

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL METALÚRGICA DE VOLTA REDONDA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL

ANDERSON SILVA DE SOUZA

**POLUIÇÃO DO AR E MORBIDADE HOSPITALAR: ANÁLISE DAS TENDÊNCIAS
E CUSTOS ECONÔMICOS EM ESTAÇÕES DE MEDIÇÃO DE QUALIDADE DO
AR NO ESTADO DE SÃO PAULO**

VOLTA REDONDA
2020

ANDERSON SILVA DE SOUZA

**POLUIÇÃO DO AR E MORBIDADE HOSPITALAR: ANÁLISE DAS TENDÊNCIAS
E CUSTOS ECONÔMICOS EM ESTAÇÕES DE MEDIÇÃO DE QUALIDADE DO
AR NO ESTADO DE SÃO PAULO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Givanildo de Gois
Co-orientadora: Prof.^a Dra. Roberta Fernanda da Paz de Souza Paiva

Volta Redonda, RJ
2020

Ficha catalográfica automática - SDC/BEM
Gerada com informações fornecidas pelo autor

S719p Souza, Anderson Silva de
Poluição do ar e morbidade hospitalar: análise das
tendências e custos econômicos em estações de medição de
qualidade do ar no Estado de São Paulo / Anderson Silva de
Souza ; Givanildo de Gois, orientador ; Roberta Fernanda da
Paz de Souza Paiva, coorientadora. Volta Redonda, 2020.
189 f.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,
Volta Redonda, 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PGTA.2020.m.06867811710>

1. Poluição atmosférica. 2. Falha de dados. 3.
Imputação de dados. 4. Doenças respiratórias. 5.
Produção intelectual. I. Gois, Givanildo de, orientador. II.
Paiva, Roberta Fernanda da Paz de Souza, coorientadora. III.
Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia
Industrial e Metalúrgica de Volta Redonda. IV. Título.

CDD -

ANDERSON SILVA DE SOUZA

**POLUIÇÃO DO AR E MORBIDADE HOSPITALAR: ANÁLISE DAS TENDÊNCIAS
E CUSTOS ECONÔMICOS EM ESTAÇÕES DE MEDIÇÃO DE QUALIDADE DO
AR NO ESTADO DE SÃO PAULO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Aprovada em 12 de março de 2020.

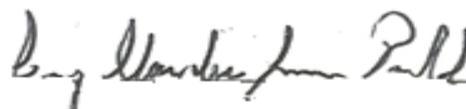
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Givanildo de Gois - UFF
Orientador



Prof^a. Dra. Danielle da Costa Rubim Messeder dos Santos - UFF



Prof. Dr. Luiz Claudio Gomes Pimentel - UFRJ

Volta Redonda
2020

Ao meu pai, meu exemplo de vida, que já o vi passar por muitos problemas sérios de verdade, sempre de cabeça erguida e com fé em Deus e na vida.

A minha sobrinha Laura, que ano passado enfrentou e venceu uma terrível doença, se tornando uma “pequena grande guerreira”.

Ao meu amigo Givanildo, o qual admiro por sua conduta e por sua história de vida, mesmo estando a milhares de quilômetros de sua esposa e filha, sempre alegre e disposto a me ajudar.

Aos meus amores de quatro patas, Luna, Zoinho, Xuxa e Tadinha, por terem me ensinado a mais pura expressão do amor de Deus, incondicional e desinteressado.

A minha esposa, filhos e irmãos, por todo apoio e pela confiança que em mim depositaram.

A minha avó Anides (*in memoriam*), pelo exemplo de integridade e de fé.

Com carinho dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Deus e ao nosso senhor Jesus Cristo, por toda a força e coragem e por nunca terem me desamparado na vida.

Aos meus pais Jorge e Alzinete, por todo amor, carinho e dedicação, em especial minha mãe por ter abdicado de inúmeros projetos pessoais para se dedicar a mim e aos meus irmãos, obrigado mamãe por todas as palmadas que a senhora nos deu, por todas as broncas e por todo amor, que fizeram de mim e dos meus irmãos seres humanos de bem.

À minha esposa Sandra, meus filhos Victor e Victória, pela compreensão e carinho durante esta caminhada.

Ao meu orientador Prof^o Dr^o Givanildo de Gois, pela paciência, pela amizade e pelos conselhos sempre sábios e para o bem.

À minha co-orientadora Prof^a Dr^a Roberta Fernanda da Paz de Souza Paiva, pela ajuda preciosa durante este trabalho.

Ao meu coordenador Prof^o Dr^o Welington Kiffer de Freitas, pela dedicação e maestria com as quais conduz os rumos do PGTA.

A todos os professores do PGTA, em especial: Ozanan Vicente Carrara, Afonso Aurélio de Carvalho Peres, Fabiana Soares dos Santos, Ana Paula Martinazzo, Everaldo Zonta, Felipe da Costa Brasil, Mendelssom Kister de Pietre, Patrícia Alves Carneiro, Ricardo de Freitas Branco, os quais eu tive a oportunidade de ser aluno.

A todos os funcionários da Universidade Federal Fluminense, pela cortesia e boa vontade que sempre me trataram.

À Universidade Federal Fluminense pela oportunidade de fazer parte deste seleto grupo de gigantes, pela qualidade do ensino prestado apesar de todas as dificuldades enfrentadas pela mesma.

Ao meu amigo (patrão) Cláudio Ribeiro Ramos que sempre me incentivou, me liberou todas as vezes que o mestrado exigiu, sem nunca descontar nada do meu salário.

Ao Prof^o Dr^o Antônio Orlando Izolani, amigo querido que me preparou para o processo seletivo do PGTA.

“... onde há determinação um caminho pode ser encontrado...”.

RESUMO

O estudo avaliou a poluição atmosférica em cinco estações (Cerqueira César, Congonhas, Cubatão, Osasco e Paulínia) do estado de São Paulo e sua influência nas doenças respiratórias. Dados diários de SO₂, NO₂, NO e PM₁₀ de 1996 a 2011 foram oriundos das estações de qualidade do ar da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), sendo transformados em dados diários e mensais. Os dados ausentes nas séries temporais mostraram que os maiores percentuais foram no NO e NO₂ em Cubatão e Vila Parisi (84,17% - NO e 74,64% - NO₂), Osasco (50,29 % - NO e 47,91% - NO₂) e Paulínia (61,17% - NO e 61,05% - NO₂). Todas as estações analisadas o PM₁₀ e o SO₂ apontam similaridade quanto às falhas registradas. Na descritiva as emissões diárias de SO₂, NO₂, NO e PM₁₀ apontam elevada amplitude em relação às médias. Os coeficientes de variação (CV's%) apresentaram valores elevados, destaque para Paulínia (NO) 91,74% e Cerqueira César (SO₂) 80,65%. Com base no boxplot ocorreu alta variabilidade em todas as estações, seguido de outliers em toda a série temporal. As maiores amplitudes interquartílicas ocorreram em Congonhas no NO (107,09%), NO₂ (65,74%), PM₁₀ (34,56%) e SO₂ (18,79%). Destaque para diminuição significativa das concentrações a partir de 2005. As violações das concentrações baseado no critério da Organização Mundial de Saúde – (OMS) foram superiores ao do CONAMA. Vale ressaltar que o critério da OMS apresenta maior restrição do que o CONAMA. Vale destacar o NO₂ em Cerqueira César, Congonhas, Cubatão Vila Parisi e Osasco, com os maiores percentuais registrados. As tendências e os pontos de inflexão via testes de Mann-Kendall e Pettitt indicaram uma tendência de queda em todas as estações, exceto para Cubatão (PM₁₀) e Osasco (NO₂), sendo seis pontos de mudanças bruscas identificadas em toda a série temporal. A análise exploratória das doenças respiratórias apontou alta variabilidade, exceto Paulínia. Os maiores registros de doenças respiratórias foram em Osasco. As médias mensais acumuladas dos casos de doenças respiratórias mostraram que em todas as estações estiveram próximos ou superiores as médias. O número de internações por doenças respiratórias, variáveis atmosféricas e concentração dos poluentes mostrou alta amplitude interquartílica nos dados. A correlação de Pearson identificou baixa correlação entre as internações e os poluentes. O Modelo Aditivo Generalizado (MAG) apresentou ajustes satisfatórios. O MAG mostrou que os poluentes SO₂, NO e NO₂ foram insignificantes estatisticamente. O mesmo associou o PM₁₀ às doenças respiratórias totais em Cubatão (SP) em 6163 internações, correspondente à 65,12% do total de internações na cidade e no período do estudo (9552 internações), sendo considerado o RR% acumulado de 7 dias (2,8179), o que acarretou um custo total de R\$ 3.786.199,44 para os cofres públicos de Cubatão (SP). Claramente, o estudo mostra que é fundamental a aplicação de políticas públicas para diminuição das doenças respiratórias via frota veicular e o custo financeiro. Desta forma não se deve encerrar as discussões sobre o tema, pelo contrário deve-se abrir novos precedentes para novos estudos, que possam através de adaptações e implementações de diferentes metodologias completarem as lacunas deixadas por este estudo.

Palavras-chave: Poluição atmosférica, falha de dados, imputação de dados, doenças respiratórias.

ABSTRACT

The study evaluated air pollution in five stations (Cerqueira César, Congonhas, Cubatão, Osasco and Paulínia) in the state of São Paulo and its influence on respiratory diseases. Daily data for SO₂, NO₂, NO and PM₁₀ from 1996 to 2011 came from the air quality stations of the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB), being transformed into daily and monthly data. The missing data in the time series showed that the highest percentages were in NO and NO₂ in Cubatão and Vila Parisi (84.17% - NO and 74.64% - NO₂), Osasco (50.29% - NO and 47.91% - NO₂) and Paulínia (61.17% - NO and 61.05% - NO₂). All stations analyzed, PM₁₀ and SO₂, show similarity regarding the registered failures. In the description, the daily emissions of SO₂, NO₂, NO and PM₁₀ point to a high amplitude in relation to the averages. The variation coefficients (CV's%) showed high values, highlighting Paulínia (NO) 91.74% and Cerqueira César (SO₂) 80.65%. Based on the boxplot, there was high variability in all seasons, followed by outliers throughout the time series. The highest interquartile ranges occurred in Congonhas in NO (107.09%), NO₂ (65.74%), PM₁₀ (34.56%) and SO₂ (18.79%). Highlight for a significant decrease in concentrations since 2005. The violations of concentrations based on the criterion of the World Health Organization - (WHO) were higher than those of CONAMA. It is worth mentioning that the WHO criterion is more restricted than CONAMA. It is worth noting the NO₂ in Cerqueira César, Congonhas, Cubatão Vila Parisi and Osasco, with the highest percentages recorded. The trends and inflection points via Mann-Kendall and Pettitt tests indicated a downward trend in all seasons, except for Cubatão (PM₁₀) and Osasco (NO₂), with six points of sudden changes identified in the entire time series. The exploratory analysis of respiratory diseases showed high variability, except for Paulínia. The largest records of respiratory diseases were in Osasco. The accumulated monthly averages of cases of respiratory diseases showed that in all seasons they were close to or above the averages. The number of hospitalizations for respiratory diseases, atmospheric variables and concentration of pollutants showed high interquartile range in the data. . Pearson's correlation identified a low correlation between hospitalizations and pollutants. The Generalized Additive Model (MAG) presented satisfactory adjustments. MAG showed that the pollutants SO₂, NO and NO₂ were statistically insignificant. MAG associated PM₁₀ with total respiratory diseases in Cubatão (SP) in 6163 hospitalizations, corresponding to 65.12% of total hospitalizations in the city and during the study period (9552 hospitalizations), considering the accumulated RR% of 7 days (2.8179), which resulted in a total cost of R \$ 3,786,199.44 for public coffers in Cubatão (SP). Clearly, the study shows that the application of public policies to reduce respiratory diseases via the vehicular fleet and the financial cost is fundamental. Thus, discussions on the topic should not be closed, on the contrary, new precedents should be set for new studies, which can, through adaptations and implementations of different methodologies, complete the gaps left by this study.

Keywords: Air pollution, data failure, data imputation, respiratory diseases.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Quadro 1: Danos ao meio ambiente causados pelos poluentes atmosféricos, p. 43
- Quadro 2: Serviços ecossistêmicos, p. 44
- Quadro 3: Danos à saúde humana causados pelos poluentes atmosféricos, p. 57
- Quadro 4: Efeitos crônicos e agudos da poluição atmosférica na saúde humana, p. 58
- Quadro 5: Comparativo entre os valores máximos (limites) de concentração de poluentes do ar, pelo CONAMA E Organização Mundial da Saúde (OMS), p. 67
-
- Figura 1: Estrutura da Troposfera (Camada Limite e Atmosfera Livre), p. 34
- Figura 2: Emissão, transporte e imissão de poluentes atmosféricos, p. 40
- Figura 3: Anatomia do trato respiratório humano, p. 52
- Figura 4: Localização geográfica das estações de monitoramento da qualidade do ar no Estado de São Paulo, p. 62
- Figura 5: Distribuição dos percentuais de falhas das emissões de poluição atmosférica diária (SO_2 , NO_2 , NO e PM_{10}) no período de 1996 a 2011 nas estações de Cerqueira César, Congonhas, Cubatão Centro, Cubatão Vila Parisi, Osasco e Paulínia no estado de São Paulo, p. 78
- Figura 6 (a) e (b): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (PM_{10} e NO) da estação de qualidade do ar de Cerqueira César, p. 83
- Figura 6 (c) e (d): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO_2 e SO_2) da estação de qualidade do ar de Cerqueira César, p. 84
- Figura 7 (a) e (b): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (PM_{10} e NO) da estação de qualidade do ar de Congonhas, p. 86
- Figura 7 (c) e (d): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO_2 e SO_2) da estação de qualidade do ar de Congonhas, p. 88
- Figura 8 (a) e (b): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (PM_{10} e NO) da estação de qualidade do ar em Cubatão Centro, estado de São Paulo, p. 90
- Figura 8 (c) e (d): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO_2 e SO_2) da estação de qualidade do ar em Cubatão Centro, estado de São Paulo, p. 92
- Figura 9 (a) e (b): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (PM_{10} e NO) da estação de qualidade do ar em Cubatão Vila Parisi, estado de São Paulo, p. 94
- Figura 9 (c) e (d): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO_2 e SO_2) da estação de qualidade do ar em Cubatão Vila Parisi, estado de São Paulo, p. 96

Figura 10 (a) e (b): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (PM₁₀ e NO) da estação de qualidade do ar em Osasco, estado de São Paulo, p. 98

Figura 10 (c) e (d): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO₂ e SO₂) da estação de qualidade do ar em Osasco, estado de São Paulo, p. 100

Figura 11 (a) e (b): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (PM₁₀ e NO) da estação de qualidade do ar em Paulínia, estado de São Paulo, p. 102

Figura 11 (c) e (d): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO₂ e SO₂) da estação de qualidade do ar em Paulínia, estado de São Paulo, p. 104

Figura 12 (a): Percentuais (%) Anuais de Dias de Violações dos Limites de (SO₂, NO₂, PM₁₀), segundo CONAMA e OMS, na estação de qualidade do ar de Cerqueira César, no estado de São Paulo, período de 1996-2011, p. 107

Figura 12 (b): Percentuais (%) Anuais de Dias de Violações dos Limites de (SO₂, NO₂, PM₁₀), segundo CONAMA e OMS, na estação de qualidade do ar de Congonhas, no estado de São Paulo, período de 1996-2011, p. 109

Figura 12 (c): Percentuais (%) Anuais de Dias de Violações dos Limites de (SO₂, NO₂, PM₁₀), segundo CONAMA e OMS, na estação de qualidade do ar de Cubatão Centro, no estado de São Paulo, período de 1996-2011, p. 111

Figura 12 (d): Percentuais (%) Anuais de Dias de Violações dos Limites de (SO₂, NO₂, PM₁₀), segundo CONAMA e OMS, na estação de qualidade do ar de Cubatão Vila Parisi, no estado de São Paulo, período de 1996-2011, p. 113

Figura 12 (e): Percentuais (%) Anuais de Dias de Violações dos Limites de (SO₂, NO₂, PM₁₀), segundo CONAMA e OMS, na estação de qualidade do ar de Osasco, no estado de São Paulo, período de 1996-2011, p. 115

Figura 12 (f): Percentuais (%) Anuais de Dias de Violações dos Limites de (SO₂, NO₂, PM₁₀), segundo CONAMA e OMS, na estação de qualidade do ar de Paulínia, no estado de São Paulo, período de 1996-2011, p. 117

Figura 13: Estatística exploratória dos dados de Doenças Respiratórias na cidade de Cerqueira César, estado de São Paulo, p. 121

Figura 14: Estatística exploratória dos dados de Doenças Respiratórias na cidade de Cubatão, estado de São Paulo, p. 122

Figura 15: Estatística exploratória dos dados de Doenças Respiratórias na cidade de Osasco, estado de São Paulo, p. 123

Figura 16: Estatística exploratória dos dados de Doenças Respiratórias na cidade de Paulínia, estado de São Paulo, p. 124

Figura 17: Média acumulada mensal dos casos de doenças respiratórias na cidade de Cerqueira César, estado de São Paulo, p. 125

Figura 18: Média acumulada mensal dos casos de doenças respiratórias na cidade de Cubatão, estado de São Paulo, p. 126

Figura 19: Média acumulada mensal dos casos de doenças respiratórias na cidade de Osasco, estado de São Paulo, p. 127

Figura 20: Média acumulada mensal dos casos de doenças respiratórias na cidade de Paulínia, estado de São Paulo, p. 128

Figura 21: Acumulada Anual dos casos de doenças respiratórias na cidade de Cerqueira César, estado de São Paulo, p. 129

Figura 22: Acumulada Anual dos casos de doenças respiratórias na cidade de Cubatão, estado de São Paulo, p. 130

Figura 23: Acumulada Anual dos casos de doenças respiratórias na cidade de Osasco, estado de São Paulo, p. 131

Figura 24: Acumulada Anual dos casos de doenças respiratórias na cidade de Paulínia, estado de São Paulo, p. 132

Figura 25: Distribuição dos percentuais de falhas dos dados meteorológicos (temperatura máxima e temperatura mínima, pressão de vapor diurna e pressão de vapor noturna, umidade relativa do ar) no período de 2000 a 2011 nas estações de Cerqueira César, Congonhas, Cubatão Centro, Cubatão Vila Parisi, Osasco e Paulínia no estado de São Paulo, p. 134

Figura 26: Análise descritiva do número de internações por doenças respiratórias na cidade de Cubatão (SP) no período de 2000 a 2011, p. 137

Figura 27: Análise descritiva dos dados de temperatura do ar na cidade de Cubatão (SP) no período de 2000 a 2011, p. 138

Figura 28: Análise descritiva dos dados de umidade relativa do ar na cidade de Cubatão (SP) no período de 2000 a 2011, p. 139

Figura 29: Análise descritiva dos dados de pressão de vapor atmosférico na cidade de Cubatão (SP) no período de 2000 a 2011, p. 140

Figura 30: Análise descritiva dos dados de concentração diária de PM₁₀ na cidade de Cubatão (SP) no período de 2000 a 2001, p. 141

Figura 31: Análise descritiva dos dados de concentração diária do monóxido de Nitrogênio (NO) na cidade de Cubatão (SP) no período de 2000 a 2011, p. 142

Figura 32: Análise descritiva dos dados de concentração diária do dióxido de Nitrogênio (NO₂) na cidade de Cubatão (SP) no período de 2000 a 2011, p. 143

Figura 33: Análise descritiva dos dados de concentração diária do dióxido de Enxofre (SO₂) na cidade de Cubatão (SP) no período de 2000 a 2011, p 144

Figura 34: Valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de cook, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal para internações por doenças respiratórias totais em Cubatão, p. 146

Figura 35: Risco relativo percentual para inserção de 1 µg.m⁻³ de SO₂ para internações totais por doenças respiratórias em Cubatão, no período de 2000 a 2011, p. 147

Figura 36: Risco relativo percentual para inserção de 1 µg.m⁻³ de NO₂ para internações totais por doenças respiratórias em Cubatão, no período de 2000 a 2011, p. 147

Figura 37: Risco relativo percentual para inserção de 1 µg.m⁻³ de NO para internações totais por doenças respiratórias em Cubatão, no período de 2000 a 2011, p. 148

Figura 38: Risco relativo percentual para inserção de 10 µg.m⁻³ de PM₁₀ para internações totais por doenças respiratórias em Cubatão, no período de 2000 a 2011, p. 149

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Padrões de qualidade do ar atmosférico brasileiro, p. 47

Tabela 2: Valores máximos de concentração de poluentes do ar, pela Organização Mundial da Saúde (OMS), p. 48

