Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Nathalie Bastos Santos

Poluição do ar: doenças respiratórias e cardiovasculares, caso da região da Grande Tijuca - RJ

Rio de Janeiro

2013

Nathalie Bastos Santos

Poluição do ar: doenças respiratórias e cardiovasculares, caso da região da Grande Tijuca - RJ

Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Júlio Domingos Nunes Fortes

Coorientador: Prof. Dr. Washington Leite Junger

Rio de Janeiro

2013

CATALOGAÇÃO NA FONTE

UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

S237 Santos, Nathalie Bastos.
Poluição do ar: doenças respiratórias e cardiovasculares, caso da região da Grande Tijuca - RJ / Nathalie Bastos Santos. - 2013.
109 f.

Orientador: Júlio Domingos Nunes Fortes.
Coorientador: Washington Leite Junger
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental. 2. Poluição ambiental – Dissertações. 2. Tijuca (RJ) - Dissertações. I. Fortes, Júlio Domingos Nunes. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 504.5

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Nathalie Bastos Santos

Poluição do ar: doenças respiratórias e cardiovasculares. caso da região da Grande Tijuca - RJ

Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Sanitária e Ambiental.

Aprovado em: 05 de março de 2013.

Banca Examinadora:

_____

Prof. Dr. Júlio Domingos Nunes Fortes (Orientador)
Faculdade de Engenharia - UERJ

_____

Prof. Dr. Washington Leite Junger (Coorientador)
Instituto de Medicina Social - UERJ

_____

Prof. Dr. Eduardo Monteiro Martins
Faculdade de Engenharia - UERJ

_____

Profª. Drª. Simone Lorena Quitério
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RJ - IFRJ

Rio de Janeiro

2013

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, minha inspiração e força para continuar.

AGRADECIMENTOS

Aos meus amados pais Wilson Bertolino Santos *(in memoriam)* e Eridanir Bastos da Silva e Santos pela educação, amor e confiança que sempre depositaram em mim.

Ao meu querido irmão Daniel Bertolino Bastos Santos pelo amor e paciência, sempre me auxiliando, me apresentando livros e dados relevantes à minha pesquisa.

Ao meu namorado Guilherme Quintans, companheiro de todas as horas, pela paciência e por compreender minha ausência e nervosismo durante a conclusão da pesquisa.

À Laura Barbara de Oliveira pela atenção e dedicação ao longo do curso, sempre me incentivando e solícita diante de minhas dificuldades.

Ao Prof. Dr. Júlio Domingos Nunes Fortes, orientador desta pesquisa, pela valiosa orientação e enorme sabedoria para compreender e auxiliar na busca por saídas para contornar todas as dificuldades e adversidades encontradas, essenciais para realização desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Washington Leite Junger por sua dedicação, auxílio, atenção e sugestões muito valiosas para a realização da pesquisa.

Ao Prof. Dr. Eduardo Monteiro Martins por toda atenção, compreensão, paciência e sugestões durante a organização das ideias da pesquisa.

Ao Atuário Virlei da Silva Laranja pela sua valiosa colaboração durante a etapa de análises estatísticas dos dados, essencial para finalização da pesquisa.

Ao Prof. Dr. Ubirajara Aluízio de Oliveira Mattos pelos esclarecimentos e sugestões apresentados no exame de qualificação.

Ao corpo docente do departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, por todo o conhecimento transmitido.

Ao Instituto de Controle do Espaço Aéreo – ICEA pela atenção, cordialidade e fornecimento dos dados.

Ao DATASUS pela atenção e paciente auxílio na aquisição dados.

Por fim, à Deus por colocar essas pessoas em meu caminho, tornando possível a conclusão dessa pesquisa.

RESUMO

SANTOS, Nathalie Bastos. **Poluição do ar: Doenças respiratórias e cardiovasculares. Caso da Região da Grande Tijuca - RJ**. 2013. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

A poluição do ar é um problema de saúde pública nas grandes cidades, no Brasil e no mundo. As principais fontes de contaminação são as emissões dos veículos automotores, indústrias, usinas de energia, e as atividades humanas em geral, como a agricultura. Os objetivos deste estudo foram investigar as associações de curto prazo entre os níveis de material particulado (PM_{10}) e internações de crianças e idosos, devido a problemas respiratórios ou cardiovasculares em uma região ao leste do Rio de Janeiro cidade, conhecida como Grande Tijuca. Uma associação entre PM_{10} e os resultados obtidos sobre a população sensível foi encontrada na área de estudo.

Palavras-chave: Ar; Urbanização; Doença respiratória; Doença cardiovascular; Meio ambiente; Poluição; Tijuca.

ABSTRACT

Air pollution is a public health problem in major cities, in Brazil and the world. The main sources of contamination are emissions from motor vehicles, industries, power plants, and human activities in general, as agriculture. The aims of this study were investigating short-term associations between levels of particulate matter (PM10) and hospital admissions of children and elderly due to respiratory or cardiovascular disorders in a region to the East of the Rio de Janeiro city, known as Grande Tijuca. An association between PM_{10} and the targeted outcomes among the sensitive population was found in the study área.

Keywords: Air; Urbanization; Respiratory diseases; Cardiovascular diseases; Environment; Pollution; Tijuca.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema ilustrando fontes emissoras dos poluentes atmosféricos podendo ser: antrópicas, naturais, móveis e fixas ou estacionárias emitindo poluentes primários e a formação dos poluentes secundários (Fonte: Living in the Environment. Miller, 10th edition in Instituto do Ambiente, 2005).....20

Figura 2 - "Smog" em Londres em 1952 (Fonte: Moreira, 2004).....40

Figura 3 - Inversão Térmica (Fonte: http://ambiente.hsw.uol.com.br/inversao-termica.htm) 44

Figura 4 - Mapa de Localização da Grande Tijuca - RJ (Fonte: Elaborado com base nos dados disponíveis no IBGE - www.ibge.gov.br).....59

Figura 5 - Mapa de Relevo - Grande Tijuca - RJ (Fonte: Elaborado com base nos dados disponíveis no IBGE - www.ibge.gov.br) 60

Figura 6 - Mapa de Localização dos Pontos de Interesse - Grande Tijuca - RJ (Fonte: Elaborado com base nos dados disponíveis no IBGE - www.ibge.gov.br) 63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Taxas de emissão por tipo de fonte no Rio de Janeiro (x 1000 t/ano) (Fonte: INEA, 2009) 23

Tabela 2 - Listagem das estações de monitoramento da qualidade do ar do Rio de Janeiro e os parâmetros monitorados (Fonte: INEA, 2013) 61

Tabela 3 - População da Grande Tijuca por Faixa Etária (Fonte: IBGE – CENSO 2010) 64

Tabela 4 - Análise descritiva da contagem diária dos atendimentos em pronto socorro por doenças respiratórias e cardiovasculares, nas faixas etárias selecionadas. Grande Tijuca, Rio de Janeiro, Brasil, no período de 1º de janeiro de 2011 a 31 de dezembro de 2011. (Fonte: DATASUS, 2012) 72

Tabela 5 - Estatística descritiva das concentrações do material particulado inalável (PM10) e variáveis meteorológicas. Grande Tijuca, Rio de Janeiro, Brasil, no período de 1º de janeiro de 2011 a 31 de dezembro de 2011. (Fonte: ICEA, 2012; SMAC, 2012) 73

Tabela 6 - Tabela elaborada a partir do processamento do banco de dados no aplicativo R utilizando a biblioteca ARES para apreciação da análise descritiva das variáveis internação (var_resp0_4, var_resp_plus65, var_ circ_plus65), PM10, TEMP e Umidade. (Fonte: DATASUS, 2012; SMAC, 2012; ICEA, 2012) 74

Tabela 7 - Tabela elaborada a partir do processamento do banco de dados no aplicativo R utilizando a biblioteca ARES para apreciação da análise descritiva das variáveisde tempo (dias da semana, meses do ano). (Fonte: Biblioteca ARES, 2012) 75

Tabela 8 - Apresentação fatores finais do modelo estatístico. (Fonte: Biblioteca ARES) 78

Tabela 9 - Apresentação fatores finais do modelo estatístico. (Fonte: Biblioteca ARES) 81

Tabela 10 - Apresentação fatores finais do modelo estatístico. (Fonte: Biblioteca ARES) 84

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais substâncias consideradas como poluentes do ar e, as respectivas (Fonte: INEA – Relatório de Qualidade do Ar, 2009) 22

Quadro 2 - Padrão Nacional de Qualidade do Ar expresso na Resolução CONAMA nº 03/90 apresentando os poluentes legislados e seus respectivos padrões de emissão atmosférica (Fonte: MMA).....27

Quadro 3 - Critérios para Níveis de Qualidade do Ar em episódios agudos de poluição de acordo com a Resolução CONAMA 03/90 (Fonte: MMA) 28

Quadro 4 - Padrões de Qualidade do Ar adotados pela EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos e OMS - Organização Mundial de Saúde (Fonte: EPA - http://www.epa.gov/air/criteria. html, 2012; OMS - Relatório de Qualidade o Ar, 2005).....31

Quadro 5 - Poluentes monitorados, suas fontes emissoras e os efeitos na saúde da população que entra em contato com estes poluentes (Fonte: INEA – Relatório de Qualidade do Ar, 2009) 33

Quadro 6 - Matriz metodológica de estudos sobre poluição do ar e efeitos na saúde humana. 54

Quadro 6 - Matriz metodológica de estudos sobre poluição do ar e efeitos na saúde humana. (Continuação) 55

Quadro 7 - Percentuais de contribuição e principais vias. (Fonte: FEEMA, 2004). 58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico elaborado a partir do processamento do banco de dados no aplicativo R utilizando a biblioteca ARES para análise da concentração de PM10 ao longo do tempo. 74

Gráfico 2 - Número diário de atendimentos para internação por doenças respiratórias para faixa etária de 0 a 4 anos de idade entre janeiro de 2011 e dezembro de 2011. 76

Gráfico 3 - Gráfico da trajetória dos riscos relativos estimados dos efeitos do acréscimo de 10µg m-3 de PM10 na internação de crianças com idade de 0 a 4 anos, por doenças respiratórias, para variação de 5 dias..... 79

Gráfico 4 - Número diário de atendimentos para internação, por doenças respiratórias,depacientes com idade acima de 65 anos entre janeiro de 2011 e dezembro de 2011..... 80

Gráfico 5 - Gráfico da trajetória dos riscos relativos estimados dos efeitos do acréscimo de 10µg m-3 de PM10 na internação de idosos maiores de 65 anos, por doenças respiratórias, para variação de 5 dias. 82

Gráfico 6 - Número diário de atendimentos para internação por doenças cardiovasculares de pacientes com idade acima de 65 anos entre janeiro de 2011 e dezembro de 2011..... 83

Gráfico 7 - Gráfico da trajetória dos riscos relativos estimados dos efeitos do acréscimo de 10µg m-3 de PM10 na internação de idosos maiores de 65 anos, por doenças cardiovasculares, para variação de 5 dias... 85

LISTA DE SIGLAS

RMRJ	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
SMAC	Secretaria Municipal de Meio Ambiente
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério das Minas e Energia
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
EPA	Environmental ProtectionAgency
NAAQS	NationalAmbient Air Quality Standards
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
PRONAR	Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PROMOT	Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares
PTS	Partículas Totais em Suspensão
PI	Partículas Inaláveis
MP	Material Particulado
NO_2	Dióxido de Nitrogênio
SO_2	Dióxido de Enxofre
HC	Hidrocarbonetos
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
DETRAN	Departamento Estadual de Transito
OMS	Organização Mundial de Saúde
WHO	World Health Organization
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
SUS	Sistema Único de Saúde
ICEA	Instituto de Controle do Espaço Aéreo

DAR	Doença do Aparelho Respiratório
DAC	Doença do Aparelho Circulatório
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Économiques

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 15

1. **REFERENCIAL TEÓRICO** 20

1.1. **Fontes de Poluição Atmosférica** 20

1.2. **Legislação sobre poluição atmosférica** 24

1.3. **Comportamento químicodos principais poluentes atmosféricos e impactos no meio ambientee na saúde** *32*

1.3.1. *Material Particulado* 34

1.4. **Efeitos da poluição do ar na saúde humana** *36*

1.4.1. *Eventos críticos da poluição do ar* 38

1.4.2. *Processos de Urbanização* 42

1.5. **Estudos da poluição do ar nas grandes cidades e seus efeitos na saúde dos habitantes** *45*

1.6. **Modelagem estatística** *50*

2. **ESTUDO DE CASO: REGIÃO DA GRANDE TIJUCA - RJ** 56

2.1. **Área de estudo** 56

2.2. **Dados obtidos** 65

3. **ANÁLISE DOS DADOS** 67

3.1. **Modelagem estatística dos dados** 70

3.2. **Resultados e avaliação crítica** *72*

3.2.1. *Modelo 1 – Pacientes apresentando doença respiratória na faixa etária de 0 a 4 anos* 76

3.2.2. *Modelo 2 – Pacientes apresentando doença respiratória com idade acima de 65 anos* 80

3.2.3. *Modelo 3 – Pacientes apresentando doença cardiovascular com idade acima de 65 anos* 83

4. **CONCLUSÕES** 86

REFERÊNCIAS 88

APÊNDICE A - PACIENTES APRESENTANDO DOENÇA RESPIRATÓRIA NA FAIXA ETÁRIA DE 0 A 4 ANOS 97

APÊNDICE B - PACIENTES APRESENTANDO DOENÇA RESPIRATÓRIA COM IDADE ACIMA DE 65 ANOS 99
APÊNDICE C - PACIENTES APRESENTANDO DOENÇA CARDIOVASCULAR COM IDADE ACIMA DE 65 ANOS..... 101
APÊNDICE D - DIAGNÓSTICOS FINAIS DOS MODELOS..... 103

INTRODUÇÃO

O crescimento econômico deve se realizar, sem comprometer as futuras gerações, ou seja, suprir as necessidades atuais, preservando os recursos naturais, sem agredir o meio ambiente (BRUNDTLAND, 1987). No entanto, analisando a sociedade atual, é possível perceber que essa premissa não vem sendo seguida. Esse crescimento tem sido responsável por degradar cada dia mais o ambiente e as riquezas naturais de forma irracional, poluindo água, solo e ar.

Com a Revolução Industrial, houve uma exploração desenfreada dos recursos naturais, para obtenção de energia, pensando exclusivamente no crescimento econômico. Desse modo, ocorreu também o aumento em excesso de emissões de poluentes, proveniente da utilização da energia disponível, sem que houvesse preocupação com a questão ambiental. Por isso pode-se dizer que as agressões antropogênicas ao meio ambiente se tornaram significantes após a Revolução Industrial, principalmente devido ao aumento populacional com o consequente aumento do consumo de bens e serviços e aumento do consumo de energia (GOLDEMBERG, 2003).

O ar tem grande importância para a vida humana, animal e vegetal. Esse ar, constituído principalmente por nitrogênio e oxigênio e em menores quantidades gás carbônico, gás metano e outros gases, é fonte de energia para diversas funções dos organismos (BAKONYI et al, 2004).

O conceito de poluição adotado considera a sociedade humana em constante desenvolvimento.

> [...] poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota; afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei nº 6.938, 31/08/81).

Com o passar dos anos foi aflorando a necessidade de estudos sobre os impactos gerados no meio ambiente, incluindo o ar essencial para respiração de seres humanos e animais. Sendo assim, estes impactos têm sido alvo de discussões internacionais para que sejam contidos e, se possível, mitigados (GOLDEMBERG,

2003). A atenção, antes voltada apenas para o problema da água potável e de alimentos, se estendeu também para a questão do ar. Acreditava-se que o ar nunca deixaria de estar disponível de forma adequada à manutenção da vida. Pelo fato de ser abundante, invisível e inodoro, não vinha recebendo devida atenção. Aliado ao acelerado e muitas vezes desordenado crescimento populacional urbano e industrial, havia a falta de proteção ao meio ambiente, tanto em leis quanto em recursos financeiros, acarretando poluição e degradação do ambiente urbano (BRAGA et al, 1994).

O tema poluição atmosférica vem sendo aprofundado ao longo dos anos e ganhando ênfase diante de outras questões ambientais. Hoje, a poluição atmosférica tem se mostrado um fator preocupante para a vida na Terra. É considerado um dos problemas ambientais mais significativos, em nível mundial. Apesar de ainda pouco estudada, se comparada aos estudos sobre contaminação de água e solo, esta vem recebendo atenção crescente ao longo dos anos. A literatura científica vem mostrando cada vez mais a relação de doenças com a poluição do ar causada pela emissão de poluentes atmosféricos, gerados principalmente em emissões veiculares, atividades industriais e queimadas de áreas rurais.

“A exposição a componentes do ar ambiental – incluindo microorganismos, alérgenos e poluentes atmosféricos – e as características próprias dos indivíduos expostos são determinantes nas manifestações clínicas” (Moura et al , 2008).

O crescimento populacional desordenado nos ambientes urbanos, a verticalização do solo urbano, ou seja, a construção de edifícios cada vez mais altos, pavimentação das ruas e avenidas, substituindo a cobertura vegetal por asfalto também são responsáveis indiretamente pela poluição do ar. As principais consequências são: aumento da superfície de absorção do calor e da superfície impermeabilizada, redução da umidade relativa do ar, da evaporação e da transpiração e aquecimento do meio ambiente.

Além disto, no próprio processo de urbanização, há também a questão dos meios de transportes automotores que influenciam na qualidade do ar dos centros urbanos em decorrência dos gases emitidos. O crescimento das cidades sempre esteve ligado ao desenvolvimento dos meios de transporte. Estes são responsáveis também pela degradação ambiental atual nas áreas urbanas. Com o aumento populacional, há o crescimento da frota circulante movida a combustíveis fósseis

que associada à deterioração tecnológicas dos veículos, leva à emissão de poluentes. Esses poluentes atmosféricos, além das partículas ultrafinas, provenientes da combustão incompleta de combustíveis fósseis, são responsáveis diretos pela ocorrência de asma brônquica e outras doenças alérgicas em populações residentes em áreas mais poluídas (PANDYA et al, 2002). Assim, a urbanização, além de promover um maior consumo de energia e consequente emissão de poluentes, ainda promove nos centros urbanos, a má circulação dos ventos, tornando-os incapazes de dispersar os poluentes, que estão contidos no ar.

É considerado poluente atmosférico, a matéria ou energia presente na atmosfera, que ultrapasse os limites estabelecidos pela EPA (Environmental Protection Agency), no caso dos Estados Unidos, pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), no caso do Brasil, ou níveis estabelecidos pela OMS (Organização Mundial de Saúde), ou ainda níveis estabelecidos pelas legislações locais dos países.

O ar que apresenta níveis de poluentes acima do estabelecido, torna-se um ar prejudicial à saúde humana, à flora e fauna, pode vir a danificar materiais, e inclusive interferir nas atividades normais da comunidade (CONAMA, 1990).

Então, de acordo com a legislação vigente, Resolução CONAMA, 03/90, no caso do Brasil, apesar de encontradas em baixa concentração, existem substâncias nocivas presentes na atmosfera. No entanto, estas só se tornam poluentes atmosféricos quando as suas concentrações aumentam decorrente de atividades humanas ou até mesmo naturais como é o caso de erupções vulcânicas.

Mesmo tendo-se conhecimento dessas alterações, aliado ao aumento populacional, poucas respostas são encontradas na busca pela compreensão dos impactos desses poluentes na saúde humana. Segundo Moura (2008), “O Rio de Janeiro é a segunda cidade brasileira com maior número de habitantes. Pouco se sabe sobre a influência dos poluentes do ar nos problemas respiratórios da população, especialmente a infantil.” (MOURA, 2008).

A presente pesquisa tem como objetivo geral um estudo de caso das associações em curto prazo dos níveis de determinado poluente atmosférico, material particulado (PM_{10}), e suas consequências no que tange a saúde da população, a partir da análise dos atendimentos médicos de internação de crianças e idosos por distúrbios respiratórios ou cardiovasculares na região da Grande da Tijuca, cidade do Rio de Janeiro - RJ. Pretende-se então, avaliar a relação entre a

concentração de poluentes atmosféricos e o número de incidência de casos de internação por doenças respiratórias e cardiovasculares de grupos sensíveis da população da Grande Tijuca.

Para que o objetivo geral da pesquisa fosse atingido foram a necessárias fases intermediárias que se converteram em objetivos específicos:

1. Caracterizar a área de estudo;
2. Determinaras concentrações do poluente;
3. Definir os grupos de indivíduos da população envolvida;
4. Investigar a associação a curto prazo entre a concentração do poluente atmosférico e a ocorrência de doenças respiratórias e cardiovasculares nos grupos envolvidos da população.

Para a presente pesquisa foi aplicada uma metodologia descritiva e exploratória de estudo de caso da Região da Grande Tijuca, por meio de um estudo ecológico de caráter temporal, para investigação da associação entre a exposição ao material particulado e o aumento no número de internações por doenças respiratórias e cardiovasculares, a partir de dados provenientes de fontes secundárias, no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2011.

A adequada e confiável disponibilidade dos dados de ar e saúde gerou recursos que tornaram viável a realização da presente pesquisa. Ou seja, a existência de um banco de dados organizado, atualizado e confiável possibilitou a realização das análises principais da pesquisa. Os avanços na área da estatística tornaram possível a criação de modelos estatísticos que viabilizaram as análises desenvolvidas na presente pesquisa.

Para que a pesquisa possuísse um embasamento teórico, foram apresentadas bases conceituais que contextualizassem a pesquisa.

A partir de dados cadastrais de saúde, dados de poluentes atmosféricos e dados meteorológicos foram executados modelos estatísticos (MAG - Modelos Aditivos Generalizados), baseados em regressão de Poisson que viabilizaram as análises estatísticas propostas no objetivo. O processamento dos modelos estatísticos foi realizado com a utilização da biblioteca de algoritmos ARES, executada no aplicativo R (R Development Core Team, 2007).

A pesquisa desenvolvida tem ligação com minha formação em Geografia por envolver o meio ambiente e a sociedade humana, na medida em que caracteriza os impactos ambientais e identifica os consequentes riscos à saúde da população.

Desta forma, fica destacada a importância deste trabalho na contribuição para a preservação da saúde da população.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é feita a apresentação das bases conceituais aplicadas no desenvolvimento da pesquisa.

1.1. Fontes de Poluição Atmosférica

A atmosfera recebe partículas sólidas, gases e líquidos provenientes de fontes emissoras diversas. A questão da poluição do ar não está somente na emissão dos poluentes, mas no fato da ocorrência de reações químicas entre os poluentes emitidos que muitas vezes geram substâncias ainda mais nocivas ao ambiente com consequências na saúde humana. A dispersão dos poluentes presentes na atmosfera é influenciada por fatores meteorológicos, tais como a velocidade e o sentido do vento, a temperatura do ar, a umidade relativa e fatores geográficos, como a topografia e suas transformações químicas no ar (CASTRO et al, 2003; JUNGER et al, 2005).

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados em primários e secundários. Os poluentes primários são emitidos diretamente pelas fontes para a atmosfera, já os secundários são aqueles formados na atmosfera como resultado de reações químicas. Um poluente, na atmosfera, pode reagir com algum outro material, um componente natural da atmosfera ou outro poluente, sob uma reação fotoquímica ou não (BERNSTEIN, 2004). A Figura 1 exemplifica os poluentes primários e secundários, ilustrando suas possíveis fontes emissoras ou formação dos mesmos.

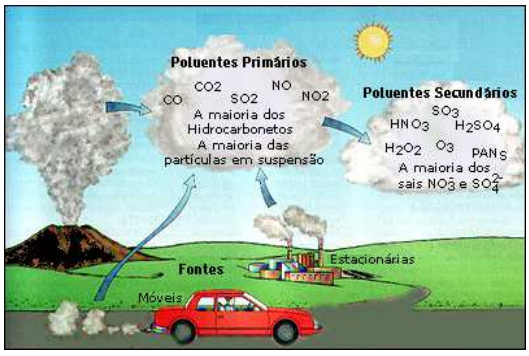


Figura 1- Esquema ilustrando fontes emissoras dos poluentes atmosféricos podendo ser: antrópicas, naturais, móveis e fixas ou estacionárias emitindo poluentes primários e a formação dos poluentes secundários (Fonte: Living in the Environment. Miller, 10th edition in Instituto do Ambiente, 2005)

Anteriormente, a poluição atmosférica nas metrópoles era atribuída basicamente às emissões industriais das refinarias, geração de energia (termoeletricidade) e das siderúrgicas, as chamadas fontes fixas. Por conta disso, os órgãos ambientais agiam visando o controle das emissões dessas fontes, criando inclusive resoluções específicas para fontes emissoras estacionárias (INEA, 2009). A crescente industrialização e o consequente aumento das emissões atmosféricas, confrontando com a preservação da qualidade do ar, fizeram com que se buscasse definir novos limites de emissões para as fontes fixas em nível nacional. (CONAMA, 2006).

Hoje é identificada a predominância de fontes móveis, basicamente veículos automotores, nas emissões atmosféricas das grandes cidades. Isso porque o modal rodoviário, mais utilizado no Brasil, é o maior emissor de poluentes se comparado aos modais ferroviário e hidroviário, utilizados em menor escala. O modal rodoviário, segundo o Ministério das Minas e Energias, é responsável por 90% de todo o consumo energético do setor de transportes (MME, 2003).

Atualmente, a principal causas do crescimento da poluição atmosférica em metrópoles e grandes cidades estão relacionadas ao aumento do tráfego de veículos automotores movidos à álcool, gasolina e diesel, em consequência do aumento da frota e falta de uma política pública de investimento em transportes de massa de qualidade e de energia limpa.

O Inventário de Fontes Emissoras de Poluentes Atmosféricos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro divulgado pelo INEA (Instituto Estadual do Ambiente) em 2009 apresentou as fontes móveis como responsáveis por 77% do total de poluentes emitidos para a atmosfera, enquanto as fontes fixas colaboram com apenas 23% (INEA, 2009).

No que diz respeito à origem da emissão atmosférica, segundo classificação utilizada pelo INEA, essas fontes poluidoras podem ser divididas em naturais ou artificiais (antrópicas) quanto a natureza da emissão, e em fixas ou estacionárias quanto à sua mobilidade. O Quadro 1apresenta as fontes emissoras de poluentes, as respectivas atividades poluidoras e os poluentes emitidos em cada atividade. As fontes emissoras são classificadas como naturais quando envolvem fenômenos da natureza no processo de emissão de poluentes atmosféricos, caracterizados pela atividade de vulcões, do mar, da poeira cósmica, do arraste eólico. Já as fontes artificiais, apresentam suas emissões provenientes de atividades antrópicas. As

fontes estacionárias apresentam uma área relativamente limitada, permitindo mais facilmente a avaliação. Estas abrangem atividades que envolvem processos industriais, queima de combustíveis em setores de serviço como hotéis, incineradores, hospitais, queimadas florestais, queima de resíduos sólidos e ainda as erupções vulcânicas.

Quadro 1 - Principais substâncias consideradas como poluentes do ar e, as respectivas (Fonte: INEA – Relatório de Qualidade do Ar, 2009)

Fontes		Poluentes
Fontes Estacionárias	Combustão	Material particulado, dióxido de enxofre e trióxido de enxofre, monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio.
	Processo Industrial	Material particulado (fumos, poeiras, névoas), gases – SO_2, SO_3, HCl, hidrocarbonetos, mercaptanas, HF, H_2S, NOx.
	Queima de Resíduo Sólido	Material particulado, Gases - SO_2, SO_3, HCl, NOx
	Outros	Hidrocarbonetos, material particulado.
Fontes Móveis	Veículos Gasolina/Diesel Álcool, Aviões, Motocicletas, Barcos, Locomotivas, Etc.	Material particulado, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, aldeídos, dióxido de enxofre, ácido orgânicos.
Fontes Naturais		Material particulado – poeiras Gases - SO_2, H_2S, CO, NO, NO_2, hidrocarbonetos.
Reações Químicas na Atmosfera Ex: hidrocarbonetos + óxidos de nitrogênio (luz solar)		Poluentes secundários – O_3, aldeídos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos, aerossol fotoquímicos, etc.

