXOS

ANEXO A – Principais rodovias que cortam a cidade de São José dos Campos

ANEXO B – Localização do município de SJC e das estações de monitoramento

ANEXO C – Rosas dos Ventos por mês e para o período total; direção (coluna da esquerda – em graus) e velocidade (coluna da direita – em m/s)

março/2010

abril/2010

maio/2010

junho/2010

julho/2010

agosto/2010

setembro/2010

outubro/2010

novembro/2010

dezembro/2010

janeiro/2011

fevereiro/2011

Período de estudo: 05/03/2010 a 17/02/2011