Tabela 3: Padrões estaduais de qualidade do ar em São Paulo, p. 49

Tabela 4: Estrutura do Índice de Qualidade do Ar, p. 50

Tabela 5: Caracterização das estações de monitoramento da qualidade do ar no Estado de São Paulo, p. 63

Tabela 6: Classificação da Tendência de Z_{MK} no intervalo de confiança de -1,96 a +1,96, p. 69

Tabela 7: Estatística descritiva dos dados de poluição atmosférica (SO_2 , NO_2 , NO e PM_{10}) das estações de qualidade do ar nas regiões do estado de São Paulo, p. 80

Tabela 8: Análise estatística da tendência e detecção dos anos e meses de mudanças bruscas nos valores dos poluentes atmosféricos, pelos testes não-paramétricos de Mann-Kendall (MK), Método de Sen (S_e) e Pettitt (P) para o período de 1996-2011, p. 120

Tabela 9: Análise descritiva do número de internações por doenças respiratórias, variáveis atmosféricas (temperatura, umidade relativa do ar e pressão de vapor) e concentração dos poluentes atmosféricos (PM_{10} , NO , NO_2 e SO_2), p. 136

Tabela 10: Correlação de Pearson entre o número de internações por doenças respiratórias, variáveis atmosféricas (temperatura, umidade relativa do ar e pressão de vapor) e concentração dos poluentes atmosféricos (PM_{10} , NO , NO_2 e SO_2), no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2011, p. 145

Tabela 11: Estimativa dos custos atribuídos à poluição do ar, por conta das doenças respiratórias na cidade de Cubatão (SP), no período de 2000 a 2011, p. 151

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AL	Atmosfera Livre
AIQ	Amplitude Interquartilica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CGA	Circulação Geral da Atmosfera
CLA	Camada Limite Atmosférica
CLP	Camada Limite Planetária
CM	Camada de mistura
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DCV	Doenças Cardiovasculares
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DRC	Doenças respiratórias Crônicas
DRT	Doenças respiratórias Totais
ED	Edição
GEE	Gases Geradores de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IQA	Índice de Qualidade do Ar
IRA's	Infecção Respiratória Aguda
IVA's	Infecção das Vias Aéreas Superiores
MK	Mann-Kendall
NO	Monóxido de Nitrogênio
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
OMS	Organização Mundial da Saúde
PF	Padrão Final
PIB	Produto Interno Bruto
PI	Padrão Intermediário
PM ₁₀	Material Particulado
PROCONVE	Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores

PRONAR	Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar
RM	Região Metropolitana
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SP	São Paulo
SO ₂	Dióxido de Enxofre
UR	Umidade Relativa

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

1 INTRODUÇÃO, p. 21

1.1 JUSTIFICATIVA, p. 22

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO, p. 23

2 OBJETIVOS, p. 24

2.1 OBJETIVO GERAL, p. 24

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS, p. 24

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, p. 25

3.1 A ATMOSFERA TERRESTRE, p. 33

3.2 A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, p. 34

3.2.1 Os Principais poluentes atmosféricos, p. 35

3.2.2 Monóxido de Carbono (CO), p. 36

3.2.3 Óxidos de Nitrogênio (NO_x), p. 36

3.2.4 Dióxido de Enxofre (SO₂), p. 37

3.2.5 Ozônio (O₃), p. 38

3.2.6 Material Particulado (PM), p. 38

3.3 TRANSPORTE E DISPERSÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, p. 39

3.4 OS PRINCIPAIS EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, p. 41

3.4.1 Os efeitos da poluição atmosférica no meio ambiente terrestre, p. 42

3.5 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE POLUIÇÃO DO AR, p. 44

3.6 DOENÇAS RESPIRATÓRIAS, p. 50

3.6.1 Os efeitos da poluição atmosférica na saúde humana, p. 55

4 MATERIAL E MÉTODOS, p. 61

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, p. 61

4.2 SÉRIE TEMPORAL DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS E PREENCHIMENTOS DE FALHAS, p. 63

4.3 MÉTODO DE IMPUTAÇÃO DOS DADOS DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS (SO₂, NO₂, NO e PM₁₀), p. 64

4.4 CONSISTÊNCIA DA SÉRIE TEMPORAL DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS IMPUTADOS (SO₂, NO₂, NO e PM₁₀) E ESTATÍSTICA DESCRITIVA E EXPLORATÓRIA, p. 65

4.5 VIOLAÇÕES DOS LIMITES DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICOS (SO₂, NO₂, NO e PM₁₀) DEACORDO COM CRITERIOS DO CONAMA E OMS, p. 66

4.6 DETERMINAÇÃO DA TENDÊNCIA PELO TESTE DE MANN-KENDALL, p. 67

4.7 DETERMINAÇÃO DO PONTO DE MUDANÇA PELO TESTE DE PETTIT, p. 69

4.8 ESTATÍSTICA DESCRITIVA E EXPLORATÓRIA DOS DADOS DE DOENÇAS RESPIRATÓRIAS, p. 71

4.9 CONSTRUÇÃO DO BANCO DE DADOS DE SAÚDE, p. 71

5.0 CONSTRUÇÃO DO BANCO DE DADOS DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS, p. 71

5.1 DETERMINAÇÃO DAS FALHAS NOS DADOS DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E PREENCHIMENTOS VIA PROCESSO DE IMPUTAÇÃO DE DADOS, p. 72

5.2 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS DADOS DE DOENÇAS RESPIRATÓRIAS, p. 73

5.3 MODELO ADITIVO GENERALIZADO, p. 74

5.4 CUSTOS DAS DOENÇAS NA REGIÃO COM BASE NO MODELO ADITIVO GENERALIZADO, p. 76

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES, p. 77

6.1 FALHAS DOS DADOS DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICAS (SO₂, NO₂, NO e PM₁₀), p.

77

6.2 CONSISTÊNCIA DA SÉRIE TEMPORAL DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS E ESTATÍSTICA DESCRITIVA, p.78

6.3 ESTATÍSTICA EXPLORATÓRIA APLICADA AOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS (SO₂, NO₂, NO e MP₁₀), p. 82

6.4 VIOLAÇÕES DOS LIMITES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS (SO₂, NO₂ e PM₁₀) CRITÉRIOS CONAMA E OMS, p. 106

6.5 TENDÊNCIAS DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS (SO₂, NO₂ e PM₁₀) NAS ESTAÇÕES DE QUALIDADE DO AR DO ESTADO DE SÃO PAULO, p. 119

6.6 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS DE DOENÇAS RESPIRATÓRIAS NAS CIDADES ONDE ESTÃO LOCALIZADA AS ESTAÇÕES DE QUALIDADE DO AR DO ESTADO DE SÃO PAULO, p. 121

6.6.1 Cerqueira César, p. 121

6.6.2 Cubatão, p. 122

6.6.3 Osasco, p. 123

6.6.4 Paulínia, p. 124

6.7 ANÁLISE DAS MÉDIAS ACUMULADAS MENSIS DOS CASOS DE DOENÇAS RESPIRATÓRIAS NAS CIDADES ONDE ESTÃO LOCALIZADAS AS ESTAÇÕES DE QUALIDADE DO AR DO ESTADO DE SÃO PAULO, p. 125

6.7.1 Cerqueira César, p. 125

6.7.2 Cubatão, p. 126

6.7.3 Osasco, p. 127

6.7.4 Paulínia, p.128

6.8 ACUMULADO ANUAL DOS CASOS DE DOENÇAS RESPIRATÓRIAS NAS CIDADES ONDE ESTÃO LOCALIZADAS AS ESTAÇÕES DE QUALIDADE DO AR DO ESTADO DE SÃO PAULO, p. 129

6.8.1 Cerqueira César, p.129

6.8.2 Cubatão, p. 130

6.8.3 Osasco, p. 131

6.8.4 Paulínia, p. 132

6.9 FALHAS DOS DADOS DAS VARIÁVEIS METEREOLÓGICAS (temperatura máxima e temperatura mínima, pressão de vapor diurna e pressão de vapor mínima, umidade relativa do ar), p. 132

7.0 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS DE SAÚDE, p. 134

7.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS, p. 144

7.1.1 Correlação de Pearson, p. 144

7.1.2 Análise de regressão, p. 145

7.1.3 Internações hospitalares por doenças respiratórias totais, p. 146

7.2 ANÁLISE DOS GASTOS COM INTERNAÇÕES HOSPITALARES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS TOTAIS EM CUBATÃO (SP), p. 150

8 CONCLUSÃO, p. 151

9 REFERÊNCIAS, p. 154

APÊNDICE (A), p. 168

APÊNCIDE (B), p.180

1 INTRODUÇÃO

O ar atmosférico é extremamente importante para a manutenção da vida na Terra como a conhecemos, por conta disso quando por algum motivo sua qualidade é alterada, logo surgem os efeitos adversos decorrentes dessa alteração, sendo que tais efeitos são sentidos direta e indiretamente na saúde humana, no meio ambiente e na economia (PAIVA, 2014; DAPPER et al.; 2016).

Nas últimas décadas, vem sendo registrado um significativo aumento nas emissões de poluentes atmosféricos no ar, o que é motivo de preocupação global. Tal fato é decorrente de atividades antrópicas e industriais relacionadas com o crescimento e o desenvolvimento, muitas vezes de forma insustentável, sendo esses poluentes atmosféricos causadores de vários efeitos adversos, principalmente em cidades com elevado grau de urbanização e atividade industrial (HORGNIES et al., 2012).

Essas atividades podem causar, em conjunto com fatores naturais, a alteração das condições do ar tornando-o, muitas vezes, nocivo à saúde humana, prejudicial a outras espécies e ao meio ambiente. Isso ocorre porque as mesmas emitem poluentes na atmosfera, principalmente pela queima de combustíveis fósseis, através de fontes móveis (veículos automotores) e também por fontes fixas (indústrias), em concentração e quantidade que venham a alterar suas características, tornando-o impróprio (OLIVEIRA, 2011).

Em algumas regiões do mundo, devido à intensidade da atividade industrial e ao grande fluxo de veículos, as emissões de poluentes no ar são elevadas, causando problemas à saúde da população. Neste contexto, podemos citar como exemplo, os episódios ocorridos na Europa e nos Estados Unidos da América, sendo que, o destaque fica para o episódio que ocorreu em Londres no ano de 1952, o qual ocasionou a morte de aproximadamente 4000 pessoas, após estes fatos, surgiram os primeiros estudos focados em relacionar os poluentes atmosféricos com a saúde humana e ambiental (BRAGA et al., 2001; CÉSAR et al., 2013).

Diante do exposto, o objetivo geral deste projeto é avaliar a poluição atmosférica em seis estações de qualidade do ar do estado de São Paulo, Capital (Cerqueira César e Congonhas) Litoral (Cubatão Centro e Cubatão Vila Parisi), Região Metropolitana de São Paulo (Osasco), Interior (Paulínia) com base em testes estatísticos e correlacionar a poluição atmosférica com seus efeitos à saúde humana. Tem como seus objetivos específicos avaliar a tendência e possíveis mudanças nos níveis de poluição na área de estudo; analisar a associação entre os níveis de poluição e a morbidade hospitalar por doenças respiratórias; implementar o Modelo Aditivo Generalizado (MAG) para descrever a relação entre a variável

resposta (atendimentos hospitalares) com a variável preditora ou independente do modelo (concentração dos poluentes atmosféricos); estimar os custos econômicos da poluição atmosférica associados aos casos de doenças.

1.1 JUSTIFICATIVA

A poluição atmosférica e seus efeitos impactam direta e indiretamente a vida na Terra, degradam o meio ambiente através da destruição das estruturas ecossistêmicas e conseqüentemente prejudicam o nível de serviços e bens oferecidos pelos mesmos. Além disso, afetam a saúde da população através de doenças, ocasionando com isso prejuízos econômicos, por meio de gastos associados aos tratamentos hospitalares e aos afastamentos do trabalho. Por fim acarretam prejuízos ainda em relação aos processos de recuperação ambiental (PAIVA, 2010).

O estudo se justifica pelo fato que, uma correlação entre a poluição atmosférica e os seus efeitos na saúde da população pode ser utilizada na adoção de políticas públicas e formulação de regulamentos, visando o bem estar e saúde da população, bem como a redução dos custos relacionados a estas doenças, promovendo assim, melhoria da qualidade de vida das pessoas e melhoria do meio ambiente na região do estudo.

No estado de São Paulo, área de estudo deste trabalho, o alto índice de industrialização, o crescimento desordenado e o fato de o estado possuir a maior frota automobilística do país, contribuíram para que o estado tenha os piores índices de qualidade do ar atmosférico do Brasil (BRUNI et al., 2014), neste contexto, trabalhos que objetivam analisar a associação entre os níveis de poluição e a morbidade hospitalar por doenças cardiorrespiratórias, tendo por base áreas de risco, além de estimar os custos econômicos da poluição atmosférica associados aos casos de doenças para o Sistema Único de Saúde (SUS) são de grande importância (OLIVEIRA, 2011).

O diferencial deste trabalho está no tratamento estatístico conferido aos dados que compõem a série temporal em estudo, no qual a quantificação das falhas nos mesmos, bem como a imputação dos dados faltosos, confere uma maior confiabilidade à pesquisa (NUNES, 2009). Além disso, a aplicação dos testes não paramétricos para a avaliação da tendência (Mann-Kendall) e para a percepção do ponto de inflexão (Pettitt) permite a compreensão dos fatos ocorridos, bem como uma correlação dos mesmos com momentos econômicos, políticas públicas e o desenvolvimento tecnológico pertinente ao período da série temporal em estudo (BACK, 2001).

A relevância social deste trabalho está no fato de que o mesmo tem o potencial de engajar o poder público, as empresas e a sociedade na busca por soluções que venham a contribuir para a melhoria da qualidade de vida no estado de São Paulo, elucidando os perigos e riscos decorrentes da poluição atmosférica, aos quais a população e meio ambiente como um todo estão expostos no período estudado. A partir disso, é possível a elaboração de políticas públicas realmente efetivas, de modo a reduzir os efeitos danosos decorrentes da exposição aos poluentes atmosféricos.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em seis seções, sendo a primeira os Objetivos geral e específico, a segunda seção tem como foco apresentar a Revisão de Literatura, com conceitos relevantes referentes à poluição atmosférica, tais como: as características da atmosfera terrestre e suas camadas principais, os principais poluentes do ar e como acontece a sua dispersão na atmosfera, os efeitos da poluição atmosférica na saúde humana e no meio ambiente, por fim, a legislação que trata deste tipo de poluente no Brasil bem como os padrões de qualidade do ar vigentes no mesmo. A terceira seção trata da Metodologia que foi aplicada neste trabalho, onde foi exposto à área do estudo, a série temporal e o preenchimento de falhas da mesma, o método de imputação de dados faltosos, o desempenho da série temporal, a determinação da tendência da série (teste de Mann-Kendall), determinação do ponto de mudança da série (teste de Pettitt), a construção do banco de dados da saúde, a construção do banco de dados das variáveis meteorológicas através do produto MOD11C1 dos satélite MODIS-Terra, além disso determinação do percentual das falhas e seu preenchimento via programa R, a análise estatística descritiva dos dados sobre as doenças respiratórias totais em Cubatão (SP), a implementação do Modelo Aditivo Generalizado (MAG) e o cálculo dos custos destas doenças para Cubatão (SP), os resultados obtidos e as discussões dos mesmos estão elencados na quarta seção, em relação ao percentual de falhas da série temporal, a consistência da série, bem como a estatística descritiva e exploratória aplicadas, percentual das violações dos poluentes atmosféricos (baseado em critérios nacionais e internacionais), as tendências das concentrações dos poluentes, a análise exploratória dos dados de doenças respiratórias das cidades em estudo, análise das médias mensais acumuladas e análise do acumulado total das doenças respiratórias nas cidades em estudo, análise das falhas dos dados meteorológicos, análise descritiva dos dados de saúde, concentração dos poluentes e variáveis meteorológicas de Cubatão (SP), análise estatística

dos dados, a coeficiente de correlação dos dados, análise de regressão e a análise dos gastos com internações por doenças respiratórias totais na cidade de Cubatão, finalizando o presente trabalho, a quinta seção apresenta as conclusões do mesmo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a poluição atmosférica em seis estações de qualidade do ar do estado de São Paulo, Capital (Cerqueira César e Congonhas), Litoral (Cubatão Centro e Cubatão Vila Parisi), Região Metropolitana de São Paulo (Osasco) e Interior (Paulínia) com base em testes estatísticos, correlacionando a poluição atmosférica e seus efeitos à saúde humana, além de estimar os custos econômicos destas doenças para os cofres públicos dos municípios em estudo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar o percentual de dados faltosos na série em estudo;
- Realizar o procedimento de imputação dos dados faltosos na série temporal;
- Avaliar a tendência e possíveis mudanças dos níveis de poluição na área em estudo;
- Analisar a associação entre os níveis de poluição e a morbidade hospitalar por doenças respiratórias;
- Implementar o Modelo Aditivo Generalizado (MAG) para descrever a relação entre variável resposta (atendimentos hospitalares) com a variável preditora ou independente do modelo (concentração dos poluentes atmosférico);
- Estimar os custos econômicos da poluição atmosférica associados aos casos de doenças.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No início do século passado, o ar atmosférico não recebia a mesma atenção que nos dias atuais. Isto se devia ao pensamento predominante da época: “acreditava-se que o ar estaria disponível infinitamente e de forma a manter as condições de vida na Terra” (RUSSO, 2010). No entanto, segundo César et al. (2013), o crescimento da frota veicular e da atividade industrial foram fatores que contribuíram para o aumento significativo da poluição atmosférica e piora na qualidade do ar. Além disso, a poluição pode ser agravada através da queima de biomassa, vendavais e erupções vulcânicas (GONÇALVES et al., 2010).

Em 1930, 60 mortes foram registradas no Vale de Meuse (Bélgica), decorrentes da poluição do ar local, sendo ocasionada pela grande concentração de indústrias na região (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, entre as cidades de *Huy* e *Liège*). Durante a 1ª semana de dezembro daquele ano, o regime de calma de ventos e ausência de chuvas prejudicou a dispersão dos poluentes, o que resultou nas mortes acima citadas (BRAGA et al., 2001).

Nas últimas décadas, tem sido registrado um aumento significativo nas concentrações de poluentes atmosféricos, sendo motivo de preocupação global. Tal fato é decorrente das atividades antropogênicas, muitas vezes desenvolvidas de forma não sustentável, fazendo com que os poluentes atmosféricos sejam causadores de vários efeitos adversos na saúde humana, destacando-se o acometimento da população por doenças respiratórias e cardiovasculares. No meio ambiente, neste contexto, destaca-se o aquecimento global e a acidificação dos corpos hídricos, principalmente em cidades com elevado grau de urbanização e atividade industrial (HORGNIÉS et al.; 2012; DAPPER et. al., 2016).

As condições meteorológicas influenciam diretamente a qualidade do ar e a dispersão, em períodos de baixa umidade do ar e intensidade do vento abaixo de 1 m.s^{-1} principalmente nas emissões de monóxido de carbono (CO), material particulado - MP (partículas inaláveis PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$) e dióxido de enxofre (SO_2) e, por fim em dias ensolarados o ozônio (O_3). Destaque para o SO_2 que é precursor de novas partículas na atmosfera, assim ele aumenta a exposição humana a partículas ultrafinas ($\text{PM}_{2,5}$), que por sua vez é um perigo, pois as partículas ultrafinas são resistentes na atmosfera, além de serem altamente tóxicas (OLIVEIRA, 2011; AZEVEDO et al., 2015).

A emissão de MP tem chamado a atenção do mundo, principalmente pelo risco que o mesmo representa à saúde humana. O MP é um poluente típico de emissões de veículos automotores e tem suas emissões aumentadas de forma significativa nas proximidades das vias urbanas. Por conta disso, a capital do Estado de São Paulo foi responsável por 60% do total de emissões em todo o Estado. Por outro lado, vem sendo registrado uma redução das emissões de SO₂ no ar do estado, fato decorrente da inserção de carros com motores flex a partir de 2005, bem como a redução de enxofre no diesel e na gasolina a partir de 2013 (BRUNI et al., 2014; FORNARO et al., 2016).

Os veículos automotores e as atividades industriais estão ligados diretamente a problemas ambientais e de saúde pública, uma vez que as emissões veiculares, juntamente com as emissões das fontes estacionárias são as principais responsáveis pela presença dos mais variados compostos na atmosfera (LOUREIRO, 2005). Dentre os poluentes podemos destacar o CO, os óxidos de nitrogênio (NO_x), o SO₂, o O₃, a fumaça e os materiais particulados (PM₁₀ e PM_{2,5}), além das partículas totais em suspensão (CHAN et al.; 2012).