A quantidade e qualidade dos poluentes emitidos por cada fonte poluidora dependem de diversos fatores como as matérias-primas utilizadas nos processos de fabricação; no caso de indústrias, o tipo de combustível utilizado na geração da energia; a eficiência do processo de queima do combustível, intimamente ligado à quantidade de combustível gasto e de poluente emitido; o produto que será gerado. Além desses fatores, o método e o tipo de equipamento utilizado para a medição

das emissões de poluentes podem também trazer influência sobre a quantidade e qualidade do que está sendo medido.

> Observa-se, também, que o rápido crescimento urbano nos países em desenvolvimento fez com que as fontes móveis ou veiculares se tornassem um problema de grande magnitude, devido ao número e estado de conservação destes veículos, muitas vezes sem o controle necessário quanto à qualidade do combustível, dos motores e mecanismos de filtragem dos gases emitidos pelos mesmos (BAKONYI et al, 2004).

Há grande importância em inventariar as fontes de emissão de poluição atmosférica, pois estas podem definir, de maneira satisfatória, qualitativa e quantitativamente as atividades poluidoras do ar e consequentemente a qualidade e quantidade dos poluentes emitidos. Isso através de informações sobre as características das fontes, localização, magnitude, frequência e contribuição relativa das emissões (INEA, 2009).

Na Tabela 1 encontram-se apresentadas as taxas de emissão atmosféricas por poluente, para cada tipo de fonte emissora no Rio de Janeiro. As taxas apresentadas evidenciam que a contribuição das fontes fixas é majoritária diante dos outros tipos de fonte. Dessa forma, é possível analisar quais os poluentes estão sendo mais emitidos, por cada tipo de fonte emissora, podendo então considerar a sua representatividade e assim avaliar em que setor da sociedade está ocorrendo os maiores níveis de poluição.

Tabela 1 - Taxas de emissão por tipo de fonte no Rio de Janeiro (x 1000 t/ano) (Fonte: INEA, 2009)

TIPO DE FONTE	MP10	SO_2	NO_X	CO	HC
Fixas	10,6	55,8	30,3	6,3	25,9
Móveis	7,8	7,5	60,2	314,7	53,4
Total	18,4	63,3	90,5	321,0	79,3

1.2. **Legislação sobre poluição atmosférica**

A Lei nº 6.938, de 1981 instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA). A PNMA foi promulgada em resposta aos efeitos que a poluição vinha causando. O panorama normativo, no que tange a questão ambiental no Brasil se transformou. O teor desta lei foi considerado quando da elaboração da Constituição Federal de 1988.

A Constituição Brasileira de 1988 estabelece o direito da população de viver em um ambiente ecologicamente equilibrado. Caracteriza como crime toda ação lesiva ao meio ambiente, determina a exigência de que todas as unidades da Federação tenham reserva biológica ou parque nacional e todas as indústrias, potencialmente poluidoras, apresentem estudos sobre os danos que podem causar ao meio ambiente.

Para garantir esse direito, assegurado por lei, normas foram criadas para guiar a conduta da população. Normas essas deliberadas por um conselho, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), criado nas condições da Lei nº 6.938, de 1981 assim como a estruturação do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA)

- Resolução CONAMA nº 18/86 institui o PROCONVE (Programa de Controle do Ar por Veículos Automotores). Sob a preocupação com a qualidade do ar, estabelece os limites máximos de emissão de poluentes por veículos produzidos no país ou importados a partir de 1998. Tal norma propiciou melhorias tecnológicas como catalisador, injeção eletrônica, etc.

O PROCONVE foi instituído com o objetivo de:

a) Reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores visando o atendimento aos Padrões de Qualidade do Ar, especialmente nos centros urbanos, por meio de um cronograma de redução gradual da emissão de poluentes para veículos leves (automóveis) e para veículos pesados (ônibus e caminhões).

b) Promover o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia automobilística, como também em métodos e equipamentos para ensaios e medições da emissão de poluentes;

c) Criar programas de inspeção e manutenção para veículos automotores em uso, havendo o recolhimento e preparo dos veículos ou motores encontrados em

desacordo com o projeto e ainda proíbe a comercialização dos modelos de veículos não homologados segundo seus critérios;

d) Promover a conscientização da população com relação à questão da poluição do ar por veículos automotores;

e) Estabelecer condições de avaliação dos resultados alcançados;

f) Promover a melhoria das características técnicas dos combustíveis líquidos, postos à disposição da frota nacional de veículos automotores, visando a redução de emissões poluidoras à atmosfera;

O PROCONVE priorizou os veículos leves (automóveis) em sua meta de controle devido ao grande número e intensa utilização diante dos pesados. Para efetivação desse controle, limites de emissão de poluentes no escapamento dos veículos foram estabelecidos e para isso prazos foram-lhes dados. Isso porque mudanças teriam que ser feitas, tais como melhoria de especificações dos combustíveis e, consequentemente, a aplicação de tecnologias e sistemas que aperfeiçoassem o funcionamento dos motores para proporcionar uma queima perfeita de combustível e, portanto, a diminuição das emissões e do consumo de combustível.

- Resolução CONAMA nº 005/89 institui o PRONAR (Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar) como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e bem estar das populações e melhoria da qualidade de vida com o objetivo de permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, visando:

a) Melhoria na qualidade do ar;

b) Atendimento aos padrões estabelecidos;

c) Não comprometimento da qualidade do ar em áreas consideradas não degradadas.

- Resolução CONAMA nº 003/1990 estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar. Estabelece os poluentes atmosféricos regulamentados e seus padrões de emissão.

Segundo a Resolução CONAMA n°3 de 28/06/90, entende-se como 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:

I – Impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde.

II – Inconveniente ao bem-estar público.

III – Danoso aos materiais, à fauna e flora.

IV – Prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Esta Resolução indica os limites de concentração de cada poluente para cada tipo de Padrão de Qualidade do Ar, conforme o Quadro 2.

Segundo a Resolução CONAMA n° 3 de 28 de junho de 1990, são padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral (CONAMA, 1990).

Para chegar a um padrão de qualidade do ar desejável são necessários estudos e pesquisas que vão determinar a partir de que concentração aquele poluente passa a causar efeito maléfico ao ambiente. Portanto, entende-se que o padrão de qualidade do ar define o limite de concentrações que um componente gasoso pode atingir na atmosfera garantindo assim, a proteção da saúde e do bem estar das pessoas.

Os padrões de qualidade do ar são classificados em primário e secundário pela Resolução CONAMA nº03/90. Essa classificação do padrão de qualidade do ar a partir da concentração de poluentes presentes nele, não se trata de uma classificação do poluente e sim, o estabelecimento de um limite para que o ar poluído não afete de forma negativa o meio ambiente e a saúde da população.

O padrão primário de qualidade do ar estabelece as concentrações máximas de um componente atmosférico que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Pode ser entendido como o nível máximo tolerável de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo. Não é uma proteção ampla, porque não considera toda a natureza. Expressa apenas o mínimo, uma proteção à saúde da população contra danos da poluição atmosférica, sem considerar as necessidades da fauna e flora. Para uma proteção maior existe o padrão secundário. O padrão secundário de qualidade do ar estabelece as concentrações abaixo das quais se prevê, baseado no conhecimento científico atual, considera o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral, podendo

ser entendido como o nível máximo desejado de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo (CONAMA, 1990).

Cada poluente possui seu valor de concentração considerado adequado, à forma de medição e ao período de análise. Em função das suas características de fontes e processos atmosféricos, alguns poluentes são analisados para a média diária, de 8 horas ou para as máximas concentrações encontradas em uma hora.

Quadro 2 - Padrão Nacional de Qualidade do Ar expresso na Resolução CONAMA nº 03/90 apresentando os poluentes legislados e seus respectivos padrões de emissão atmosférica (Fonte: MMA)

PADRÕES NACIONAIS DE QUALIDADE DO AR Resolução CONAMA nº. 03 de 28/06/1990				
Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário (μgm^{-3})	Padrão Secundário (μgm^{-3})	Método de Medição****
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas*	240	150	Amostrador de Grandes Volumes
	MGA**	80	60	
Partículas Inaláveis (PI)	24 horas*	150	150	Separação Inercial/Filtração
	MAA***	50	50	
Fumaça	24 horas*	150	100	Refletância
	MAA***	60	40	
Dióxido de Enxofre (SO_2)	24 horas*	365	100	Pararosanilina
	MAA***	80	40	
Dióxido de Nitrogênio (NO_2)	1 hora*	320	190	Quimiluminescência
	MAA***	100	100	
Monóxido de Carbono (CO)	1 horas*	40.000	40.000	Infravermelho não Dispersivo
		35 ppm	35 ppm	
	8 horas*	10.000	10.000	
		9ppm	9ppm	
Ozônio (O_3)	1 horas*	160	160	Quimiluminescência

* Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

** Média geométrica anual.

*** Média aritmética anual.

**** A resolução permite a utilização de método equivalente.

Além dos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, a resolução estabelece os Níveis de Qualidade do Ar. Esses níveis foram estabelecidos para que os governos de Estados e Municípios, ou ainda instituições privadas e a própria comunidade tomasse as providências necessárias para a prevenção de grave risco à saúde. Para entendimento dos Níveis de Qualidade do Ar estabelecidos, a resolução define previamente como Episódio Crítico de Poluição do Ar "(...) a presença de altas

concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos." (CONAMA,1990).

Assim, após a caracterização do episódio crítico de poluição do ar, é possível descrever cada um desses níveis, classificando-os em: Níveis de Atenção, Alerta e Emergência, para a execução de um plano de ação. Estes níveis estabelecem concentrações mínimas para cada poluente legislado, considerando as condições meteorológicas e ainda fatos e fatores intervenientes previstos e/ou esperados. A partir das concentrações estabelecidas, estes níveis são declarados quando uma ou mais das condições estabelecidas na resolução forem atingidos. Esses níveis, quando declarados, levam em consideração a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subsequentes. Os Níveis de Alerta e Atenção são declarados para que providencias sejam tomadas a partir da ocorrência desses níveis com o objetivo de evitar que o Nível de Emergência seja atingido. Os poluentes legislados, enumerados nos níveis de qualidade do ar, são: dióxido de enxofre, partículas totais em suspensão, produto entre partículas totais em suspensão e dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, partículas inaláveis, fumaça e dióxido de nitrogênio, relacionados no quadro 3.

Quadro 3 - Critérios para Níveis de Qualidade do Ar em episódios agudos de poluição de acordo com a Resolução CONAMA nº 03/90 (Fonte: MMA)

	NÍVEIS		
PARÂMETROS	**ATENÇÃO**	**ALERTA**	**EMERGÊNCIA**
Dióxido de Enxofre (µg/m³) - 24 h	≥ 800	≥ 1.600	≥ 2.100
Partículas Totais em Suspensão (PTS) (µg/m³) - 24 h	≥ 375	≥ 625	≥ 875
SO_2 X PTS (µg/m³)(µg/m³) - 24 h	≥ 65.000	≥ 261.000	≥ 393.000
Monóxido de Carbono (ppm) - 8 h	≥ 15	≥ 30	≥ 40
Ozônio (µg/m³) - 1 h	≥ 400 *	≥ 800	≥ 1.000 **
Partículas Inaláveis (µg/m³) - 24 h	≥ 250	≥ 420	≥ 500
Fumaça (µg/m³) - 24 h	≥ 250	≥ 420	≥ 500
Dióxido de Nitrogênio (µg/m³) - 1 h	≥ 1.130	≥ 2.260	≥ 3.000

* O nível de atenção de ozônio declarado pela CETESB, com base na legislação Estadual de SP, é mais restritivo (200 µg/m³).
** O nível de emergência de ozônio declarado pela CETESB, com base na legislação Estadual de SP, é menos restritivo (1200 µg/m³).

- Resolução CONAMA nº 008/1990 estabelece o limite máximo de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa por fontes fixas de poluição.
- Lei n° 8.723, de 28 de outubro de 1993: Dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores.
- Resolução CONAMA n° 18/1995: Cria o Plano de Controle da Poluição do Ar por Veículos em Uso – PCPV
- Resolução CONAMA n° 226/1997: Determina limites máximos de emissão de material particulado para motores do ciclo Diesel; aprova especificações do óleo diesel comercial e dá outras providências.
- Lei n° 9.503, de 23 de setembro de 1997: Institui o Código Nacional de Trânsito e dá providências relativas ao controle de emissões veiculares (art. 104 e 131).
- Resolução CONAMA nº 297/2002 estabelece o PROMOT (Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares) com o objetivo de estabelecer os limites para emissões de gases poluentes por ciclomotores, motociclos e veículos similares novos.

O PROMOT foi criado para complementar o PROCONVE, de forma a reduzir as emissões por fontes móveis no Brasil. Chegou-se a necessidade dessa resolução a partir do momento em que as restrições aos veículos levaram a um crescimento acelerado da frota de motocicletas, e assim, o que era pouco relevante para a poluição do ar passou a ter grande importância.

- Resolução CONAMA nº 382/2006 estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Os limites são fixados por poluente e por tipologia de fonte. Em alguns casos, a resolução apresenta a forma como deve ser realizado o lançamento de efluentes gasosos na atmosfera. Esta proposta pretende compatibilizar desenvolvimento socioeconômico com preservação do meio ambiente. A resolução estabeleceu limites específicos para cada tipo de fontes fixa emissora de poluentes atmosféricos.
- Resolução CONAMA nº 418/2009 dispõe sobre critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular (PCPV) e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso (I/M) pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente e determina novos limites de

emissão e procedimentos para avaliação do estado de manutenção de veículos em uso.

- Resolução CONAMA nº 436/2011 estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas antes de 2 de janeiro de 2007 ou que solicitaram Licença de Instalação-LI anteriormente a essa data, complementando assim a Resolução CONAMA nº 382/2006, que não sinaliza as mudanças para fontes fixas instaladas antes da data em que a presente resolução entrou em vigor.

Nos Estados Unidos e na Europa, a partir da década de 50, buscou-se identificar os poluentes mais comumente encontrados em centros urbanos, possibilitando dessa forma, a regulamentação dos padrões de qualidade do ar com o propósito de se evitar danos à saúde pública. Em 1970, a agência responsável pela proteção ambiental nos Estados Unidos, a EPA (Environmental Protection Agency) estabeleceu quais poluentes poderiam causar danos à saúde da população e ao bem estar das pessoas (EPA, 2012). Foram então, identificados os seis poluentes mais abundantes nos centros urbanos: material particulado inalável (<10μm – PM_{10}), ozônio (O_3), dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de nitrogênio (NO_2), monóxido de carbono (CO) e chumbo (Pb), conforme quadro 5. Alterações quanto aos padrões de qualidade do ar foram realizadas ao longo dos anos, assim como a inserção de novos poluentes como é o caso do material particulado inalável (<2,5μm – $PM_{2,5}$), com o intuito de que fossem feitas adequações às emissões correntes. Os padrões resultantes são aqueles necessários para proteger não apenas a saúde dos grupos mais suscetíveis, mas também de toda a população (US.EPA, 1996; WHO, 2005).

A OMS (Organização Mundial da Saúde) que considera o acesso livre ao ar de qualidade aceitável, um direito fundamental do ser humano também produziu orientações sobre a qualidade do ar. Neste caso, a organização sintetizou parte do que já era estabelecido outrora restringindo ainda mais (WHO, 2005).

Quadro 4 - Padrões de Qualidade do Ar adotados pela EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos e OMS - Organização Mundial de Saúde (Fonte: EPA - http://www.epa.gov/air/criteria.html, 2012; OMS - Relatório de Qualidade o Ar, 2005)

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrões Primários EPA	Padrões Primários OMS
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas	9ppm (10μg m^{-3})	10μg m^{-3}
	1 hora	35ppm (40μg m^{-3})	30μg m^{-3}
Dióxido de Nitrogênio (NO_2)	Média aritmética anual	0,053ppm (100μg m^{-3})	
	1 hora	0,1ppm	190-320μg m^{-3}
	24 horas		150μg m^{-3}
Ozônio (O_3)	8 horas	0,075ppm	100-120μg m^{-3}
	1 hora		150-200μg m^{-3}
Partículas Inaláveis até 2,5μm ($PM_{2,5}$)	Média aritmética anual	15μg m^{-3}	
	24 horas	35μg m^{-3}	
Partículas Inaláveis até 10μm (PM_{10})	24 horas	150μg m^{-3}	
Dióxido de Enxofre (SO_2)	1 hora	0,075ppm	
	24 h		100-150μg m^{-3}
Chumbo (Pb)	Média aritmética anual	1,5μg m^{-3}	0,5μg m^{-3}

1.3. Comportamento químico dos principais poluentes atmosféricos e impactos no meio ambiente e na saúde

Dentre os inúmeros poluentes que atualmente contaminam a atmosfera, a presente pesquisa concentrou-se em um deles, o Material Particulado, um poluente regulamentado pela legislação brasileira.

Os poluentes regulamentados pela legislação brasileira, de acordo com a Resolução CONAMA, 03/90, são: CO (monóxido de Carbono), NO_2 (dióxido de nitrogênio), SO_2 (dióxido de enxofre), O_3 (ozônio) e material particulado inalável (PM_{10}). Esses poluentes possuem legislação específica que determina quando uma concentração atinge valores que não podem ser ultrapassados. Dessa forma, a determinação sistemática da qualidade do ar restringe-se a um grupo de poluentes entendidos como indicadores da qualidade do ar, devido a sua maior frequência de ocorrência e pelos efeitos adversos que causam ao meio ambiente (INEA, 2009).

Cada um desses poluentes possuem fontes emissoras distintas, de acordo com o modo de geração de energia de cada um e ainda considerando o tipo de combustível que é utilizado em cada processo. Considerando esses fatores, cada poluente ocasionará um efeito específico à saúde da população que entra em contato com esses poluentes quando são emitidos para a atmosfera, conforme o quadro 4.

Quadro 5 - Poluentes monitorados, suas fontes emissoras e os efeitos na saúde da população que entra em contato com estes poluentes (Fonte: INEA – Relatório de Qualidade do Ar, 2009)

Poluentes Monitorados	Fontes de Emissão	Efeitos à Saúde
Partículas em suspensão (poeira)	Combustão incompleta originada da indústria, motores à combustão, queimadas e poeiras diversas.	Interfere no sistema respiratório, pode afetar os pulmões e todo o organismo.
Dióxido de Enxofre SO_2	Queima de combustíveis fósseis que contenham enxofre, como óleo combustível, carvão mineral e óleo diesel.	Ação irritante nas vias respiratórias, o que provoca tosse e até falta de ar. Agravando os sintomas da asma e da bronquite crônica. Afeta, ainda, outros órgãos sensoriais.
Óxidos de Nitrogênio NO_2 e NO	Queima de combustíveis em altas temperaturas em veículos, aviões fornos e incineradores.	Agem sobre o sistema respiratório, podendo causar irritações e, em altas concentrações, problemas respiratórios e edema pulmonar.
Monóxido de Carbono CO	Combustão incompleta de materiais que contenham carbono, como derivados de petróleo e carvão.	Provoca dificuldades respiratórias e asfixia. É perigoso para aqueles que têm problemas cardíacos e pulmonares.
Ozônio O_3	Não é um poluente emitido diretamente pelas fontes, mas formado na atmosfera através da reação entre os compostos orgânicos voláteis e óxidos de nitrogênio em presença de luz solar.	Irritação nos olhos e nas vias respiratórias, agravando doenças pré-existentes, como asma e bronquite, reduzindo as funções pulmonares.

1.3.1. Material Particulado

O material particulado, designado como poluente, não é um composto químico definido, por isso cabe caracterização em termos físicos, sendo formado por poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que fica suspenso na atmosfera (CETESB, 2012). É uma mistura de partículas finas de sólidos e líquidos suspensas no ar. Desta forma, as partículas suspensas em uma massa de ar não são do mesmo tamanho e não apresentam mesma composição química. Sua composição e tamanho dependem das fontes de emissão e o tamanho das partículas O aglomerado dessas partículas finas é capaz de formar uma neblina que pode vir a restringir a visibilidade. (DOCKERY, 2001).

O diâmetro das partículas, sendo a sua propriedade mais qualitativa e relevante, é considerado para determinar o controle dessas emissões, que podem atingir as vias respiratórias. As partículas individuais são classificadas como grossas ou finas, dependendo de seu diâmetro. (BAIRD, 2002).

O material particulado pode também se formar na atmosfera a partir de gases que são emitidos em atividades de combustão como dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs), transformando-se em partículas como resultado de reações químicas (CETESB, 2012). Em veículos a diesel a contribuição de fuligem para as emissões de MP está entre 40-80%. Com o avanço das medidas de controle de emissão em motores, a contribuição de fuligem tem-se reduzido consideravelmente. Por conta disso, os efeitos fisiológicos desse poluente na saúde humana podem variar muito, dependendo do tamanho da partícula do material e da natureza química (LOUREIRO, 2005).

A Lei de Stokes explica o comportamento dessas partículas na atmosfera e a velocidade de deposição na superfície terrestre. A velocidade, em distância por segundo, que as partículas imprimem para sedimentar, aumenta proporcionalmente ao o quadrado de seu diâmetro. Isto que dizer que, uma partícula com a metade do diâmetro de outra se deposita quatro vezes mais lentamente. Desta forma, partículas muito pequenas depositam-se tão lentamente que podem ficar suspensas no ar por tempo indeterminado (BAIRD, 2002).

A constituição e tamanho das partículas dependem das fontes de emissão, que podem ser resultantes de combustão incompleta, originada da indústria, motores à combustão, queimadas e poeiras diversas, (Quadro 4).

As partículas chamadas grossas, apresentando diâmetro superior a 10 µm, são retidas no trato respiratório superior do aparelho respiratório, já as partículas denominadas inaláveis, apresentando diâmetro inferior a 10 µm, penetram mais profundamente no aparelho respiratório, podendo atingir até os alvéolos pulmonares.

As partículas inaláveis são classificadas em: partículas inaláveis finas, com diâmetro inferior a 2,5 µm; partículas inaláveis grossas, com diâmetro compreendido entre 2,5 e 10µm. Dessa forma, o tamanho das partículas está diretamente associado ao potencial efeito à saúde humana. Ou seja, quanto menor o diâmetro da partícula, maior a gravidade do efeito (CETESB, 2012).

A pessoa exposta á esse poluente, pode apresentar dificuldades respiratórias ou o agravamento de doenças respiratórias pré-existentes. Quando essas partículas se acumulam nos pulmões, devido a inalação de partículas mais finas que conseguem atingir os alvéolos pulmonares, podem ocasionar doenças pulmonares mais graves como fibrose pulmonar, pneumoconiose, podendo inclusive levar à morte do indivíduo (CETESB, 2012).

Doenças respiratórias e cardiovasculares apresentam relação com o aumento das concentrações de material particulado presente na atmosfera. A principal evidencia que relaciona o efeito nocivo à saúde humana diante da presença de particulados, encontra-se em estudos estatísticos que correlacionam as taxas de mortalidade em diferentes cidades com seus níveis de poluição por material particulado (DOCKERY, 2001).

1.4. **Efeitos da poluição do ar na saúde humana**

As evidências de que a poluição do ar é capaz de causar danos à saúde e a demanda por padrões de qualidade do ar visando a diminuição dessa poluição, tornam imprescindíveis o melhor detalhamento dessa associação, identificando grupos populacionais mais suscetíveis e níveis ambientais nos quais acontecem o processo de exposição consequente de adoecimento ou morte. As doenças respiratórias são causas preocupantes de hospitalização e morte, particularmente na população idosa e infantil. As ações de prevenção e assistência a estas causas devem ser, portanto, priorizadas (GOUVEIA, 2006).

No contexto de estabelecimento de padrões de qualidade do ar, uma questão fundamental na avaliação de saúde humana impactada pelos poluentes atmosféricos é determinar os indivíduos que estão em maior risco de exposição aos poluentes atmosféricos.

Estes grupos mais sensíveis aos efeitos da poluição atmosférica podem ser assim explicados através do entendimento do conceito exposição. A exposição a um poluente é um evento que consiste na relação entre o homem e o ambiente, dada uma concentração específica de poluente ambiental em um intervalo de tempo determinado. As unidades para expressar a exposição são a concentração multiplicada pelo tempo. Portanto, o conceito incorpora tanto a concentração quanto o tempo de duração do contato. Baseado também nesse conceito que os idosos e as crianças são os grupos sensíveis de maior confiabilidade para avaliação espacial da influência da poluição atmosférica sobre a saúde humana. Os idosos e crianças não sofrem influência da exposição ocupacional, o que ocorre normalmente com os adultos. A exposição ocupacional se dá quando o indivíduo reside em um determinado lugar, mas passa grande parte do seu dia, geralmente oito horas, trabalhando em outro. Nesses casos não é possível uma avaliação espacial fundamentada no espaço da residência já que a poluição que irá atingi-lo será aquela do ambiente ou local de trabalhado (CASTRO et al, 2003).

A capacidade do organismo de suportar estresse, se mantendo estável é maior no indivíduo adulto e diminui com a idade (JUNGER et al, 2005). As faixas etárias mais atingidas são as crianças e os idosos, grupos bastante suscetíveis aos efeitos deletérios da poluição (BRAGA et al, 2001).

O contato direto com a poluição do ar, por parte do ser humano, causa uma resposta inflamatória no aparelho respiratório, induzida pela ação de substâncias oxidantes. Essa inflamação leva ao surgimento sintomático de aumento da produção, da acidez, da viscosidade e da consistência do muco produzido pelas vias aéreas, levando, consequentemente, à diminuição da resposta e/ou eficácia do sistema mucociliar. Esses efeitos agudos da poluição doar sobre as doenças respiratórias estão associados a diferentes poluentes e afetam, predominantemente, as crianças e os idosos (BASCOM et al, 1996).

Dentre os principais efeitos respiratórios adversos associados aos poluentes atmosféricos, principalmente provenientes da queima de combustíveis fósseis, estão (CANÇADO, 2006):

- Aumento da mortalidade;
- Aumento da incidência de câncer de pulmão;
- Agravamento dos sintomas e das crises de asma;
- Aumento da incidência de infecções respiratórias baixas;
- Agravamentos das irritações sintomáticas e alérgicas em indivíduos já portadores de doenças cardiorrespiratórias;
- Aumento dos atendimentos hospitalares de emergência e internações;
- Aumento de chiado nos pulmões;
- Aumento da incidência do sintoma de aperto no peito;
- Aumento da incidência de tosse e hipersecreção pulmonar;
- Aumento da incidência de infecções de vias aéreas superiores;
- Irritação nos olhos, garganta e narinas.

A partir da década de 1990, começaram a ser feitos estudos experimentais e observações que buscavam evidências consistentes sobre os efeitos da poluição do ar na morbidade e mortalidade por doenças. Tanto efeitos agudos (aumento de internações e de mortes por arritmia, doença isquêmica do miocárdio e cerebral), como crônicos, por exposição em longo prazo (aumento de mortalidade por doenças vasculares e cardíacas) têm sido relatados (DOCKERY, 2001).

Tais estudos levaram a observação de que o aumento da poluição do ar tem provocado o aumento da viscosidade sanguínea, de marcadores inflamatórios (proteína C reativa, fibrinogênio) e da progressão da arteriosclerose, a alterações da coagulação, a redução da variabilidade da frequência cardíaca (indicador de risco

para arritmia e morte súbita), a vasoconstricção e ao aumento da pressão arterial, todos fatores de risco para doenças cardiovasculares (POPE et al, 2004).

1.4.1. Eventos críticos da poluição do ar

A Revolução Industrial teve repercussões diversas no século XVIII. Na Inglaterra em meio ao ambiente industrial que se desenvolveu, trouxe mudanças tecnológicas de impacto ambiental como resultado dos processos produtivos implantados. As ações decorrentes afetaram de forma negativa o meio ambiente. A esta época, o combustível mais utilizado como fonte energia era o carvão, posteriormente, no século XIX, substituído pelo petróleo e gás natural, por seu maior poder calorífico (MILLER, 1989; MOREIRA, 2004 e MOSLEY, 2001). Assim, esta Revolução Industrial trouxe consigo novas fontes de poluição do ar ambiente devido à queima de combustíveis fósseis, sobretudo com o advento dos motores a combustão no sistema de transportes e nas indústrias siderúrgicas. Ainda que seja possível fazer essa avaliação hoje, durante este processo não houve acompanhamento por meio de análises que pudessem avaliar seu impacto sobre o meio ambiente, a toxicidade dos resíduos produzidos e os prováveis danos à saúde da população (CANÇADO, 2006).

Como consequência desse processo, no início do século XX, alguns episódios de elevações abruptas da concentração de poluentes do ar em áreas densamente urbanizadas, ocasionando elevação dos índices da morbimortalidade. Dentre os mais conhecidos estão: Vale do Rio Meuse na Bélgica em 1930; Manchester na Inglaterra em 1931; Donora, Pensilvânia nos Estados Unidos, em 1948; Londres, Inglaterra, 1952 e outros. De maneira geral, em todos esses episodio críticos, uma inversão térmica reteve os poluentes próximos da superfície da Terra causando elevação da morbidade e mortalidade usual, especialmente, entre os mais velhos e naqueles já possuidores de condições cardiológicas e pulmonares com algum grau de deficiência (CANÇADO, 2006).

Após esses ocorridos, aumentou o interesse por estudos que levassem ao entendimento dos episódios e ainda pudessem estimular a sua prevenção. Dessa forma, foi estimulada a realização de diversos estudos epidemiológicos e experimentais para que assim fossem identificados os principais poluentes e suas

repercussões sobre a saúde. Posterior a isso, com a intenção de prevenir, vários países estabeleceram padrões de qualidade, ou seja, os limites máximos tolerados, a partir dos quais, a população exposta sofreria danos à Saúde (CANÇADO, 2006).

O episódio, no vale de Meuse, ocorreu em 1930. Esta região, localizada na Bélgica, fica entre as cidades de Huy e Liége. Havia um aglomerado de indústrias, sendo quatro siderúrgicas, três metalúrgicas, quatro centrais de produção de energia elétrica e suas minas de carvão, seis indústrias de cerâmica e vidro que utilizavam fornos a carvão ou gasogênio, três indústrias de cimento, três indústrias de transformação química de minerais, uma carvoaria, uma fábrica de pólvora, uma fábrica de ácido sulfúrico e uma fábrica de adubos. Esse episódio se desenvolveu quando, nos primeiros dias do mês de dezembro daquele ano, condições meteorológicas apresentaram-se desfavoráveis, impediram a dispersão dos poluentes. Com a ausência de ventos, nesse caso, os poluentes que se encontravam no ar, mantiveram-se confinados na região. Consequência dessa situação foi o aumento imediato do número de registros caso de pessoas apresentando doenças respiratórias. Mais grave do que isso, foi o numero de morte, considerado elevado para a estatística da região naquele período. Essas mortes subiram para 60, até dois dias após o início do episódio (SALDIVA, 1994).

No ano seguinte, no mês de janeiro de 1931, um novo episódio semelhante aconteceu. Desta vez em Manchester, na Inglaterra. Esse episódio se desenvolveu quando, condições climáticas apresentaram-se desfavoráveis durante 9 dias e uma espessa névoa pairou sobre a região nesse mesmo tempo. Como consequência desse ocorrido, notou-se o aumento número de mortes, se comparada à outras épocas, subindo para 592 pessoas (SALDIVA, 1994).

Anos mais tarde, outro episódio envolvendo fatores em comum tornou a acontecer, desta vez nos Estados Unidos, na cidade de Donora, Pensilvânia. O fato ocorreu ao longo dos últimos cinco dias do mês de outubro de 1948. A causa principal desse problema foi o processo de combustão efetuado nas indústrias locais, que liberavam poluentes atmosféricos que, por sua vez, permaneceram sobre a cidade. Os poluentes ali permaneceram por influência de inversões térmicas que impediram a sua dispersão. O fenômeno de inversão térmica é de cunho meteorológico, em que a presença de uma camada de ar frio alguns metros acima da superfície impede movimentação de massas de ar mais quentes localizadas próximas do solo. Nesse caso, a dificuldade da circulação do ar, vai dificultar a

dispersão dos poluentes. Como consequência, foi observado o aumento do número de morte para 20, quando o normal seria de2 mortes, nesta comunidade com 14.000 pessoas.

Nessa área do conhecimento, no que tange a poluição atmosférica, o episódio mais conhecido e, talvez, por ter sido o mais grave, foi o acontecido em Londres, durante o inverno de 1952 (Figura 3). Mais uma vez o fenômeno de inversão térmica teve papel importante na situação. A dispersão dos poluentes, gerados nas indústrias bem como pelos aquecedores domiciliares, que utilizavam carvão como combustível, foi impedida pelo fenômeno. Sendo assim, uma nuvem, composta principalmente por material particulado e enxofre, permaneceu estacionada sobre a cidade por aproximadamente três dias. Em consequência, o número de óbitos chegou a 4.000 naquele período. Este era um número bastante elevado se comparado aos registros de anos anteriores (SALDIVA, 1994).

Figura 2 - "Smog" em Londres em 1952 (Fonte: Moreira, 2004)

Essas tragédias, ocorridas na Europa e Estados Unidos, despertaram a atenção para estudos que pudessem identificar os agentes responsáveis e assim, estabelecer medidas de controle sobre a emissão desses agentes poluidores do ar (CANÇADO, 2006).

O aumento de morbidade e mortalidade que acompanharam esses episódios críticos fortaleceu a ideia de que a poluição atmosférica podia causar efeitos adversos à saúde humana. O aumento dos índices de mortalidade forneceu as primeiras medidas quantitativas dos efeitos adversos da poluição do ar e levaram à produção de diversos estudos em que foi mostrada a associação entre os níveis de poluição do ar e o aumento das taxas de mortalidade e de morbidade. Essa conclusão trouxe consigo uma preocupação crescente a cerca da poluição do ar

como um perigo para a saúde publica (BARBOSA, 2006). Não se trata de uma simples observação de indicadores, mas também dos estímulos para o desenvolvimento de propostas para controle das emissões de poluentes e dos seus respectivos efeitos indesejáveis à saúde humana e ao meio ambiente (BERNSTEIN, 2004).

Os dados de morbidade são os dados mais utilizados em vigilância epidemiológica, por permitirem a detecção imediata ou precoce de problemas sanitários. Correspondem à distribuição de casos segundo a condição de portadores de infecções ou patologias específicas, como também de sequelas. Esses dados são oriundos da notificação de casos e surtos, da produção de serviços ambulatoriais e hospitalares, de investigações epidemiológicas, da busca ativa de casos, de estudos amostrais e de inquéritos, entre outras formas. Os dados de mortalidade, por sua vez, são de fundamental importância como indicadores da gravidade do fenômeno, e, para doenças de maior letalidade, são ainda mais válidos do que os dados de morbidade. Sua obtenção provém de declarações de óbitos, padronizadas e processadas (BRASIL, 2005).

Todos esses eventos apresentaram fatores em comum como: ar densamente poluído pela combustão do carvão para aquecimento domiciliar; presença de centrais de produção de energia elétrica; elevação da concentração de material particulado; condições desfavoráveis para a dispersão dos poluentes atmosféricos; aumento do número de registros de casos de pessoas apresentando problemas de saúde decorrentes do aumento da poluição; aumento no número de registros de mortalidade e morbidade principalmente em idosos e quase exclusivamente por doenças respiratórias e cardiovasculares (BARBOSA, 2006).

Atualmente, o aumento nos níveis de poluição tem como principal responsável o processo de urbanização e o consequente crescimento da frota de veículos automotores que hoje, em algumas metrópoles, representa a principal fonte poluidora (JUNGER et al, 2005).

1.4.2. Processos de Urbanização

O processo de urbanização das grandes cidades, principalmente as brasileira, tem se dado de maneira rápida e desordenada. Sem planejamento, fica difícil proporcionar condições adequadas de vida a seus habitantes. A expansão das áreas urbanas provoca modificações na paisagem natural podendo vir a influir no microclima local. Segundo Maitelli (1991) é possível considerar as atividades humanas como potencialmente capazes de provocar alterações meteorológicas de pequena e de meso-escala (MAITELLI, 1991).

As atividades humanas são capazes de influir na temperatura do ar nas cidades em relação ao ambiente vizinho, por diversos fatores. Dentre esses fatores estão: a grande área coberta por concreto, consequente da construção de edificações, que além de dificultar a circulação do ar, absorve a energia solar, liberando-a em forma de calor; áreas asfaltadas, aterros, canalização de rios em substituição à vegetação original, que também retêm muito calor e ainda provocam alterações hidrológicas causadas pela redução das áreas permeáveis pela cobertura asfáltica impermeável. Esta absorção de energia pelas edificações e pavimentações pode ser entendida pela diferença de albedo, fração da radiação solar refletida por uma superfície, entre formações vegetais, capazes de refletir a luz e formações antrópicas existentes nos centros urbanos, capazes de absorver a luz e liberá-las depois na forma de calor (ASSIS, 2000).

Desta forma, o crescimento acelerado transforma o ambiente, propiciando uma maior área impermeabilizada associada a uma insuficiente infra-estrutura para atender as demandas da população e do espaço modificado (MENDES, 2001). Dentre outros aspectos, com a diminuição da área verde, diminui-se também a evapotranspiração feita pelas plantas que irão amenizar a temperatura, na medida em que mantém a umidade relativa do ar em níveis suportáveis. Todas essas alterações no ambiente urbano promovem alteração do clima local e ainda podem atingir a saúde da população residente.

Essas alterações descritas estão claras nas palavras de Landsberg (1981) ao definir clima urbano como “[...] a modificação substancial do clima local que em relação as condições climáticas das demais áreas circunvizinhas, apresenta uma maior quantidade de calor e modificações na composição da atmosfera, ventilações e umidade.” (LANDSBERG, 1981).

Esse aumento da temperatura do ar nas cidades, gerado por alterações das características térmicas das superfícies, é conhecido como o efeito da “Ilha de Calor” (LOWRY, 1967). Esta é uma das mais acentuadas modificações atmosféricas atribuídas ao processo de urbanização.

Ilha de calor pode ser entendida como uma anomalia térmica em que a temperatura de superfície do ar urbano se caracteriza por ser superior à temperatura do ar ao redor rural. Porém essa definição não impede que a ilha de calor aconteça em localizações dentro da própria cidade, apresentando pontos mais quentes que outros, como por exemplo, nas regiões do centro da cidade. Além disso, as ilhas de calor também variam temporal e sazonalmente (COLTRI et al, 2007).

> “O resultado é que a área urbana torna-se mais quente do que os seus arredores durante o dia e armazena calor suficiente para re-radiação do calor armazenado durante a noite mantendo a atmosfera urbana consideravelmente mais quente do que seus arredores rurais e na maioria das noites com ventos fracos.” (BOUBEL et al, 1994).

Diante dos ventos fracos o ar se eleva para a parte mais quente do núcleo urbano expulsando o ar mais frio para os arredores. É esta circulação do ar que vai caracterizar a ilha de calor urbana.

Nas áreas urbanas e centrais da cidade, a concentração de gases e materiais particulados, é muito maior. Isso porque há presença de grande quantidade de veículos e indústrias que lançam esses poluentes na atmosfera. A presença desses poluentes provoca um efeito estufa localizado, colaborando assim, para o aumento da retenção de calor, que já ocorre por conta das edificações e pavimentações (LOMBARDO, 1985). A atmosfera terrestre é constituída de gases que já absorvem naturalmente grande parte da radiação emitida pela superfície aquecida da Terra, havendo assim um efeito estufa natural. Isso faz com que a sua superfície tenha uma temperatura maior do que se não houvesse a atmosfera (XAVIER, 2004). Com as alterações sofridas pelo ambiente urbano, a absorção de radiação solar pela presença de outros gases inseridos artificialmente, ou de forma antrópica na atmosfera é maior e isso aumenta o efeito estufa natural localizado.

Além da ilha de calor, há um fenômeno climático, conhecido com inversão térmica, mencionado anteriormente, mais comum no inverno, que também influencia na qualidade do ar das grandes cidades. Sendo assim, quando pensamos em poluição do ar, não podemos desconsiderar os efeitos da temperatura.

A Inversão térmica é definida por Braga et al (1994) como um fenômeno meteorológico que ocorre principalmente com a queda de temperatura, ou chegada de frente fria, em que uma camada de ar frio, ao contrário do habitual, encontra-se alguns metros acima da superfície, o que impede a ascensão do ar mais quente, dificultando a dispersão e a movimentação dessas massas de ar localizadas próximas do solo. Então, nessas condições meteorológicas, a camada mais fria, que está a uma altitude abaixo da normal atua como um obstáculo, confinando o ar quente e por sua vez todos os poluentes que se encontram junto a ele, conforme ilustração da Figura 4. Os poluentes ficam confinados a uma altitude baixa, sendo então, sensível a saúde humana (BRAGA et al, 1994).

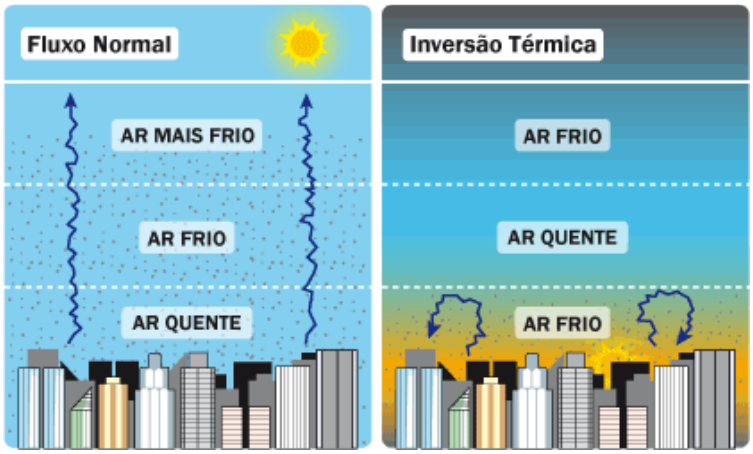


Figura 3 – Inversão Térmica (Fonte: http://ambiente.hsw.uol.com.br/inversao-termica.htm)

1.5. Estudos da poluição do ar nas grandes cidades e seus efeitos na saúde dos habitantes

A associação entre mortalidade e admissões hospitalares por doenças respiratórias e cardiovasculares pela exposição à poluição do ar tem sido investigada, de forma mais sistemática, desde o começo da década de 1990, inclusive no Brasil.

Para uma revisão de estudos que abordem as ocorrências de doenças relacionadas à poluição do ar ser torna necessária a consideração de estudos que abranjam o tema em questão e ainda apresentem um levantamento estatístico dos casos incidentes. Em relação aos estudos expostos posteriormente, há duas formas de se analisar a saúde coletiva, uma pelo número de internações e atendimentos ambulatoriais para doenças específicas por região de residência e outra pela mortalidade dos indivíduos. A maior ênfase é dada, então a dois desfechos: mortalidade e admissões hospitalares.

O pesquisador Jacobson (1984), estudou as informações de mortalidade, por causa e sexo, nos 31 condados mais populosos da Califórnia (EUA) e, independente do nível social, a mortalidade por câncer revelou uma associação direta com o ar mais poluído em um dos condados, estando correlacionada aos níveis de monóxido de carbono e de óxidos de nitrogênio (DUCHIADE, 1991).

Na década de 1990 foram feitos diversos estudos que associavam concentrações diárias de poluentes atmosféricos e número de ocorrência de entrada hospitalar, seja por internações, atendimentos de emergência ou até mesmo por óbito. Esses estudos tinham como objetivo analisar os efeitos da poluição do ar na saúde humana. Esses eram estudos que utilizavam séries temporais e as facilidades de realização dos mesmos está no fato de que os dados de saúde são coletados continuamente pelo Ministério da Saúde (JUNGER, 2008).

Quanto a esses estudos, que abordam análises de séries temporais, a adoção de modelos, os modelos aditivos generalizados (MAG), que considerassem a sazonalidade, variação temporal de forma não linear foi providencial para flexibilizar a modelagem e assim garantir eficácia e confiabilidade aos estudos. Desse modo, tornou-se possível avaliar os efeitos agudos da poluição do ar, de maneira confiável. Dentre esses MAGs, o mais utilizado é a regressão de Poisson (JUNGER, 2008).

Alguns pesquisadores vêm, há 30 anos, analisando a influência da poluição do ar na mortalidade. Em 1991, primeiramente, Duchiade (1991), apresentou um estudo sobre mortalidade infantil por pneumonias segundo os diversos níveis de poluição do ar das áreas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (DUCHIADE, 1991).. Outro trabalho realizado é o artigo publicado por Peiter (1998), que tem por objetivo avaliar a relação da poluição do ar gerada pela atividade industrial da Companhia Siderúrgica Nacional e a organização sócio-espacial da cidade de Volta Redonda, possibilitando assim identificar espaços críticos para a saúde de sua população.

Complementando os resultados obtidos até o presente momento Leser (2000), conclui que fumaça de cigarro, gases de escapamento de carros, fuligem, poeira de rua, poeiras industriais, cereais, palha, crina, serragem, drogas, diversos perfumes, cera de assoalhos, tintas, cheiro de gasolina, pó de giz, qualquer odor mais forte podem atuar no paciente asmático causando crises por irritação da mucosa respiratória (LESER, 2000).

Schwartz et al (2000) confirmou que a relação entre a exposição aos poluentes atmosféricos, principalmente partículas totais em suspensão, e o total de mortes diárias é essencialmente linear, pelo menos em concentrações moderadas do poluente em pelo menos oito cidades de Espanha. Do mesmo modo, Rossi et al (1999) constatou que, em Milão, Itália, é possível uma associação entre as mortes e as respectivas causas especificas provocadas pela elevada concentração de poluentes. Deste modo, associação encontrada foi quase idêntica ao que foi notado por Schwartz et al (2000).

Hajatet al (2001) foi um dos pioneiros na utilização da regressão de Poisson dentro dos modelos aditivos generalizados, para esse fins. Ele analisou a associação entre poluição do ar e dados de entrada em clínica geral por queixa de rinite alérgica em Londres. Posteriormente, diversos estudos consideraram esta a metodologia padrão para analises que buscassem associar poluição atmosférica e efeitos na saúde envolvendo séries temporais. Dentre esses estudos estão: o APHEA2 (Air Pollutionand Health: A European Approach) (Katsouyanniet al, 2001), desenvolvido na Europa; o NMMAPS (National Morbidity and Mortality Air PollutionStudy) (Samet et al, 2000), nos Estados Unidos e o PAPA (Public Health and Air Pollution in Asia) (HEI, 2004), na Ásia (JUNGER, 2008).

Sharovsky (2002), considerando as doenças cardiovasculares, descreveu um estudo, na cidade de São Paulo, sobre o aumento significativo da mortalidade por infarto agudo do miocárdio nos meses de inverno

Com resultados semelhantes e seguindo a mesma lógica, há o trabalho de Daumas (2004), porém a avaliação ocorre na cidade do Rio de Janeiro. Nesse caso, a mortalidade diária em idosos apresentou flutuação também sazonal, com aumento nos meses mais frios, período em que há concentração de poluentes na atmosfera baixa, em contato direto com a população.

Santos (2004) acompanhou, em seu estudo, durante dois anos, a saúde de 50 funcionários da Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) da capital paulista. Todos eles trabalhavam nas marginais Tietê e Pinheiros, duas das mais importantes vias da cidade. Eles não fumavam e nem eram asmáticos. Foi constatado que todos apresentavam elevação da pressão arterial e variação da frequência cardíaca nos dias de maior poluição atmosférica. Deles, 33% apresentaram condições típicas de fumantes - redução da capacidade pulmonar e inflamação frequente dos brônquios (CANÇADO et al, 2006 apud Santos, 2004).

Segundo pesquisadores do Beth Israel Deaconess Medical Center (BIDMC) e Harvard School of Public Health (HSPH), sendo autor principal, Gregory Wellenius, conduziram um estudo que buscou relacionar o risco de derrame isquêmico, que ocorre quando um coágulo de sangue vai para o cérebro e o aumento da poluição do ar. O estudo examinou a qualidade do ar num total de 37.000 dias em nove cidades diferentes, e descobriu que o risco de hospitalização por derrame isquêmico era 1% maior em dias em que o nível de poluição do ar era relativamente alto, comparado com os dias com pouca poluição (WELLENIUS et al, 2005).

Segundo Gouveia (2006) há uma relação entre exposição à poluição atmosférica e a ocorrência de hospitalizações por doenças cardiovasculares e respiratórias em crianças e idosos na cidade de São Paulo. No presente estudo, foi possível constatar que assim como os níveis diários dos poluentes, o número diário de internações para o tipo de doença em questão apresentou um padrão sazonal, com maiores valores nos meses de inverno. Gouveia (2006) concluiu mostrando a piora da situação da saúde da população diante dos intermináveis congestionamentos. Já que estes contribuem para aumentar as emissões dos poluentes atmosféricos, pois quanto maior a lentidão dos veículos, maior é a queima

do combustível, sofrendo o processo de combustão e, consequentemente mais gases poluentes os veículos lançam na atmosfera.

Outra pesquisa realizada por Gouveia (2010) verificou que as gestantes paulistanas que ficaram expostas às taxas maiores de poluição durante o primeiro trimestre de gravidez tiveram bebês com peso menor que as outras gestantes. Concluindo-se que para cada parte por milhão (ppm) de monóxido de carbono (CO) a que as mães ficaram expostas, houve redução de 23 gramas no peso do recém-nascido.

Ainda mais recentemente, um estudo observou que a exposição ao monóxido de carbono, presente em altos níveis na atmosfera das grandes cidades, gerado na queima dos combustíveis automobilísticos, provoca alto risco de hospitalização, principalmente em idosos com problemas cardíacos. Este estudo, publicado na revista científica *Circulation*, foi feito com a utilização de registros médicos de 9,3 milhões de beneficiários do sistema de saúde americano *Medicare* e de dados sobre a poluição atmosférica no período entre 1999 e 2005. Indicou que um aumento dos níveis de monóxido de carbono no ar, ainda que inferior a uma parte por milhão na exposição máxima diária em apenas uma hora seria capaz de elevar em 0,96% o risco de hospitalização por doença cardiovascular entre pessoas com mais de 65 anos.

No mesmo ano, Andrés (2009) publicou um estudo sobre a qualidade do ar e as tendências à internações hospitalares no município de Nova Iguaçu, localizado no estado do Rio de Janeiro. A justificativa para tal estudo seria a existência de 3 pedreiras na região, nocivas à saúde da população no que diz respeito a poluição por material particulado, além da poluição atmosférica comum à centros urbanos por emissões promovidas pelo intenso tráfego de veículos.

Alves e Silva (2009) também fizeram um estudo para a análise de uma população previamente definida que se encontra em maior contato com o ar poluído na cidade de Natal-RN e a aparição de sintomas ligados a problemas respiratórios. Essa análise foi feita mediante entrevista com os indivíduos e não através de dados hospitalares, considerando um período de 10 anos.

Sob uma visão de mundo, de forma mais abrangente, é possível perceber a mesma linha de estudos buscando relacionar a saúde da população e os poluentes atmosféricos comumente emitidos.

Nos últimos anos, diversos estudos epidemiológicos veem documentando efeitos adversos dos poluentes atmosféricos no meio ambiente e consequentemente na saúde humana. Grande parte dos estudos que abordam esta temática utilizam as elevadas concentrações de material particulado (MP) para que sejam relacionados aos índices de mortalidade. Muitos desses autores veem fazendo essas relações com poluição do ar e mortalidade em cidades dos Estados Unidos, Europa, América Latina e Ásia, ainda que os episódios descritos não tenham atingido a magnitude dos episódios críticos já relatados como o caso de Londres na década de 50 (DOCKERY, 2001 ; POPE et al 1995 ; KREWSKI, 2004). Nestes termos, as indicações de efeitos adversos à saúde, mesmo quando em níveis abaixo da presente orientação de limites de concentrações de poluente, levaram à revisão das diretrizes e normas da qualidade do ar e datas previstas para as revisões regulares futuras (EPA, 2012; WHO, 2005).

1.6. **Modelagem estatística**

O conhecimento se constrói quando é possível encadear as informações dispersas, através de um modelo que consiga promover a interação entre observações, conhecimentos, variáveis. A previsão, descrição e explicação dos fenômenos modelados devem apresentar bons resultados tanto qualitativa quanto quantitativamente. Quando se fala em análise estatística, essa ideia de construção do conhecimento baseada em modelos se torna ainda mais importante, já que grande parte dos procedimentos estatísticos é baseada em modelos (STRUCHINER, 1987).

O modelo é como um resumo de um documento técnico. Esse não deve ser muito longo, para que a sua finalidade seja atingida. Por isso, o modelo deve usar o menor número de parâmetros necessários para desenvolver adequadamente as características dos dados. Ou seja, se um modelo estatístico falha, para descrever características dos dados a serem modelados, o modelo não satisfaz. Assim como o resumo do documento técnico não satisfaz quando é sintetizado de maneira que omita as principais conclusões (TUCCI, 1993).

Estudos usando séries temporais para avaliar os efeitos da poluição do ar na saúde apresentaram um crescimento acelerado na década de 1990. Nos últimos 20 anos, o estudo ecológico foi o mais utilizado para o desenvolvimento de pesquisas desse tipo. O estudo ecológico está fundamentado na hipótese de que variações diárias de eventos como mortalidade, hospitalizações e outros indicadores de saúde são determinados por variações diárias nas concentrações de poluentes atmosféricos em um longo período de tempo. (Brunekreef e Holgate, 2002).

Estes estudos buscam relacionar as concentrações de poluentes e os efeitos na saúde da população. Foram feitos através da estimação diária tantos dos contaminantes quantos dos eventos de saúde, como óbitos, internações hospitalares e atendimentos de emergência, ressaltando que nestes estudos, buscava-se estimar o efeito agudo da poluição. Os estudos de séries temporais dependem muito da coleta e disponibilidade dos dados, e isto pode ser uma dificuldade a ser enfrentada levando em consideração a demora de sua produção. Assim como os dados, o desenvolvimento de novas técnicas estatísticas mais flexíveis para a análise de séries temporais e modernização computacional, foram de insuma importância para o sucesso desta metodologia (JUNGER, 2008).

Séries temporais são um conjunto de observações ordenadas no tempo. A análise dessas séries tem como principais objetivos compreender o mecanismo gerador da série e pré-identificar o comportamento futuro da série. Para o entendimento de tal mecanismo é preciso descrever efetivamente o comportamento da série, encontrar periodicidades nela, controlar a sua trajetória e tentar obter razões para o seu comportamento. Tais razões podem ser encontradas através da avaliação das suas variáveis auxiliares ou indicadoras (BUENO, 2008).

A construção de um modelo de séries temporais vai justamente organizar a informação por meio de um esquema de descrição proporcionando aprendizagem e previsão dos eventos. No que tange a isso, um bom modelo permite aprendizado, levando às previsões adequadas (BUENO, 2008).

Nas análises que envolvem séries temporais, fatores individuais como residência, dieta, tabagismo e atividades físicas não precisam ser controlados, já que não variam diariamente. No entanto, fatores de confusão como efeito de calendário, fatores climáticos (temperatura e umidade), epidemias e estruturas da própria série como tendência e sazonalidade podem ser facilmente controlados. Análises estatísticas desse tipo baseiam-se em testes e diagnósticos em cada etapa do processo para tomadas de decisões (JUNGER, 2008).

Estudos que associam poluição do ar e efeitos nocivos à saúde humana, apontam, de maneira geral, morbidade e mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares e câncer de pulmão (JUNGER et al, 2005) como consequência da poluição do ar. No que tange as características dos indivíduos envolvidos, estes estudos estabelecem que os grupos mais suscetíveis aos efeitos da poluição atmosférica são as crianças e os idosos.