Segundo Martins (1999), a poluição está intimamente ligada a três fatores: intensidade, continuidade e efetividade. A intensidade refere-se à quantidade do poluente em uma determinada região. A continuidade refere-se em relação ao tempo que o poluente permanece na atmosfera. A efetividade diz respeito aos danos e prejuízos que este poluente exerce sobre o meio ambiente.

Todavia, Dapper et al. (2016) afirmaram que os seres humanos em suas interações com meio ambiente contribuem para poluição atmosférica. Essa poluição pode ser causada por fontes fixas e móveis. As fontes fixas são as indústrias, usinas termoeletricas movidas a carvão, óleo ou gás, além dos incineradores de resíduos. Existem ainda as fontes fixas naturais como maresia e vulcanismo. As fontes móveis são os veículos automotores em geral, aviões, trens e embarcações. Os poluentes, de acordo com sua origem se dividem em duas categorias, sendo elas: i) poluentes primários representados pelos que são emitidos diretamente por suas fontes e ii) os poluentes secundários formados via reações químicas entre poluentes primários e constituintes atmosféricos.

Os efeitos da poluição atmosférica são caracterizados principalmente nas regiões metropolitanas (RM), onde o alto grau de urbanização e industrialização, além da grande quantidade de veículos automotores, acaba por maximizarem os danos ao meio ambiente e à saúde da população (BRAGA et al., 2001). Por exemplo, em São Paulo, o maior problema está relacionado com a questão do incentivo ao transporte particular, o que acarretou em um aumento significativo de carros e motos nas ruas e avenidas e conseqüentemente no aumento

dos níveis de poluentes, seguido do aumento da morbidade e a mortalidade hospitalar (TOLEDO e NARDOCCI, 2010).

Na cidade de Salvador, em meados da década de 60, período em que teve início o processo de transformação do ambiente urbano, com o aumento na quantidade de prédios e indústrias, verifica-se redução das áreas verdes, além de um aumento na frota veicular local. Tudo isso, aliado a uma alta umidade relativa do ar (80%) e um alto índice pluviométrico (1889 mm), ocasionou entre os anos de 2004 a 2008, um aumento nos casos de IRA's (Infecções Respiratórias Agudas) em crianças com até cinco anos de idade (TELLES, 2011)

Estudos realizados anteriormente por Martins et al., (2017), no município do Rio de Janeiro entre os anos de 2013 e 2014, apontaram para a necessidade de uma revisão dos padrões de qualidade do ar, uma vez que, os mesmos adotados no Brasil estariam muito aquém dos adotados nos Estados Unidos e na Europa. Diante disso, os autores sugerem que para uma boa gestão da qualidade do ar é fundamental realizar o monitoramento dos poluentes atmosféricos, seguido da atualização da legislação brasileira. No município do Rio de Janeiro, os dois poluentes que merecem maior atenção são o O₃ e o PM₁₀. O O₃ foi o poluente que apresentou o maior número de ultrapassagens em todas as legislações adotadas e o PM₁₀ apresentou diversas ultrapassagens quando comparado com os padrões internacionais.

A região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) apresentou, nas últimas décadas, um crescimento significativo, especialmente da sua frota veicular, o que tem provocado um aumento da deterioração da qualidade do ar. Além do aumento dos veículos, é preocupante o percentual cada vez maior de motocicletas em circulação, uma vez que a emissão de poluentes deste tipo de veículo é, em média, 8 a 20 vezes maior do que a de um automóvel. Contudo, RMBH ainda possui um ar menos poluído que a maioria das RM, fato que, não impede que esporadicamente os níveis de poluição ultrapassem os padrões de qualidade estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde - OMS, o que por sua vez, afeta diretamente a parcela da população mais vulnerável, representada aqui pelos idosos, crianças e portadores de doenças crônicas. Diante disso, constatou-se que nos anos de 2002, no grupo de crianças com até 14 anos, as causas respiratórias representaram o principal motivo de internação, respondendo por mais de 50% das internações entre crianças de 1 a 4 anos de idade (RADICCHI, 2012; MOURA, 2016; GOUVEIA, 2018).

O número de veículos nas ruas de Fortaleza representa 36,2% do total da frota do estado do Ceará, destaque para o número de carros e motos que aumentou em aproximadamente 14 mil novas unidades emplacadas no ano de 2014 (DENATRAN, 2015). Vale ressaltar que Fortaleza é uma cidade onde os ventos alísios atuam de forma constante,

desseguído de um regime de chuvas que favorece a dispersão de poluentes (Araújo et al., 1995), tudo isso faz com que o ar de Fortaleza se mantenha dentro de níveis aceitáveis. Além disso, de acordo com os resultados obtidos por Silva (2010) foi possível concluir que a qualidade do ar de Fortaleza se apresenta relativamente boa, considerando-se os poluentes medidos e analisados (CO, CO₂, PM_{2,5} e Fumaça). Tais resultados podem ser justificados pelo fato de que Fortaleza é uma cidade bastante ventilada e, por isso, grande parte dos poluentes atmosféricos é disperso de forma rápida, o que reforça a percepção, por parte da população local, que a poluição atmosférica não é motivo de preocupação para a mesma (LIMA, 2017).

Nos últimos trinta anos, a Zona Franca de Manaus foi responsável por atrair um alto fluxo migratório do interior do Estado, do Nordeste e de diferentes regiões do país. Em consequência, a população de Manaus cresceu mais de 500%, antes era de 300 mil habitantes, na década de 70, para cerca de 1 milhão e 400 mil, na virada do século XXI. Com a industrialização surgiram os impactos ambientais, dentre eles: a poluição atmosférica local. Os maiores problemas estão relacionados com os gases emitidos pelas chaminés das indústrias. Os poluentes urbanos gerados em Manaus são transportados pelos ventos, que por sua vez possuem substâncias que reagem com a composição da atmosfera amazônica e geram partículas conhecidas como aerossóis secundários. Esses poluentes modificam a incidência da radiação solar sobre a mata e, ainda alteram a taxa de fotossíntese e os mecanismos de formação de chuva, entre outros efeitos (GOMES, 2009).

Em Cuiabá, os níveis de poluentes têm atingido índices críticos durante o período de seca, junho a outubro, com emissões acima do estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 003/1990. A alta concentração de partículas e a sua natureza química comprometem a qualidade do ar da cidade, onde já foi detectada a presença de metais pesados, que podem causar efeitos agudos e crônicos sobre o metabolismo devido a sua toxicidade. Porém o Estado do Mato Grosso não possui redes de monitoramento de qualidade do ar, o que deixa a população e o meio ambiente exposto aos efeitos danosos. As informações dadas sobre a qualidade do ar em Cuiabá vêm por meio de boletins diários do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) com base no método de modelagem de dispersão de poluentes na atmosfera (AERMOD). Tal método deveria ser um complemento ao monitoramento, pois as medições locais são indispensáveis para correlacionar os dados estimados com dados reais, sendo que a modelagem de dispersão de poluentes não é prevista na Resolução CONAMA Nº 003/1990 (ALMEIDA, 2017).

Durante a década de 80, a cidade de Cubatão ganhou destaque no cenário mundial, sendo chamada de “vale da morte”, Cubatão contava com 18 grandes indústrias, sendo uma

refinaria, uma siderúrgica, sete de fertilizantes e nove de produtos químicos. A construção delas aconteceu de forma indevida e invasiva ao meio ambiente. Em 15 anos cerca de 60 km² de Mata Atlântica foi degradado. A falta de tecnologia e legislação da época facilitou a propagação de poluentes, porém entre outubro de 1981 e abril de 1982, cerca 1.800 crianças nasceram na cidade, destas, 37 já nasceram mortas, outras apresentavam graves problemas neurológicos e anencefalia, além disso, Cubatão era líder em casos de problemas respiratórios no país (FERREIRA, 2007).

Esses episódios deram origem aos estudos da Epidemiologia para avaliar os efeitos dos poluentes na saúde humana. A partir disso, diversos países começaram a estudar e definir padrões de qualidade do ar, de modo a preservar a saúde da população. O estado de São Paulo é o que concentra a maior parte destes estudos aqui no Brasil, sendo que, entre os anos de 2010 e 2015, estes estudos foram intensificados (BRAGA et al., 2001).

No Espírito Santo do Turvo, localizada na região noroeste (SP), a atividade de queima da cana-de-açúcar é intensa no período de colheita, situação que não se repete na cidade de Juquitiba, localizada na região sudeste (SP), sendo que a distância entre as cidade é de aproximadamente 280 km Ribeiro e Pesquero (2010), realizaram estudos comparativos através de questionários aplicados e constataram que os níveis dos poluentes amostrados, durante a safra de cana-de-açúcar, apresentaram-se abaixo dos padrões recomendados pela legislação brasileira. Mesmo assim puderam ser considerados como fatores de risco à saúde respiratória das crianças.

Os efeitos da poluição em morbidades respiratórias de crianças e adolescentes na cidade de Cubatão (SP), foram avaliados por Jasinski et al. (2011). Os autores constataram que nas crianças de 0 a 10 anos foram observados os efeitos do PM e do O₃, já nos adolescentes foi verificada associação da poluição com a exposição aguda ao O₃.

Na cidade de São José do Rio Preto (SP), foi realizada uma estimativa das internações infantis por conta de asma, uma vez que as crianças ficassem expostas a poluentes atmosféricos. Análises indicaram que houve uma correlação entre as internações infantis com o PM₁₀ e o SO₂, sendo que, esses dois poluentes estiveram associados a riscos relativos significativos de 1,01 a 1,04 para internação por asma no mesmo dia e em três dias após a exposição. Quando são aumentadas as emissões desses poluentes, eleva-se o risco de internação em 8% e 19%, respectivamente. Com isso confirma a influência da poluição atmosférica nas internações infantis por asma na cidade (AMÂNCIO e NASCIMENTO, 2012).

Em estudos realizados na cidade de Santo André (SP), cidade que possui grande concentração industrial, Romão et al. (2013) afirmam que a exposição de gestantes ao PM presente na atmosfera local, especialmente no início da gestação, aumenta em aproximadamente 26% a probabilidade da criança nascer abaixo do peso, além disso, constataram que a exposição aos poluentes atmosféricos gerados na cidade podem contribuir para o aumento do número de pessoas com doenças cardiorrespiratórias.

Nicolussi et al. (2014) investigaram a prevalência de doenças respiratórias alérgicas nos veículos de transporte escolar da cidade de São Paulo (SP), com base em regiões urbanas diferentes e com intenso fluxo de veículos. Os resultados obtidos indicaram, onde há intenso tráfego veicular ocorreu à prevalência de asma, rinite e outros sintomas associados. As análises evidenciaram a associação da poluição com atendimentos de emergência pediátrica de portadores de anemia falciforme com os poluentes PM, NO₂, SO₂, CO e O₃, estes por sua vez estiveram associados com um aumento de 18,9%, 19%, 14,4%, 16,5% e 9,8%, respectivamente (BARBOSA et al., 2015).

Os seres humanos em média, consomem aproximadamente 10 litros de ar por dia, no qual esta quantidade variar em função da atividade física de cada um. Diferentemente da água, o ar é consumido diretamente da natureza, sendo assim, é importante a sociedade civil como um todo se atentar para as medidas de prevenção da qualidade do ar e nas interações humanas com o meio ambiente (OLIVEIRA, 2011).

Estas substâncias em função do processo que as originou, podem ser causadas por fontes fixas, tais como, indústrias, usinas termoelétricas e incineradores de resíduos. Neste contexto, temos ainda as fontes fixas naturais como a maresia e os vulcões. Vale ressaltar que no Brasil temos as fontes agrossilvopastoris, relacionadas com o agronegócio, representadas aqui por queimadas, incêndios florestais e pela pulverização de fertilizantes (GOMES, 2009; RIBEIRO e PESQUERO, 2010).

Na maioria das áreas urbanas do Brasil, a principal fonte de poluentes atmosféricos são os veículos automotores. Em relação ao estado de São Paulo, somente na RM, vivem aproximadamente 21 milhões de pessoas, sendo que deste total 12 milhões vivem na capital do estado, onde a frota veicular ultrapassa 7 milhões de veículos. Diversos experimentos nas ruas, avenidas e túneis da cidade foram importantes na avaliação de fatores de emissão de poluentes pela frota real circulando na região de estudo e seus efeitos na saúde da população (FORNARO et al., 2016).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) definiu como doenças respiratórias, as infecções que ocorrem no trato respiratório, superior ou inferior, nas quais ocorrem

obstruções da passagem do ar, a nível nasal, bronquiolar e pulmonar, além disso, podem variar desde simples resfriados, infecções agudas como pneumonias até infecções graves como a tuberculose (OMS, 2014).

As doenças respiratórias estão entre as principais causas das internações da população brasileira, o que está relacionado com diversos fatores, entre eles: a desigualdade de acesso à saúde e os efeitos de longo prazo das intervenções sobre os determinantes sociais e ambientais, tornando assim, as doenças respiratórias um problema de saúde pública vigente. Neste contexto, vale ressaltar que as crianças com idade entre 0 e 5 anos são as mais afetadas, uma vez que, seu metabolismo naturalmente acelerado requer uma quantidade maior de ar, conseqüentemente absorvem mais poluentes (CÉSAR et al., 2013).

Ribeiro (1971) realizou um estudo sobre o número de atendimentos por infecção das vias respiratórias superiores por bronquite asmática em crianças menores de 12 anos, na cidade de Santo André (SP), com o aumento das taxas mensais de sulfatação e poeiras em suspensão (PTS). O estudo revelou correlação positiva e significativa entre essas duas variáveis.

Love et al. (1981) analisaram os resultados de um estudo envolvendo cerca de 500 famílias moradoras de dois bairros de Nova York (EUA), acompanhadas por 32 semanas. Concluíram que a incidência de doenças respiratórias agudas, tanto envolvendo as vias aéreas inferiores como as superiores, de pais, mães e escolares tendia a ser mais elevada nas áreas poluídas.

Ribeiro (1988), em um estudo sobre a correlação entre a distribuição de doenças respiratórias em crianças até 13 anos e a distribuição geográfica da poluição do ar por SO₂ e PM, após dez anos, encontrou redução da incidência de doenças proporcional à redução dos poluentes.

Bakonyi (2004), diz que a exposição a, componente do ar ambiental, incluindo microorganismos, alérgenos e poluentes atmosféricos e as características próprias dos indivíduos expostos são determinantes nas manifestações clínicas. Atualmente, gases e partículas ultrafinas provenientes da queima parcial de combustíveis fósseis em veículos automotivos, principalmente o diesel, são os principais fatores responsáveis pela maior prevalência de asma brônquica e outras doenças alérgicas em populações residentes em áreas mais poluídas.

O O₃ acarreta em diversos problemas à saúde humana, entre eles: o agravamento dos sintomas de asma, deficiência respiratória, bem como de outras doenças pulmonares (enfisemas, bronquites, etc.) e cardiovasculares (arteriosclerose). Além disso, um longo tempo

de exposição pode ocasionar redução na capacidade pulmonar, desenvolvimento de asma e redução na expectativa de vida (BELL, 2006).

Segundo Telles (2011), o descaso no planejamento das grandes cidades é refletido na saúde da população, pois os fatores ambientais, como a poluição do ar e as variáveis climáticas são importantes para o aumento dos casos e da gravidade das infecções respiratórias agudas.

As IRA's estão entre as principais causas de mortalidade na população brasileira por conta de vários fatores, como por exemplo, as desigualdades no acesso à saúde, os efeitos de longo prazo das intervenções sobre os determinantes sociais e ambientais, tais fatores são responsáveis por tornar as IRA's um problema de saúde pública contemporânea (ALVES, 2014).

De acordo com OMS (2014), as Infecções nas Vias Respiratórias Inferiores (IVA's) são mais graves, e em muitas ocasiões estão relacionadas com as PM_{2.5}, por anos no mundo são cerca de dezesseis mil mortes só entre crianças menores de cinco anos por pneumonia, as IVA's acarretam gastos e faltas ao trabalho e a OMS (2014) estima que a poluição do ar está ligada à 96 mil mortes em países ricos e 131 mil mortes em países pobres, a mesma ressalta ainda que o Brasil é o país que mais produziu estudos relacionados ao tema em 2016, ano em que o país teve um surto de Gripe Suína (H₁N₁) ou Gripe A.

Azevedo et al. (2015), afirmam que as infecções respiratórias agudas continuam sendo a principal causa de morbidade e mortalidade de crianças menores de cinco anos em todo o mundo, com cerca de dois milhões de mortes por ano. As crianças são mais susceptíveis às infecções respiratórias pelo fato do seu metabolismo ser maior que nos adultos. Com isto elas consomem mais ar e, conseqüentemente aumentam a probabilidade de contaminação.

Entre os anos de 2006 e 2011, foram registrados cerca de 100 mil óbitos em todo o estado de São Paulo, sendo que, deste total de óbitos, aproximadamente 50% ocorreram na grande São Paulo. Neste contexto, destaca-se o ano de 2011, com cerca de 17 mil mortes e 68 mil internações de pacientes mais expostos às doenças decorrentes da poluição atmosférica, quadro este que, gerou uma despesa aproximada de 240 milhões de reais aos cofres públicos do estado (FOLHA DE SÃO PAULO, 2018).

Diversos estudos têm sido realizados em várias partes do mundo, com intuito de, avaliar os impactos da poluição atmosférica na saúde humana. Como principais resultados, a poluição do ar está associada ao excesso de mortes e internações, em particular ocasionado por doenças respiratórias ou cardiovasculares, além de outras enfermidades como o câncer, distúrbios de fertilidade, malformação congênita e partos prematuros entre outras, no Brasil,

onde a predominância deste tipo de estudo é nas RM do Rio de Janeiro e São Paulo, os resultados são similares às demais metrópoles do mundo (FREITAS et al., 2013).

3.1 A ATMOSFERA TERRESTRE

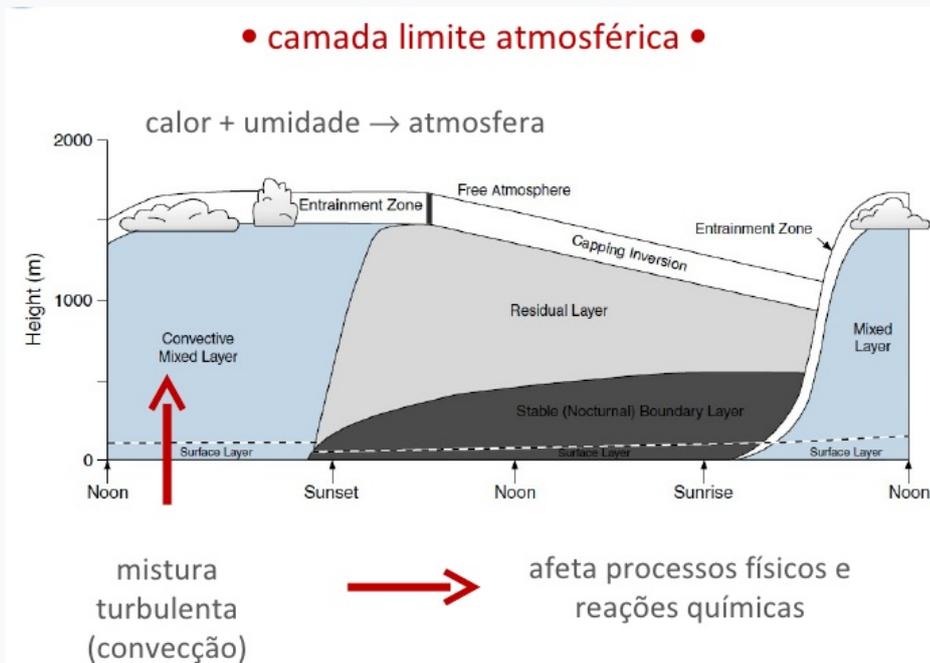
A atmosfera é responsável e mantenedora da vida no planeta, visto que a mesma tem a capacidade de manter a temperatura estável. Evita altas amplitudes térmicas entre o dia e a noite. Além disso, ela funciona como um filtro, que por sua vez evita que os raios ultravioletas provenientes do Sol cheguem à superfície terrestre. A atmosfera se divide em camadas, segundo o critério térmico, são elas: Troposfera, Estratosfera, Mesosfera, Termosfera e Exosfera (GOMES, 2010).

A Troposfera é a camada onde vivemos e respiramos. Ela concentra próximo de 75% de toda a massa, além da maior parte do vapor d'água (H₂O). Isso se deve aos processos de evaporação e transpiração da superfície terrestre. A Troposfera é composta basicamente por Nitrogênio (NO₂), Oxigênio (O₂) e Gás Carbônico (CO₂); sua altura média é de 12 km, com variações entre 7 km nas regiões polares e 18 km nas regiões tropicais. Na parte inferior da Troposfera, encontra-se a Camada Limite Planetária (CLP), também conhecida como Camada Limite Atmosférica (CLA), onde ocorre o atrito dos ventos com a superfície terrestre, que por sua vez influencia diretamente os processos de troca turbulenta. Na troposfera ocorrem quase todos os fenômenos meteorológicos, as temperaturas nesta camada variam entre 40° C e 60°C (FENGER, 1999).

A circulação geral da atmosfera (CGA) é responsável pela movimentação do ar na Terra. Dois fatores são fundamentais: a insolação e a rotação da Terra, A CGA é responsável pela circulação das massas de ar e é dividida em três partes na atmosfera. Na parte mais baixa (de 0 a 100 m) temos a CLA, ou seja, é a camada entre a atmosfera e a superfície terrestre. Nela ocorre o regime de ventos, que são influenciados pelo relevo, pelas construções, pelos corpos hídricos e por tudo que estiver na superfície terrestre. Vale ressaltar que os ventos são responsáveis pela dispersão dos poluentes e das ondas de calor. Dentro da CLA, existe a Camada de Mistura (CM) entre 100 e 600 m. Nesta camada ocorrem os ventos barostróficos. Os ventos barostróficos são originados da diferença entre os gradientes de pressão existentes nesta camada. No entanto, na CM existe a influência do atrito com a superfície terrestre, sendo capaz de anular a força de Coriolis, Por fim, acima de 600 m temos a Atmosfera Livre (AL), onde o regime de ventos é denominado de geostróficos (STULL, 1988; RIBEIRO et al.,

2016; LI et al., 2017; TONG, et al., 2018; ZHU et al., 2018). A estrutura da CLA é descrita conforme a Figura 1:

Figura 1: Estrutura da Troposfera (CLP e AL).



Fonte: Adaptado de Stull (1988).

A altura e espessura da CLA não é constante, pois a topografia, a insolação, os períodos do dia, e a velocidade do vento são alguns dos fatores que influenciam a formação e o seu comportamento (RIBEIRO et al., 2016; TONG et al., 2017).

As reações físico-químicas que ocorrem na CLA interferem na qualidade do ar, na intensidade e a direção dos ventos, na umidade relativa do ar (UR, %), nos gradientes de pressão, na espessura que são alguns dos fatores que contribuem para a dispersão e deslocamento dos poluentes atmosféricos (TONG et al., 2018).

3.2 A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Durante o inverno de 1952, na cidade de Londres (Inglaterra) ocorreu mais grave episódio relacionado à poluição ambiental. Na ocasião condições meteorológicas desfavoráveis ocasionaram uma inversão térmica que impediu a dispersão de poluentes gerados então pelas indústrias e pelos aquecedores domiciliares que utilizavam carvão como

combustível. Uma nuvem, composta principalmente por material particulado e enxofre (em emissões até nove vezes maiores do que a média de ambos) permaneceu estacionada sobre a cidade por aproximadamente três dias, provocando assim a morte de aproximadamente 4000 pessoas (LEMOS, 2010).

As emissões antropogênicas de compostos químicos na atmosfera aumentaram de forma significativa e causaram muitos problemas ao meio ambiente e à saúde. Algumas substâncias químicas, como os clorofluorcarbonos (CFC's), são produzidas deliberadamente e terminam na atmosfera por acidente, provenientes de equipamentos ou produtos. Outras, como o SO₂ e o CO, com o aumento da frota veicular e da atividade industrial, se tornaram um enorme transtorno. Além disso, a poluição atmosférica urbana, a chuva ácida, a contaminação por substâncias químicas tóxicas (algumas das quais são persistentes e transportadas por longas distâncias), a destruição da camada de ozônio estratosférico e mudanças no sistema climático global, são grandes e importantes ameaças ambientais aos ecossistemas e à saúde humana (FENGER, 1999).

Os combustíveis fósseis usados pra geração de energia variam de uma região para outra, por exemplo, na China o carvão mineral fornece cerca de 73% da energia que o país consome, ao passo que, na Rússia o gás natural predomina. Levando em consideração que esses poluentes são de efeito global, os mesmos são levados pelos ventos troposféricos e viajam pelo mundo, ocasionando assim, problemas de contaminação ao meio ambiente e à saúde humana em diversas partes do mundo (MARLAND, 2001).

A poluição atmosférica pode ser definida como mudanças da atmosfera terrestre capazes de impactar de forma negativa a saúde humana e o meio ambiente, sendo que este impacto advém dos gases, partículas sólidas ou líquidas em suspensão, material biológico ou energias. Estes poluentes podem ser emitidos de forma natural, a exemplo das erupções vulcânicas, ou ainda, através de ações antropogênicas, como os processos industriais ou veículos automotores (ARAÚJO, 1995; JASINSKI, 2011).

3.2.1 Os Principais poluentes atmosféricos

A poluição atmosférica pode ser definida como mudanças da atmosfera terrestre capazes de impactar de forma negativa a saúde humana e o meio ambiente, sendo que, este impacto advém dos gases, partículas sólidas ou líquidas em suspensão, material biológico ou energias, estes poluentes podem ser emitidos de forma natural, a exemplo das erupções

vulcânicas, ou ainda, através de ações antropogênicas, nas quais as ações humanas acabam por emitir esses poluentes, como os processos industriais (ARAÚJO, 1995).

Dapper et al. (2016) afirmam que as emissões de poluentes atmosféricos podem surgir de fontes móveis como carros e motocicletas, bem como de fontes fixas como indústrias e aquecedores. Além disso, estes poluentes em relação à sua origem podem ser classificados de duas formas: poluente primário, quando o mesmo origina-se da própria fonte emissora, a exemplo o SO₂ emitido por veículos automotores, ou poluente secundário, formados a partir de reações químicas com os componentes naturais do ar atmosférico, como por exemplo, o ácido sulfúrico (H₂SO₄) formado a partir da reação entre SO₂ emitido pelos veículos automotores com o vapor d'água da atmosfera (H₂O).

Os poluentes gasosos podem ainda, ser classificados como material particulado, gases ou vapores, de acordo com seu estado físico. Podem ainda, levando em conta sua composição química, serem classificados como orgânicos ou inorgânicos. Por fim, diversas ações antropogênicas e também naturais, resultam na emissão e liberação de poluentes gasosos na atmosfera terrestre: CO, NO_x, SO₂, O₃ e os materiais particulados (PM_{2,5}, PM₁₀ e PTS) (ALMEIDA, 1999; LACERDA, 2005).

3.2.2 Monóxido de Carbono (CO)

O CO é um gás inodoro e incolor, que se forma a partir da queima de combustíveis fósseis. É perigoso e aproximadamente 60% do CO presente na atmosfera, é oriundo de ações antrópicas. Devido aos processos de queima de materiais carbonáceos orgânicos como madeira, papel, óleo, gasolina, entre outros, a maior parte das emissões em áreas urbanas é decorrente dos veículos automotores. O CO possui afinidade com a hemoglobina no sangue, o que acaba por substituir o oxigênio reduzindo a quantidade da mesma enviada ao cérebro, coração e demais partes do corpo, durante a respiração. Sendo assim em baixas emissões, pode causar fadiga e dores no peito e em alta concentração pode causar asfixia e levar o indivíduo à morte (LACERDA et al., 2015).

3.2.3 Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

Os óxidos de nitrogênio (NO_x) são poluentes comuns e que afetam a saúde e a vida de milhões de seres humanos pelo mundo, são dois principais: o NO₂ e o NO. Ambos são provenientes de uma série de atividades antrópicas e naturais como, por exemplo, a queima de

combustíveis fósseis, a combustão de biomassa, a utilização de fertilizantes, os processos industriais e até mesmo fenômenos naturais (BRAGA et al., 2001).

Lawrence et al. (2005), afirmam que estudos realizados até então ainda não demonstraram o perigo à saúde que pode ser causado pelo NO nas emissões encontradas nas grandes cidades. Na verdade, sabe-se que o grande risco deste composto na atmosfera está associado em dias de alta taxa de incidência solar, pelo fato do mesmo ser rapidamente oxidado formando o NO₂.

O aumento da presença de NO₂ é preocupante, não somente pela sua toxicidade, mas também por serem espécies precursoras fundamentais que estão intrinsecamente envolvidas na produção fotoquímica de O₃, outro sério poluente tóxico e partículas finas, que também da origem aos radicais livres na atmosfera (CASSANDRA et al., 2006).

O NO₂ é o mais tóxico dos dois gases, é um gás incolor que contém um odor característico e causa irritabilidade aos olhos, nariz e mucosas, além disso, provoca uma série de graves doenças respiratórias como enfisema pulmonar, bronquites, traqueítes e em casos mais graves, câncer (OMS, 2014).

3.2.4 Dióxido de enxofre (SO₂)

Diversos estudos têm mostrado a correlação entre concentração de SO₂ e os parâmetros meteorológicos (velocidade e direção dos ventos, precipitação, temperatura e umidade do ar, entre outros). O SO₂ entra na atmosfera através de uma série de atividades antrópicas e fenômenos naturais. Grandes quantidades são lançadas diretamente na troposfera, como resultado da queima de combustíveis fósseis, e pela oxidação da matéria orgânica no solo, pela oxidação de sulfeto de hidrogênio (H₂S) sobre oceanos, pelas erupções vulcânicas e pela queima de biomassa. O SO₂ possui uma alta reatividade com os outros poluentes da atmosfera, além disso, o SO₂ é um dos principais precursores da chuva ácida e, também pode ser considerado como um grande gerador de outras formas poluentes (LUVSANA, 2012).

Diversos estudos têm mostrado a correlação entre concentração de SO₂ e os parâmetros meteorológicos, o SO₂ entra na atmosfera através de uma série de atividades antrópicas e fenômenos naturais. Grandes quantidades são lançadas diretamente na troposfera, resultado da queima de combustíveis fósseis, e pela oxidação da matéria orgânica no solo, pela oxidação de sulfeto de hidrogênio (H₂S) sobre oceanos, pelas erupções vulcânicas e pela queima de biomassa. O SO₂ possui uma alta reatividade com os outros poluentes da

atmosfera. Além disso, é um dos principais precursores da chuva ácida e, também pode ser considerado como um grande gerador de outras formas poluentes (LUVSANA, 2012).

3.2.5 Ozônio (O₃)

O O₃ é um poluente secundário, ou seja, não é emitido diretamente, mas formado a partir de outros poluentes atmosféricos e altamente oxidantes na troposfera (camada inferior da atmosfera). O O₃ é encontrado naturalmente na estratosfera (camada situada entre 15 e 50 km de altitude), onde tem a função de absorver radiação solar. Com isso impede que grande parte dos raios ultravioletas chegue à superfície terrestre. A formação do O₃ ocorre através de reações químicas que acontecem entre o NO e os compostos orgânicos voláteis (COV) na presença de radiação solar. Estes poluentes são emitidos principalmente na queima de combustíveis fósseis, volatilização de combustíveis, criação de animais e na agricultura (BRAGA et al., 2001; KLEEBERGER et al., 2007).

3.2.6 Material Particulado (PM)

O PM₁₀ deriva da mistura de componente sólidos e líquidos que podem oscilar em composição e tamanho, além de variar também em relação à fonte de emissão e às condições meteorológicas. Em geral, é classificado segundo o diâmetro, o que por sua vez está diretamente relacionado com sua capacidade de penetrar no aparelho respiratório. As partículas inaláveis mais impactantes à saúde humana são as PM₁₀ que possuem diâmetro inferior a 10 micrometros e as PM_{2,5} com diâmetro inferior a 2,5 micrometros (DOCKERY et al., 1993).

As partículas maiores são formadas a partir de características mecânicas dos materiais presentes no solo e as partículas finas geralmente são fuligem, materiais condensados de ácido, sulfatos e partículas de nitrato. Suas principais fontes de emissão são a queima de combustíveis fósseis, queima de biomassa vegetal, emissões de amônia na agricultura, além de emissões decorrentes de obras e pavimentação de vias. Os efeitos do material particulado sobre a saúde são vários, como por exemplo, câncer, arteriosclerose, inflamação dos pulmões, agravamento da asma e inclusive a morte. Além disso, quanto menor for a partícula, maior o efeito maléfico na saúde humana, uma vez que, essas partículas menores tem a capacidade de penetrar na região dos pulmões onde ocorrem as trocas gasosas (CÉSAR et al., 2013).

3.3 TRANSPORTE E DISPERSÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A qualidade do ar atmosférico está diretamente relacionada com a concentração, com o transporte e com a diluição das emissões dos poluentes. A poluição atmosférica pode ser considerada um problema que não se restringe aos locais onde são emitidas, uma vez que os poluentes podem ser transportados na atmosfera. Assim causa efeitos nocivos tanto a nível local quanto a nível global (CRUZ, 2002).

É sabida na poluição do ar a existência dos conceitos fonte emissora e receptora. A emissão se caracteriza pelo lançamento do poluente na atmosfera, que pode ser através de uma chaminé ou de um escapamento automotivo, por outro lado, imissão se dá pela recepção do poluente atmosférico, que pode ser um ser humano, um monumento ou ainda uma floresta (TURNER, 1994).

Fatores como topografia local, condições meteorológicas, estabilidade atmosférica e regime de ventos são determinantes na dispersão dos poluentes do ar. Dentre estes, o mais relevante é o vento. A dispersão dos poluentes ocorre devido a liberação dos mesmos, que por sua vez irá se misturar e ser transportada pelo vento, que irá diluir os poluentes e carregá-los para longe da fonte. A localização da fonte influencia na velocidade deste processo, nas áreas rurais tende a ser mais rápida a dispersão, enquanto áreas urbanas, a presença de edifícios reduz a velocidade do vento e, conseqüentemente a dispersão dos poluentes (ALMEIDA, 1999), conforme a figura 2 a seguir:

Figura 2: Emissão, transporte e imissão de poluentes atmosféricos.



Fonte: adaptado de LISBOA (2007)

A estabilidade atmosférica exerce papel relevante no processo de dispersão dos poluentes do ar. A estabilidade atmosférica pode ser dividida em neutra, estável ou ainda instável. Quando temos muitas nuvens e ventos fortes, temos uma condição de neutralidade da atmosfera. Porém se tivermos alta radiação solar, bem como ventos fracos, se caracteriza desta forma uma condição atmosférica instável. Por fim na presença de ventos leves combinados com a ausência de radiação solar e nuvens, a condição atmosférica se apresenta estável, na qual as temperaturas não apresentam mudanças bruscas quando se varia a altitude. Tal condição que não favorece a dispersão dos poluentes atmosféricos, pois esta estabilidade reduz o transporte e diluição dos mesmos, ocasionando com isto a poluição atmosférica (CUNHA, 2002).

A dispersão dos poluentes atmosféricos pode ainda, sofrer influência do fenômeno conhecido como inversão térmica, o qual se apresenta em dias frios e age como um bloqueio, impondo limitações à diluição e o transporte dos poluentes. A inversão térmica se dá por conta da existência de uma camada de ar quente logo acima de uma camada de ar frio. No período do inverno, as condições meteorológicas (céu claro e regime de ventos fracos) contribuem para uma perda de calor por radiação durante a noite, acarretando com isso, o resfriamento do ar mais próximo ao solo, o que por sua vez impede a convecção natural do ar, ou seja, impede que a camada de ar mais próxima ao solo realize o movimento ascendente, bem como a camada de ar mais afastada do solo realize o movimento descendente. Esses

movimentos juntos contribuem para dispersão dos poluentes atmosféricos (DUCHIADE, 1992; MARTINS, 1999;).

A inversão térmica está associada a uma relação diretamente proporcional entre a elevação da temperatura e da altitude, uma vez que, o ar seco resfria numa taxa de 1% a cada 100 m de altitude (taxa adiabática seca), o que contribui significativamente para a ocorrência de situações de poluição crítica do ar, ocasionando altas emissões e reações de poluentes atmosféricos próximos a superfície terrestre.

O *smog* (*Smoke + Fog*) se divide em dois tipos: *smog* fotoquímico, típico de regiões secas e quentes, que se forma pela reação química entre os COV e a radiação solar, que por sua vez gera poluentes secundários, dentre estes o O₃. O efeito visível destas reações é a formação de uma camada de ar avermelhada na atmosfera. Temos ainda o *smog* industrial, comum em regiões úmidas e frias, que se forma pela reação dos gases emitidos pelas indústrias, principalmente o SO₂, resultando em uma névoa cinza, o mesmo se agrava no período de inverno (BRAGA et al., 2002; CUNHA, 2002).

De acordo com Almeida (1999), a dispersão de poluentes atmosféricos é diretamente afetada pelas chuvas, que atuam como um agente de limpeza do ar atmosférico, pois ao condensar o vapor d'água, carrega consigo a maior parte dos poluentes presentes na atmosfera. Este processo de limpeza, melhora a qualidade do ar, por outro lado, acaba por transferir todos os poluentes retirados da atmosfera para o solo e para as águas superficiais, o que acaba por acarretar outros problemas ambientais (BOTKIN e KELLER, 2011).

3.4 OS PRINCIPAIS EFEITOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição atmosférica provoca diversos efeitos nocivos. Tais efeitos variam desde os toxicológicos aos econômicos. Seres humanos, animais, plantas e materiais estão expostos aos efeitos dos poluentes, seja de forma direta ou indireta. Nos seres humanos os poluentes são absorvidos pela via respiratória, o que afeta diretamente os pulmões e o trato respiratório. Em relação às plantas, a absorção de poluentes do ar se dá através das folhas, mais especificamente pelos estômatos, uma vez que, estes permitem as trocas gasosas entre a planta e o meio em que ela vive. Com isso interfere na sua fotossíntese, além disso, os poluentes atmosféricos impactam nos materiais, corroendo metais, danificando mármore, causando a descoloração de diversos materiais e sujando roupas (ASSUNÇÃO, 1998).

Os efeitos deletérios da poluição atmosférica também são sentidos no clima e no tempo, por conta da redução da visibilidade. Na dispersão da luz solar decorrentes da

presença de grandes quantidades de material particulado no ar, além do aumento da formação de neblina e chuva, existem ainda, substâncias capazes de provocar alterações na atmosfera, de modo que, os efeitos nocivos destas alterações, sejam percebidas a grandes distâncias ou até a nível mundial, estas substâncias são os chamados poluentes de efeito global, representados pelas chuvas ácidas, destruição da camada do Ozônio e efeito estufa (FENGER, 1999; BRAGA, 2001; GOMES, 2010).

3.4.1 Os efeitos da poluição atmosférica no meio ambiente terrestre

A poluição atmosférica atinge diretamente a fauna e a flora. Em relação à fauna, os efeitos danosos vão desde a redução da capacidade respiratória, até danos aos ossos, olhos e demais órgãos dos animais expostos aos poluentes do ar. Assim a poluição atmosférica pode interferir na capacidade reprodutiva dos animais, ocasionando mutações genéticas nos mesmos. Em relação à flora, a poluição atmosférica reduz a capacidade das plantas de realizar a fotossíntese, uma vez que o acúmulo de material particulado na folhagem acaba por impedir a luz solar de penetrar na planta. Além disso, tais poluentes podem contaminar as raízes das plantas, causando danos estruturais na mesma. Esses fatores causam lesões às folhas, aos caules e reduzem a capacidade reprodutiva das plantas, o que a longo prazo compromete a qualidade das matas, além de, colocar diversas espécies em processo de extinção, impactando toda a cadeia alimentar local, produzindo stress no ecossistema em questão (ASSUNÇÃO 1998; RADICCHI, 2012;).

Os poluentes atmosféricos afetam de forma direta o clima do planeta, principalmente em relação ao aumento dos gases do efeito estufa (GEE), CO₂, O₃, CH₄ e NO_x. O aumento da concentração destes gases acarretou no aquecimento global, que por sua vez produz efeitos negativos, na fauna e flora, na agricultura, na questão do derretimento das geleiras e no aumento dos níveis dos oceanos (SANTOS, 2007). O Quadro 1 elenca os principais danos ao meio ambiente causados pelos poluentes atmosféricos.