Atualmente, os modelos aditivos generalizados (MAG) são os mais utilizados para estudos que abordam análises envolvendo séries temporais epidemiológicas que buscam relacionar poluição do ar e seus efeitos na saúde humana (CONCEIÇÃO et al, 2001).

“Os MAG permitem modelar estruturas como tendência e sazonalidade de forma não-linear, introduzindo grande flexibilidade à modelagem” (JUNGER, 2008). Fatores de confusão como temperatura e umidade, por associações não-lineares, podem ser modelados por meio de funções suaves (*spline*). Por isso a adoção dos MAG nas análises de séries temporais em estudos dos efeitos agudos da poluição do ar foi muito importante. (JUNGER, 2008)

MAG é um modelo semi-paramétrico, em que são adicionadas entradas para obtenção do resultado, mas não necessariamente de forma linear. Com este tipo de modelo é também possível introduzir fatores de confusão, que são fatores variáveis que podem confundir a relação entre o resultado e entradas. A introdução de fatores de confusão é muito importante para um melhor entendimento da variação dos resultados, já que esses fatores podem variar com o tempo (HASTIE, 1990).

Quando se propõe um estudo que relacione poluição do ar e saúde, pretende-se avaliar quanto da variabilidade da variável de desfecho está associada à variabilidade da variável de exposição (JUNGER, 2008). É necessário também considerar os fatores capazes de influenciar no resultado dessa análise. Sendo, um modelo aditivo, se adiciona às variáveis, os fatores de confusão como efeito de calendário, envolvendo feriados, dias da semana e finais de semana, fatores climáticos e epidemias. Estes são os mais comuns fatores de confusão presentes neste tipo de associação, que envolve os efeitos da poluição atmosférica na saúde (SCHWARTZ et al, 1996).

A regressão de Poisson é uma abordagem adequada para modelar tais eventos de saúde, por se tratarem de dados de contagem.A pequena parcela da população que é internada diariamente é apresentada em números e estes representam uma contagem (JUNGER, 2008).

O modelo de regressão de Poisson pode ser estimado usando a metodologia dos modelos lineares generalizados (MLG). Os MLG, por sua vez, cabem uma extensão para a acomodação de funções não-lineares. É quando entra a importância do MAG, modelo semi-paramétrico, que apresenta flexibilidade para o ajuste de efeitos não-lineares de tendência e sazonalidade bem como de fatores meteorológicos, diferentemente dos modelos totalmente paramétricos, que vão ajustar as variáveis por associação linear.

A reprodução desses eventos, por processo de modelagem, pode não ser estacionário ao longo do tempo, não é linear, e o risco do efeito sobre a saúde pode variar no tempo em função de variáveis preditoras. Considera-se que o modelo de regressão de Poisson é um modelo de risco relativo, onde a variação de uma unidade na variável de exposição provoca uma variação na média da variável de desfecho na mesma direção e de magnitude igual ao risco relativo (JUNGER, 2008).

Diante da poluição do ar, há uma defasagem entre a exposição do indivíduo aos agentes poluidores e os efeitos sobre a saúde. Isso que dizer que eventos de

atendimento hospitalar, efeitos na saúde, que ocorrem em um determinado dia estão associados aos níveis de poluição daquele dia e/ou dias anteriores.

O risco relativo é uma medida bastante adotada nos estudos dos efeitos da poluição do ar na saúde. As medidas de associação do risco relativo verificam a existência de uma relação entre exposição e desfecho determinados. Essas medem a força da relação estatística entre uma variável de exposição e a frequência da doença (BARBOSA, 2009).

Desta forma, a metodologia considerada a de melhor técnica para a análise de séries temporais sobre os efeitos da poluição do ar na saúde versa sobre o uso da regressão de Poisson, via modelos aditivos generalizados (JUNGER, 2008).

No projeto APHEA (Air Pollutionand Health: A European Approach), por exemplo, o modelo utilizado para promoveras análise de séries temporais foi o modelo de regressão de Poisson (KATSOUYANNI et al, 1996).

É possível perceber então, que esses modelos exercem um importante papel na metodologia de análise nestes estudos. Com os avanços estatísticos, mesmo os níveis de poluentes apresentando concentrações abaixo do que é considerado nocivo à saúde humana, estudos que abordam os efeitos da poluição do ar sobre a saúde tornam-se viáveis, proporcionando uma maior preocupação com a questão e um pensamento sugestivo de revisão da legislação vigente (SCHWARTZ et al, 1996).

Essa predominância da utilização do modelo de regressão de Poisson, via modelos aditivos generalizados pode ser percebida pela observação do quadro 6 que aborda metodologias e ferramentas utilizadas para a realização de estudos que tenham abordado poluição do ar e seus efeitos na saúde humana.

Quadro 6 - Matriz metodológica de estudos sobre poluição do ar e efeitos na saúde humana.

Fonte	Objetivo da Metodologia	Descrição da Metodologia	Resultados	Ferramentas
Peiter, P., Tobar, C. Poluição do ar e condições de vida: uma análise geográfica de riscos à saúde em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 14(3):473-485, jul-set, 1998.	Relacionar níveis de poluição com níveis de condições materiais de vida.	Mapeamento da dispersão dos poluentes emitidos pela CSN por bairro; Análise dainfra-estrutura de saneamento básico (Censo IBGE 1993).	Identificação dos espaços críticos.	Auto-Cad R13®: construção de mapa digital dos bairros de Volta Redonda; Map-Info 3.0®: banco de dados georreferenciados e a construção de mapas temáticos.
Junger, W., Ponce, A., Mendonça, G. Associação entre mortalidade diária por câncer de pulmão e poluição do ar no município do Rio de Janeiro: um estudo ecológico de séries temporais. Revista Brasileira de Cancerologia 2005; 51(2): 111-115.	Investigar a associação entre a exposição à poluição do ar e o número diário de óbitos por câncer de pulmão, considerando condições meteorológicas, no Rio de Janeiro.	Dados dos números de óbitos gerados a partir do Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM; População analisada de todas as idades e idosos (maiores de 65 anos); Estimativa média da exposição diária da população residente no Rio de Janeiro aos poluentes regulamentados (Dados obtidos das redes de monitoramento da qualidade do ar da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAC) e da Fundação Estadual de Engenharia de Meio Ambiente (FEEMA); Dados de temperatura e umidade do ar cedidos pelo Departamento de Meteorologia da Aeronáutica e Departamento de Climatologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.	Não houve associação entre óbitos de indivíduos com mais de 65 anos e câncer de pulmão relacionado aos poluentes analisados; Exposição ao monóxido de carbono se mostrou associada a óbitos por câncer de pulmão.	Análise estatística: modelos de regressão de Poisson(modelos aditivos generalizados) - pacote estatístico S-Plus.14.
Sousa, S., Pires, J., Martins, E., Fortes, J., Ferraz, A.,Martins, F. Short-Term Effects of Air pollution on Respiratory Morbidity at Rio de Janeiro. PART I: Air Pollution Assessment Short-Term Effects of Air pollution on Respiratory Morbidity at Rio de Janeiro - PART II: Health Assessment. Elsevier Editorial System(tm) for EnvironmentInternational Manuscript Draft	Avaliar o impacto da poluição do ar sobre a hospitalização de emergência por doença respiratória em Rio de Janeiro, Brasil.	Os números diários de internação de emergência por doença respiratória foram analisados com método de série-temporal usando modelo aditivos generalizados de Poisson. E os preditores de poluição do ar (concentração média diária) foram introduzidos no modelo como um termo linear, sendo julgados com defasagem de 0 a 7 dias (lag).	Os resultados mostraram um excesso de risco de hospitalização por doença respiratória após oaumento da concentração de PM_{10} e SO_2 para idosos acima de 65 anos de idade.	Análise estatística: método de série-temporal usando modelo aditivo genralizado de Poisson(software R - R 2.12.1) - MGCV.

Quadro 6 - Matriz metodológica de estudos sobre poluição do ar e efeitos na saúde humana. (Continuação)

Fonte	Objetivo da Metodologia	Descrição da Metodologia	Resultados	Ferramentas
Martins, L.et al. Relação entre poluição atmosférica e atendimentos por infecção de vias aéreas superiores no município de São Paulo: avaliação do rodízio de veículos. Rev. Bras. Epidemiol. vol.4 no.3 Sã o Paulo Nov. 2001.	Comparar médias diárias dos poluentes atmosféricos e do número de atendimentos variando de acordo com as condições meteorológicas no período de inverno.	População analisada nos atendimentos hospitalares: 65 anos ou mais; Dados coletados por 2 anos na Divisão de Arquivo do Médico e na PRODESP; Dados sobre níveis diários de emissão de poluentes obtidos na CETESB; Média aritmética para cada poluente do ar por dia; Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo forneceu dados meteorológicos.	Defasagem em relação à exposição do indivíduo aos agentes poluidores. Os atendimentos hopitalares devem estar relacionados à poluição do referido dia, e também de dias anteriores.	Método de análise de variância (ANOVA); Teste de Tukey - HSD (HonestSignificantDifferenc e) para comparações múltiplas.
Bakonyia, S., Danni-Oliveira, I., Martins, L., Braga, A. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. Revista Saúde Pública 2004;98(5):695-700.	Buscar relação entre doença respiratória em crianças e poluição do ar ajustadas à variáveis meteorológicas.	Dados diários de atendimentos por doenças respiratórias para crianças em unidades de saúde no Sistema Único de Saúde (SUS) no município de Curitiba, PR, Brasil; Níveis diários de poluentes - Instituto Ambiental do Paraná e Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento; Dados meteorológicos foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia.	Todos os poluentes investigados apresentaram efeitos sobre as doenças respiratórias.	Análise estatística com modelo aditivo generalizado de regressão de Poisson.
Freitas, C.et al. Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. Rev. Saúde Pública [online]. 2004, vol.38, n.6, pp. 751-757. ISSN 0034-8910.	Cruzar dados de internações hospitalares de crianças menores de 15 anos e mortalidade de idosos com as concentrações de poluentes atmosféricos, considerando as condições meteorológicas.	Dados diários de mortalidade de pessoas com mais de 65 anos obtidos no Programa de Aprimoramento deInformações de Mortalidade (PROAIM); Dados diários de internações obtidos da base de dados de formulários de autorização de internação hospitalar (AIH) do Sistema de Informações Hospitalares do Sistema Único de Saúde (SIHSUS), considerando crianças até 14 anos; Dados meteorológicos do Instituto de Astronomia e Geofísica da Universidade de São Paulo (IAG). Médias diárias de concentração de poluentes obtidos na Cetesb (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental).	Houve variações dos poluentes associadas com o aumento de entradas no hospital por doenças respiratórias em menores de 15 anos e idosos.	Análise a regressão de Poisson em modelos aditivos generalizados.

2. ESTUDO DE CASO: REGIÃO DA GRANDE TIJUCA - RJ

Neste capítulo são apresentadas e examinadas as ações metodológicas essenciais para a análise estatística, que envolve os dados necessários para o desenvolvimento da relação entre poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares na Região da Grande Tijuca - RJ. Trata-se de um estudo de caso de pesquisa do tipo exploratória e documental para avaliação das relações.

Nesta etapa da pesquisa será definido e descrito o modelo estatístico que será utilizado para modelagem dos dados.

2.1. Área de estudo

1- *RMRJ*

A Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro (RMRJ), a segunda maior do Brasil, terceira na América do Sul e 23º no mundo, reúne 17 municípios, ocupando uma área de quase 6.000 km², equivalente a 11% da área total do Estado. A população de aproximadamente onze milhões de habitantes, corresponde a 80% da população de todo o Estado, sendo que 60% destes estão no município do Rio de Janeiro. Dentre as regiões metropolitanas do país, a RMRJ é a que apresenta a maior densidade populacional, com cerca de 2100 hab/km² (INEA, 2009).

As características físicas da RMRJ favorecem certos problemas relacionados à qualidade do ar, tais como a distribuição e dispersão dos poluentes. A topografia acidentada, a proximidade com o mar e da Baía de Guanabara promovem um fluxo de ar complexo. Isso porque o maciço da Tijuca, paralelo ao mar funciona como uma barreira física aos ventos, impedindo uma ventilação adequada das áreas mais interiores (INEA, 2009).

Quanto aos fatores meteorológicos, a RMRJ apresenta altas temperaturas, ocorrentes no clima tropical e intensa radiação solar, que favorecem os processos fotoquímicos e outras reações na atmosfera, gerando poluentes secundários. A umidade relativa do ar é um importante parâmetro no que tange a dispersão dos poluentes na atmosfera, na medida em que, quando alta, pode favorecer o desenvolvimento de nuvens e precipitação. Na RMRJ, a umidade do ar média nos meses do verão é de cerca de 80% e no inverno de 70%. O total anual médio da

precipitação é de cerca de 1200 mm, com maior intensidade nos meses de verão, estação mais úmida. Nos meses de maio a setembro, com menos precipitação, devido à ação sistema de pressão predominante na região, muitas vezes há situações de estagnação atmosférica, proporcionando um aumento nas concentrações de poluentes (INEA, 2009).

Com 99,5% de urbanização, a RMRJ detém a segunda maior concentração de veículos, de indústrias e de fontes emissoras de poluentes atmosféricos do país (INEA, 2009). Nas áreas urbanas, as fontes móveis de poluição se destacam frente às outras. No município do Rio de Janeiro a configuração das vias agrava a emissão de poluentes pelas fontes móveis. Isso porque, as principais vias do município convergem para o centro da cidade, fazendo com que haja uma grande concentração de deslocamentos em poucos corredores. O fluxo dos veículos somados aos de ônibus concentrados num espaço limitado, nem sempre preparado para suportar adequadamente o tráfego, provoca congestionamentos em boa parte desses corredores promovendo ainda mais emissão de poluentes atmosféricos (PCRJ, 2008). Além disso, com o aumento da população, o fluxo de veículos também tende a aumentar. No entanto, as ruas estreitas, de faixa simples, não estão preparadas para receber este enorme contingente de veículos que cresce a cada ano. Este não é um simples problema de infraestrutura, que causa transtorno na vida das pessoas. Estes congestionamentos podem ser percebidos como um problema de saúde pública. Visto que tendem a queimar mais combustível quando estão em movimentação lenta (“freia, acelera, freia”).

Considerando a sua influencia na qualidade do ar, as fontes móveis foram consideradas no Inventário de Fontes de Poluição do Ar da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Para este levantamento foram contabilizadas emissões provenientes de veículos automotores que circulam nas principais vias de tráfego automotivo da Região Metropolitana. Foram selecionadas 187 vias, segmentadas em razão dos respectivos traçados ou fluxo, alcançando o número de 260 fontes, as principais contribuintes de emissões de poluentes atmosféricos de origem veicular (FEEMA, 2004).

Quadro 7 - Percentuais de contribuição e principais vias. (Fonte: FEEMA, 2004).

Nome da Via	MP_{10} (%)	SO_2 (%)	NOx (%)	CO (%)	HC (%)
Av. Brasil	22.9	30.0	33.4	25.3	25.2
Av. das Américas	5.7	9.6	7.9	12.2	12.3
Rod. Pres. Dutra	5.5	2.9	3.4	2.6	2.2
Linha Vermelha	3.1	3.4	3.8	2.8	2.8
Rod. Washington Luís	2.9	3.9	4.2	3.5	3.5
Ponte Rio - Niterói	1.9	3.2	2.7	3.9	3.9
Av. Ayrton Sena	*	2.2	1.8	2.9	2.9
Linha Amarela	*	1.9	1.9	2.5	2.5
Demais Vias	58.0	42.9	40.9	44.3	44.7

*Percentual incluído nas demais vias de tráfego
MP_{10} – Material Particulado Inalável
SO_2 – Dióxido de Enxofre
NO_X – Óxidos de Nitrogênio
CO- Monóxido de Carbono
HC- Hidrocarbonetos

Os percentuais de contribuição para emissões de poluentes atmosféricos das principais vias foram apresentados no quadro 7. Observa-se que a Avenida Brasil, por apresentar intenso fluxo de veículos leves e pesados, é responsável por 25 a 30% do total de poluentes do ar emitidos pelas vias de tráfego na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

2- *Grande Tijuca*

A área de estudo, a região da Grande Tijuca, situa-se na Zona Norte do município do Rio de Janeiro, que faz parte da RMRJ. Esta é a região de atuação da Subprefeitura da Grande Tijuca, que tem como sede o bairro da Tijuca. É um local dotado de infraestrutura de transportes atendido por diversas linhas de ônibus com variados destinos na cidade e ainda uma linha do metrô. A região abrange os bairros: Tijuca, Praça da Bandeira, Maracanã, Grajaú, Vila Isabel, Andaraí e Alto da Boa Vista (SGT – Subprefeitura da Grande Tijuca, 2012).

Para a presente pesquisa foram considerados, na região da Grande Tijuca, os bairros: Tijuca, Praça da Bandeira, Maracanã, Grajaú, Vila Isabel e Andaraí, conforme mostrado na Figura 5. O bairro do Alto da Boa Vista foi excluído da área

de estudo por possuir características peculiares diante dos demais. Não há representatividade deste bairro para a presente pesquisa devido à separação topográfica existente, marcada pelo Maciço da Tijuca, predominantemente localizado neste bairro, conforme observado na Figura 6.

A região da Grande Tijuca tem uma grande importância, quanto ao fluxo de pessoas na cidade. A sua localização privilegiada faz com que o bairro seja um ponto referencial que é capaz de se intraligar com a própria Zona Norte, e ainda é dotado da infraestrutura necessária para tornar possível uma interligação da Zona Norte à Zona Oeste, à Zona Sul e ao Centro, podendo esse acesso ser por túnel, metrô, estradas, avenidas. Por isso, a Tijuca, bairro principal da Grande Tijuca, apresenta-se como um importante centro comercial e de serviços da região, atendendo às necessidades dos bairros vizinhos (GEORIO, 2012).

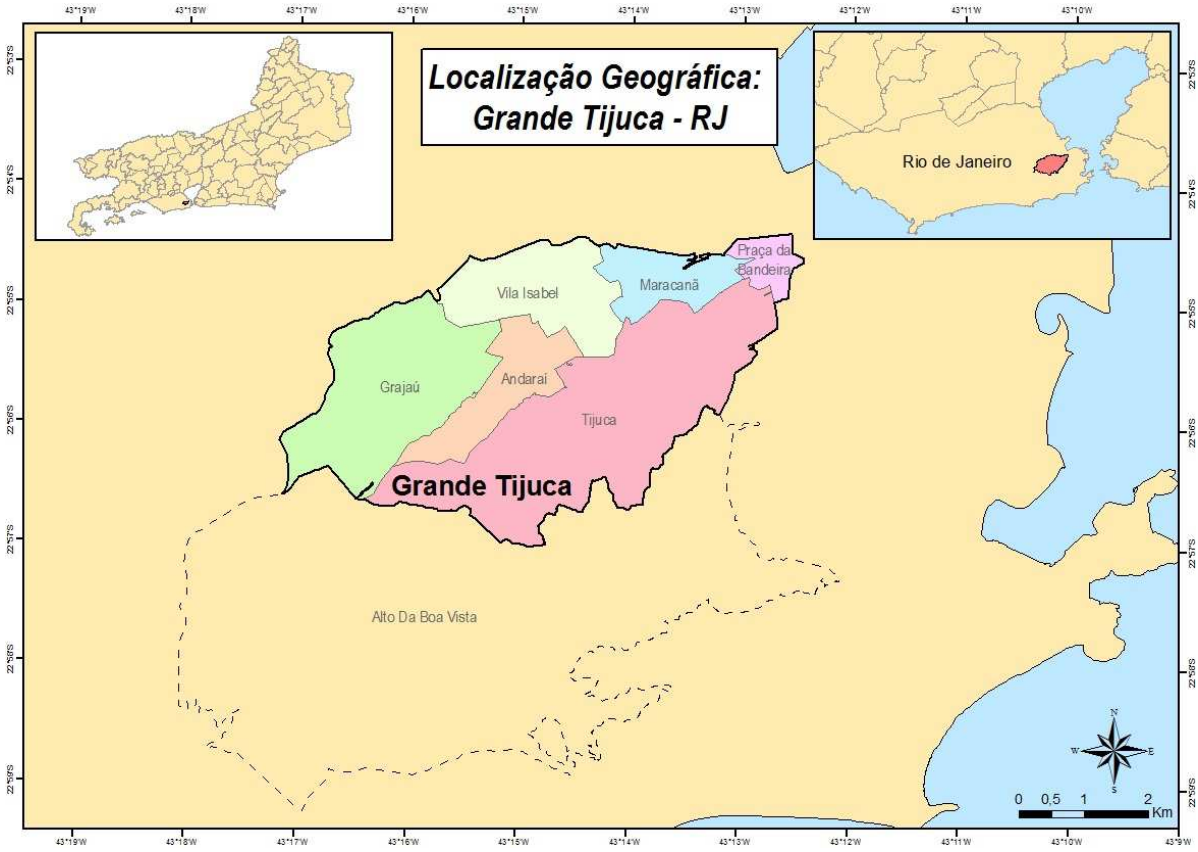


Figura 4 - Mapa de Localização da Grande Tijuca - RJ(Fonte: Elaborado com base nos dados disponíveis no IBGE - www.ibge.gov.br)

A área de estudo escolhida agrega peculiaridades e elementos relevantes para tal estudo, facilitando e garantindo legitimidade aos dados que serão analisados estatisticamente. Esta área é compreendida entre o Maciço da Tijuca, importante feição geomorfológica, onde nascem rios que cortam a região, e a Baía de Guanabara, onde ocorre o deságue de alguns desses. Para o estudo em questão, essas duas importantes feições podem influenciar a circulação do ar na região interferindo assim na concentração dos poluentes atmosféricos. Isso porque as presenças do mar e da Baía de Guanabara promovem um fluxo de ar complexo e a topografia acidentada do Maciço da Tijuca, que funciona como uma barreira aos ventos, dificulta a dispersão dos poluentes atmosféricos (INEA, 2009).

Os domínios topográficos da região e suas possíveis consequências quanto à circulação do ar, fazem com que esta seja uma importante área a ser estudada por causa da dificuldade de dispersão dos poluentes atmosféricos.

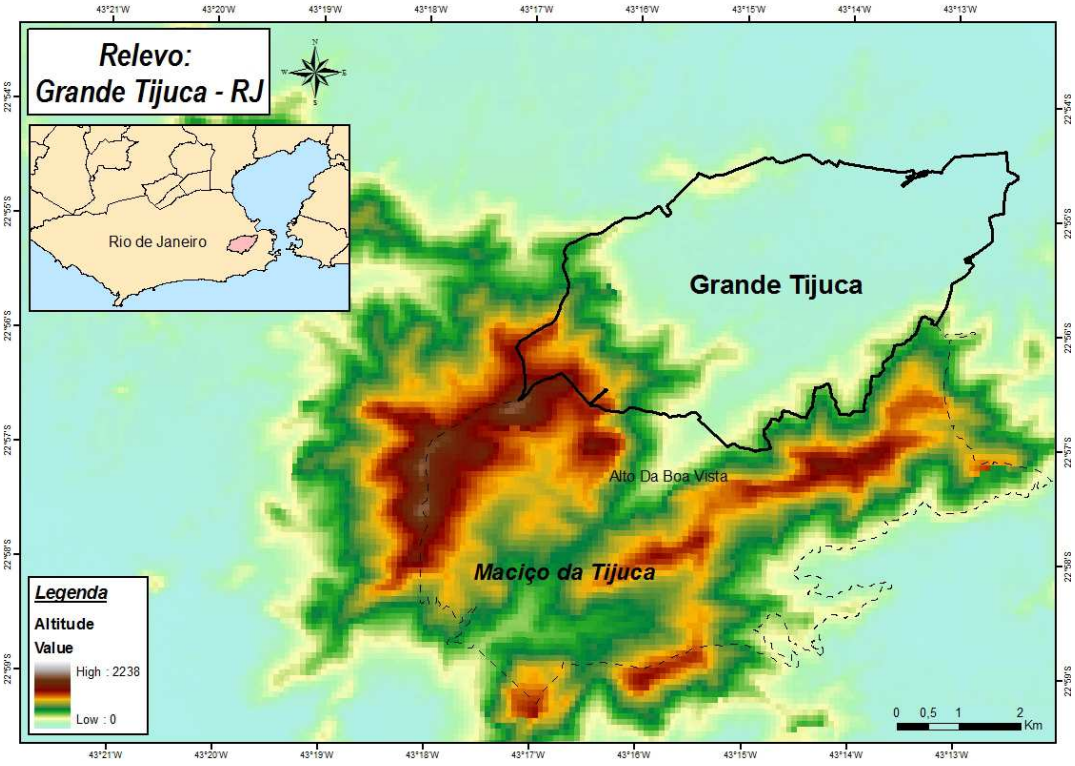


Figura 5 - Mapa de Relevo - Grande Tijuca – RJ (Fonte: Elaborado com base nos dados disponíveis no IBGE - www.ibge.gov.br)

A Rede Municipal de Monitoramento da Qualidade do Ar da Cidade do Rio de Janeiro é formada de 26 estações fixas: Belford Roxo, Benfica, Bonsucesso, Botafogo, Centro, Centro Automática, Coelho Neto, Copacabana, Duque de Caxias,

Engenho da Rainha, Itaguaí, Jacarepaguá, Jacarepaguá Automática, Maracanã, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu, Nova Iguaçu Automática, Realengo, Santa Tereza, São Cristóvão, São Gonçalo, São Gonçalo Automática, São João de Meriti, Sumaré, Tijuca; além de uma unidade automática móvel, que já esteve localizada nos bairros de Bonsucesso, Campo Grande, Santa Cruz, Manguinhos, Ilha do Governador, Barra da Tijuca e Méier (INEA, 2011).

A listagem das estações de monitoramento da qualidade do ar do Rio de Janeiro e os parâmetros monitorados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Listagem das estações de monitoramento da qualidade do ar do Rio de Janeiro e os parâmetros monitorados. (Fonte: INEA, 2013)

Estação		Parâmetros Monitorados						
		Qualidade do Ar						
		SO_2	NO_X	O_3	CO	HC	PI	PTS
1	Belford Roxo							X
2	Benfica							X
3	Bonsucesso						X	X
4	Botafogo						X	
5	Centro						X	X
6	Centro Automática *	X	X	X	X	X	X	
7	Coelho Neto							X
8	Copacabana						X	X
9	Duque de Caxias						X	X
10	Engenho da Rainha							X
11	Itaguaí						X	X
12	Jacarepaguá						X	X
13	Jacarepaguá Automática *	X	X	X	X	X	X	
14	Maracanã						X	X
15	Nilópolis						X	
16	Niterói						X	
17	Nova Iguaçu						X	
18	Nova Iguaçu Automática *	X	X	X	X	X	X	
19	Realengo							X
20	Santa Tereza							X
21	São Cristóvão						X	X
22	São Gonçalo						X	X
23	São Gonçalo Automática *	X	X	X	X	X	X	
24	São João de Meriti						X	X
25	Sumaré						X	X
26	Tijuca							X

* Estações que também realizam monitoramento de parâmetros meteorológicos (direção e velocidade dos ventos, temperatura e umidade)

Do conjunto dessas estações, duas delas foram utilizadas na pesquisa, devido sua proximidade com a área de estudo, conforme apresentado na Figura 7. A primeira é a Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar da Tijuca, localizada na Praça Saens Peña e a segunda é a Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar de São Cristóvão, localizada no Campo de São Cristóvão, região central do bairro.

O bairro de São Cristóvão é predominantemente residencial, no entanto apresenta também atividades comerciais e industriais (instalações de pequenas e médias empresas). A Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar de São Cristóvão está localizada próximo à principal rodoviária da cidade, a Rodoviária Novo Rio e também perto do Porto do Rio de Janeiro. Toda essa configuração espacial vai influenciar na qualidade do ar da região. Visto que a presença de indústrias e do porto eleva o número de caminhões responsáveis pela logística das empresas, assim como a proximidade com a rodoviária influencia na quantidade de veículos pesados que circulam na região (INEA, 2011).

A Tijuca é um bairro residencial que apresenta grande atividade comercial para atender a população do entorno. A Estação da Tijuca está localizada na Praça Saens Peña, centro comercial da região, tendo como principal via de acesso, a Avenida Conde de Bonfim, apresentando intenso tráfego de veículos.

Nas proximidades dessas estações existem vias que são rotas importantes para o centro da cidade. Por conta disso, há um tráfego intenso de veículos, tanto leves quanto pesados, em vias como: Avenida Brasil, Linha Vermelha e Avenida Francisco Bicalho, promovendo emissão de poluentes atmosféricos por fontes móveis.

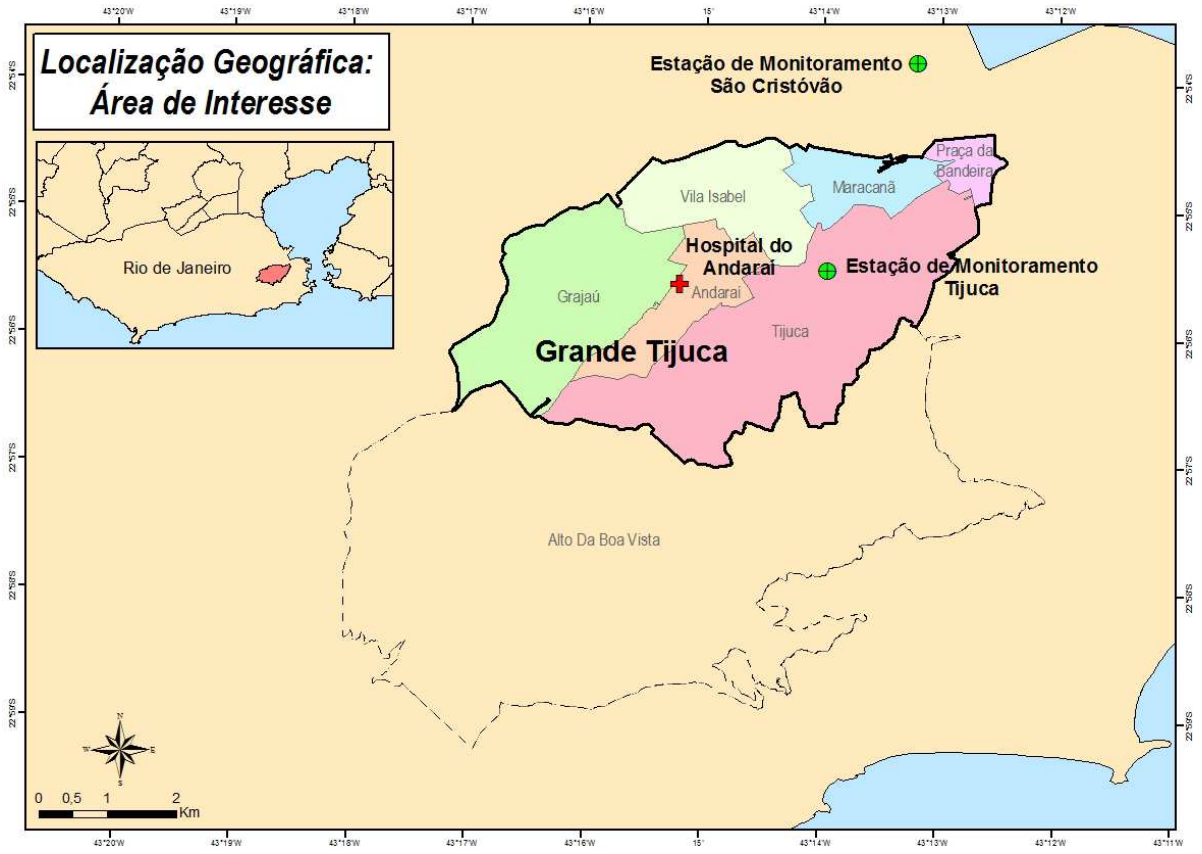


Figura 6 - Mapa de Localização dos Pontos de Interesse - Grande Tijuca - RJ(Fonte: Elaborado com base nos dados disponíveis no IBGE - www.ibge.gov.br)

A escolha das seguintes estações de monitoramento deveu-se ao fato desta estarem nas proximidades da área de estudo. O mesmo como ocorreu com a escolha do Hospital Andaraí, também localizado na região Grande Tijuca. O Hospital é o principal local de atendimento hospitalar da região, tanto para emergência, quanto para internação.

A região da Grande Tijuca apresenta, atualmente, uma população de 371.120 habitantes, segundo o Censo Demográfico do IBGE de 2010. Essa população, conforme apresentado no quadro 8, vem mostrando um crescimento da faixa etária que compreende os idosos, pessoas acima de 60 anos, sendo hoje 16,6% da população total da região. Já a população de crianças, numa faixa de 0 a 6 anos, correspondente à 4,93 % da população total da região da Grande Tijuca.

Essas faixas etárias compreendem os dois grupos mais sensíveis da população. São aqueles que têm o organismo mais frágil e por isso são mais suscetíveis às consequências da poluição do ar. Segundo Gouveia (2010), os mais

atingidos pela baixa qualidade do ar são as crianças e os idosos. As pessoas nessas faixas etárias têm um sistema imunológico frágil e são mais vulneráveis a certas doenças cardíacas e respiratórias. Tendo em vista essa suscetibilidade, esse dois grupos da população são o foco principal do presente estudo (GOUVEIA, 2010).

Tabela 3 - População da Grande Tijuca por Faixa Etária (Fonte: IBGE – CENSO 2010)

População Grande Tijuca	Número de Habitantes	Porcentagem (%)
< de 1 ano	3.117	0,84
1 a 6 anos	18.327	4,93
7 a 17 anos	52.417	14,13
18 a 64 anos	235.643	63,5
65 anos ou mais	61.616	16,6
Total	371.120	100

2.2. **Dados obtidos**

O estudo em questão compreende o período de janeiro de 2011 a dezembro de 2011, totalizando 12 meses. Esse período foi selecionado por conta da disponibilização dos dados necessários para execução das análises estatísticas.

As Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar do Rio de Janeiro passaram por ajustes e modernização de seus equipamentos para garantir maior confiabilidade das medições. Sendo assim retomaram o seu funcionamento entre maio e agosto de 2010, fazendo parte agora do programa Monitorar-Rio (SMAC, 2010).A presente pesquisa optou por desconsiderar o período de readaptação, até que as medições se normalizassem. Este foi o fator decisivo para a escolha do período a ser estudado, ou seja, harmonização entre dados hospitalares e dados de qualidade do ar disponíveis.

Os dados hospitalares, disponibilizados pelo Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), são consequentes da escolha do período determinado pelas medições das Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar do Rio de Janeiro.

Na região da Grande Tijuca, o Hospital do Andaraí é o principal estabelecimento para atendimento de emergência de toda essa população. E este, além dos atendimentos ambulatoriais de emergência também atua em atendimentos para internação. Este hospital é o principal da região e, além de apresentar todo o banco de dados necessário para o estudo de caso em questão, possui uma localização bastante central na região, garantindo ainda mais a confiabilidade dos dados e posteriormente resultados a serem obtidos.

Para o presente estudo foram considerados dados de internações do Hospital do Andaraí, por doenças do aparelho respiratório, em crianças com idade de 0 a 4 anos e idosos, maiores de 65 anos e doenças do aparelho circulatório, em idosos, maiores de 65 anos, na região da Grande Tijuca. Estes dados de saúde foram extraídos dos bancos de Autorizações de Internação Hospitalar (AIH) do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), por este ser um hospital Sistema Único de Saúde (SUS) do Ministério da Saúde. Nestes bancos contam informações como, sexo, idade, data de internação, data de alta, diagnóstico, duração de internação, identificação do hospital e unidade da federação. Para o estudo específico que aborda doenças do aparelho respiratório e

aparelho circulatório, foram levantados os diagnósticos dos pacientes utilizando a Classificação Internacional de Doenças 10ª revisão (CID10). Os códigos alfanuméricos utilizados para identificação das doenças no DATASUS foram: J00-J99 para doenças do aparelho respiratório e I00-I99aparelho circulatório. Estas informações obtidas foram agrupadas por data, produzindo assim séries temporais e faixa etária de estudo.

Os dados de poluição do ar foram adquiridos junto à Secretaria Municipal de Meio Ambiente – SMAC (SMAC, 2012). A aquisição desses dados de concentração de poluentes atmosféricos, como mencionado anteriormente, fazem parte de um programa de monitoramento da qualidade do ar da Prefeitura do Rio de Janeiro, o “MonitorAr-Rio”, que faz esse monitoramento constante. Foram disponibilizadas para a pesquisa as concentrações diárias de material particulado até 10 mícrons (PM_{10}). As concentrações foram aferidas em duas estações de monitoramento da qualidade do ar, coordenadas pelo programa: Estação de São Cristóvão e Estação da Tijuca. É importante ressaltar que o indicador de poluição do ar na região, foi obtido a partir da média entre as médias diárias de concentração do poluente nas duas estações de monitoramento da qualidade do ar da região. Isso porque, além dos níveis de concentração de poluentes serem muito próximos nas duas estações, há uma considerável proximidade das duas estações em relação ao Hospital do Andaraí, como é mostrado na Figura 7.

E, por fim, os dados de temperatura e umidade foram cedidos pelo Instituto de Controle do Espaço Aéreo – ICEA (ICEA, 2012), responsável pelo aferimento destes dados nos aeroportos da cidade do Rio de Janeiro, sendo eles: Aeroporto do Rio de Janeiro - Santos Dumont e Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão - Antônio Carlos Jobim. Os indicadores de temperatura e umidade também foram calculados a partir da média entre os dados diários obtidos nos aeroportos.

3. ANÁLISE DOS DADOS

Para a análise estatística dos dados, prevista no estudo, considerou-se a regressão de Poisson, via modelo aditivo generalizado (MAG). Nesta análise estimou-se a associação entre a variável de exposição (poluente) e a variável de desfecho (número de internações). As variáveis preditoras, também consideradas na análise, como dias da semana, feriados, condições meteorológicas são chamadas de fatores de confusão, por serem capazes de influenciar na variável de desfecho (SALDIVA, 1995).

A estratégia utilizada para modelagem constituiu na definição do modelo de linha de base (*core model*) aplicável ao problema. Para isso, foi necessário inserir nessa linha de base todas as informações conhecidas que pudessem explicar a variável de desfecho, como variáveis de controle de confusão, modificadores de efeito e ajuste dos componentes estruturais da série temporal, exceto a variável de exposição. A escolha de cada variável e função para compor o modelo de linha de base envolve decisões baseadas em testes e diagnósticos em cada etapa do processo. Inicialmente, a variável de exposição, ou seja, o poluente, não foi inserida nessa linha de base. Após a definição do modelo de linha de base, a variável de exposição pode ser inserida no modelo, de forma linear, para estimar o risco relativo do efeito do poluente sobre as internações hospitalares (JUNGER, 2008).

As modelagens foram feitas com os dados de séries diárias de internação de crianças e idosos, por doença respiratória ou cardiovascular e as variáveis explicativas para estimação dos efeitos da poluição do ar na saúde. Estas são: temperatura, umidade, dias da semana, feriados e poluição do ar (concentração dos níveis de PM_{10}).

Para a estimação do modelo foi utilizado o aplicativo R. Este é um aplicativo livre que comporta análises descritivas e modelagem estatística, com a possibilidade de produção de análises gráficas de dados. O aplicativo possui uma biblioteca de algoritmos, e novas funções podem ser inseridas sob a forma de bibliotecas, criadas a partir de programação. Para a pesquisa em questão, foi utilizada a biblioteca ARES, ideal para análises que busquem relacionar ar e saúde. A biblioteca ARES (acrônimo para “ar e saúde”) foi implementada durante o programa Ares-Rio (estudo de efeitos da poluição do ar na saúde no Rio de Janeiro) (JUNGER, 2008).

Esta biblioteca armazena a implementação de diversas técnicas estatísticas para estimação e diagnóstico do modelo operacional. A biblioteca ARES já tem implementado o padrão de regressão de Poisson. Esta biblioteca deve ser inserida no ambiente de análise estatística R (JUNGER, 2008).

Para o desenvolvimento da modelagem, são imprescindíveis os diagnósticos de cada etapa do processo. Esses diagnósticos vão avaliar, durante o processo de modelagem, as variáveis preditoras, para que sejam feitas as escolhas de melhor ajuste ao modelo, considerando o relacionamento com a variável resposta. Os diagnósticos avaliam se os pressupostos do modelo estão sendo preservados, garantindo validade e precisão, baseando-se, geralmente, nos resíduos que vão medir o afastamento entre os valores observados e os valores preditos pelo modelo (JUNGER, 2008).

A análise de correlação habitual entre os indicadores não pode ser mantida para esse tipo de estimativa, por conta da existência de fatores próprios das séries temporais como tendência, sazonalidade e autocorrelação. Estes fatores, se não controlados, podem prejudicar as avaliações do efeito e da precisão (JUNGER, 2008).

No que tange a autocorrelação, na dinâmica estrutural de séries temporais, tem-se os valores medidos ao longo do tempo, como os dias consecutivos, que não são independentes e apresentam autocorrelação. Em oposto a isso temos as internações hospitalares expressa em valores medidos ao longo do tempo, porém não é possível admitir que as internações de um dado dia possam influenciar nas internações do dia seguinte. Quando é observada autocorrelação na variável de desfecho, uma explicação para isto é a autocorrelação existente nas variáveis preditoras do desfecho (JUNGER, 2008).

Outros fatores inerentes à estrutura dinâmica das séries temporais são tendência e sazonalidade. A presente pesquisa pretendeu estimar o efeito agudo de curto prazo, considerando as variações dia-a-dia. Essas componentes sistemáticas também devem ser controlas para que seja avaliada a existência de correlação de curto prazo entre as variáveis resposta e exposição, verdadeiramente, evitando a indução de uma correlação, mesmo que não exista uma relação de causa e efeito entre elas. Quanto às variações cíclicas, são consideradas, principalmente, nos estudos que envolvem series temporais, aquelas que ocorrem com período de um

ano ou com sazonalidade. As variáveis de eventos de saúde, fatores meteorológicos e poluição geralmente apresentam sazonalidade (Schwartz, 1996).

Os componentes de uma série temporal podem ser controlados, por exemplo, por meio de uma função suave do tempo, como no caso da utilização de um *spline* para controle de tendência e sazonalidade. Sabemos a importância da utilização de funções suaves (*spline*) para o controle de determinados fatores do modelo. O que não se sabe é o quanto suave devem ser essas curvas. A melhor forma de descobrir este grau de suavização da curva para o controle das variações é através de testes baseados em diagnósticos do modelo. Ainda que existam métodos automáticos, os métodos empíricos são mais utilizados, por apresentarem resultados satisfatórios (JUNGER, 2008).

3.1. **Modelagem estatística dos dados**

Os efeitos nocivos da poluição manifestados nos indivíduos apresentam um comportamento que revela uma diferença entre o período de exposição do indivíduo e as manifestações biológicas consequentes. Isso porque os atendimentos observados em um determinado dia podem estar relacionados à poluição deste mesmo dia, ou à poluição notada em dias anteriores. Para tal análise, considerando a defasagem entre poluição e manifestações biológicas no indivíduo, é necessário um modelo mais preciso que considere esta questão.

A análise estatística da pesquisa foi aplicada a 3 grupos sensíveis. O primeiro deles abrange os pacientes que apresentaram problemas no aparelho respiratório, com idade de 0 a 4 anos. O segundo grupo abrange idosos, maiores de 65 anos, também com problemas no aparelho respiratório. E o terceiro, abrange os pacientes que apresentaram problemas no aparelho circulatório, maiores de 65 anos. No caso de doenças cardiovasculares, avaliou-se somente grupo dos idosos, maiores de 65 anos. Isso porque o grupo de crianças com problemas no aparelho circulatório, não apresentou, no período estabelecido pela presente pesquisa, números significativos para que fosse analisado.

A análise foi feita em várias etapas. Para controle da sazonalidade de curta duração foram inseridas variáveis indicadoras para os dias da semana, feriados e dias consecutivos. Em complemento a isso, fatores de confusão como condições meteorológicas (temperatura e umidade) também foram controlados por meio de ajuste através de funções *splines*, quando necessário. Quando utilizadas as funções *splines* para os fatores meteorológicos, o grau de suavização foi testado a fim de conseguir a melhor curva de suavização. Os fatores meteorológicos geralmente são bem representados pelas medidas de temperatura e umidade (JUNGER, 2008).Tendo isso sido feito, chegou-se ao modelo de linha de base (*core model*).

Para a definição do modelo de linha de base, após inclusão das variáveis preditoras, foram realizados vários testes, produzindo diagnósticos de avaliação do ajuste do modelo. Os gráficos de diagnósticos produzidos são importantes para avaliar o sucesso em cada etapa da análise. A maioria dos diagnósticos é baseada em resíduos que medem o afastamento entre os valores observados e os valores preditos pelo modelo (JUNGER, 2008).

O gráfico de valores previstos pode exibir padrões de sazonalidade dos eventos ao longo do período estabelecido. O gráfico de resíduos ao longo do tempo pode apresentar potenciais *outliers* entre os dados. Uma das medidas mais utilizadas para avaliar a influência de um conjunto de observações, via eliminação, é a distância de Cook. Essa distância mede o efeito da exclusão de uma dada observação. No gráfico da função de autocorrelação, podem ser observados registros de dependência serial ou autocorrelação não controlada. O gráfico do periodograma dos resíduos pode exibir presença de efeitos sazonais remanescente de médio e longo prazo que não foram controladas. No gráfico de normalidade dos resíduos é possível verificar a normalidade assintótica dos resíduos padronizados. Na Biblioteca ARES estão disponíveis estes diagnósticos com base em resíduos, utilizados para avaliação dos modelos apresentados.

Por fim, uma vez definido o modelo de linha de base, adicionou-se ao modelo, de forma linear, a variável de exposição, ou seja, o poluente (PM_{10}), para que pudesse ser estimado o risco relativo do efeito do poluente sobre as internações hospitalares. O efeito do poluente pode ser observado no mesmo dia ou em alguns dias após a exposição, ou ainda pode ser observado no mesmo dia e persistir por alguns dias. Para a estimativa deste efeito utilizou-se a abordagem de defasagem simples, que avalia o efeito de cada defasagem de forma independente. O efeito prolongado do poluente é estimado com diferentes números de defasagem. Para a estimativa do efeito foram testados os valores diários dos poluentes no mesmo dia, e com amplitudes de dois a cinco dias, considerando sempre o dia corrente.

Os bancos de dados utilizados contem então: as variáveis respostas ou de desfecho, que são o número de internações de pacientes por dia; a variável de exposição, que são os níveis diários de poluente (PM_{10}); e as variáveis preditoras, que são as médias diárias da temperatura e umidade, além de outros fatores de confusão como efeitos de calendário envolvendo dias da semana, feriados e dias consecutivos.

Para estimativa do modelo ideal, necessário às análises estatísticas, as etapas de construção e avaliação das variáveis no modelo foram retidas quantas vezes fossem necessárias, para que fossem obtidos resultados compatíveis com a teoria seguida.

3.2. **Resultados e avaliação crítica**

O período da pesquisa compreendeu os meses de janeiro a dezembro de 2011. Ao longo do período ocorreram 381 atendimentos para internações hospitalares por doenças respiratórias e 456 atendimentos para internações hospitalares por doenças cardiovasculares.

Inicialmente foi feita uma análise descritiva prévia das variáveis de interesse do modelo selecionado, conforme apresentada na Tabela 4. Esta análise descritiva inicial aborda a contagem diária dos atendimentos para internação em pronto socorro, separados por faixas etárias, para a região da pesquisa, durante o período de avaliação, para todos os grupos, de forma comparativa. Para doenças respiratórias, a faixa etária de 0 a 4 anos de idade apresentou maior número de atendimentos para internação hospitalar, durante o período estudado, se comparado à faixa etária de maiores de 65 anos para o mesmo tipo de atendimento. Para as doenças cardiovasculares, foi observado um maior número de atendimentos para internação, no período em questão, na faixa etária de maiores de 65 anos. Nesse caso, a faixa etária de 0 a 4 anos de idade foi desconsiderada para doenças cardiovasculares por conta da baixa relevância dos dados no período em questão.

Tabela 4 - Análise descritiva da contagem diária dos atendimentos em pronto socorro por doenças respiratórias e cardiovasculares, nas faixas etárias selecionadas. Grande Tijuca, Rio de Janeiro, Brasil, no período de 1º de janeiro de 2011 a 31 de dezembro de 2011. (Fonte: DATASUS, 2012)

	Doenças Respiratórias		Doenças Cardiovasculares
	0-4 anos	65 anos ou mais	65 anos ou mais
Dias avaliados	365	365	365
Nº de ocorrências	207	174	456
Média diária	0,5	0,4	1,2
Mínimo diário	0	0	0
Máximo diário	4	3	7

Outra etapa da análise descritiva, conforme apresentada na Tabela 5, foi a apreciação do comportamento das concentrações de material particulado inalável (PM_{10}) e variáveis meteorológicas (temperatura média e umidade relativa do ar), para a região da Grande Tijuca, ao longo do período da pesquisa.

Em observação à concentração do poluente $PM_{10,}$ não foram observados, no período da pesquisa, valores de PM_{10} que ultrapassassem os padrões de qualidade

do ar (150µg m^{-3}) estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90, que versa sobre os poluentes legislados e seus respectivos padrões de emissão atmosférica. A concentração máxima atingida foi de 114 µg m^{-3}. Vale ressaltar então, que a presente pesquisa investigou a influencia do poluente PM_{10} sobre a saúde da população, mesmo quando este, regido por uma resolução que estabelece seu limite máximo, está abaixo do permito e assim não deveria estar sendo considerado nocivo à saúde humana.

Tabela 5 - Estatística descritiva das concentrações do material particulado inalável (PM_{10}) e variáveis meteorológicas. Grande Tijuca, Rio de Janeiro, Brasil, no período de 1º de janeiro de 2011 a 31 de dezembro de 2011. (Fonte: ICEA, 2012; SMAC, 2012)

	Temperatura Média (°C)	Umidade Relativa do Ar (%)	PM_{10} (µg m^{-3})
Média	23,6	76,9	40
Mínimo	17	56	9,4
Máximo	30,1	93	114

Conforme mostrado no Gráfico 1, e de maneira já esperada, considerando a pesquisa bibliográfica antecedente ao estudo que foi realizado, a concentração do poluente PM_{10} também apresenta uma certa sazonalidade. Dessa forma, é possível perceber um comportamento sazonal diante da distribuição da concentração de PM_{10} ao longo do período estabelecido pela pesquisa. Ou seja, observa-se um aumento mais acentuado nos meses que apresentam temperaturas mais amenas, indo de maio a outubro. Esse tipo de observação geralmente é mais comum neste período do ano (inverno), porque é uma estação mais seca, em que há menos pluviosidade e inversão térmica. Quando ocorre chuva, os poluentes são lavados, diminuindo assim a sua concentração. E quando há inversão térmica, os poluentes ficam confinados numa altitude mais baixa, sendo nocivos à saúde da população.

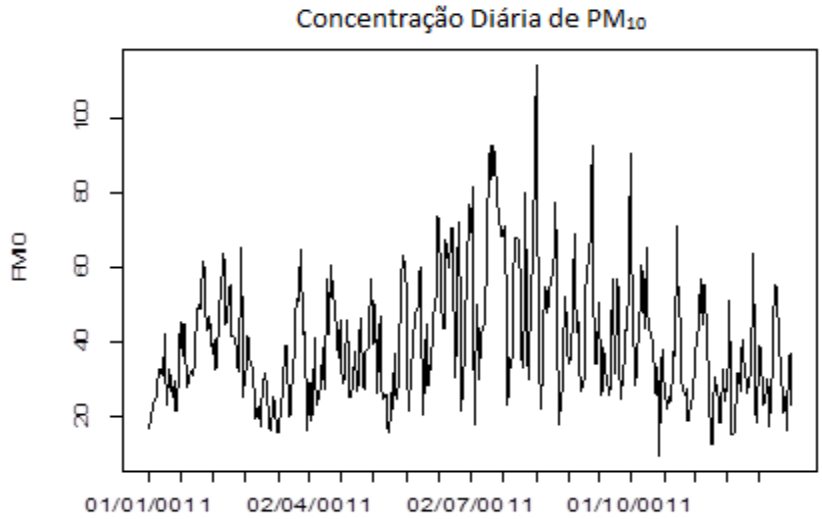


Gráfico 1 - Gráfico elaborado a partir do processamento do banco de dados no aplicativo R utilizando a biblioteca ARES para análise da concentração de PM_{10} ao longo do tempo.

A análise descritiva funciona como uma introdução ao entendimento dos dados e de seu futuro processamento. Contudo, o interesse central da pesquisa está nas análises das variáveis, considerando cada modelo individualmente.

Na Tabela 6 são apresentadas as descritivas de média, desvio padrão, mínimo, máximo e quartis da distribuição para as variáveis inseridas nos 3 modelos.

Tabela 6 - Tabela elaborada a partir do processamento do banco de dados no aplicativo R utilizando a biblioteca ARES para apreciação da análise descritiva das variáveis internação (var_resp0_4, var_resp_plus65,var_ circ_plus65), PM_{10}, TEMP e Umidade. (Fonte: DATASUS, 2012; SMAC, 2012; ICEA, 2012)

Variáveis	Nº de dias	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	p25	p50	p75
var_resp0_4 *	365	0,5671233	0,8180745	0,00	4,00	0,00	0,00	1,00
var_resp_plus65**	365	0,4767123	0,6814901	0,00	3,00	0,00	0,00	1,00
var_ circ_plus65***	365	1,2493150	1,2625700	0,00	7,00	0,00	1,00	2,00
PM_{10}	365	40,0157534	16,9494006	9,46	114,21	27,35	35,96	49,04
Temperatura	365	23,6287671	2,9113872	17,00	30,10	21,50	23,40	25,90
Umidade	365	76,8904110	7,0558246	56,00	93,00	72,00	78,00	82,00

*Internações por doença respiratória para crianças de 0 a 4 anos
**Internações por doença respiratória para idosos maiores de 65 anos
***Internações por doença cardiovascular para idosos maiores de 65 anos

Ao examinar a Tabela 6, é possível perceber que o ponto de máximo do nível de PM_{10} (114,21µg m^{-3}) foi contrastante com a média da variável (40,01) e por isso, apresentou considerável desvio-padrão (16,94). As variáveis de internações

apresentaram uma média de 0,56 internações por doença respiratória de crianças de 0 a 4 anos por dia, 0,47para internação por doença respiratória de idosos maiores de 65 anos e 1,24 para internação por doença cardiovascular de idosos maiores de 65 anos; um desvio padrão baixo (0,81). A variável Temperatura apresentou uma média de 23°C e um desvio padrão baixo (2,91); e a variável Umidade apresentou uma média de 76,89% e um desvio padrão (7,05).

Tabela 7- Tabela elaborada a partir do processamento do banco de dados no aplicativo R utilizando a biblioteca ARES para apreciação da análise descritiva das variáveisde tempo (dias da semana, meses do ano). (Fonte: Biblioteca ARES, 2012)

Variáveis de Tempo							
Dia		Dia da Semana		Meses		Tempo	
01/01/11	1	domingo	52	Agosto	31	Mínimo	1
01/02/11	1	segunda-feira	52	Dezembro	31	Mediana	183
01/03/11	1	terça-feira	52	Janeiro	31	Média	183
01/04/11	1	quarta-feira	52	Julho	31	Máximo	365
01/05/11	1	quinta-feira	52	Março	31		
01/06/11	1	sexta-feira	52	Maio	31		
Outros	359	sábado	52	Outros	179		

Na Tabela 7 foram apresentadas as variáveis de tempo inseridas nos 3 modelos. Observa-se que o modelo computou dia a dia, totalizando um período de 365 dias. Quantos aos dias da semana, foram calculados 52 vezes cada dia da semana. Registrou-se também quantos dias há em cada mês e as descritivas de média (183), mediana (183), mínimo (1) e máximo (365) para todo o período da presente pesquisa. Todas essas variações na linha do tempo, como dias da semana, meses do ano e feriados nacionais, podem também influenciar na distribuição dos eventos e por isso devem ser consideradas no modelo. Por conta disto é válida uma breve avaliação destas variáveis.