Quadro 1: Danos ao meio ambiente causados pelos poluentes atmosféricos

Poluentes	Danos ao meio ambiente
Dióxido de enxofre (SO ₂)	Reage com o vapor d'água formando chuva ácida, prejudicando a vida aquática, as plantações, além de destruir monumentos a base de calcário.
Partículas totais em suspensão (PTS)	Ao se acumularem nas folhas, reduzem a fotossíntese, ocasionando perda de biomassa, além da redução da produção de oxigênio.
Óxidos de nitrogênio (NO e NO ₂)	No ambiente pode levar a formação de smog fotoquímico e a chuvas ácidas, prejudicando a fauna e a flora.
Fumaça e partículas inaláveis (PM ₁₀)	Reduzem a visibilidade, causam a deterioração da flora, além de promoverem a contaminação dos solos.
Monóxido de carbono (CO)	Na atmosfera o CO pode sofrer oxidação por radicais livres formando dióxido de carbono, que por sua vez, causa acidificação de rios e florestas, dificultando a vida de animais e o desenvolvimento da flora, mudanças climáticas e chuvas ácidas.
Ozônio (O ₃)	Prejudica a vegetação natural, agride as plantas ornamentais, além de atacar as colheitas agrícolas.

Fonte: Adaptado de CETESB (2013)

Os ecossistemas são imprescindíveis para a manutenção da vida na Terra como a conhecemos. A poluição atmosférica afeta diretamente o equilíbrio e a qualidade dos ecossistemas, o que conseqüentemente prejudica a capacidade dos serviços ecossistêmicos. De acordo com Paiva (2010), tais serviços são os benefícios que a humanidade obtém da natureza direta ou indiretamente, através dos ecossistemas, a fim de sustentar a vida no planeta, os mesmos se dividem em quatro categorias, a saber: produção, regulação, cultural e de apoio (ANDRADE e ROMEIRO, 2009). O Quadro 2 descreve quais são e como se dividem os serviços ambientais:

Quadro 2: Serviços ecossistêmicos

Categoria de serviço ambiental	Descrição do serviço	Exemplo
Produção	Materiais fornecidos pelo ecossistema que serão consumidos.	Alimentos, fibras, madeira, petróleo, água, fármacos naturais, recursos genéticos.
Regulação	Regulam as condições ambientais naturais.	Regulação do clima, renovação da água, purificação do ar, regulação de doenças e pestes.
Cultural	Benefícios não associados ao lucro, fornecidos pelo ecossistema.	Valores espirituais e religiosos, valores educacionais, recreação e ecoturismo, sentimento de pertencimento.
Apoio	Serviços que propiciam a existência e manutenção dos demais serviços.	Formação do solo, fotossíntese, ciclagem de nutrientes.

Fonte: Adaptado de Paiva, 2010

3.5 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE POLUIÇÃO DO AR

Com base no exposto anteriormente, podemos afirmar que a poluição atmosférica prejudica a saúde humana e o meio ambiente. Os problemas acarretados pela poluição do ar deram origem a diversos questionamentos por parte da sociedade sobre os seus malefícios, que passou a ser reconhecida como risco para a saúde humana, para a preservação do meio ambiente e para a sociedade (SANTOS, 2007). Nesse contexto, a comunidade científica mundial iniciou as primeiras conferências para discutir medidas de proteção ambiental, por exemplo, a conferência de Estocolmo em 1972, deu início às discussões sobre proteção ambiental no mundo (PASSOS, 2009).

Esse acontecimento influenciou a criação de leis e organizações de proteção ambiental por todo o planeta. No Brasil, a Lei nº 1.413, de 14 de agosto de 1975 foi o 1º passo em direção ao protecionismo ambiental, tratando dos diversos tipos de poluição do solo, água e do ar (OLIVEIRA-JÚNIOR, 2007). Em meados da década de 80, pressões internacionais acabaram por resultar na lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, fato que deu início a estruturação do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), órgão que é formado por várias entidades da federação, dentre estes o Conselho Nacional de Meio Ambiente

(CONAMA), todos com o objetivo principal de proteger e recuperar a qualidade ambiental no Brasil (MMA, 2017b).

A mais importante conquista brasileira em relação às questões ambientais está descrita no artigo 225 da Constituição Federal de 1988, onde ocorre a inclusão do meio ambiente como um direito de todos, além disso, a definição de que o poder público e a coletividade são responsáveis pela preservação e manutenção do meio ambiente, com base na integração da Lei nº 6.938/1981 (BONAVIDES, 2000).

Baseado no artigo anteriormente citado da Constituição Federal de 1988, em relação aos poluentes emitidos por fontes móveis, o CONAMA via RESOLUÇÃO Nº 008/1986 regulamenta as emissões dos veículos automotores. Para tanto institui o Programa de Controle da Poluição por Veículos Automotores (PROCONVE), sendo este focado em reduzir as emissões veiculares, promover o desenvolvimento tecnológico da indústria automotiva brasileira, criar programas para inspeção de carros e motos, incentivar a conscientização da população em relação à poluição gerada por veículos automotores, criar indicadores de avaliação dos resultados obtidos e promover a melhoria dos combustíveis no Brasil (BRASIL, 1986).

O CONAMA, exercendo sua atribuição legal estabelece resoluções e normas, a fim de promover o controle das emissões de poluentes atmosféricos, dentre elas a Resolução CONAMA Nº 491/2018, que dispõe sobre os padrões de qualidade do ar intermediários (PI) e Finais (PF), formas de medição e parâmetros de controle, emissões máximas de PTS, fumaça, partículas PM₁₀ e PM_{2,5}, NO₂, CO, O₃, SO₂, além de chumbo (Pb). Dispõe também sobre o cálculo e divulgação do índice de qualidade do ar (IQAR), bem como a responsabilidade pela comunicação destas informações à população (BRASIL, 2018).

No Brasil, o CONAMA, considera como poluente atmosférico:

“Qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade” (RESOLUÇÃO CONAMA Nº 491/2018).

A Resolução CONAMA Nº 491/2018, define ainda:

- Padrões de qualidade do ar: um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, determinado como valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de Tempo de exposição, para que o meio

ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica;

- Padrões de qualidade do ar intermediários (PI): padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas;
- Padrões de qualidade do ar final (PF): valores definidos pela OMS em 2005;
- Episódio crítico de poluição do ar: situação caracterizada pela presença de altas emissões de poluentes na atmosfera em curto período de Tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos;
- Plano de controle de emissões atmosféricas: documento contendo abrangência, identificação de fontes de emissões atmosféricas, diretrizes e ações, com respectivos objetivos, metas e prazos de implementação, visando ao controle da poluição do ar no território estadual ou distrital, observando as estratégias estabelecidas no Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR;
- PM_{10} : partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 micrômetros;
- $PM_{2,5}$: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 micrômetros;
- PTS: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 50 micrômetros;
- IQAR: valor utilizado para fins de comunicação e informação à população que relaciona as emissões dos poluentes monitorados aos possíveis efeitos adversos à saúde.

Vale ressaltar que a Resolução CONAMA nº 491/2018 cria dois instrumentos importantes para o controle da qualidade do ar e para a prevenção de problemas relacionados à saúde da população, sendo um deles, o episódio crítico de poluição do ar: situação caracterizada pela presença de altas emissões de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos, e por fim, o Plano de Controle de Emissões Atmosféricas: documento contendo

abrangência, identificação de fontes de emissões atmosféricas, diretrizes e ações, com respectivos objetivos, metas e prazos de implementação, visando ao controle da poluição do ar no território estadual ou distrital, observando as estratégias estabelecidas no Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR). Estes instrumentos estão diretamente ligados com a orientação proposta pelo CONAMA, onde devem ser levadas em conta as condições e peculiaridades locais para que se façam políticas públicas mais eficientes em relação à poluição atmosférica (BRASIL, 2018).

Os padrões de qualidade do ar são imprescindíveis para a gestão eficiente da qualidade do ar atmosférico no Brasil, sendo que os mesmos são definidos pela Resolução CONAMA Nº 491/2018, conforme Tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Padrões de qualidade do ar atmosférico brasileiro

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	ppm
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	
Material particulado (PM ₁₀)	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material particulado (PM _{2,5})	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de enxofre (SO ₂)	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio (O ₃)	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de carbono (CO)	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo (Pb ⁵)					0.5	

¹ - Média aritmética anual

² - Média horária

³ - Máxima média móvel obtida no dia

⁴ - Média geométrica anual

⁵ - Medido nas PTS

Fonte: Adaptado de BRASIL (2018)

Os valores dos padrões de qualidade do ar atmosférico adotados pela Resolução CONAMA Nº 491/2018, são alvo de críticas por parte de especialistas, uma vez que, os mesmos estão muito acima dos valores adotados por países desenvolvidos como os Estados

Unidos, entre outros da União Europeia, em 2005, a OMS publicou documento com uma revisão dos valores-guia para os poluentes atmosféricos visando à proteção da saúde da população, à luz dos conhecimentos científicos adquiridos até então, sendo estes destacados na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2: Valores máximos de concentração de poluentes do ar, pela Organização Mundial da Saúde (OMS)

Poluente	Tempo de amostragem	Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dióxido de Enxofre (SO_2)	24 horas	20
	10 minutos	500
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30
	8 horas	100
Ozônio (O_3)	8 horas	100
Partículas Inaláveis (PM_{10})	24 horas	50
	MAA ⁽³⁾	20
Dióxido de Nitrogênio (NO_2)	1 hora	200
	MAA ⁽³⁾	40

³ – Média anual aritmética.

Fonte: SANTANA et al. (2012)

De acordo com a legislação brasileira os poluentes de maior importância e que são monitorados representados pelo monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NO_x), o dióxido de enxofre (SO_2), o ozônio (O_3), a fumaça e os materiais particulados: partículas inaláveis (PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$) e partículas totais em suspensão (PTS). Outras substâncias como os compostos orgânicos BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) também foram investigados devido à elevada abundância em atmosferas urbanas (DAPPER et al., 2016).

Em 2008, o Estado de São Paulo iniciou um processo de revisão dos padrões de qualidade do ar, amparado pelo artigo 24 da Constituição Federal de 1988, artigo este que, permite aos Estados da Federação, bem como ao Distrito Federal, que os mesmos elaborem seus próprios padrões de qualidade do ar atmosférico, desde que, não sejam inferiores aos aplicados nacionalmente através do CONAMA. Tendo como base as diretrizes estabelecidas pela OMS, com participação de representantes de diversos setores da sociedade. Este processo culminou na publicação do Decreto Estadual nº 59.113 de 23/04/2013, estabelecendo novos

padrões de qualidade do ar por intermédio de um conjunto de metas gradativas e progressivas para que a poluição atmosférica seja reduzida a níveis desejáveis ao longo do tempo (CETESB, 2013).

O Decreto Estadual nº 59.113/2013, afirma que a gestão da qualidade do ar em São Paulo será feita com base em padrões de qualidade do ar, sendo que para tanto, deve-se observar os critérios a seguir:

- Metas Intermediárias (MI): referem-se a valores temporários, cumpridos em etapas, de modo a proporcionar uma melhoria gradual da qualidade do ar no Estado de São Paulo, com ênfase na busca pela redução das emissões de fontes fixas e móveis, alinhados com os princípios do desenvolvimento sustentável;
- Padrões Finais (PF): Padrões determinados pelo melhor conhecimento científico, com ênfase na proteção mais eficaz da saúde da população em relação aos danos causados pela poluição atmosférica.

Diante do que foi exposto anteriormente, através do acima citado Decreto, o Estado de São Paulo criou seus próprios padrões de qualidade do ar, conforme Tabela 3 a seguir:

Tabela 3: Padrões estaduais de qualidade do ar em São Paulo.

Poluente	Tempo de amostragem	Mi 1	Mi 2	Mi 3	Pf
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM ₁₀	24 horas	120	100	75	50
	MAA ¹	40	35	30	20
PM _{2,5}	24 horas	60	50	37	xxx
	MAA ¹	20	17	15	10
SO ₂	24 horas	60	40	30	20
	MAA ¹	40	30	20	
NO ₂	1 hora	260	240	220	200
	MAA ¹	60	50	45	40
O ₃	8 horas	140	130	120	100
CO	8 horas				9 ppm
Fumaça* (FMC)	24 horas	120	100	75	50
	MAA ¹	40	35	30	20
PTS*	24 horas				240
	MGA ²				80
Pb**	MAA ¹				0,5

¹ - Média aritmética anual.

² - Média geométrica anual.

* Parâmetro auxiliar, pra situações específicas, a critério da CETESB.

** Chumbo, monitorado em áreas específicas, a critério da CETESB.

Fonte: CETESB, 2013

O decreto Estadual nº 59.113/2013, estabeleceu também a criação de uma ferramenta matemática desenvolvida para facilitar a divulgação da qualidade do ar, de acordo com Ferreira e Oliveira (2016), o IQA sugerido pela CETESB (2013). Ele é estruturado com base na Resolução CONAMA nº 491/2018 e contemplado os parâmetros a seguir: SO₂, Partículas Inaláveis (PM₁₀ e PM_{2,5}), PTS, Fumaça, CO, O₃ e NO₂.

O IQA é calculado por uma função linear segmentada, na qual os padrões de qualidade do ar são os pontos de inflexão. A função relaciona a concentração do poluente aos índices previamente estabelecidos. Desta relação surge um valor adimensional referido a uma escala baseada nos padrões de qualidade do ar, para cada poluente é medido um IQA e para efeito de divulgação e classificação do mesmo. É levado em consideração o pior resultado, sendo assim, o ar atmosférico recebe uma classificação representada conforme a Tabela 4.

Tabela 4: Estrutura do Índice de Qualidade do Ar

Faixa de concentração dos poluentes para cálculo do IQA						
SO₂ µg m⁻³	CO ppm	PM₁₀ µg m⁻³	O₃ µg m⁻³	NO₂ µg m⁻³	Índice de Qualidade do ar - IQA	Classificação
0 - 80	0 - 4	0 - 50	0 - 80	0 - 100	0 - 50	Boa
81 - 365	4,1 - 9	51 - 150	81 - 160	101 - 320	51 - 100	Regular
366 - 800	9,1 - 15	151 - 250	161 - 200	321 - 1130	101 - 200	Inadequado
801 - 1600	15,1 - 30	251 - 420	201 - 800	1131 - 2260	201 - 300	Má
> 1600	> 30	> 420	> 800	> 2260	> 300	Péssima

Fonte: CETESB (2013)

3.6 DOENÇAS RESPIRATÓRIAS

O acelerado desenvolvimento tecnológico experimentado pela humanidade após a Revolução Industrial culminou no aumento exponencial da quantidade de poluentes atmosféricos presentes no ar que respiramos o que prejudicou severamente a qualidade de vida na Terra. A poluição atmosférica é a mais perigosa para os seres humanos, uma vez que a mesma é silenciosa e devastadora (PIRES et al., 2003; BAKONYI et al., 2004).

A poluição do ar causa uma resposta inflamatória no aparelho respiratório induzida pela ação de substâncias oxidantes, as quais acarretam aumento da produção, da acidez, da viscosidade e da consistência do muco produzido pelas vias aéreas, levando, conseqüentemente, à diminuição da resposta e/ou eficácia do sistema mucociliar ou sistema linfático (CANÇADO et al., 2006). Segundo Jasinski et al. (2011), diversos estudos apontam que as crianças, os idosos e os portadores de doenças preexistentes (cardiopatias e pneumopatias) são mais suscetíveis aos efeitos deletérios da poluição atmosférica.

Autores como Santos et al. (2019) afirmam, que os poluentes atmosféricos afetam de forma significativa a saúde humana mesmo quando estes estão dentro dos padrões aceitáveis pela legislação vigente. As doenças mais comuns relacionadas aos poluentes atmosféricos são:

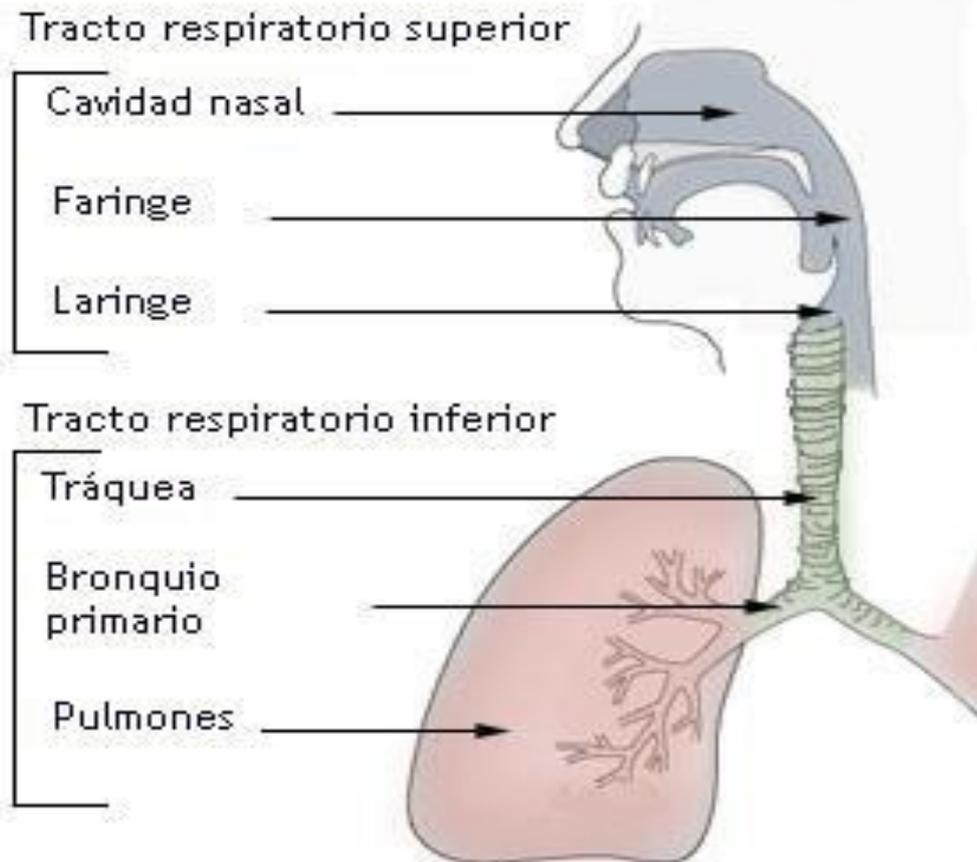
- Espirro, tosse e ativação do aparelho mucociliar pela inalação de material particulado;
- Lesões nas células das vias aéreas causadas pelo Ozônio, isto por conta do mesmo ser um potente oxidante;
- Irritações no trato respiratório causados por aerossóis ácidos;
- Intoxicações e problemas cardíacos provocados pelo contato com monóxido de carbono;
- Distúrbios de ansiedade, Mal de Parkinson e Alzheimer pela inalação contínua de partículas metálicas poluentes, como mercúrio, cádmio e chumbo;
- Câncer de pulmão causado não só pelo tabagismo, como também pelo convívio com poluentes atmosféricos em concentrações elevadas.

Entre os agentes causadores e determinantes de doenças respiratórias, estão de uma lado uma enorme variedade de microrganismos (vírus e bactérias), do outro lado os alérgenos (agentes químicos ou físicos). Essas doenças são responsáveis por uma enorme parcela da mortalidade e morbidade hospitalar em diversas partes do mundo. Sendo assim exercem elevada pressão sobre os serviços de saúde, situação que não é diferente em São Paulo (BRAGA et al., 2002; FRANCISCO et al., 2006).

As doenças respiratórias se dividem em superiores e inferiores, enquanto a doença respiratória se concentra no trato respiratório superior, caracteriza-se como alta e compreende estruturas acima da epiglote, boca até os brônquios segmentares, porém se a mesma se concentrar no trato respiratório inferior, é denominada baixa, desta forma, alcança os brônquios e os alvéolos pulmonares, acarretando roncos ou sibilos à estrutura pulmonar

(BENICIO et al., 2000; CÉSAR et al., 2013). A Figura (3) demonstra de forma sucinta a anatomia do trato respiratório humano.

Figura 3: Anatomia do trato respiratório humano



Fonte: Edefísica, 2009

Nas obstruções crônicas das vias aéreas superiores, aparecem rouquidão, distorção na traquéia, processo inflamatório na faringe e tosse metálica. Quando a lesão afeta a laringe, ocorre um ronco ou sibilo, numa aspiração grave de corpo estranho e pode-se desenvolver crise de asma. Nas obstruções das vias aéreas inferiores, produzem uma expiração forçada, decorrente da pressão interna da pleura e transmitida às paredes dos brônquios principais e lobares. Caso ocorra o colapso destes brônquios, há uma limitação do fluxo respiratório afetando a elasticidade pulmonar reduzindo a resistência das vias aéreas (MARTINS et al., 1999; NICOLUSSI et al., 2014).

As principais doenças do trato respiratório superior são:

- Rinite: inflamação da mucosa nasal decorrente de uma hipersensibilidade causada por substâncias estranhas denominadas alérgenos, sendo que, os mais comuns são partículas de pó, fungos, pólenes, restos de insetos e animais domésticos (II CONSENSO BRASILEIRO SOBRE RINITES, 2006);
- Sinusite: inflamação dos seios da face causada por alergia ou infecção viral, bacteriana, ou fúngica, pode ocorrer nos maxilares, etmoidais, frontais ou esfenoides, pode ser aguda ou crônica (GANANÇA, 2011).