As análises resultantes da aplicação de modelagem estatística em busca das correlações possíveis entre os parâmetros fundamentais e aqueles avaliados como intervenientes no processo de influência da qualidade do ar na saúde da população domiciliada na área, estão incluídas nos Apêndices A, B e C.

3.2.1. Modelo 1 – Pacientes apresentando doença respiratória na faixa etária de 0 a 4 anos

Neste tipo de análise, considera-se importante a avaliação do número de internações ao longo do tempo para verificar padrões de ocorrências, ainda que suaves, tais como sazonalidade. Através dessa avaliação, torna-se viável a identificação de possíveis picos de atendimento hospitalar por internação mediante a variação da concentração dos níveis de poluentes e alterações significativas de temperatura e umidade.

Para a avaliação de uma possível sazonalidade é necessário examinar o Gráfico 2, que mostra a distribuição do evento (ocorrência de pacientes com doença respiratória)ao longo do período estabelecido pela pesquisa. É possível perceber certa tendência à sazonalidade na distribuição desse evento. A partir do mês de abril, no qual a temperatura tende a cair, devido à aproximação do período de inverno, há uma tendência ao aumento também no número de atendimento para internações desse tipo.

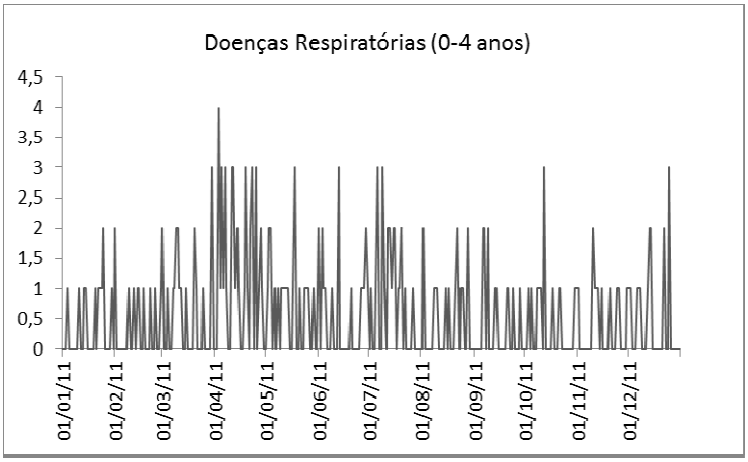


Gráfico 2 - Número diário de atendimentos para internação por doenças respiratórias para faixa etária de 0 a 4 anos de idade entre janeiro de 2011 e dezembro de 2011.

Para controlar fatores de confusão em potencial, já que trata-se de um estudo que envolve séries temporais, foi feita uma avaliação dos feriados que seriam inseridos no modelo. Após análise, aqueles feriados considerados não significativos, ou seja, que apresentaram p-valor (*Pr (>|z|)*) maior que 0,1, foram removidos e o modelo então, foi reestimado. Desta forma, apenas os feriados de Natal (*christmas*),

Independência (*independencia*) e de Nossa Senhora Aparecida (*aparecida*) foram mantidos e o modelo foi reestimado considerando apenas estes 3 feriados.

Testes também foram feitos para a apreciação da variável de tempo inserida no modelo. A variável de tempo em meses do ano foi a que melhor se ajustou ao modelo. Esta variável de tempo (time) foi inserida no modelo como *spline*, com 3 graus de liberdade ao ano.

A variável de umidade também foi testada para inserção no modelo. Esta variável, de comportamento *spline*, apresentou melhor ajuste ao modelo quando inserida com 3 graus de liberdade ao ano. Essa escolha se deu pelo fato de que, em geral, os graus de liberdade para esse tipo de variável são baixos. Somente o suficiente para dar conta de associações não-lineares. A variável umidade com 3 graus de liberdade foi a que trouxe melhor ajuste ao modelo.

Após avaliação do indicador de umidade, foi avaliado o indicador de temperatura. Para inserção desta variável no modelo, foi necessário identificar, inicialmente, o seu tipo de associação: linear ou não-linear. Análises foram feitas a partir dos gráficos dos resíduos suavizados e o comportamento mais adequado desta variável, no modelo, foi com 4 graus de liberdade.

Após inserção dos indicadores de temperatura e umidade, o modelo foi reestimado. O modelo final considerou então a variável de tempo em meses do ano como uma associação não-linear com 3 graus de liberdade, a variável de temperatura como *spline* com 4 graus de liberdade e a variável de umidade como *spline* com 3 graus de liberdade ao ano, conforme descrito na Tabela 8. Assim, foi definido o modelo de linha de base, conforme apresentado no Apêndice A.3. E, para validação do modelo estimado, verificando a preservação de seus pressupostos, uma série de diagnósticos foi avaliada. Estes diagnósticos estão dispostos no Apêndice D.1.

Tabela 8 – Apresentação fatores finais do modelo estatístico. (Fonte: Biblioteca ARES)

Coeficientes	Estimativa	P-valor
ns(time, 3) 1	-0,1016	0,08300
ns(time, 3) 2	1,6106	0,09195
ns(time, 3) 3	-0,6901	0,02632
christmas	1,9761	0,00307
independencia	1,8937	0,01114
aparecida	2,1058	0,00064
ns(l(Umidade, 2),3)1	0,6659	0,13105
ns(l(Umidade, 2),3)2	1,6283	0,30809
ns(l(Umidade, 2),3)3	-0,1954	0,74975
ns(l(TEMP,0),4)1	-0,5958	0,14714
ns(l(TEMP,0),4)2	0,4093	0,35433
ns(l(TEMP,0),4)3	-1,8203	0,06698
ns(l(TEMP,0),4)4	-0,7938	0,32972

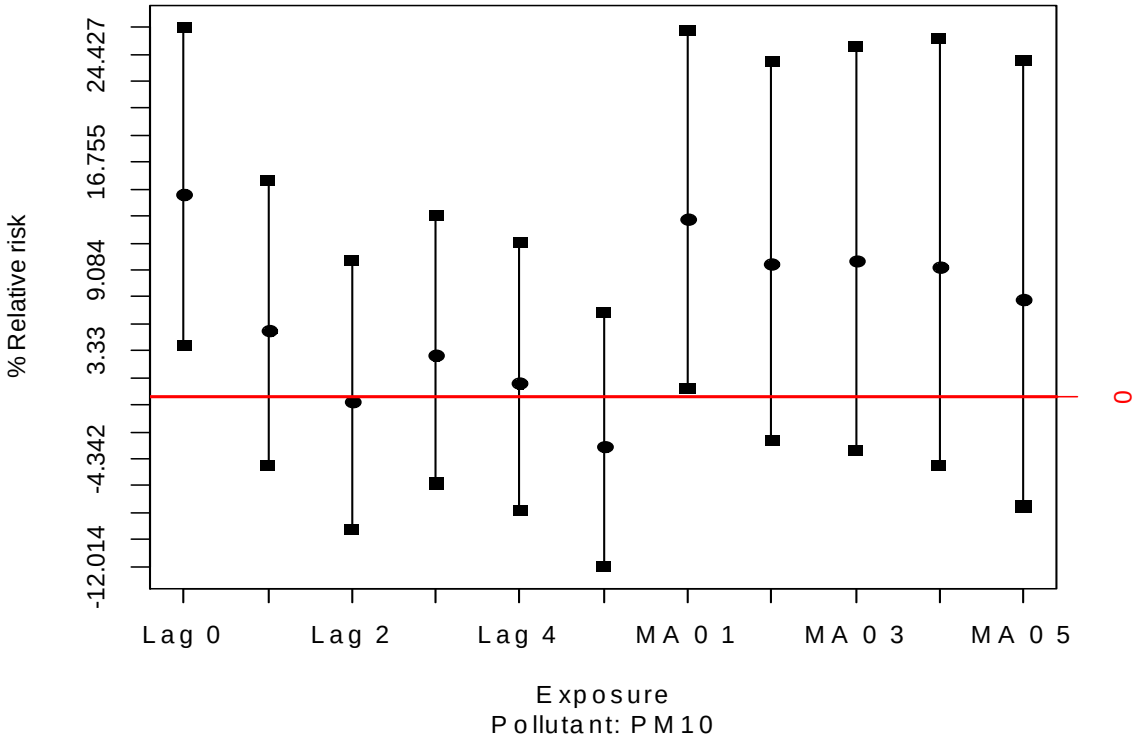
Este estudo acaba por apresentar indícios de que as variáveis de tempo, influência de feriados, temperatura e umidade, apresentam ligação com o número de internações hospitalares ao longo do tempo estabelecido pela pesquisa.

Para estimativa do efeito do poluente nas internações foi calculado o risco relativo do aumento de 10 unidades do poluente sobre a variável de desfecho, usando modelos de defasagem simples. Neste tipo de modelo, o efeito de cada defasagem é estimado independentemente das outras defasagens.

Observando o gráfico da trajetória dos riscos relativos estimados para variação de 10μg m^{-3} de PM_{10}, foram encontradas associações estatisticamente significantes entre aumentos da concentração de poluentes e aumentos no número diário de internações de crianças por doenças respiratórias. O efeito nas internações foi imediato, ou seja, no mesmo dia (lag0) do aumento da concentração do poluente. Observa-se que o efeito do mesmo dia bem como o efeito cumulativo de 1 dia são os de maiores magnitudes.

A análise mostra que a poluição do ar está associada com um aumento estatisticamente significativo no número de internações de crianças por doenças respiratórias na área de estudo. Esse entendimento é percebido pela observação do Gráfico 3, que apresenta a trajetória do efeito do poluente.

Gráfico 3 - Gráfico da trajetória dos riscos relativos estimados dos efeitos do acréscimo de 10µg m^{-3} de PM_{10} na internação de crianças com idade de 0 a 4 anos, por doenças respiratórias, para variação de 5 dias.



3.2.2. Modelo 2 – Pacientes apresentando doença respiratória com idade acima de 65 anos

A sazonalidade dos dados de internação para este grupo sensível não é tão nítida. São observados 2 picos no número de atendimentos para internações. O primeiro no período que compreende os meses de janeiro e fevereiro e o segundo no período que compreende os meses de setembro e outubro, conforme Gráfico 4.

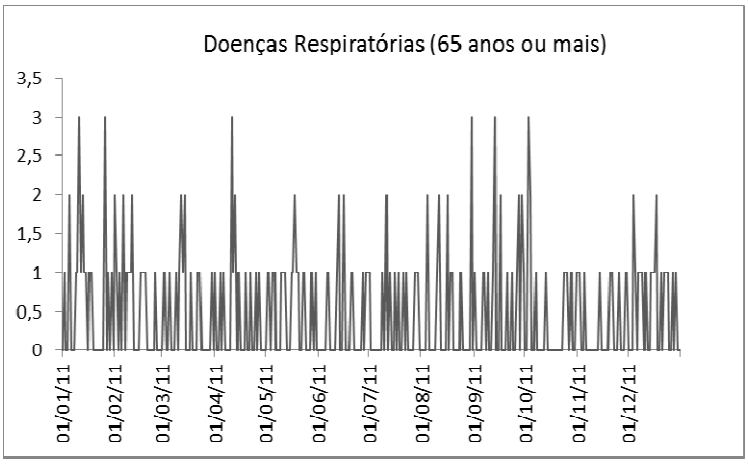


Gráfico 4 - Número diário de atendimentos para internação, por doenças respiratórias, de pacientes com idade acima de 65 anos entre janeiro de 2011 e dezembro de 2011.

Para controlar fatores de confusão foram avaliados efeitos de calendário. Após análise, aqueles feriados considerados não significativos foram removidos e o modelo então, foi reestimado. Por conta disto, apenas o feriado de Zumbi – Dia da Consciência Negra (zumbi), foi mantido e o modelo foi reestimado considerando apenas este feriado.

Também foram feitos testes, para apreciação da variável de tempo inserida no modelo. O efeito dos dias da semana é controlado pelo fator *weekdays* com um nível para cada dia da semana e este foi o que trouxe melhor ajuste ao modelo.

Após apreciação das variações na linha do tempo, a variável de temperatura foi analisada. Este indicador foi explorado inicialmente com 3 e 4 graus de liberdade, no entanto, desta forma, não apresentou relevância para o modelo. Estas considerações levaram à inserção da variável temperatura, no modelo, com comportamento linear, já que se apresenta relevante com essa característica.

Posteriormente, foi avaliado o indicador de umidade. Após execução de testes, foi considerado relevante o comportamento *spline* (não-linear) da variável umidade com 4 graus de liberdade.

Após inserção dos indicadores de temperatura e umidade, o modelo foi novamente reavaliado. Nos dados de atendimento para internação, por doença respiratória, de pacientes com idade acima de 65 anos, a quantidade de informação foi insuficiente, implicando na consistência do modelo. O modelo final considerou então a variável de tempo em dias da semana, a variável de temperatura com comportamento linear e a variável de umidade como *spline* com 4 graus de liberdade ao ano, conforme descrito na Tabela 10, tendo definido então, o modelo de linha de base, conforme apresentado no Apêndice B.3.

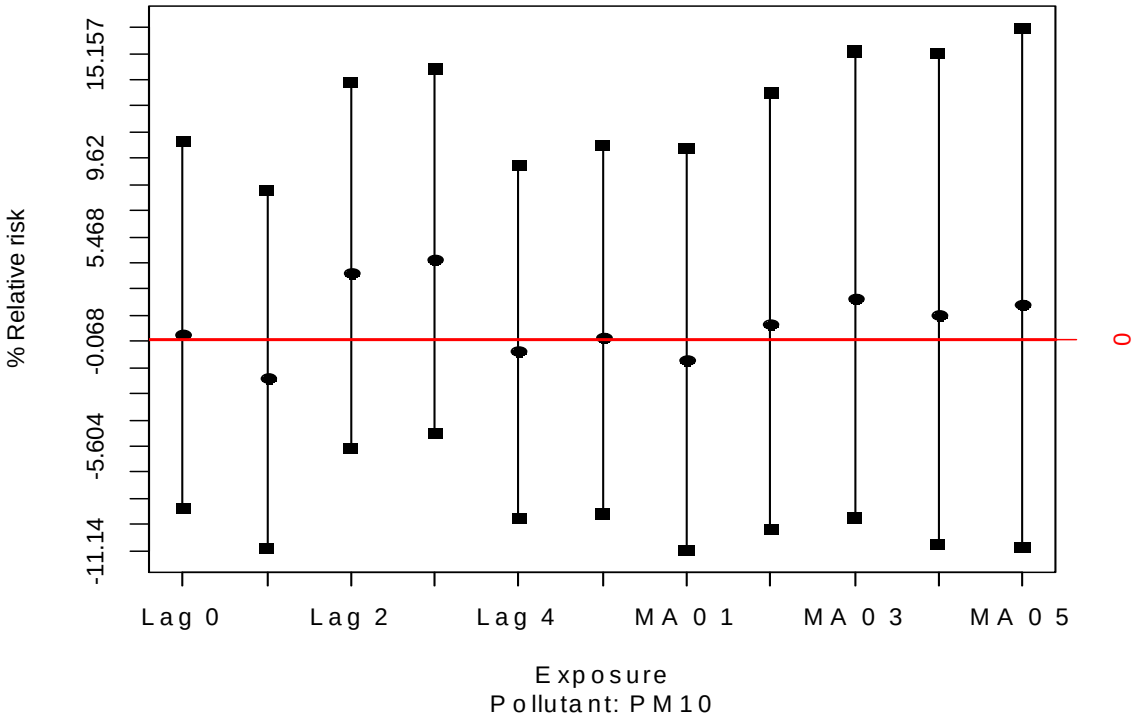
Tabela 9 - Apresentação fatores finais do modelo estatístico. (Fonte: Biblioteca ARES)

Coeficientes	Estimativa	P-valor
weekdaysFri	1,08337	0,004738
weekdaysMon	1,20209	0,001501
weekdaysSat	0,40787	0,339925
weekdaysThu	0,97342	0,01237
weekdaysTue	1,31367	0,000444
weekdaysWed	1,14487	0,002658
zumbi	1,94014	0,068022
TEMP	0,04942	0,064
ns(l(Umidade, 2),3)1	0,71747	0,328625
ns(l(Umidade, 2),3)2	0,70995	0,20801
ns(l(Umidade, 2),3)3	2,47252	0,154738
ns(l(Umidade, 2),3)4	-0,04877	0,945725

Chegando ao modelo de linha de base final, uma série de diagnósticos foi avaliada. Este diagnóstico do modelo final está disposto no Apêndice D.2.

A variável de exposição foi adicionada ao modelo e o efeito do poluente sobre as internações foi estimado. Os efeitos do PM_{10} foram de baixa magnitude, não significativos estatisticamente para associação entre aumentos da concentração de poluentes e aumentos no número diário de internações de idosos por doenças respiratórias. Não foi significativo estatisticamente também o efeito cumulativo, conforme Gráfico 5.

Gráfico 5 - Gráfico da trajetória dos riscos relativos estimados dos efeitos do acréscimo de 10µg m^{-3} de PM_{10} na internação de idosos maiores de 65 anos, por doenças respiratórias, para variação de 5 dias.



3.2.3. Modelo 3 – Pacientes apresentando doença cardiovascular com idade acima de 65 anos

Não é tão claro um padrão sazonal dos dados de internação para este grupo sensível quanto àqueles percebidos anteriormente. Porém é perceptível um ligeiro aumento do número de atendimentos para internações no período que compreende os meses de agosto e setembro, conforme Gráfico 6.

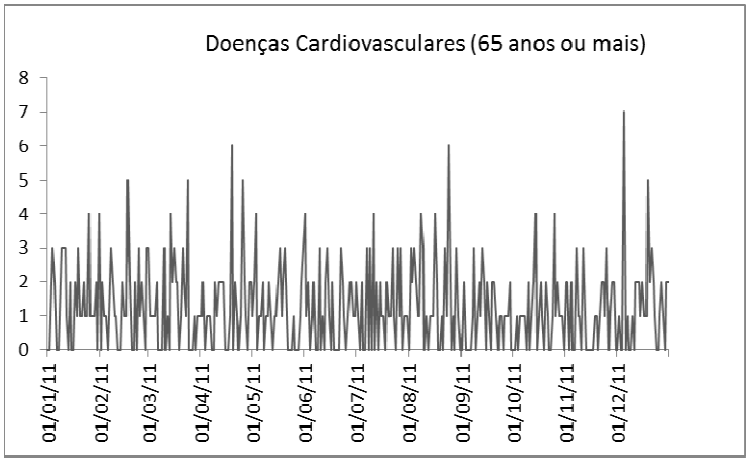


Gráfico 6 - Número diário de atendimentos para internação por doenças cardiovasculares de pacientes com idade acima de 65 anos entre janeiro de 2011 e dezembro de 2011.

Para controlar fatores de confusão foram avaliados efeitos de calendário. Após análise, os feriados considerados não significativos foram removidos, e somente o feriado de Corpus Christi (corpus), foi mantido, por ser o único que teve explicabilidade no modelo.

Também foram feitos testes para apreciação da variável de tempo inserida no modelo. Aquela que trouxe melhor ajuste ao modelo foi o fator *weekdays* com um nível para cada dia da semana.

O indicador de temperatura foi explorado inicialmente com 3 e 4 graus de liberdade, no entanto, desta forma, não apresentou relevância para o modelo. Estas considerações levaram à inserção da variável temperatura, no modelo, com comportamento linear, já que se apresenta relevante com essa característica.

A variável de umidade também foi explorada, assim como foi feito para o indicador de temperatura, seguindo as mesmas regras de testes. Após observação,

foi considerado relevante o comportamento *spline* (não-linear) da variável umidade com 4 graus de liberdade.

O modelo foi então, reestimado com a inserção das variáveis de temperatura e umidade. A variável de temperatura foi inserida no modelo com associação linear e a variável umidade com comportamento *spline* de 4 graus de liberdade ao ano, conforme descrito na Tabela 12, tendo definido então, o modelo de linha de base, conforme apresentado no Apêndice C.3.

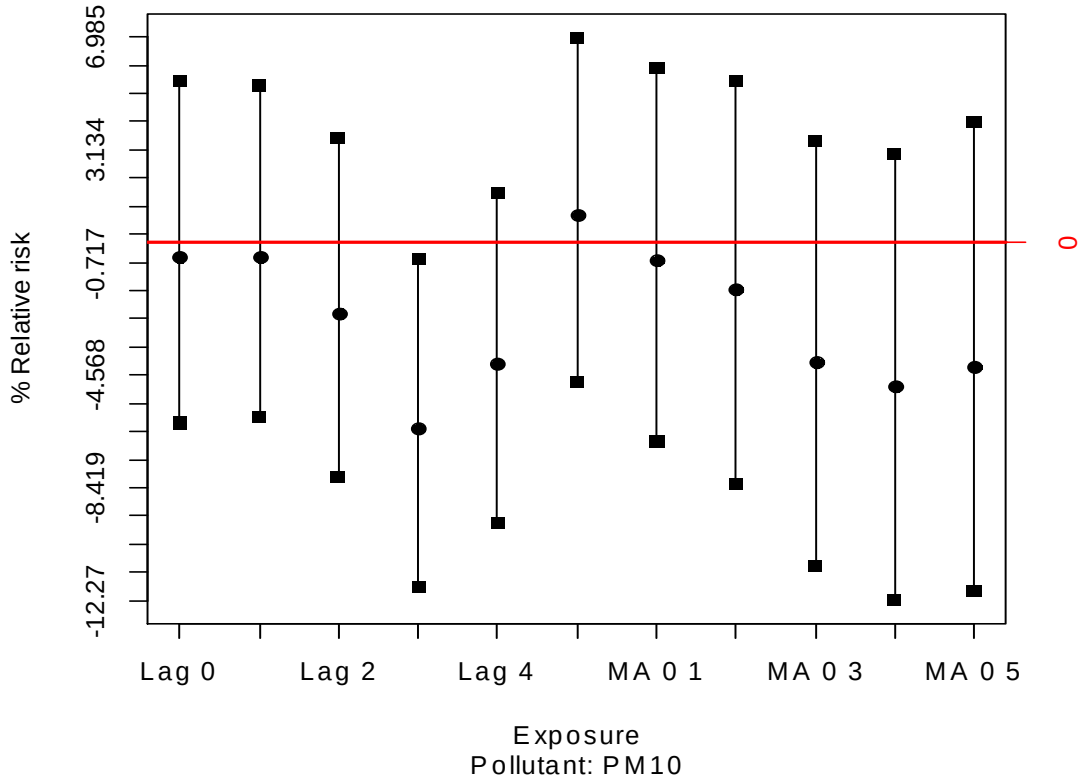
Tabela 10 - Apresentação fatores finais do modelo estatístico. (Fonte: Biblioteca ARES)

Coeficientes	Estimativa	P-valor
weekdaysFri	0,85408	0,000318
weekdaysMon	1,40452	3,03E-10
weekdaysSat	-0,46759	0,065484
weekdaysThu	0,89125	0,000173
weekdaysTue	1,20924	1,01E-07
weekdaysWed	1,03202	8,89E-06
corpus	1,00461	0,097731
TEMP	0,02915	0,076653
ns(l(Umidade, 2),3)1	1,17214	0,023445
ns(l(Umidade, 2),3)2	1,35636	0,000442
ns(l(Umidade, 2),3)3	3,08705	0,010703
ns(l(Umidade, 2),3)4	-0,58656	0,245081

Chegando ao modelo de linha de base final, uma série de diagnósticos foi avaliada. Este diagnóstico do modelo final está disposto no Apêndice D.3.

A variável de exposição foi adicionada ao modelo e o efeito do poluente sobre as internações foi estimado. No entanto, não foram encontradas associações estatisticamente significantes entre aumentos da concentração de poluentes e aumentos no número diário de internações de idosos por doenças cardiovasculares. Foi observado inclusive um padrão protetor do poluente com defasagem de três dias. Não foi significativo estatisticamente também o efeito cumulativo do poluente, conforme Gráfico 7.

Gráfico 7 - Gráfico da trajetória dos riscos relativos estimados dos efeitos do acréscimo de 10µg m^{-3} de PM_{10} na internação de idosos maiores de 65 anos, por doenças cardiovasculares, para variação de 5 dias.



4. CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados, concluiu-se que é possível detectar o efeito nocivo da poluição do ar sobre a saúde da população mesmo quando as concentrações dos poluentes estão abaixo dos limites recomendados pelos órgãos ambientais. Durante o período da pesquisa, os níveis de PM_{10} não atingiram, nem ultrapassaram os limites estabelecidos pelos órgãos ambientais.

Os efeitos nocivos da poluição atmosférica na saúde são mais claros para o grupo sensível de crianças de 0 a 4 anos, apresentando doença respiratória.

O PM_{10} está relacionado ao aumento das internações de crianças de 0 a 4 anos por doenças respiratórias. O efeito do aumento de 10µg m^{-3} na concentração de PM_{10} sobre as internações por doenças respiratórias, de crianças de 0 a 4 anos, é de grande magnitude e imediato, ou seja, no mesmo dia em que há o aumento da concentração do poluente. Observou-se que o efeito do mesmo dia bem como o efeito cumulativo de 1 dia são os de maiores magnitudes.

Para as internações por doenças respiratórias, de idosos maiores de 65 anos, o efeito do mesmo aumento na concentração do poluente não foi significativo estatisticamente. Observou-se que o efeito em defasagem de dias, assim como o cumulativo de dias não foram significativos estatisticamente.

E para as internações de idosos maiores de 65 anos, por doenças cardiovasculares, o efeito do mesmo aumento do poluente sobre as internações também não foi significativo estatisticamente, tanto para o efeito em defasagem de dias quanto para o efeito cumulativo. Foi observado inclusive um padrão protetor do poluente nessa análise.

Essa resposta não significativa estatisticamente do efeito da poluição atmosférica na saúde em alguns grupos pesquisados pode ser devida ao número de dados de internações hospitalares. Isso ocorreu porque a área de abrangência da pesquisa restringiu-se a junção de alguns bairros e a análise foi feita para um período de 12 meses. Por conta disto, sugere-se a continuidade do projeto para uma confirmação e manutenção do estudo. Outra explicação para esse desfecho significativo para o grupo sensível de crianças com doenças respiratória, é o fato de que há uma atenção maior com esse grupo devido sua fragilidade e por

preocupação com o organismo ainda em formação, faz com que o quadro seja visto como grave, levando à internação do paciente.

Após essas considerações, principalmente quanto ao grupo sensível de crianças de 0 a 4 anos de idade apresentando doença respiratória, foi observada a necessidade de revisão dos padrões de qualidade do ar estabelecidos na legislação vigente. Pois ainda que, atualmente, esta seja respeitada, a população continua sofrendo os efeitos nocivos dessa poluição.

A presente pesquisa sugere que existe uma relação entre a emissão do poluente atmosférico PM_{10} e o efeito nocivo à saúde da população. Mais estudos devem ser conduzidos para que sejam definidos limites mais protetores à saúde da população. Esta atuação funcionaria de forma preventiva, já que pode vir a levar à diminuição do número de ocorrência de pacientes apresentando doença respiratória e cardiovascular influenciadas pela poluição do ar.

Para a pesquisa em questão, a atualização da base de dados é fundamental para a melhor e mais confiável representação do espaço estudado. Considerando a área de estudo, muitas transformações veem ocorrendo e irão ocorrer ate o ano de 2016. Isso porque na RMRJ ocorrerão diversos eventos esportivos, incluindo Copa do Mundo de Futebol, em 2014 e Olimpíadas, em 2016. Por conta disto, é preciso que haja um monitoramento constante das questões ambientais e de saúde. Dessa forma, estudos poderão ser feitos visando o entendimento das causas e buscando soluções para as consequências dos efeitos nocivos da poluição do ar sobre a saúde da população.

REFERÊNCIAS

ABREU, S.F. O Distrito Federal e seus recursos naturais. IBGE. Conselho Nacional de Geografia. Rio de Janeiro, 1957.

ALVES, K., SILVA, F. Poluição do ar e saúde nos principais centros comerciais da cidade de Natal-RN. 2009

ANDRÉS, M. Qualidade do ar e Estudo de Tendência de Internações por Doenças Respiratórias em Nova Iguaçu, RJ, Brasil, no Período de 2000 a 2005. 2009

ASSIS, E. S. Impactos da forma urbana na mudança climática: método para a previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano. Tese - Doutorado em Arquitetura e Urbanismo - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2000.

BAIRD, C. Química Ambiental. 2 Ed. Porto Alegre. Bookman. 2002.

BAKONYI S.M.C. et al. Poluição e doença respiratória em criança na cidade de Curitiba, PR. CSP. 2004

BARBOSA, G. O Modelo Aditivo Generalizado e a Técnica de Bootstrap: Uma associação entre o número de atendimentos hospitalares por causas respiratórias e a qualidade do ar. Vitória. 2009

BARBOSA S. Estudo da influencia de fatores ambientais sobre o desencadeamento de crise álgica em crianças e adolescentes portadores de anemia falciforme na cidade de São Paulo. 2006

BASCOM R., BROMBERG P.A., Costa D.A., DEVLIN R., DOCKERY D.W., FRAMPTON M.W., LAMBERT W., Samet J.M., SPEIZER F.E., Utell M. State Of The Art. Health Effects Of Outdoor Pollution. Am. J. Respir. Crit. Care Med. 1996.153(1):3-50 p.

BERNSTEIN, J.A. Health effects of air pollution. J. Allergy. Clin.Immunol., 14, nº 5, 2004. 1116-1123 p.

BOUBEL, R.W., FOX, D.L., TUMER, D.B. and STERN, A.C. Fundamentals of air pollution - 3ª edition - Academic Press. 1994

BRAGA A.L.F., SALDIVA P.H.N, PEREIRA L.A.A, MENEZES J.J.C, CONCEIÇÃO G.M.S, LIN CA et al. Health effects of air pollution exposure on children and adolescents in São Paulo, Brazil. PediatrPulmonol. 2001.

BRAGA, A.L.F. et al. Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro. 2007.

BRASIL. Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente — FEEMA. 2004

BRASIL. Ministério das Minas Energia. Disponível em: http://mme.gov.br. 2003

BRASIL. Ministério da Saúde. Disponível em: http://saúde.gov.br. 2005

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA nº3, 1990. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 3 de 28 de Junho de 1990.Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA nº382, 2006. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 382 de 26 de Dezembro de 2006.Dispõe sobre limites máximos de emissão de poluentes por fontes fixas.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei nº 6398, Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. .Brasília: DOU publicado em 31/08/81.

BRUNDTLAND, G.H. (1987). Our common future. Oxford: Oxford University Press.

BUENO, R.L.S. Econometria de Séries Temporais. São Paulo. Cengage Learning. 2008

CANÇADO, J., BRAGA A., PEREIRA, A., ARBEX, M., SALDIVA, P., SANTOS, U. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. J BrasPneumol. 2006;32(Supl 1):S5-S11. 2006

CANÇADO, J.E.D. A poluição atmosférica e sua relação com a saúde na região canavieira de Piracicaba-SP. 2003. Tese (Doutorado em Ciências, área de concentração: Patologia). – Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. São Paulo, USP.

CASTRO, H.A. et al. Questões metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde. Rev. Bras. Epidemiol. Vol. 6 nº 2. 2003

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, 2012. www.cetesb.sp.gov.br/ar. Acesso em março de 2012

DANIELS M.J., DOMINICI F., SAMET J.M., ZEGER S.L. Estimating particulate matter-mortality dose-response curves and threshold levels: an analysis of daily time-series for the 20 largest US cities. Am J Epidemiol. 2000. 152(5):397–405 p.

DATASUS, 2010. www.datasus.gov.br.Acesso em fevereiro de 2010.

DAUMAS, R. et al. Poluição do ar e mortalidade em idosos no Município do Rio de Janeiro: análise de série temporal. Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro. 2004. 20(1):311-319.

DOCKERY D.W. Epidemiologic evidence of cardiovascular effects of particulate air pollution. Environ Health Perspect. 2001.

DOMINICI F., MCDERMOTT A., ZEGER S., SAMET J. On the use of generalized additive models in time-series studies of air pollution and health.Am J Epidemiol. 2002. 156:193–203 p.

DUCHIADE, M. Mortalidade Infantil por pneumonias na região metropolitana do Rio de Janeiro: 1976-1986. (Mestrado). Fiocruz, 1991.

DUCHIADE, M. Poluição do Ar e Doenças Respiratórias: Uma Revisão. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro. 1992. 8(3):311-330 p.

EPA – U. S. Environmental Protection Agency, 2012. www.epa.gov/air/criteria.html. Acesso em janeiro de 2012.

FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente - RJ

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - RS, 2012 www.fepam.rs.gov.br/qualidade/poluentes.asp Acesso em novembro de 2012

FOLINSBEE, L.J., Environmental Health Perspectives Vol. 100 - Human Health Effects of Air Pollution. 1992. 45-56 p.

GEORIO – Fundação Instituto de Geotécnica, 2012
www.portalgeo.rio.rj.gov.br/bairroscariocas. Acesso em dezembro de 2012

GOLDEMBERG, J., VILLANUEVA, L.D. Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento. Edusp. São Paulo. 2003.

GOLDREICH, Y. Urban climate studies in Johannesburg, A sub-Tropical city located on a ridge – A review. Atmospheric Environment, v. 26B, n. 3. 1992.

GOUVEIA, N. et al. Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro. 2006. 22(12):2669-2677 p.

GOUVEIA, N., NOVAES, H., MEDEIROS, A. Mortalidade perinatal e poluição do ar gerada por veículos. 2010. Rev Bras Ginecol Obstet. 2010; 32(10):471-5

HASTIE T, TIBSHIRANI R. Generalized additive models. London: Chapman and Hall. 1990.

HEI, Health Effects Institute. Health Effects of Outdoor Air Pollution in Developing Countries of Asia: A Literature Review. Special Report 15. Health Effects Institute 2004.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente, 2009. www.inea.rj.gov.br. Acesso em julho de 2011.

JAUREGUÍ, O. E. Aspects of heat-island development in Guadalajara, Mexico. Atmospheric Environment, v.26B.n.3. 1992.

JUNGER, W. Análise, imputação de dados e interfaces computacionais em estudo de séries temporais epidemiológicas. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Programa de Pós-graduação em Saúde Coletiva – área de concentração em Epidemiologia, do Instituto de Medicina Social da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2008 (Tese de Doutorado)

JUNGER, W., PONCE A., AZEVEDO G., MENDONÇA S. Associação entre mortalidade diária por câncer de pulmão e poluição do ar no município do Rio de Janeiro: um estudo ecológico de séries temporais Instituto de Medicina Social, Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Revista Brasileira de Cancerologia. 2005. 51(2): 111-115.

KATSOUYANNI, K., TOULOUMI, G., SAMOLI, E., GRYPARIS, A., LETERTRE, A., MONOPOLIS, Y., ROSSI G., ZMIROU D., BALLESTER F., BOUMGHAR, A.,

ANDERSON, HR., WOJTYNIAK, B., PALDY, A., BRAUNSTEIN, R., PEKKANEN, J., SCHINDLER, C., SCHWARTZ, J. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the Aphea2 project. Epidemiology. 2001;12(5):521–531.

KUNZLI N TIB. Air pollution: from lung to heart. SwissMedWeekly 2005; 135:697-702.

LACAZ, C. Introdução à Geografia Médica do Brasil. São Paulo: Editora E. Blücher.1972.

LANDSBERG, H.E. The urban climate. New York. Academic Press.1981.

LEGGETT, J. Aquecimento Global: O Relatório do Greenpeace. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas.1992.

LESER, A.W. Elementos de epidemiologia geral. Rio de Janeiro: Ed. Atheneu.2000.

LOMBARDO, Magda Adelaide. Ilha de Calor nas Metrópoles. Ed. Hucitec, São Paulo, 1985.

LOUREIRO, L. N. Panorâmica sobre emissões atmosféricas. Estudo de caso: avaliação do inventário de emissões atmosféricas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro para fontes móveis. Tese de Mestrado apresentada no Programa de Pós-graduação em Engenharia da COPPE, Rio de Janeiro: UFRJ; 2005.

LOWRY, W.P. The climate of cities. Scientific American. v.217. n.2. 1967.

LUCON, O.S. Modelo Horus: Inventário das Emissões de Poluentes Atmosféricos pela Queima de Combustíveis em Indústria do Estado de São Paulo, 2003, 229 f.Tese de Doutorado (Energia),Universidade de São Paulo. 2003.

MAITELLI, G.T., ZAMPARONI, C.A.P.G. ; LOMBARDO, M.A. Ilha de calor em Cuiabá-MT: Uma abordagem de clima urbano. in: Encontro Nacional de Estudos sobre Meio Ambiente, 3, Londrina-PR, comunicações. Londrina – PR.1991.

MANAHAN, S.E. Environmental Chemistry. 7 ed. New York, CRC Press LLC. 2000

MAROZIENE L, GRAZULEVICIENE R. Maternal exposure to low-level air pollution and pregnancy outcomes: a population-based study. Environ Health 2002; 1:6.

MARTINSC.R., ANDRADE J.B. Química Nova Vol. 25, nº. 2. QUÍMICA ATMOSFÉRICA DO ENXOFRE (IV): EMISSÕES, REAÇÕES EM FASE AQUOSA E IMPACTO AMBIENTAL. Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, 40170 290 Salvador – BA. 2002. 259-272 p.

MARTINS, C.R.; BITTENCOURT, A. Química Nova, v. 25, n. 2, 2002.

MELLO FILHO, J.A. Qualidade de vida na região da Tijuca, RJ, por geoprocessamento. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Depto. de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Rio de Janeiro. 2003. 288 p. (Tese de Doutorado)

MENDES, P. A gênese espacial das chuvas na cidade de Uberlândia – MG. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2001. (Mestrado em Geografia)

MESQUITA, M.E.A. Geografia da Saúde: um estudo sobre o clima e saúde. In: Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina, São Paulo: USP. 2005.

MILLER, E.W., MILLER, M.R. Contemporary World Issues –Environmental Hazards: Air Pollution: a reference handbook. ABC-CLIO,Santa Barbara, California. 1989.

MIRANDA, E.E. Brasil em Relevo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005.

MOREIRA, A. Curso de Poluição Atmosférica na Indústria de Petróleo. Rio de Janeiro, Universidade Corporativa da Petrobras. 2004.

MOSLEY, S. The Chimney of the World: A History of Smoke Pollution in Victorian and Edwardian Manchester. Cambridge . White Horse Press. 2001

MOURA, M., JUNGER, W.L., MENDONÇA, G.A.S., LEON, A.P. Qualidade do ar e transtornos respiratórios agudos em crianças. Caderno de Saúde Pública 42, n.3. 2008. 503-511.

National Ambient Air Quality Standards (NAAQS), EPA. Disponível em: http://epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/s_pm_history.html, 2011.

ONURSAL, B., GAUTAM, S. Vehicular Air Pollution – Experiences from Seven Latin American Urban Centers. World Bank Technical Paper nº 373. 1997.

PANDYA R.J., SOLOMON G., KINNER A., BALMES J.R. Diesel exhaust and asthma: hypotheses and molecular mechanism of action. EnvironHealth Perspect. 2002;110 (suppl 1):103-12.

PCRJ, 2008 www.rio.rj.gov.br Acesso em setembro de 2011

PEITER, P., TOBAR, C. Poluição do ar e condições de vida: uma análise geográfica de riscos à saúde em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro. 1998. 14(3):473-485 p.

PINA M.F.R.P. Potencialidades dos Sistemas de Informações Geográficas na Área da Saúde. In: NAJAR AL & MARQUES EC. Saúde e Espaço: Estudos metodológicos e técnicas de análise. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ. 1998.

POPE C.A 3rd, BURNETT R.T., THURSTON G.D., THUN M.J., CALLE E.E., KREWSKID., et al. Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. Circulation. 2004;109(1):71-7. Comment in: Circulation. 2004. 109(1):5-7 p.

ROSSI G., VIGOTTI M.A., ZANOBETTI A., REPETTO F., GIANELLE V., SCHWARTZZ J.. Air pollution and cause-specific mortality in Milan, Italy, 1980–1989. Arch Environ Health. 1999. 54(3):158–164 p.

RUMEL, D., RIEDEL, L.F., LATORRE, M.R.D.O., DUNCAN, B.B. Miocardic infarcts and cerebral-vascular accidents associated with high temperature and carbon monoxide in an metropolitan area of Southeastern Brazil. Cad.Saúde Pública, Rio de Janeiro. 1993. 27(1):15-22 p

SALDIVA P.H., LICHTENFELS, A.J., PAIVA P.S., BARONE I.A., MARTINS M.A., MASSAD E., et al. Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in Sao Paulo, Brazil: a preliminary report. Environ Res. 1994. 65(2):218-25 p.

Samet JM, Dominici F, Curriero FC, Coursac I, Zeger SL. Fine particulate air

SCHWARTZ J.The distributed lag between air pollution and daily deaths. Epidemiology. 2000. 11:320–326 p.

SCHWARTZ J., ZANOBETTI A. Using meta-smoothing to estimate dose-response trends across multiplie studies, with application to air pollution and daily death. Epidemiology. 2000. 11(6):666–672 p.

SCHWARTZ, J. Particulate air pollution and daily mortality in Detroit. Environ. Res. 1991. 204-213 p.

Schwartz J, Spix C, Touloumi G, Bacharova L, Barumamdzadeh T, Le Tertre A et al.Methodological issues in studies of air pollution and daily counts of deaths or hospital admissions. J Epidemiol Community Health 1996; 50 Suppl 1:S3-11.

SGT – Subprefeitura da Grande Tijuca, 2012. www.rio.rj.gov.br/web/sgt. Acesso em dezembro de 2012.

SHAROVSKY R., CESAR L.A. Increase in mortality dueto myocardial infarction in the Brazilian city of Sao Paulo during winter. ArqBrasCardiol 2002.

SMAC – Secretaria Municipal de Meio Ambiente do Rio de Janeiro, 2010. http://www.rio.rj.gov.br/web/smac. Acesso em janeiro de 2012.

SOUSAS.I.V., PIRES J.C.M.MARTINS E.M., FORTES J.D.N., ALVIM-FERRAZ M.C.M., MARTINS F.G. Short-term effects of air pollution on respiratory morbidity at Rio de Janeiro. EnvironmentInternational.Vol.38. Elsevier. 2012

STRUCHINER, C.J. Algumas considerações sobre o modelo loglinear e a análise de correspondência. Instituto de Matemática Pura e Aplicada. 1987.

TAYLOR, G.E. Risk Assessment of Tropospheric Ozone: Human Health, Natural Resources, and Ecology. Humanand Ecological Risk Assessment: na International Journal 7. nº 5. 2001.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. EDUSP, Editora da UFRGS, ABRH.1993

U.S. EPA. Review of the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter: Policy Assessment of Scientific and Technical Information. WAWPS Staff Paper. EPA-45/R-1996:96-013. Research Triangle Park, NC:U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. 1996.

WELLENIUS, G., SCHWARTZ, J., MITTLEMAN, M. Air Pollution and Hospital Admissions for Ischemic and Hemorrhagic Stroke Among Medicare Beneficiaries. Stroke.2005; 36: 2549-2553. 2005.

WHO. Air Quality Guidelines for Europe.2nd ed. WHO Regional Publications European Series No 91.Copenhagen:World Health Organization. 2000.

Sites:
<http://mapas.ibge.gov.br/geodesia2/viewer.htm> Acesso em: set. 2011;
http://emedix.uol.com.br/not/not2005/05out27neu-str-ssl_derrame.php Acesso em: dez. 2011;
http://www.gdcmedilar.com.br/site/noticias/leia/495 Acesso em: abr. 2012;
http://www.cntdespoluir.org.br/Lists/Contedos/DispForm.aspx?ID=25 Acesso em: set. 2012.

APÊNDICE A - Pacientes apresentando doença respiratória na faixa etária de 0 a 4 anos

Os feriados nacionais e locais, ocorridos no ano de 2011 que foram considerados para o modelo, fazem parte da biblioteca ARES:

08/03/2011 terça-feira – Carnaval

21/04/2011 quinta-feira – Tiradentes

22/04/2011 sexta-feira – Paixão de Cristo

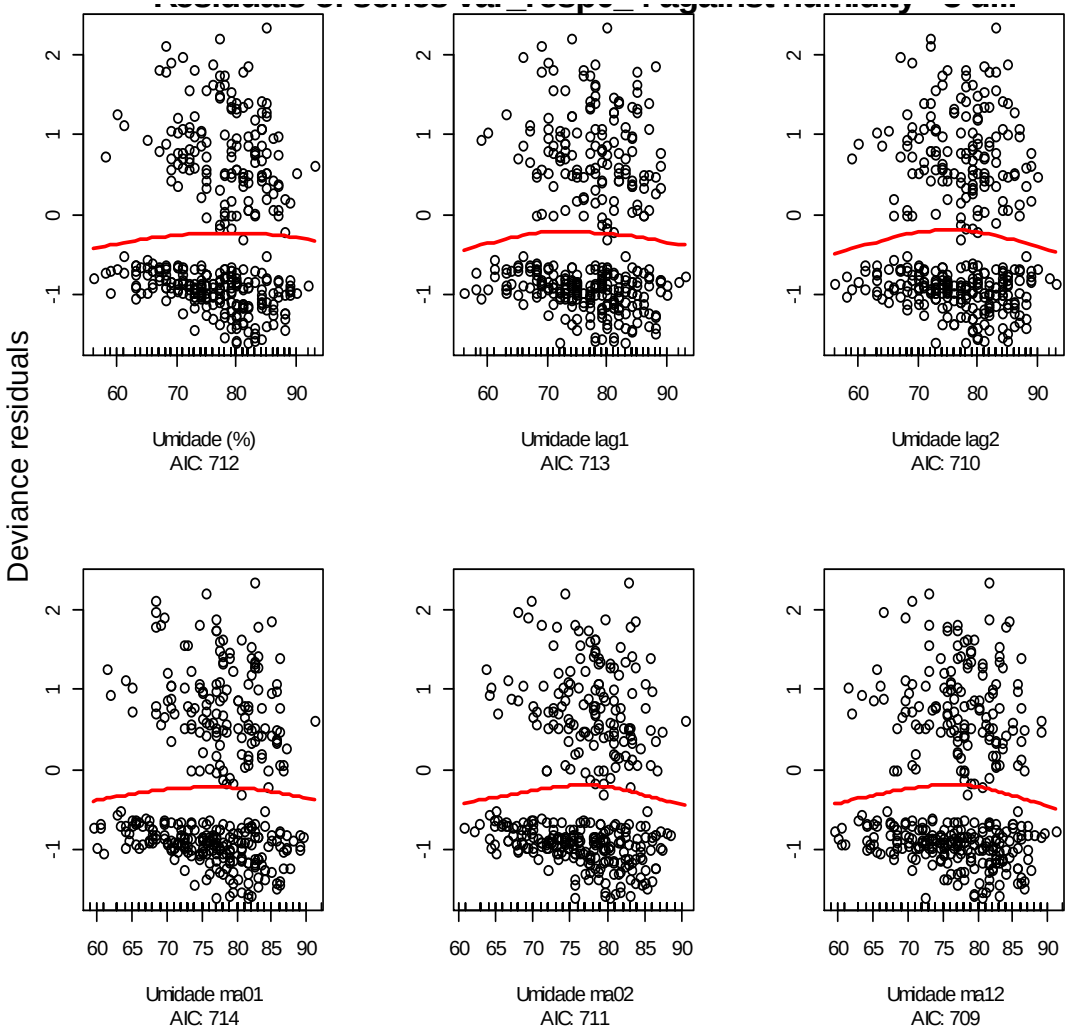
24/04/2011 domingo - Páscoa

23/06/2011 quinta-feira – Corpus Christi

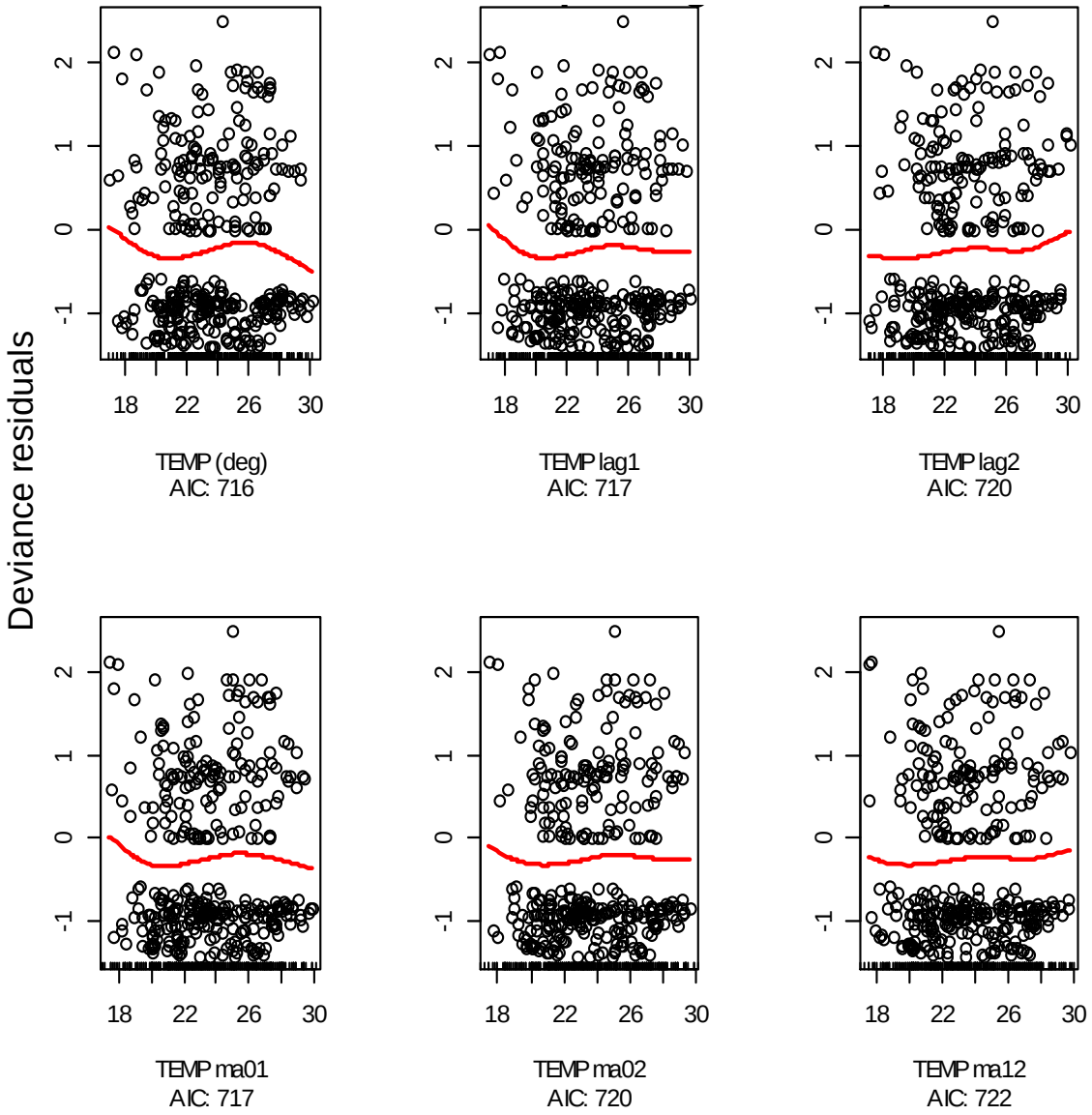
20/11/2011 Domingo – Dia da Consciência Negra

25/12/2011 Domingo – Natal

31/12/2011 Sábado – Ano Novo



Apêndice A.1 - Gráficos de resíduos indicadores de umidade, explorado com 4 graus de liberdade, contra distribuição dos eventos de doenças respiratórias para faixa etária de 0 a 4 anos.

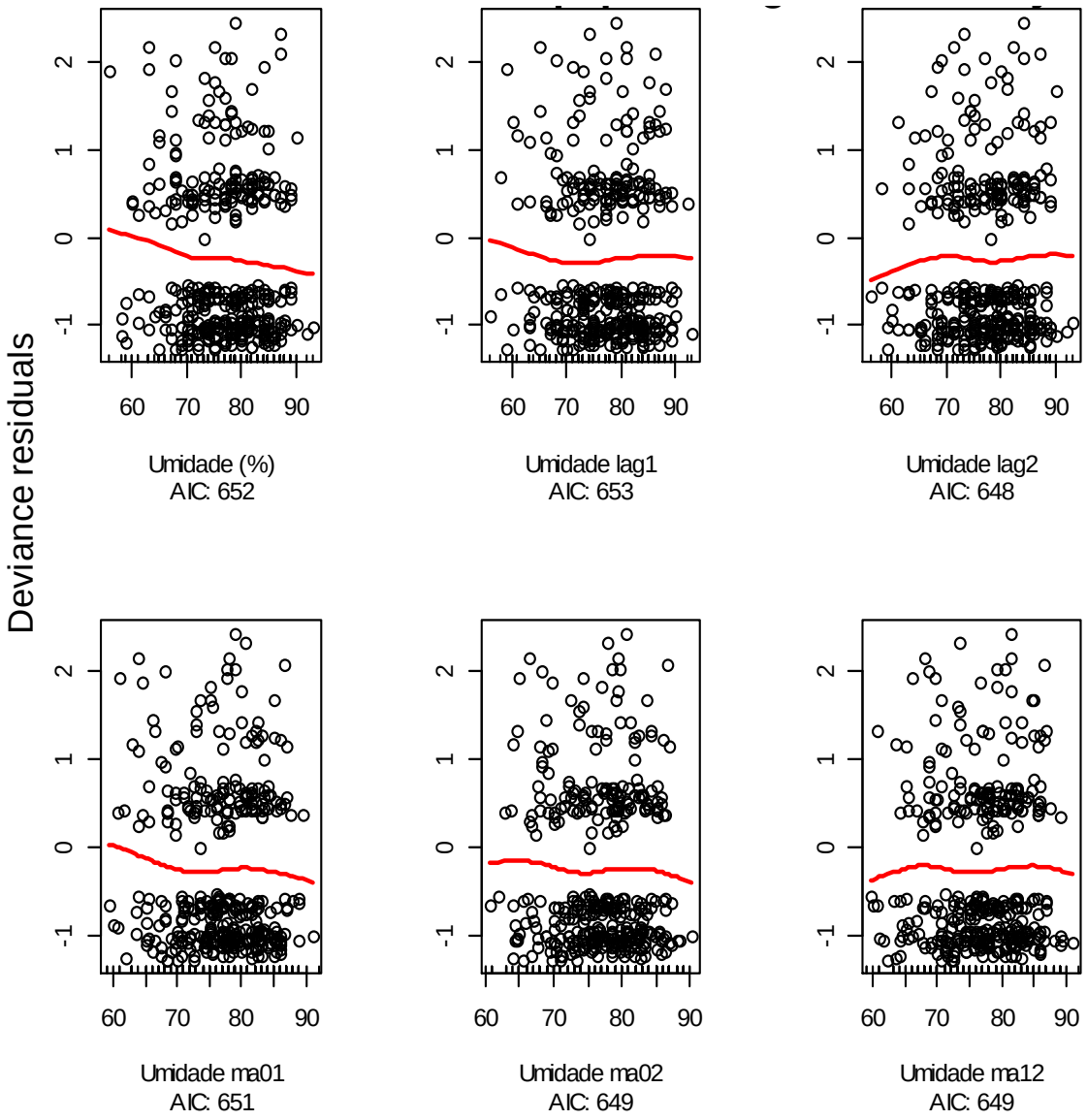


Apêndice A.2 - Gráficos de resíduos indicadores de temperatura, explorado com 4 graus de liberdade, contra distribuição dos eventos de doenças respiratórias para faixa etária de 0 a 4 anos.