As principais doenças do trato respiratório inferior são:

- Asma: distúrbio caracterizado pela hiper-reatividade da musculatura lisa brônquica em resposta a diversos estímulos internos e externos, o que pode ser revertido por medicamentos, ou mesmo de forma espontânea, os mais comuns são pólenes, inalantes, alimentos, medicamentos, fumaça, e ar seco, ao receber algum estímulo o asmático ativa diversos eventos fisiopatológicos, o que acarreta sinais e sintomas (TEIXEIRA, 1990; IV DIRETRIZES BRASILEIRAS PARA O MANEJO DA ASMA, 2006);
- Pneumonia: doença grave se dá pela inalação de microrganismos para o interior dos pulmões, por vezes a corrente sanguínea acaba levando a infecção aos pulmões, em jovens o *Mycoplasma pneumoniae* é o principal causador da doença, o tabagismo, alcoolismo, diabetes e as doenças pulmonares obstrutivas crônicas, favorecem o aparecimento da pneumonia. As crianças, os idosos e os imunodeprimidos (portadores de cânceres e transplantados) são mais suscetíveis a doença (SALDIVA et al., 2000; TARANTINO, 2002).

Freitas et al., (2013) avaliaram o impacto da poluição atmosférica na saúde, em municípios brasileiros, e selecionaram indicadores de efeito para fins de vigilância, a partir de dados de hospitalizações e material particulado fino (PM₁₀), em que foi realizado um estudo utilizando modelos de séries temporais, em particular Modelos Aditivos Generalizados com regressão de Poisson, para estimar o impacto da poluição do ar na saúde. Foram analisadas as internações por doenças respiratórias totais (DRT); internações por doenças respiratórias em menores de 5 anos (DRC) e internações por doenças cardiovasculares em adultos maiores de 39 anos (DCV), em 21 cidades. O melhor indicador de efeito foi selecionado a partir da proporção de resultados significativos. Os resultados encontram uma relação significativa em 81% das localidades para DRT; 89% para DRC; e 50% para DCV. Sendo o indicador DRC

considerado o melhor indicador de efeito, seguido pelo indicador DRT, e concluíram que ambos podem ser utilizados para fins de vigilância.

Silveira e Junger (2018) investigaram a associação entre a mortalidade por doenças isquêmicas do coração e cerebrovasculares e a exposição aos espaços verdes, e o papel socioeconômico nessa relação, na cidade do rio de Janeiro, em que se utilizaram dados das mortes ocasionadas pelas doenças acima citadas, entre cariocas na faixa etária acima dos 30 anos, no período de 2010 a 2012. Tendo por base imagens de satélites, a exposição ao verde foi estimada através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, além disso, as associações entre as taxas de mortalidade por doenças isquêmicas do coração e cerebrovasculares e a exposição aos espaços verdes, padronizadas por sexo e por idade, foram analisadas a partir de modelos condicionais autoregressivos, ajustados pelas densidades de vias de tráfego leve e pesado, *proxy* de poluição, e pela situação socioeconômica, mensurada pelo Índice de Desenvolvimento Social. Também foram realizadas análises estratificadas por níveis socioeconômicos, dados pelos tercís do Índice de Desenvolvimento Social. Nos setores com mais presença de verde, houve redução de 6,7% (IC95% 3,5 – 9,8) em relação às doenças isquêmicas do coração, além disso, houve redução de 4,7% (IC95% 1,2 – 8,0).

Entre os setores mais verdes, com Índice de Vegetação por Diferença Normalizada acima do terceiro quartil, a redução da mortalidade por doenças isquêmicas do coração foi de 6,7% (IC95% 3,5–9,8) e por cerebrovascular foi de 4,7% (IC95% 1,2–8,0). Na análise estratificada, o efeito protetor dos espaços verdes na mortalidade por doenças isquêmicas do coração foi observado entre os setores mais verdes de todos os estratos, sendo maior para os de menor nível socioeconômico (8,6%; IC95% 1,8–15,0). No caso da mortalidade por doenças cerebrovasculares, o efeito protetor foi verificado apenas para os setores mais verdes do nível socioeconômico mais baixo (9,6%; IC95% 2,3–16,5). As taxas de mortalidade por doenças isquêmicas do coração e cerebrovasculares são inversamente associadas à exposição aos espaços verdes, controlando o nível socioeconômico e a poluição do ar. O efeito protetor dos espaços verdes é maior entre os setores de nível socioeconômico mais baixo.

Zeng et al., (2015), estudaram as características pertinentes a relação entre a exposição-resposta da concentração de material particulado (PM₁₀) e a mortalidade na China, utilizaram-se de modelos aditivos generalizados para a elucidação dos efeitos em curto prazo das partículas inaláveis PM₁₀ na mortalidade decorrente da mesma, através do ajuste das variáveis, tais como a periodicidade sazonal, temperatura e umidade relativa do ar e o efeito semana x feriado, concluíram que na maioria das cidades em estudo, as relações entre a

concentração de PM_{10} e a mortalidade diária específica decorrente desta, foi linear quando a concentração do PM_{10} estava abaixo dos $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, diante disso, ficou evidente que o PM_{10} na China influi diretamente nos índices de mortalidade da população local.

Guanabara et al., (2014), realizaram estudo sobre a qualidade do ar em Bertioga, baixada santista (SP), com a intenção de verificar a qualidade do ar atmosférico da cidade através da mensuração de partículas totais suspensas (PTS), material particulado (PM_{10}) e ozônio (O_3). Uma vez que, Bertioga fica localizada próxima de Cubatão, este estudo se deu em duas fases distintas, sendo uma, a mensuração da qualidade do ar no centro de Bertioga, tendo como parâmetro os poluentes atmosféricos acima citados. Na segunda fase do estudo, foi feita a análise dos dados coletados na cidade. A análise mostrou que as medidas aferidas em Bertioga indicam uma boa qualidade do ar local, as médias obtidas foram de $26,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PTS, $15,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} e $23,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o O_3 , diante do exposto pode-se concluir que, apesar da proximidade com Cubatão, em Bertioga a qualidade do ar atmosférico é boa, estando a mesma de acordo com os padrões estabelecidos pelo CONAMA e pela OMS

3.6.1 Os efeitos da poluição atmosférica na saúde humana

Os danos à saúde humana, decorrentes da poluição atmosférica, começaram a ganhar destaque a partir da Revolução Industrial, período em que a humanidade cresceu economicamente, claro que tal crescimento trouxe consequências ótimas e péssimas. Dentre as péssimas, o aumento do número de morbidade e mortalidade decorrentes de doenças relacionadas com a poluição do ar (OLIVEIRA, 2011).

Aproximadamente sete milhões de pessoas morrem anualmente por causas relacionadas com a poluição do ar, essas mortes ocorrem principalmente entre as populações mais vulneráveis e que por sua condição não dispõem de recursos e meios para se protegerem das doenças e problemas causados pelo ar poluído. Os níveis de poluição dependem quase que exclusivamente de ações governamentais, as mortes na sua maioria decorrem da exposição a partículas finas do ar, uma vez que, estas penetram profundamente nos pulmões e no sistema cardiovascular, com isso acarreta em derrames, cardiopatias, câncer de pulmão, doenças pulmonares obstrutivas crônicas e pneumonia (OMS, 2014).

A poluição atmosférica é extremamente perigosa para os seres humanos, pois é silenciosa, característica que a torna devastadora, quando respiramos ar poluído, visto que os poluentes atingem diretamente nosso organismo via pulmões e afeta vários órgãos e sistemas do corpo (COELHO, 2007). Existem algumas teorias para explicar os danos que a poluição

atmosférica causa na saúde humana, dentre elas, a mais aceita na literatura, diz que, altas emissões de oxidantes e pró-oxidantes contidos nos poluentes ambientais, como material particulado (PM) de diversos tamanhos e composição, e nos gases, como O₃ e óxidos de nitrogênio (NO_x), em contato com o epitélio respiratório, provocam a formação de radicais livres (RL) de oxigênio (O₂) e de nitrogênio (N₂) que, por sua vez, induzem o estresse oxidativo nas vias aéreas (KÜNZLI, et al., 2010).

O processo descrito anteriormente, caso as defesas antioxidantes do organismo não sejam eficazes, acarreta um aumento da presença de RL que não foram neutralizados pelas defesas antioxidantes, com isso inicia uma resposta inflamatória com a liberação de células e mediadores inflamatórios (citocinas, quimiocinas e moléculas de adesão) que atingem a circulação sistêmica e, assim leva a uma inflamação subclínica com repercussão não somente no sistema respiratório, mas também causando efeitos sistêmicos (SRÁM, 2005).

As pessoas reagem de forma diferente em relação aos efeitos da poluição atmosférica, um dos fatores que determinam os tipos de reação é a faixa etária, os idosos sofrem por conta do desgaste natural do sistema imunológico, por outro lado, as crianças também sofrem, porém devido à falta de um sistema imunológico complemento desenvolvido. Outro fator que interfere diretamente na intensidade e na forma de reação aos poluentes do ar, é a questão relacionada com a genética de cada pessoa, os portadores de alergias e doenças crônicas, como por exemplo, fibroses, arritmias, hipertensão arterial, e diabetes são mais sensíveis aos efeitos da poluição (TADANO, 2007). O Quadro 3 a seguir, mostra os principais danos à saúde humana causados por poluentes atmosféricos:

Quadro 3: Danos à saúde humana causados pelos poluentes atmosféricos

Poluentes	Danos à saúde humana
Dióxido de enxofre (SO ₂)	Agrava os sintomas de asma, além de, agravar doenças cardiorrespiratórias pré-existentes.
Partículas totais em suspensão (PTS)	Câncer de pulmão, arteriosclerose, asma e bronquite, além de alterações da frequência cardíaca.
Óxidos de nitrogênio (NO, NO ₂)	Aumentam a sensibilidade à asma e a bronquite, além de, reduzirem a resistência às infecções respiratórias.
Fumaça e partículas inaláveis (PM ₁₀)	Prejudicam o sistema respiratório e o cardiovascular, acarretam bronquite, câncer, arteriosclerose e mortes prematuras.
Monóxido de Carbono (CO)	Em baixa concentração causa fadiga e dor no peito, em concentração elevada pode provocar a morte por asfixia.
Ozônio (O ₃)	Asma, enfisema, bronquite, arteriosclerose, altera a capacidade pulmonar e redução na expectativa de vida.

Fonte: adaptado de CETESB, 2013

Os poluentes atmosféricos exercem efeitos negativos na saúde humana de duas maneiras, aguda ou crônica. A aguda, relacionada com a exposição em curto prazo, ou seja, os efeitos são sentidos de forma imediata, em contrapartida, temos os efeitos crônicos, sendo estes avaliados após longos períodos de exposição (meses ou anos). O Quadro 4 mostra os efeitos agudos e crônicos da exposição aos poluentes atmosféricos na saúde humana.

Quadro 4: Efeitos crônicos e agudos da poluição atmosférica na saúde humana

Efeitos agudos na saúde humana
Crescimento das taxas de mortalidade por doenças respiratórias
Aumento dos casos de infecções respiratórias agudas
Aumento dos casos de internação hospitalar por pneumonia
Maior incidência de casos de alterações agudas na função pulmonar
Maiores taxas de absenteísmo laboral e escolar
Efeitos crônicos na saúde humana
Alterações crônicas da função pulmonar
Prejuízo ao desenvolvimento pulmonar infanto-juvenil
Aumento dos casos de mortes ocasionadas por câncer de pulmão
Maior morbidade e mortalidade em decorrência de doenças respiratórias
Aumento dos casos de doença pulmonar obstrutiva crônica
Maior quantidade de pessoas com volume expiratório forçado abaixo da normalidade
Crianças prematuras e com baixo peso
Prejuízo ao desenvolvimento cognitivo infantil
Efeitos diversos
Recém-nascidos com baixo peso
Partos prematuros
Alterações no desenvolvimento cognitivo das crianças
Mortes intrauterinas
Redução da fertilidade humana

Fonte: Adaptado de RAMIREZ (2002)

Ultimamente a comunidade científica tem considerado a poluição atmosférica como uma importante causa de risco para a saúde reprodutiva, pois tem interferido na fertilidade e no desenvolvimento fetal. A exposição precoce de um indivíduo à poluição atmosférica, ou seja, antes da sua maturidade sexual, pode afetar a descendências primariamente, seja por alterações hormonais, seja por ação tóxica direta às células germinativas parentais. , Carlsen et al. (1992) analisaram 61 publicações, concluíram que, entre 1988 e 1990, houve uma redução de 26% no volume de sêmen ejaculado e 50% na concentração de espermatozoides nas populações avaliadas.

O desenvolvimento saudável dos seres humanos está diretamente relacionado à toxicologia reprodutiva, pois em muitos aspectos, a saúde e a integridade do sistema reprodutivo são influenciadas por eventos pré-natais. Conseqüentemente, os efeitos disso podem ser imediatos ou tardios, através de danos acarretados a estrutura do sistema reprodutivo de um modo geral, podendo assim, provocar desordens no trato reprodutivo masculino, bem como em processos maternos (ovulação, implantação, gestação e parto). Além disso, pode provocar alterações no comportamento sexual e câncer genital (MAISONET et al., 2004).

Os efeitos nocivos decorrentes da exposição aos poluentes atmosféricos são igualmente sentidos pelos fetos, uma vez que, durante a gestação esses poluentes são transmitidos da gestante ao feto, podendo ocasionar prematuridade, baixo peso ao nascer, anomalias congênitas e em casos extremos, pode até causar a morte intrauterino. A exposição da gestante aos poluentes atmosféricos pode afetar seu sistema respiratório, conseqüentemente prejudica o transporte de oxigênio e glicose através da placenta, além disso, a gestante pode ter sua coagulabilidade sanguínea reduzida, o que maximiza os riscos de infarto placentário e vilosidade crônica (SRÁM et al., 2008; KANNAN et al., 2006).

Paiva (2014) em seus estudos comprovou a associação dos poluentes atmosféricos com os casos de internações hospitalares por doenças respiratórias na cidade de Volta Redonda (RJ). O estudo constatou através dos dados diários sobre Autorização de Internação Hospitalar (AIH), disponibilizados pelo Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), que no período de 2005 a 2007 ocorreram 5235 internações por doenças respiratórias na cidade, 317 casos (6%) tiveram associação com a poluição atmosférica local, o que gerou um custo de R\$ 170.711,83 para o município.

Fernandez et al. (2010), avaliaram os custos das doenças respiratórias decorrentes da poluição atmosférica para o município de Rio Grande (RS), foram avaliados dados referentes ao ano de 2009, foi estimado que apenas 50% dos custos destas doenças eram pagos pelo Sistema Único de Saúde (SUS). A outra parte ficava com a iniciativa privada, por isso para efeito de cálculo os custos aferidos foram duplicados, além disso, foram incluídos no cálculo os dias que as pessoas ficaram afastadas de suas atividades econômicas, o estudo constatou que na população local estudada (faixa etária de 10 a 40 anos), com renda entre 1 e 5 salários mínimos, ocorreram 191.106,28 casos de morbidade hospitalar por doenças respiratórias, com um custo direto de R\$ 2.242.687,96 e um custo indireto total de R\$ 14.859.933,14 para a cidade de Campo Grande.

Em seus estudos, Machin e Nascimento (2018), analisaram os custos das doenças respiratórias em crianças menores de 10 anos na cidade de Cuiabá (MT), com base nos dados de internações decorrentes de doenças respiratórias no período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2012, os autores elaboraram um estudo ecológico de séries temporais para a avaliação dos níveis médios de material particulado fino (PM_{2,5}), as contagens diárias das internações de crianças foram modeladas separadamente em regressões de Poisson. Para estimar a associação existente entre as variações diárias nas concentrações de material particulado fino e os totais diários de internações hospitalares pelas doenças respiratórias, foram utilizados modelos aditivos generalizados que permitem que efeitos não lineares sejam ajustados de forma adequada usando-se funções não paramétricas, sendo neste estudo as funções *splines*, que suavizam as curvas de análise, logo em seguida foram estimados os custos financeiros e aumentos do número de internações decorrentes de elevações de PM_{2,5}. Uma elevação de 5µg/m³ do PM_{2,5} implicou o aumento de 89 internações e custos acima dos R\$ 95 mil para o Sistema Único de Saúde. A cidade de Cuiabá não possui uma agência ambiental que faça a medição dos poluentes atmosféricos, por conta disso, dados estimados por modelo matemático podem ser utilizados em locais onde não há monitoramento de poluentes.

Tayra et al., (2012) avaliaram os custos econômicos das doenças cardiorrespiratórias em Cubatão (SP). Através do DATASUS, obtiveram os dados sobre internações e absenteísmo laboral em munícipes com idade entre 14 e 70 anos, sendo assim, os autores buscaram mensurar os custos levando em conta o somatório dos gastos hospitalares totais e por faixa etária com valor dos dias de trabalho perdidos pela pessoa atendida, neste caso, foi feita uma média salarial da região, como resultados dos seus estudos, os autores observaram que as doenças respiratórias eram a quarta causa de mortes na área em estudo, perdendo apenas para doenças do coração, acidentes e neoplasias malignas, os autores concluíram que no período em estudo as mortes decorrentes de doenças respiratórias variaram entre 9,6% (2000) a 11,5% (2008), além disso, essas mortes eram mais frequentes em crianças com menos de 1 ano de idade e também em adultos com mais de 60 anos. No que se refere às internações, as doenças respiratórias constituem 11,20% dos atendimentos na área, ficando atrás de atendimentos a gestantes de modo geral, por fim, em relação aos custos destas doenças, o município de Cubatão gasta mais com doenças do sistema circulatório e com gestantes, as doenças respiratória ocupam a terceira posição quando se trata de valores gastos na área em estudo, sendo que, entre os anos de 2000 e 2009 foram gastos cerca de R\$ 6,9 milhões (11,6% do total de gastos) com doenças respiratórias, os autores ressaltam ainda que,

estes atendimentos apesar de mais baratos que os demais, acabam por demandar mais dias de internação e conseqüentemente mais dias de afastamentos das atividades econômicas das pessoas, apesar disso, o estudo releva queda progressiva nos últimos anos dos casos de doenças respiratórias na área em estudo.

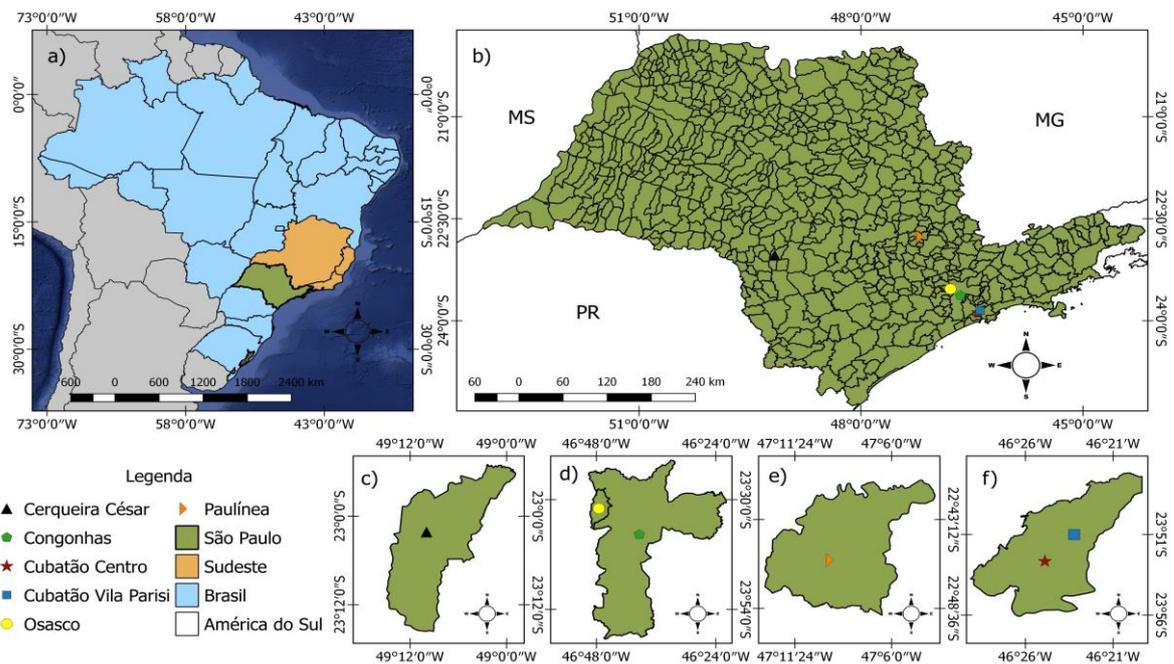
Oliveira (2018) realizou estudos no município de Volta Redonda (RJ), onde a autora se valeu dos dados coletados e fornecidos pelas estações de monitoramento da qualidade do ar existentes na área em estudo sobre a concentração de partículas Totais em Suspensão (PTS), Material particulado (MP₁₀) e Ozônio (O₃), bem como, os dados sobre temperatura e umidade relativa do ar. Além disso, dos dados fornecidos pelo DATASUS no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2015, sobre as internações decorrentes de doenças cardiorrespiratórias em Volta Redonda (RJ), afim de, verificar a associação destas doenças com a poluição atmosférica local, em seguida a autora quantificou os custos destas doenças para os cofres públicos da cidade. Após realizar os procedimentos pertinentes ao estudo, a autora concluiu que a poluição atmosférica existente na área esteve correlacionada com as doenças cardíacas e respiratórias desenvolvidas pela população local, com isso o município desembolsou cerca de R\$ 1.419.922,69 para restituir a saúde dos munícipes.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estado de São Paulo é o mais rico da federação, localizado na região Sudeste do Brasil, nas latitudes de -23,55 e -32,56 Sul e longitude de -46,64 e -46,38 Oeste com uma altitude de 745 m. Faz divisa com os estado do Rio de Janeiro ao Nordeste, Minas Gerais ao Norte e Nordeste, com o Paraná ao Sul e o Mato Grosso do Sul ao Oeste e é banhado pelo Oceano Atlântico ao Leste. Possui 645 municípios e uma população de 41.262,199 hab/km² com uma densidade demográfica de 166 hab/km² (IBGE, 2018). A estimativa do PIB é de 1,5 trilhões de reais em 2013 (BRUNI et al.; 2014).