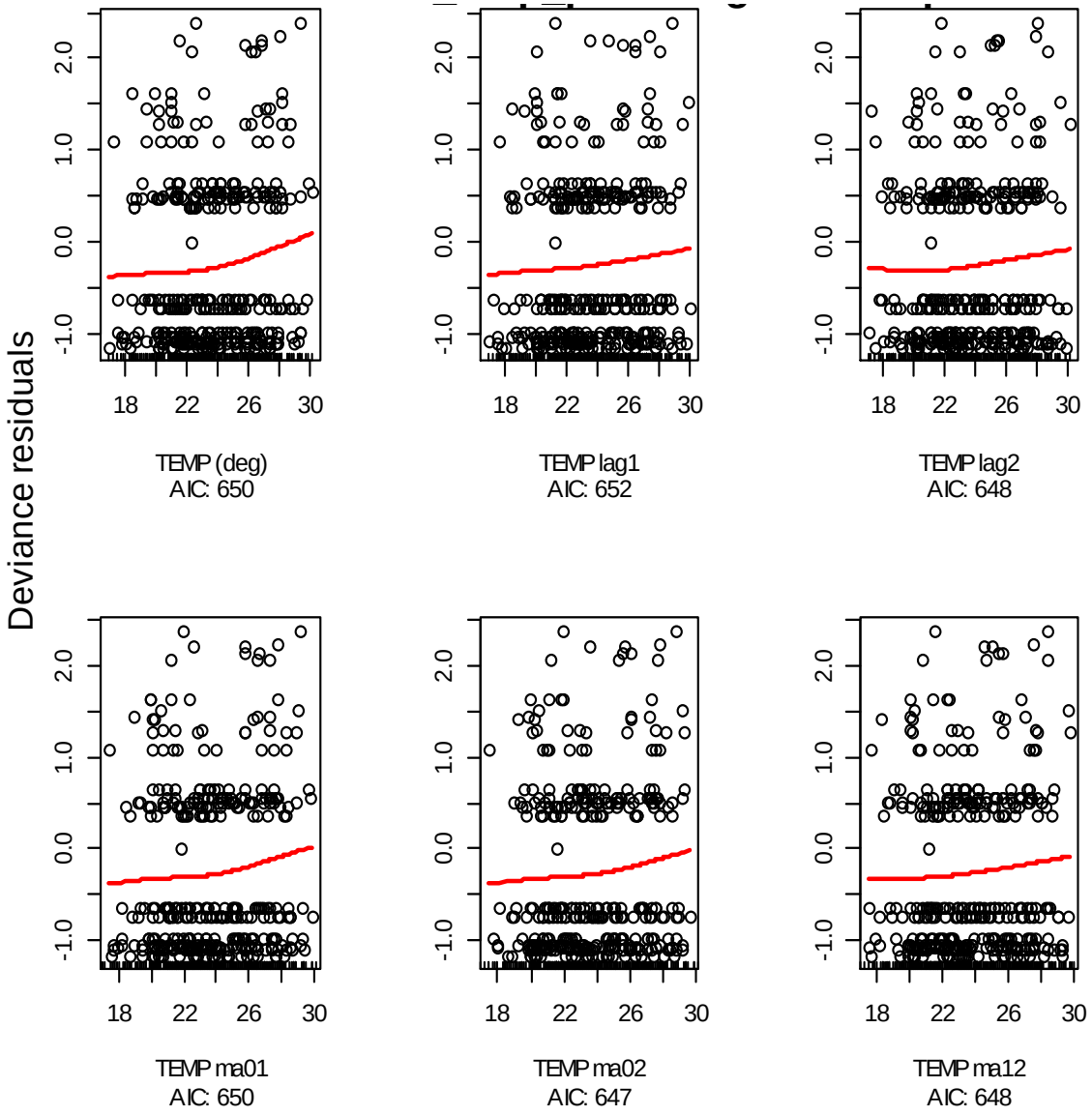
Apêndice A.3 – Modelo de linha de base (*core model*) processado no aplicativo R utilizando a biblioteca ARES.

```
var_resp0_4~ns(time, 3)+christmas+independência+aparecida+ns(l(Umidade,2),3)+ns(l(TEMP,0),4)
```

APÊNDICE B - Pacientes apresentando doença respiratória, com idade acima de 65 anos



Apêndice B.1 - Gráficos de resíduos indicadores de umidade, explorado com 4 graus de liberdade, contra distribuição dos eventos de doenças respiratórias em pacientes com idade acima de 65 anos.

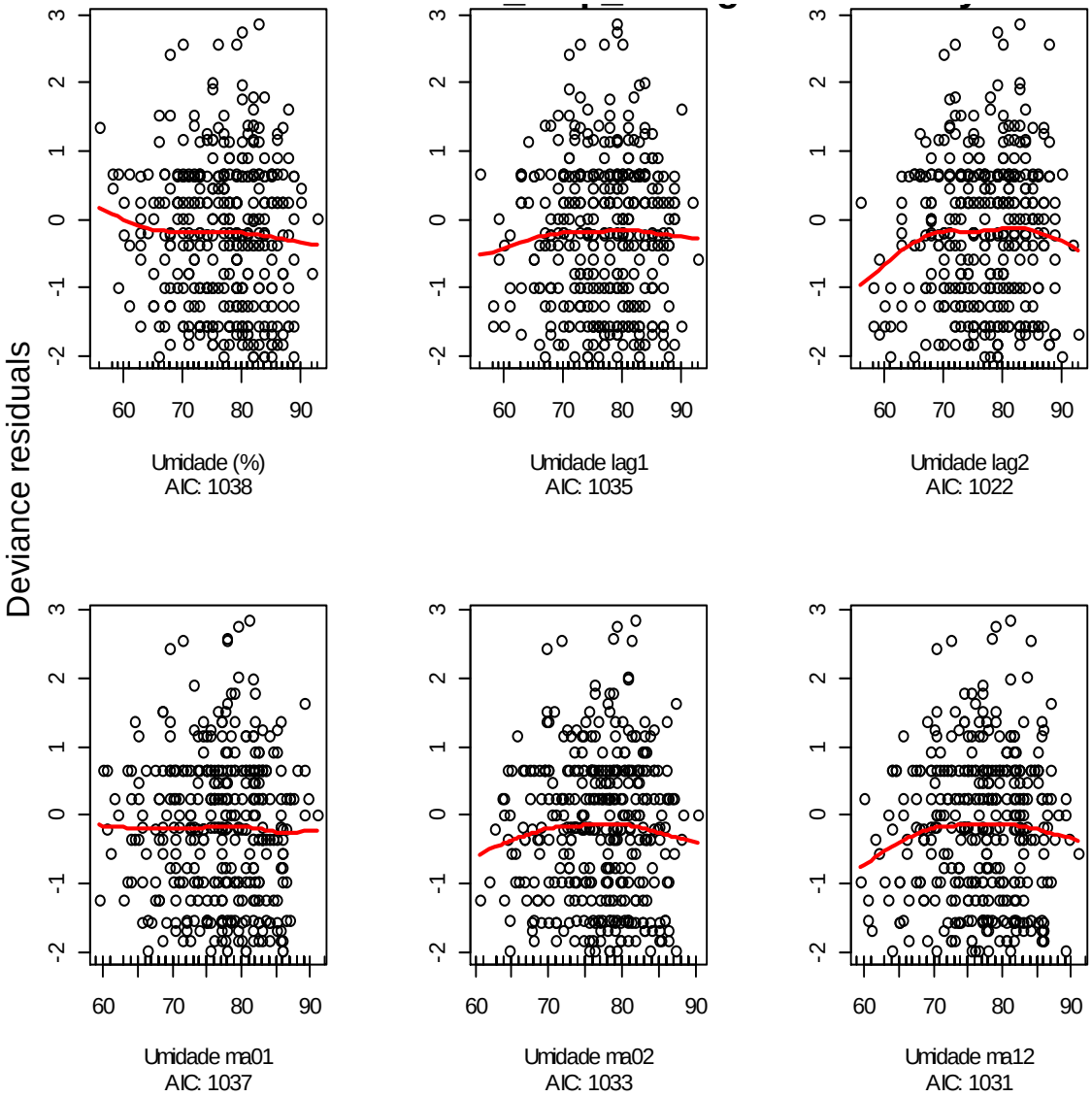


Apêndice B.2 - Gráficos de resíduos indicadores de temperatura, explorado com 4 graus de liberdade,contra distribuição dos eventos de doenças respiratórias em pacientes com idade acima de 65 anos.

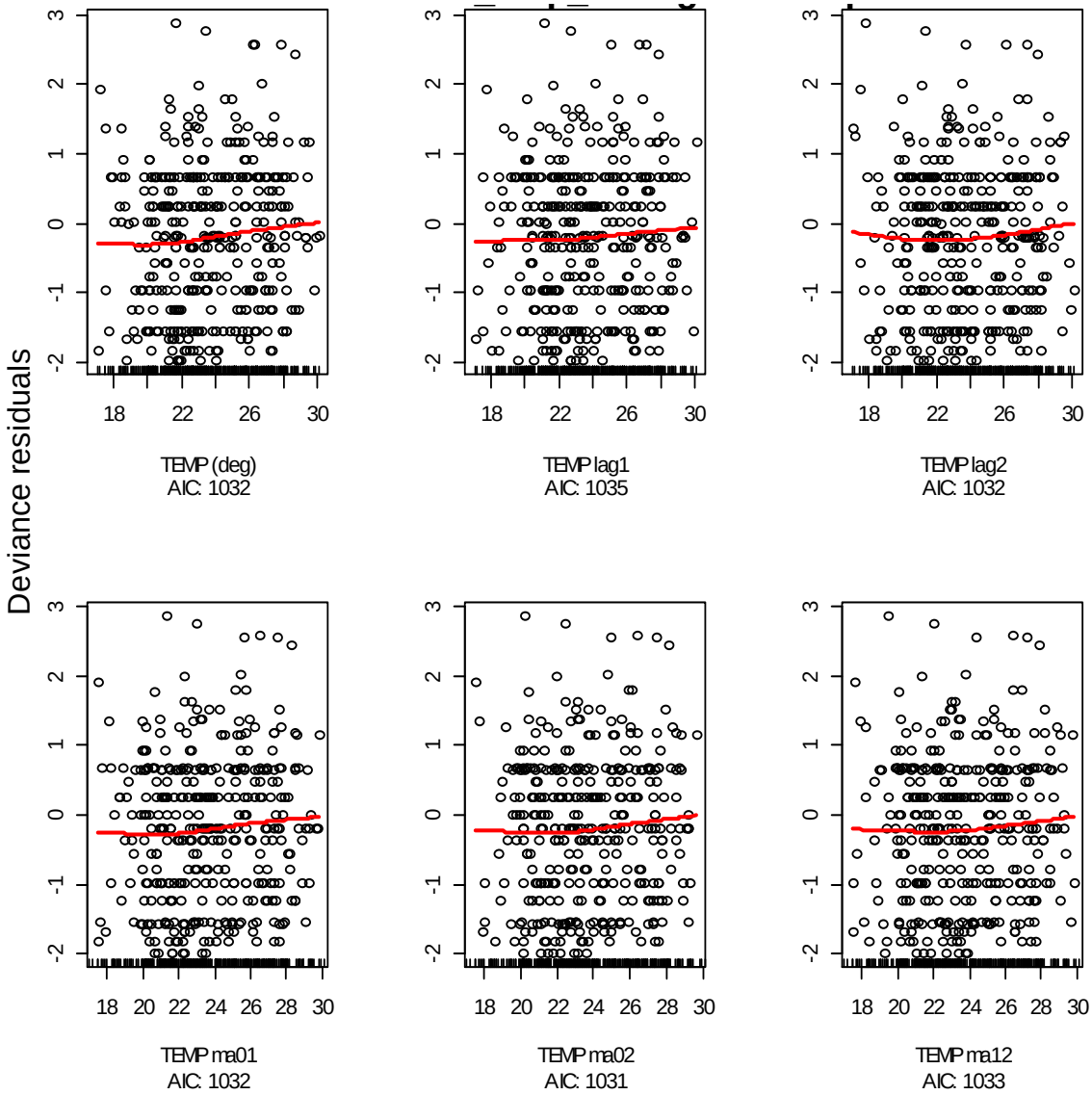
Apêndice B.3 – Modelo de linha de base (*core model*) processado no aplicativo R utilizando a biblioteca ARES.

```
var_resp_plus65~weekdays+zumbi+ns(I(Umidade,2),4)+TEMP
```

APÊNDICE C - Pacientes apresentando doença cardiovascular, com idade acima de 65 anos



Apêndice C.1 - Gráficos de resíduos indicadores de umidade, explorado com 4 graus de liberdade, contra distribuição dos eventos de doenças cardiovasculares em pacientes com idade acima de 65 anos.



Apêndice C.2 - Gráficos de resíduos indicadores de temperatura, explorado com 4 graus de liberdade, contra distribuição dos eventos de doenças cardiovasculares em pacientes com idade acima de 65 anos.

Apêndice C.3 – Modelo de linha de base (*core model*) processado no aplicativo R utilizando a biblioteca ARES.

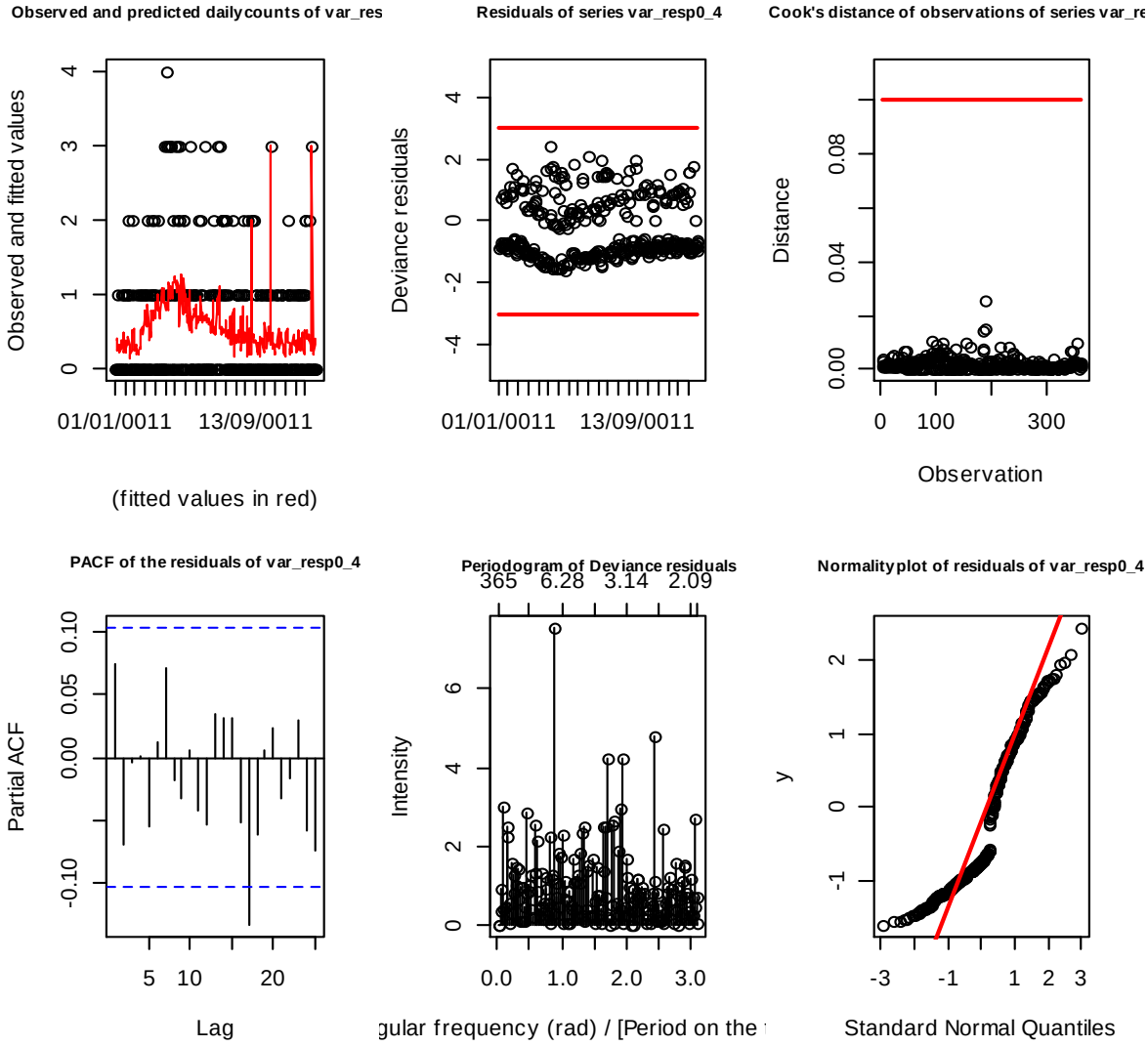
```
var_circ_plus65~weekdays+corpus+ns(l(Umidade,2),4)+TEMP
```

APÊNDICE D – Diagnósticos finais dos modelos

APÊNDICE D.1 – Pacientes apresentando doença respiratória com idade de 0 a 4 anos

Com o modelo reestimado, tendo sido feita a inserção das variáveis indicativas de tempo, temperatura e umidade, este foi processado novamente produzindo um diagnóstico final do modelo.

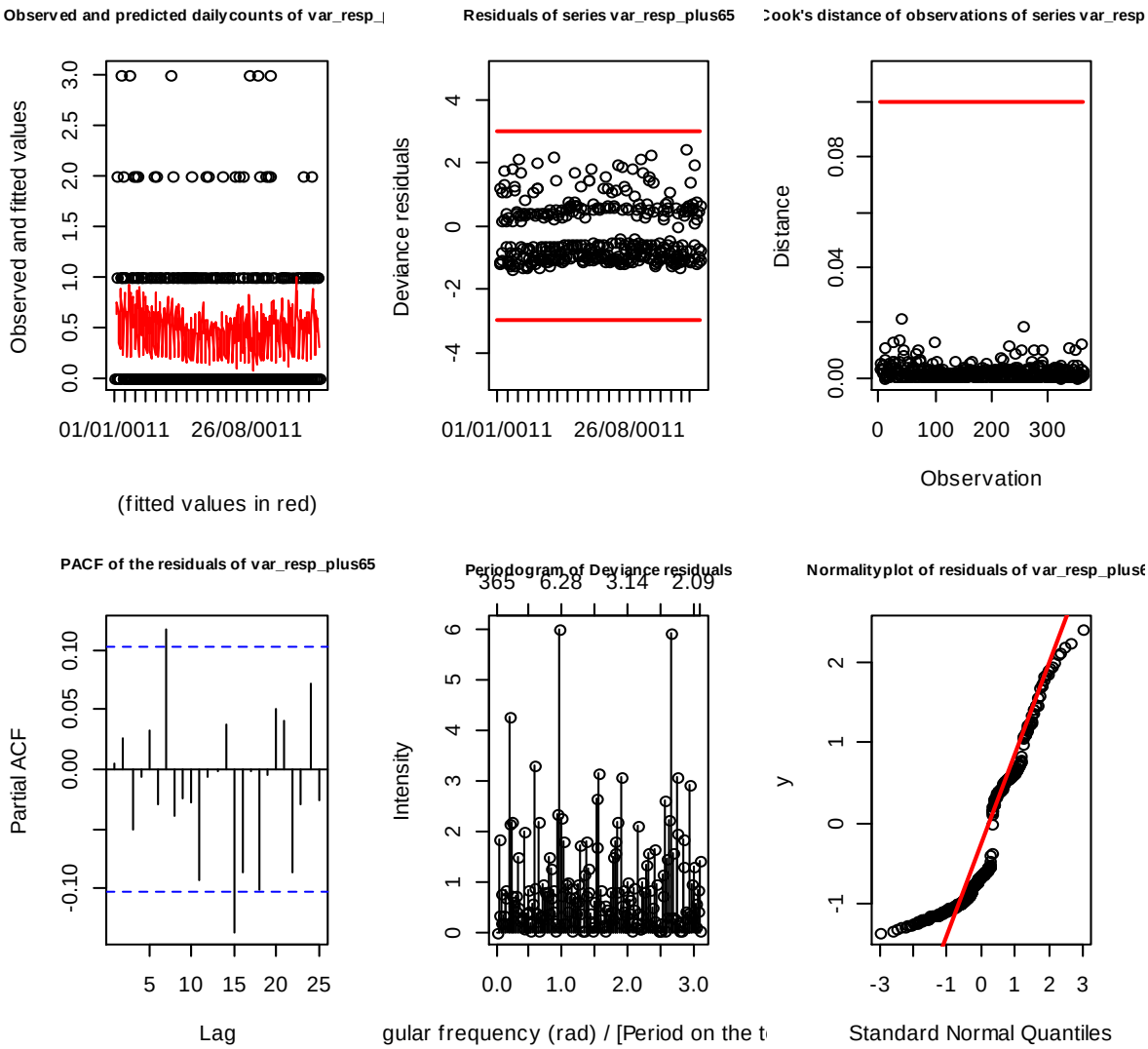
O gráfico de valores previstos indica a tendência de certa sazonalidade dos eventos ao longo do período estabelecido. O gráfico de resíduos ao longo do tempo apresenta um bom controle do modelo, já que não existem outliers entre os dados, pois não supera o intervalo de -3 e 3 da estatística de teste. No gráfico da distância de Cook, como nenhuma observação foi superior à estatística de teste, não existem observações influentes, que possam prejudicar o controle do modelo. No gráfico da função de autocorrelação, não há sazonalidade ou autocorrelação não controlada. O gráfico do periodograma dos resíduos indica que as variações da série temporal estão controladas. O gráfico de normalidade dos resíduos apresenta grande aproximação dos resíduos em relação à distribuição normal, o que dá ao modelo uma boa confiabilidade. Esses gráficos indicam bons diagnósticos do modelo.



Apêndice D.1 - Gráficos elaborados a partir do processamento do banco de dados no aplicativo R, utilizando a biblioteca ARES, apresentando o diagnóstico final do modelo.

APÊNDICE D.2 – Pacientes apresentando doença respiratória com idade acima de 65 anos

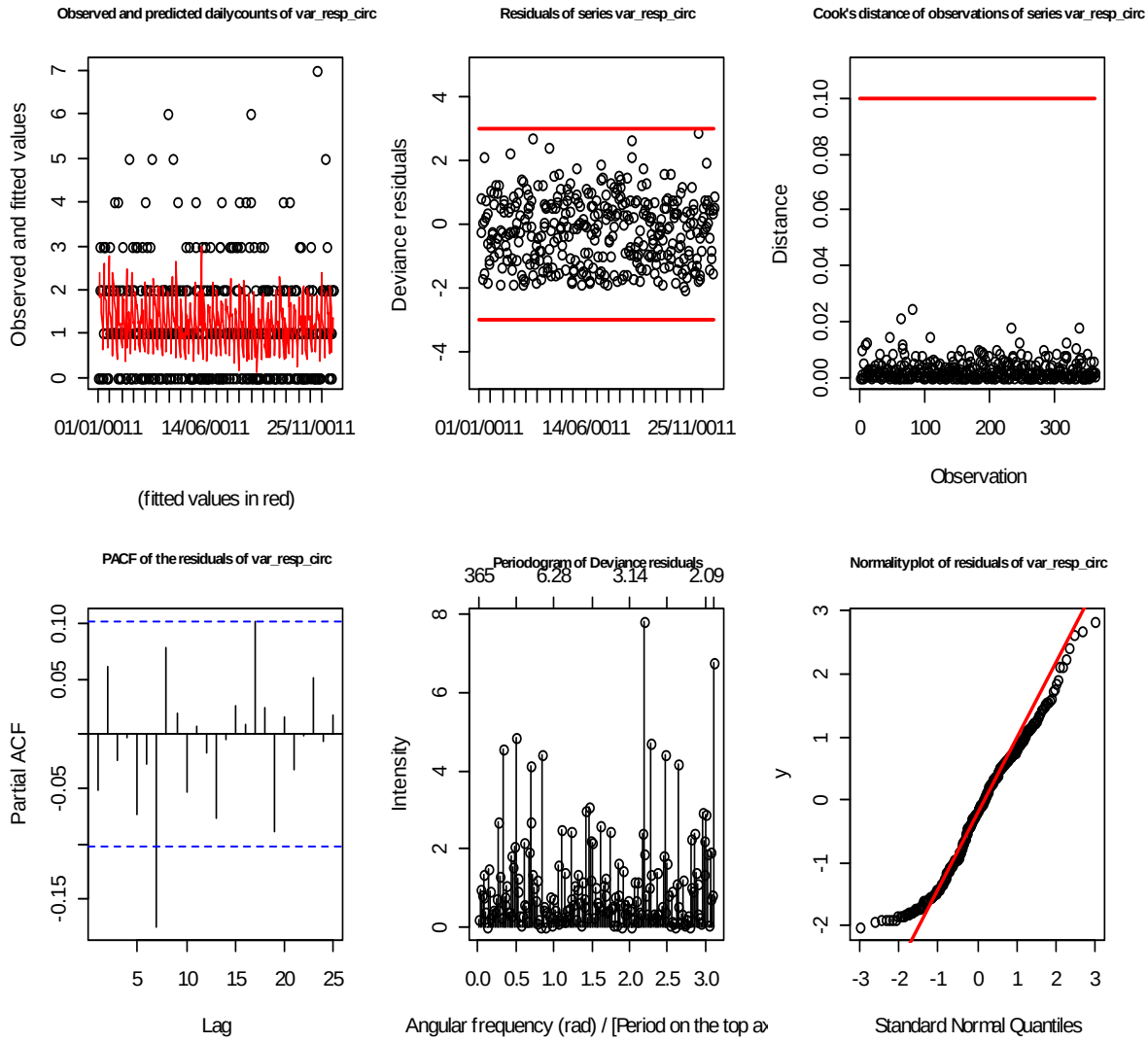
O gráfico de valores previstos não indica sazonalidade dos eventos ao longo do período estabelecido. O gráfico de resíduos ao longo do tempo apresenta um bom controle do modelo, já que não existem outliers entre os dados, pois não supera o intervalo de -3 e 3 da estatística de teste. No gráfico da distância de Cook, como nenhuma observação foi superior à estatística de teste, não existem observações influentes, que possam prejudicar o controle do modelo. O gráfico da função de autocorrelação, não apresenta sazonalidade ou autocorrelação não controlada. O gráfico do periodograma dos resíduos indica que as variações da série temporal estão controladas. O gráfico de normalidade dos resíduos apresenta boa aproximação dos resíduos em relação à normal. Esses gráficos indicam razoável diagnóstico do modelo.



Apêndice D.2 - Gráficos elaborados a partir do processamento do banco de dados no aplicativo R, utilizando a biblioteca ARES, apresentando o diagnóstico do modelo estatístico final.

APÊNDICE D.3 – Pacientes apresentando doença cardiovascular com idade acima de 65 anos

O gráfico de valores previstos indica leve tendência à sazonalidade dos eventos ao longo do período estabelecido. O gráfico de resíduos não apresenta outliers entre os dados, pois apesar de próximo, não supera o intervalo de -3 e 3 da estatística de teste. No gráfico da distância de Cook, como nenhuma observação foi superior à estatística de teste, não existem observações influentes, que possam prejudicar o controle do modelo. O gráfico da função de autocorrelação não apresenta sazonalidade ou autocorrelação não controlada. O gráfico do periodograma dos resíduos indica que as variações da série temporal estão controladas. O gráfico de normalidade dos resíduos apresenta boa aproximação dos resíduos em relação à normal. Esses gráficos conferem um bom diagnóstico do modelo.



Apêndice D.3 - Gráficos elaborados a partir do processamento do banco de dados no aplicativo R, utilizando a biblioteca ARES, apresentando o diagnóstico do modelo estatístico final.