Figura 4: Localização geográfica das estações de monitoramento da qualidade do ar no Estado de São Paulo



Fonte: Santiago, 2019

Área de estudo compreende seis estações de monitoramento qualidade do ar do estado de São Paulo, foram utilizados dados referentes às medições de poluentes atmosféricos (SO_2 , NO_2 , NO e PM_{10}) no período de 1996 a 2011 nas estações de monitoramento: Cerqueira César, Congonhas, Cubatão Vila Parisi, Cubatão Centro, Osasco e Paulínia localizadas, conforme as Figuras 4 (c) (d) (e) e (f).

As estações de qualidade do ar localizam-se em (1) Cerqueira César, Faculdade de Saúde Pública – USP Av. Dr. Arnaldo, 7; (2) Congonhas, Al. dos Tupiniquins, 1571 - Aeroporto; E.M. Prof. J. C. da Silva Borges; (3) Cubatão Centro, R: Salgado Filho, 121, Prq Fernando Jorge; (4) Cubatão Vila Parisi, R: Pref. Armando Cunha, 70; (5) Osasco, Esquina da Av. dos Autonomistas com a R. São Maurício; (6) Paulínia, Praça Oadil Pietrobom, s/nº, Vila Bressani (Tabela 5).

Tabela 5: Caracterização das estações de monitoramento da qualidade do ar no Estado de São Paulo

ID	Região	Estação	Lat (° S)	Lon (°W)	Altitude (m)
1	Capital	Cerqueira César	-23,55	-46,67	817
2	Capital	Congonhas	-23,62	-46,66	760
3	Litoral	Cubatão Centro	-23,88	-46,42	760
4	Litoral	Cubatão Vila Parisi	-23,85	-46,39	-
5	RMSP	Osasco	-23,53	-46,79	740
6	Interior	Paulínia	-22,77	-47,15	751

4.2 SÉRIE TEMPORAL DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS E PREENCHIMENTOS DE FALHAS

A imputação de dados ausentes, não deve ser vista como uma forma de fabricar informações inexistentes e sim de permitir que se façam inferências utilizando o máximo possível de informações contidas nos dados (NUNES, 2007).

No presente estudo foi aplicada a função “mstats” do pacote “mtsvi” para o cálculo dos percentuais (%) de falhas das emissões de poluentes atmosféricos diários (SO₂, NO₂, NO e PM₁₀) e os seus respectivos preenchimento de falhas (imputação), foram realizados via software “R” versão 3.4.2 R Core Team (2017). A função “mstats” tem por objetivo calcular a proporção de dados ausentes “missing” em um determinado conjunto de dados por linhas e colunas, conforme os comandos a seguir (1), (2), (3), (4):

```
mstats(dados1) (1)
```

```
FALHAS=c(mstats(dados1)) (2)
```

```
(TAB_FALHAS_1=FALHAS$columns) (3)
```

```
write.xlsx(TAB_FALHAS_1,"MISSING-1996-2011.xlsx", row.names = T) (4)
```

Em que: dados1= planilha das emissões de poluentes atmosféricos do ar diários (SO₂, NO₂, NO e PM₁₀) (µg/m³); mstats = função para cálculo de dados ausentes no R; TAB_FALHAS_1 = tabela de dados ausentes por coluna; write.xlsx = saída dos dados imputados com extensão para o Excell.

4.3 MÉTODO DE IMPUTAÇÃO DOS DADOS DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS (SO₂, NO₂, NO e PM₁₀)

A escolha do método de imputação de dados, neste estudo tem como base a técnica sugerida por Harrel (2001), em que os percentuais (%) de dados faltantes da variável sobre análise devem seguir os seguintes critérios:

i) Percentual $\leq 0,05$: aplica-se a imputação única ou analisa somente os dados completos;

ii) Percentual entre 0,05 e 0,15: imputação única pode ser usada aqui provavelmente sem problemas, entretanto o uso da imputação múltipla é indicado;

iii) Percentual $\geq 0,15$: A imputação múltipla é indicada na maior parte dos casos.

Vale ressaltar que se houverem diversos preditores com dados faltantes devem ser feitas as mesmas considerações acima, mas os efeitos da imputação de dados serão mais pronunciados.

No presente estudo foi aplicado ao processo de imputação múltipla, pelo pacote “mtsd”, com base na Especificação Condicional Total (ECT), segundo Buuren e Oudshoorn (2011). Vale ressaltar que cada variável possui seu próprio modelo de imputação, e que são fornecidos para dados contínuos (correspondência média preditiva, normal), dados binários (regressão logística), dados categóricos não ordenados (regressão logística politômica) e dados categóricos ordenados (odds proporcionais).

Após a contabilização das falhas, iniciou-se o processo de imputação dos dados para as respectivas variáveis das emissões de poluentes atmosféricos do ar (SO₂, NO₂, NO e PM₁₀), através do pacote “mtsd”. O método de imputação de dados consiste em uma função genérica, onde o conjunto de dados é transformado através da função spline, que suaviza a

série temporal. Estes procedimentos foram realizados nas seguintes etapas: interação de dados (5), extração de dados de imputação (6) e imputação (7), conforme descrito a seguir:

$$df=a; A=a; B=a; C=a; D=a \quad (5)$$

$$(f \leftarrow \sim SO_2+NO_2+NO+ PM_{10}) \quad (6)$$

$$IPM=mniPMut(f,dados1,eps=1e-3,ts=TRUE,method="spline",sp.control=list(df=c(A,B,C,D))) \quad (7)$$

Em que, a = número de interações das variáveis das emissões de poluentes atmosféricos do ar (SO_2 , NO_2 , NO e PM_{10}) diários; df = interações das variáveis (SO_2 , NO_2 , NO e PM_{10}) diárias; f = função empírica das variáveis (SO_2 , NO_2 , NO e PM_{10}) diárias; IPM = método de imputação usando a spline.

4.4 CONSISTÊNCIA DA SÉRIE TEMPORAL DOS POLUENTES ATMOSFERICOS IMPUTADOS (SO_2 , NO_2 , NO e PM_{10}) E ESTATÍSTICA DESCRITIVA E EXPLORATÓRIA

Após o processo de imputação dos dados ausentes de poluição atmosférica do ar (SO_2 , NO_2 , NO e PM_{10}) para as estações de Cerqueira César, Congonhas, Cubatão Vila Parisi, Cubatão Centro, Osasco e Paulínia, foram calculadas as medidas de tendência central ou de posição, assim denominadas como estatística descritiva (média e mediana) seguidas das medidas de dispersão (valor máximo, valor mínimo, amplitude interquartílica, desvio padrão e coeficiente de variação) e exploratória (Boxplot) dos poluentes atmosféricos diários (SO_2 , NO_2 , NO e PM_{10}) no período de 1996 a 2011 nas estações de monitoramento de qualidade do ar do estado de São Paulo.

Em que segundo Guedes et al. (2005) e Medri (2011), o gráfico Boxplot (ou desenho esquemático) é uma análise gráfica que utiliza cinco medidas estatísticas: valor mínimo, valor máximo, mediana, primeiro e terceiro quartil da variável quantitativa. Este conjunto de medidas oferece a ideia da posição, dispersão, assimetria, caudas e dados discrepantes. A posição central é dada pela mediana e a dispersão pelo desvio interquartílico (dq) pela diferença entre o terceiro (Q_3) e segundo (Q_2) quartil. As posições relativas de Q_1 , Q_2 e Q_3 quartil dão uma noção da assimetria da distribuição.

Os comprimentos das caudas são dados pelas linhas que vão do retângulo aos valores atípicos.

Segundo Triola (2008), um *outlier* ou ponto discrepante é um determinado valor que se encontra distante de quase todos os outros pontos da distribuição.

A distância a partir da qual se considera um valor como discrepante é aquela que supera 1,5 vezes do desvio interquartílico (dq).

De maneira geral, são considerados outliers todos os valores inferiores equação (8) ou os superiores equação (9).

$$L_i = Q_1 - 1,5dq \quad (8)$$

$$L_s = Q_3 + 1,5dq \quad (9)$$

4.5 VIOLAÇÕES DOS LIMITES DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICOS (SO₂, NO₂, NO e PM₁₀) DEACORDO COM CRITERIOS DO CONAMA E OMS

O presente estudo utilizou os dados oriundos das estações de monitoramento da qualidade do ar de Cerqueira César, Congonhas, Cubatão Vila Parisi, Cubatão Centro, Osasco e Paulínia. Afim de, analisar os percentuais de violações das concentrações dos poluentes atmosféricos em estudo (SO₂, NO₂, e PM₁₀) registrados pelas estações anteriormente citadas, que ultrapassaram os limites estabelecidos pelos critérios do CONAMA (nacional) e pelos critérios da Organização Mundial da Saúde - OMS (internacional), em relação aos critérios adotados neste tópico, é evidente que o da OMS é mais restritivo, ou seja, admite valores bem menores que o critério CONAMA, conforme Quadro 5.

Quadro 5: Comparativo entre os valores máximos (limites) de concentração de poluentes do ar, pelo CONAMA e Organização Mundial da Saúde (OMS).

Poluentes	Critério CONAMA	Critério OMS
Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	60 µg/m ³ (24 horas)	40 µg/m ³ (MAA)
Dióxido de enxofre (SO ₂)	125 µg/m ³ (24 horas)	20 µg/m ³ (24 horas)
Material particulado (PM ₁₀)	120 µg/m ³ (24 horas)	50 µg/m ³ (24 horas)

Fonte: O autor, Souza (2019).

Foi elaborado um gráfico para cada estação do estudo, no qual estão elencados os valores registrados em cada poluente atmosférico do mesmo, as barras vermelhas representam as violações dos valores máximos de concentração admitidos pelo critério CONAMA, por outro lado, as barras pretas dizem respeito às violações dos valores máximos de concentração admitidos pelo critério da OMS.

4.6 DETERMINAÇÃO DA TENDÊNCIA PELO TESTE DE MANN-KENDALL

No presente estudo foi aplicado o teste de Mann-Kendall – (MK), para verificar possíveis tendências nas séries de emissões dos poluentes atmosféricos do ar (SO₂, NO₂, NO e PM₁₀) diários nas estações de monitoramento da qualidade do ar de: Cerqueira César, Congonhas, Cubatão Centro, Cubatão Vila Parisi, Osasco e Paulínia do estado de São Paulo (Tabela 5).

Em que o teste de MK é descrito na literatura como sendo uma série temporal de x_i de n termos ($1 \leq i \leq n$). A sua estatística é definida para uma série temporal $x = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ conforme a Equação 10.

$$S = \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (10)$$

Em que x_j são os dados estimados da sequência de valores, n é o comprimento da série temporal e o sinal S é dado pela Equação 11.

$$S = \begin{cases} \text{sgn}(x) = 1 & \text{para } (x_j - x_i) > 0 \\ \text{sgn}(x) = 0 & \text{para } (x_j - x_i) = 0 \\ \text{sgn}(x) = -1 & \text{para } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (11)$$

Para as séries temporais $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ com grande número de termos ($n > 4$) sob a hipótese nula (H_0) de ausência de tendência, S apresentará uma distribuição normal com média zero e variância unitária. A variância de S é dada pela Equação 12.

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (12)$$

Com repetições de dados, a variância é dada pela Equação 13 a seguir:

$$Var(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (13)$$

Em que, n é o número de observações; t_p é número de observações com valores iguais num certo grupo p_{th} e g é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados num certo grupo p . O segundo termo representa um ajuste para dados censurados.

Para testar a significância estatística de S para a hipótese H_0 , com base no teste bilateral, esta pode ser rejeitada para altos valores da estatística MK, que é definida pela Eq. 14, abaixo:

$$MK = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{para } S > 0 \\ 0 & \text{para } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{para } S < 0 \end{cases} \quad (14)$$

Com base na estatística de MK (Tabela 6) toma-se a decisão de aceitar ou rejeitar a hipótese de H_0 . A hipótese H_0 é aceita quando a série temporal apresenta ausência de tendência, para $p\text{-valor} > \alpha$, e rejeitada a favor da hipótese alternativa H_1 quando existe uma tendência para $p\text{-valor} < \alpha$ na série temporal, adotando-se um nível de significância de 5%.

Tabela 6: Classificação da Tendência de MZ no intervalo de confiança de -1,96 a +1,96.

Categorias	Escala
Tendência Significativa de Aumento-Tsa	$MK > +1,96$
Tendência Não Significativa de Aumento-Tnsa	$MK < +1,96$
Sem Tendência-St	$MK = 0$
Tendência Não Significativa de Redução-Tnsr	$MK > -1,96$
Tendência Segnificativa Redução-Tsr	$MK < -1,96$

Fonte: FECHINE e GALVÍNIO, (2010).

Baseado no sinal de Z temos que $Z > 0$ indica uma tendência crescente e $Z < 0$ uma tendência decrescente. Para obter a estimativa da magnitude da tendência (S_e) das concentrações de poluentes atmosféricos de aumento ou diminuição, segundo Obregón e Marengo (2011) a inclinação pode ser estimada pelo método dos mínimos quadrados (MMQ) da inclinação (β). Porém, o valor calculado pela regressão linear (GILBERT 1983; YUE et al. 2003; FERRARI 2012; AHMED et al. 2014), poderá desviar-se do valor verdadeiro da inclinação da reta na presença de *outliers*, portanto, neste estudo optou-se pelo método S_e , modificado por Hirsch et al. (1984).

$$S_e = \text{mediana} \left(\frac{x_j - x_i}{y_j - y_i} \right) \quad \text{Para } j > i \text{ e } y_j \neq y_i \quad (15)$$

em que S_e = Estimador da Inclinação da Curvatura Sen; $x_j = x_i$ série temporal, e $y_j \neq y_i$ são anos em que ocorre a observação de ordem i .

4.7 DETERMINAÇÃO DO PONTO DE MUDANÇA PELO TESTE DE PETTIT

O teste de Pettitt, (1979), foi aplicado às séries temporais de emissões dos poluentes atmosféricos do ar (SO_2 , NO_2 , NO e PM_{10}) diários nas respectivas estações de monitoramento da qualidade do ar de: Cerqueira César, Congonhas, Cubatão Centro, Cubatão Vila Parisi, Osasco e Paulínia do estado de São Paulo. Em que foram identificados os anos e meses de ocorrência de mudança abrupta nas séries temporais de poluentes.

O teste se baseia na verificação de duas amostras X_1, \dots, X_t e X_{t+1}, \dots, X_T pertencendo à mesma população. A estatística do $U_{i,T}$ realiza uma contagem do número de vezes que um membro da 1ª amostra é maior que o membro da 2ª, conforme a Equação 16:

$$U_{i,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(x_i - x_j) \quad \text{Para } t = 2, \dots, T \quad (16)$$

Em que; $\text{sgn}(x) = 1$ para $x > 0$; $\text{sgn}(x) = 0$ para $x = 0$; $\text{sgn}(x) = -1$ para $x < 0$.

A estatística $U_{i,T}$ é calculada para os valores de $1 < t < T$, e assim a estatística $k(t)$ do teste de Pettitt corresponde ao máximo em valor absoluto de $U_{i,T}$ é estimada como o ano onde ocorreu a mudança, dada pela Equação 17:

$$k(t) = \text{Max}_{1 < t < T} |U_{i,T}| \quad (17)$$

Com isso, localiza-se o ponto em que há mudança brusca na média de uma série temporal, e a sua significância pode ser calculada usando a seguinte equação 18:

$$p \cong 2 \exp\{-6k(t)^2 / (T^3 + T^2)\} \quad (18)$$

O ponto de mudança abrupta é o t onde ocorre o máximo de $k(t)$. Os valores críticos de k podem ser calculados pela Equação 19:

$$k_{crit} = \pm \sqrt{\frac{\ln(p/2)(T^3 + T^2)}{6}} \quad (19)$$

Santos et al. (2012), destacam a importância da combinação de diferentes métodos estatísticos, com fins de se ter resultados mais confiáveis, enquanto que Toreti et al. (2011) evidenciam que a comparação de vários testes de detecção de pontos de mudanças é uma boa estratégia, principalmente quando não se tem disponível todas as informações históricas da estação (metadado).

4.8 ESTATÍSTICA DESCRITIVA E EXPLORATÓRIA DOS DADOS DE DOENÇAS RESPIRATÓRIAS

Após o processo de determinação do ponto de inflexão pelo teste de Pettit, para as estações de Cerqueira César, Congonhas, Cubatão Vila Parisi, Cubatão Centro, Osasco e Paulínia, foram calculadas as medidas de tendência central ou de posição, assim denominadas como estatísticas descritiva (média e mediana) seguidas das medidas de dispersão (valor máximo, valor mínimo, amplitude interquartílica e desvio padrão) e exploratória (Boxplot). Foram calculadas as médias acumuladas mensais e anuais das doenças respiratórias no período de 1998 a 2011 nas cidades de: Cerqueira Cesar, Cubatão, Osasco e Paulínia no estado de São Paulo.

4.9 CONSTRUÇÃO DO BANCO DE DADOS DE SAÚDE

Dados de doenças respiratórias oriundos do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil - DATASUS foram baixados do site: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0901&item=1&acao=25>, para o período de 1996 a 2011, posteriormente foi selecionado o período de 2000 a 2011 por conta dos dados meteorológicos horários de temperatura (temperatura do ar máxima, mínima) pressão de vapor e umidade relativa do ar. Quanto aos dados de doenças respiratórias foram descompactados via aplicação do pacote (read.dbc), em que foram desenvolvidos vários scripts para cada ano meses. Em seguida, foram salvos em formato csv que em uma nova fase passam para o formato “xlsx”, em que foram separadas as estações de Cerqueira César, Congonhas, Cubatão Centro, Cubatão Vila Parisi, Osasco e Paulínia através do código de município do IBGE, 2019. Onde cada estação foi denominada de C1, C2, C3 E C4, em que foram separados para cada estação os dados de internações hospitalares.

5.0 CONSTRUÇÃO DO BANCO DE DADOS DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

Dados referentes ao produto MOD11C1 do satélite MODIS-Terra que possui resolução espacial de 5,6 km com duas passagens diárias, foram usados no presente estudo, em que foram calculadas as temperaturas média (LST), pressão de vapor (Es) diurna e noturna e a umidade relativa diária (UR). Todavia, esses dados possuem muitas falhas "NA" em virtude da presença de nuvens ou até mesmo alguma limitação da passagem do satélite. Sendo

assim, posteriormente foram realizados os procedimentos de determinação das falhas e imputação dos dados meteorológicos faltosos.

5.1 DETERMINAÇÃO DAS FALHAS NOS DADOS DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E PREENCHIMENTOS VIA PROCESSO DE IMPUTAÇÃO DE DADOS

No presente estudo foi aplicada a função “mstats” do pacote “mtsdi” para o cálculo dos percentuais (%) de falhas dos dados meteorológicos (umidade relativa do ar, pressão de vapor diurna, pressão de vapor noturna e temperatura), e os seus respectivos preenchimento de falhas (imputação), foram realizados via software “R” versão 3.4.2 R Core Team (2017). A função “mstats” tem por objetivo calcular a proporção de dados ausentes “missing” em um determinado conjunto de dados por linhas e colunas, conforme as equações (20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 e 30) para os comandos a seguir:

```
### FALHAS DE DADOS "MISSING"-CUBATÃO
```

```
mstats(dados1) (20)
```

```
#RESULTADO FINAL
```

```
FALHAS=c(mstats(dados1)) (21)
```

```
##TABELA DE RESULTADOS
```

```
(TAB_FALHAS_1=FALHAS$columns) (22)
```

```
write.xlsx(TAB_FALHAS_1,"MISSING-CUBATAO-2000-2011-01.xlsx", row.
```

```
names = T) (23)
```

O processo de imputação múltipla dos dados de Internações por Doenças Respiratórias (IDRs) para a área de estudo teve como base a metodologia de Harrel (2001), em que foi utilizado o pacote “mtsdi”, conforme as equações (24, 25, 26, 27, 28, 29 e 30) dos comandos a seguir:

```
###IMPUTAÇÃO NORMAL MULTIVARIADA-CUBATAO-2000-2011
```

```
#### ALTERAÇÃO DO Df
```

```
a=N=7 ## Variação do valor (24)
```

```
A=a; B=a; C=a; D=a; E=a; F=a; G=a; H=a; I=a; J=a (25)
```

```
###EXTRAÇÃO DE DADOS DE IMPUTAÇÃO-CUBATAO-2000-2011
```

```
(f <- ~INTE_1+Tn+Tx+E_d+E_n+UR+PM10+NO+NO2+SO2) (26)
```

```
A=mnimput(f,dados1,eps=1e-3,ts=TRUE,method="spline", sp.control=
```

```
list(df=c(A,B,C,D,E,F,G,H,I,J))) (27)
```

```
predict(A) (28)
```

```
#RESULTADO FINAL
```

```
P1=data.frame(predict(A)) (29)
```

```
write.xlsx(P1,"DADOS_ESTIMADO-CUBATAO-2000-2011.xlsx",col.names=TRUE) (30)
```

Em que: dados1= planilha de dados de Internações por Doenças Respiratórias (IDRs); mstats = função para o cálculo dos dados faltosos no R; FALHAS=c(mstats(dados1)) = cálculo das falhas de dados de IDRs; TAB_FALHAS_1 = tabela de dados faltosos por coluna; write.xlsx = saída dos percentuais de dados faltoso de (IDRs) com extensão para o Excell; a=N= número de interações; f = entrada de dados de (IDRs) para imputação múltipla; INTE_1 = IDRs; Tn = Temperatura Mínima (°C); Tx = Temperatura Máxima (°C); E_d = Pressão de Vapor Diurna (KPa); E_n = E_d = Pressão de Vapor Noturna (KPa); UR = Umidade Relativa do Ar (°C); PM10 = Material Particulado; NO = Óxido nítrico; NO2 = Dióxido de Nitrogênio e SO2 = Dióxido de Enxofre; A = dados imputados; predict(A) = variáveis preditas imputadas; P1 = resultados das variáveis preditas imputadas e write.xlsx(P1,"DADOS_ESTIMADO-CUBATAO-2000-2011.xlsx",col.names=TRUE) = saída dos dados (IDRs) imputados com extensão para o Excell.

5.2 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS DADOS DE DOENÇAS RESPIRATÓRAS

Com o objetivo de realizar a análise estatística descritiva dos dados referentes às doenças respiratórias registradas na cidade de Cubatão, foram calculadas as medidas de tendência (média e mediana) seguidas das medidas de dispersão (valor máximo, valor mínimo, amplitude interquartílica e desvio padrão). Para a variável internações totais, o mesmo procedimento foi adotado em relação aos poluentes atmosféricos em estudo (SO₂,

NO₂, NO e PM₁₀), bem como para as condições climáticas (pressão de vapor diurna, pressão de vapor noturna, umidade relativa do ar e temperatura), os acima citados cálculos foram realizados através do software Microsoft Excel®, além disso, os gráficos para as referidas variáveis foram feitos com o uso do software R, gerando curvas suavizadas.

5.3 MODELO ADITIVO GENERALIZADO

Foi realizada uma análise de séries temporais do número de internações decorrentes de doenças respiratórias nos habitantes de Cubatão variáveis dependentes (variáveis resposta), além disso, as concentrações médias dos poluentes atmosféricos (SO₂, NO₂, NO e PM₁₀) foram consideradas com variáveis independentes (variáveis explicativas), por fim, como variáveis de controle, o presente estudo utilizou:

- Dias da semana, 7 indicadores para os mesmos, sendo descritos da seguinte forma: 1 para o domingo, 2 para a segunda-feira, 7 para o sábado;
- Feriados nacionais e estaduais, 2 indicadores, sendo descritos da seguinte maneira: 0 quando não existe feriado e 1 para dias de feriados;
- Condições climáticas, sendo elas: temperatura, umidade relativa do ar, pressão de vapor diurna e pressão de vapor noturna, conforme *script* descrito no apêndice B.

Via biblioteca *ares* desenvolvida para o aplicativo R, em que foram construídos modelos explicativos para contagens de internações por doenças respiratórias ao longo do tempo. Os modelos propostos pertencem à classe de Modelos Aditivos Generalizados (MAG), com a opção de regressão de Poisson, segundo a equação:

$$\ln(E(Y_t)) = \beta X_{1t} + \sum_{i=2}^P S_i(X_{it}) \quad (31)$$

Em Y_t e Y_{1t} são os números de eventos e o nível de um dado poluente no dia t , respectivamente. No estudo $2 \leq i \leq p$, $\{ Y_{1t} \}$, são as variáveis temporais predictoras da resposta Y_t , uma das quais é a variável indicadora do tempo decorrido desde o início do período; e $2 \leq i \leq p$, $\{ S_i \}$ são as funções de suavização.

A função de suavização usada foi a *spline*. Foram acrescentadas variáveis indicadoras para os dias da semana e feriados nacionais ou locais. No processo de modelagem da série

temporal buscou-se minimizar o AIC (Critério de Informação de Akaike) e otimizar a Função de Auto Correlação Parcial (PACF).

A sazonalidade e variáveis meteorológicas foram ajustadas por *spline*, usando o número de graus de liberdade necessários para otimizar o AIC e o PACF. O propósito das funções de suavização é remover padrões sazonais e ajustar o efeito das variáveis meteorológicas.

Após a construção do modelo de trabalho contendo todas as variáveis de controle e verificada sua adequação, foram introduzidos, individualmente, os poluentes em defasagens simples de até 7 dias e verificado o efeito cumulativo neste período, utilizando um modelo polinomial de defasagens distribuídas.

Porém, por conta da insignificância estatística da maior parte dos resultados do RR% no presente estudo foram utilizados RR% das análises com modelo polinomial de defasagens distribuídas no acumulado de 7 dias (no geral ou *overall*), sendo possível a obtenção de resultados mais consistentes e robustos.

Este modelo, além de considerar a latência dos efeitos dos poluentes, minimiza a instabilidade no processo de estimação, próprio das análises que utilizam múltiplas defasagens.

O efeito foi estimado para os poluentes (SO₂, NO₂, NO e PM₁₀) introduzido ao modelo de trabalho de forma linear, fornece um coeficiente (β) de cada modelo de regressão, que por exponenciação fornece o risco relativo (RR). Por fim, obteve-se o risco relativo percentual (RR%) para cada incremento 10 $\mu\text{g. m}^{-3}$ na concentração de PM₁₀ e variações de 1 $\mu\text{g. m}^{-3}$ para os demais poluentes, o qual é decorrente da equação a seguir:

$$RR \% = (e^{10\beta} - 1) * 100 \quad (32)$$

Esta quantidade expressa à variação percentual no número médio de internações hospitalares para uma variação de 10 $\mu\text{g. m}^{-3}$ na concentração de PM₁₀ e variações de 1 $\mu\text{g. m}^{-3}$ para os demais poluentes. Em todos os testes de hipóteses foi assumido um nível de significância de 5%.

5.4 CUSTOS DAS DOENÇAS NA REGIÃO COM BASE NO MODELO ADITIVO GENERALIZADO

Para o cálculo dos custos econômicos decorrentes das doenças respiratórias na cidade de Cubatão (SP), foram considerados os dados referentes ao número de internações por conta destas doenças (descritas no capítulo X da CID 10, compreendidas na categoria J00 – J99), registradas entre janeiro de 2000 a dezembro de 2011, referentes às internações que estão relacionadas com a exposição ao PM₁₀ conforme o Modelo Aditivo Generalizado (MAG) que foi adotado no presente estudo, para tanto, consideradas as internações totais, ou seja, sem distinção de idade ou sexo dos pacientes. Os dados relacionados às internações hospitalares do SUS (Sistema Único de Saúde) foram baixados do site <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0901&item=1&acao=25>.

As informações enviadas em relação às internações hospitalares davam conta de: município de residência, CEP (código de endereçamento postal), ano, mês, data de entrada para internação, data de saída da internação, diagnóstico principal, valor médio gasto e valor total gasto com as internações de forma individualizada, vale ressaltar que as informações consideradas no presente estudo se referem às unidades públicas de saúde, desta forma, os custos arcados pela rede particular de saúde não são considerados no mesmo.

Após a etapa de verificação sobre a quantidade de internações por doenças respiratórias totais em Cubatão no período em estudo, foi feita análise para verificar se o aumento nas concentrações dos poluentes atmosféricos em estudo contribuiu para o aumento do número de internações por doenças respiratórias em Cubatão (SP), após os resultados obtidos, foi estimado o número de internações associadas ao fator de risco (exposição aos poluentes em estudo), para tanto foi utilizada a equação:

$$NA = \frac{(RR - 1)}{RR} * N \quad (33)$$

Em que NA = número de casos atribuídos à concentração do poluente em análise; RR = risco relativo de internações devido à poluição; N = número de internações por doenças respiratórias no período de 2000 a 2011 em Cubatão (SP).

Após as análises anteriormente descritas, foi estimado o custo da poluição atmosférica local, por meio da multiplicação do número de internações atribuídas à poluição atmosférica pelo valor médio das mesmas no período pertinente ao presente estudo.

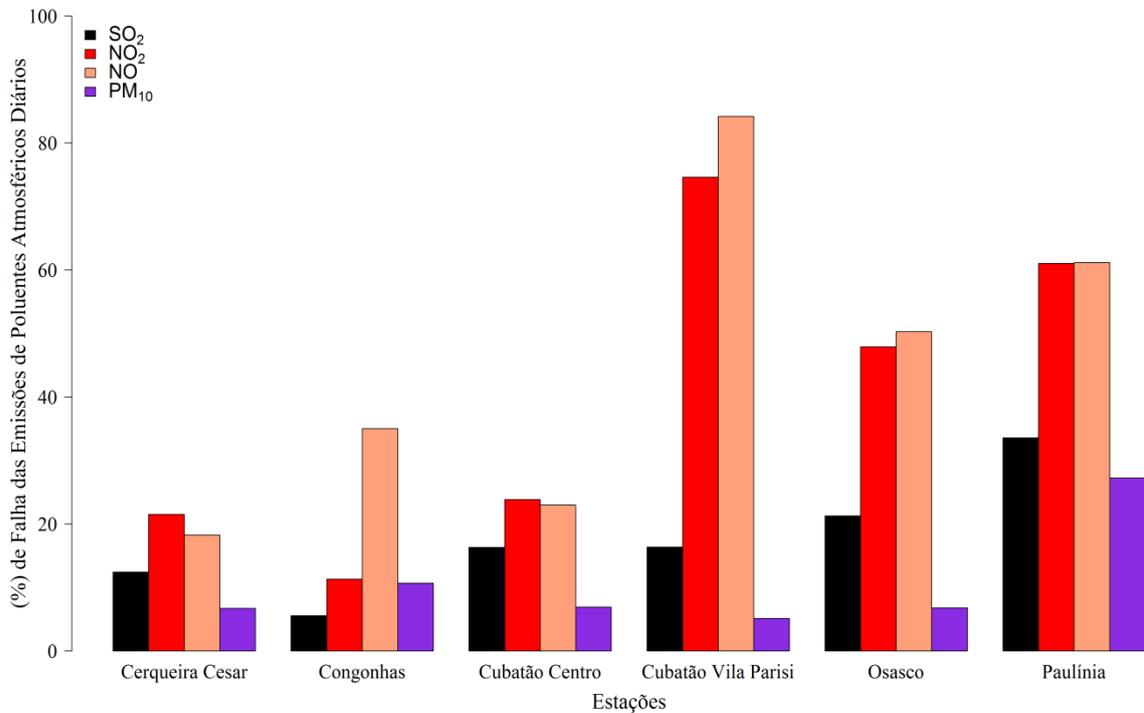
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 FALHAS DOS DADOS DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA (SO₂, NO₂, NO e PM₁₀)

A análise de falha de dados da série temporal das emissões de poluentes atmosféricos diários (SO₂, NO₂, NO e PM₁₀) no período de 1996 a 2011 nas estações de monitoramento de qualidade do ar (Figura 5), mostrou os maiores percentuais de dados ausentes foram observados para as emissões de óxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂) nas estações de Cubatão Vila Parisi (84,17 % para NO e 74,64 % para NO₂), Osasco (50,29 % de NO e 47,91 de % NO₂) e Paulínia (61,17% para NO e 61,05 % para NO₂).

Análise da Figura 5 em questão aponta ainda que em todas as estações analisadas o material particulado (PM₁₀) e o dióxido de enxofre (SO₂), mostram uma similaridade quanto às falhas registradas nas seis estações utilizadas neste estudo, em que ora observa-se um aumento ou redução dos menores percentuais de falhas de PM₁₀ e SO₂ nas estações de Cerqueira César (6,71% e 12,44%, Congonhas (5,58% e 10,68%), Cubatão Centro 6,91% e 16,34%), Cubatão Vila Parisi (5,13% e 16,36%), Osasco (6,79% e 21,29%) e Paulínia (27,26% e 33,61%).

Figura 5: Distribuição dos percentuais de falhas das emissões de poluição atmosférica diária (SO_2 , NO_2 , NO e PM_{10}) no período de 1996 a 2011 nas estações de Cerqueira César, Congonhas, Cubatão Centro, Cubatão Vila Parisi, Osasco e Paulínia no estado de São Paulo



Amaral (2014) em seus estudos avaliou 2788 observações e encontrou um total de 467 observações perdidas (16,75%), sendo que as mesmas apresentaram variações em relação ao período da coleta, bem como em relação ao tamanho da falha, sendo assim, foi aplicado a imputação de dados pelo algoritmo Amelia II (EMB), através do *software* R.

6.2 CONSISTÊNCIA DA SÉRIE TEMPORAL DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS E ESTATÍSTICA DESCRITIVA

A análise da estatística descritiva aplicada à série temporal das emissões diárias de SO_2 , NO_2 , NO e PM_{10} no período de 1996 a 2011, Tabela (7) mostrou que os valores máximos variaram entre $71,03 \mu\text{g.m}^{-3}$ (Osasco) e $99,83 \mu\text{g.m}^{-3}$ (Cerqueira César) para o SO_2 . Em relação ao poluente NO_2 os valores máximos oscilaram entre $115,76 \mu\text{g.m}^{-3}$ (Cubatão centro) e $190,93 \mu\text{g.m}^{-3}$ (Cerqueira César), seguido dos máximos do NO entre $134,29 \mu\text{g.m}^{-3}$

(Paulínia) e $326,04 \mu\text{g.m}^{-3}$ (Congonhas). E, por fim, a variação dos valores máximos do PM_{10} foram entre $126,38 \mu\text{g.m}^{-3}$ (Paulínia) e $152,01 \mu\text{g.m}^{-3}$ (Cubatão Vila Parisi).

As menores médias e medianas das emissões diárias foram registradas para o SO_2 nas estações de Cerqueira César ($10,64 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $8,55 \mu\text{g.m}^{-3}$), Congonhas ($17,34 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $15,17 \mu\text{g.m}^{-3}$), Cubatão Centro ($16,58 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $14,39 \mu\text{g.m}^{-3}$), Cubatão Vila Parisi ($20,97 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $18,22 \mu\text{g.m}^{-3}$), Osasco ($11,24 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $9,52 \mu\text{g.m}^{-3}$) e Paulínia ($13,52 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $10,02 \mu\text{g.m}^{-3}$). Ao contrário das diárias de NO_2 , NO e PM_{10} , com maiores médias e medianas, nas estações de Cerqueira César, Congonhas, Cubatão Centro, Cubatão Vila Parisi, Osasco e Paulínia, respectivamente. A média variou entre $26,43 \mu\text{g.m}^{-3}$ a $71,21 \mu\text{g.m}^{-3}$, seguido da mediana com valores entre $25,24 \mu\text{g.m}^{-3}$ a $73,17 \mu\text{g.m}^{-3}$ para o NO_2 . Em relação ao NO a média variou entre $14,12 \mu\text{g.m}^{-3}$ a $123,07 \mu\text{g.m}^{-3}$ e a mediana de $8,89 \mu\text{g.m}^{-3}$ a $127,28 \mu\text{g.m}^{-3}$ e PM_{10} com média entre $27,93 \mu\text{g.m}^{-3}$ a $80,45 \mu\text{g.m}^{-3}$ e a mediana de $23,14 \mu\text{g.m}^{-3}$ a $81,57 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Contudo, foi observado CV foi superior a 23% para todas as estações de qualidade do ar usadas no estudo - (Tabela 7), em que o valor obtido sugere alta dispersão e significativa heterogeneidade dos dados brutos da série temporal, e conseqüentemente a necessidade de um tratamento estatístico adequado. Individualmente, o SO_2 se destacou nas estações de Cerqueira César e Paulínia, com CV's de 80,65% e 76,56%, respectivamente. Em relação ao NO_2 , os maiores CV's foram encontrados nas estações Cubatão Centro (48,23%) e Congonhas (42,09%), seguido do NO para as estações de Paulínia (91,74%) e Cerqueira César (69,62%). O poluente PM_{10} obteve os maiores CV's nas estações de Paulínia (74,53%) e Cerqueira César (52,31%), enquanto que os menores valores de CV's obtidos na série temporal foram de 61,51% no SO_2 (Congonhas), 23,03% para NO_2 (Cubatão Vila Parisi), no poluente NO 38,46% (Osasco) e 38,15% de PM_{10} (Cubatão Vila Parisi).

Tabela 7: Estatística descritiva dos dados de poluição atmosférica (SO₂, NO₂, NO e PM₁₀) das estações de qualidade do ar nas regiões do estado de São Paulo

Poluentes	Localidades	Valores			
		Média ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Mediana ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Mínimo ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Máximo ($\mu\text{g.m}^{-3}$)
SO ₂	Cerqueira Cesar	10,64	8,55	0,00	99,83
SO ₂	Congonhas	17,34	15,17	0,00	87,78
SO ₂	Cubatão Centro	16,58	14,39	0,00	98,48
SO ₂	Cubatão Vila Parisi	20,97	18,22	0,00	99,67
SO ₂	Osasco	11,24	9,52	0,00	71,03
SO ₂	Paulínia	13,52	10,02	0,00	76,28
NO ₂	Cerqueira Cesar	61,82	58,32	2,78	190,93
NO ₂	Congonhas	71,21	73,17	0,00	193,62
NO ₂	Cubatão Centro	26,43	25,24	0,00	115,76
NO ₂	Cubatão Vila Parisi	47,45	46,69	1,92	132,20
NO ₂	Osasco	58,09	58,83	0,00	170,18
NO ₂	Paulínia	28,82	28,73	0,00	124,38
NO	Cerqueira Cesar	63,98	56,06	0,00	246,94
NO	Congonhas	123,07	127,28	0,00	326,04
NO	Cubatão Centro	29,72	28,65	0,00	184,75
NO	Cubatão Vila Parisi	61,30	59,78	0,10	199,35
NO	Osasco	93,55	91,37	0,00	278,17
NO	Paulínia	14,12	8,89	0,00	134,29
PM ₁₀	Cerqueira Cesar	37,95	34,61	0,00	149,36
PM ₁₀	Congonhas	51,26	47,05	0,00	146,48
PM ₁₀	Cubatão Centro	35,09	32,82	0,00	142,96
PM ₁₀	Cubatão Vila Parisi	80,45	81,57	0,00	152,01
PM ₁₀	Osasco	54,26	49,32	0,00	149,21
PM ₁₀	Paulínia	27,93	23,14	0,00	126,38

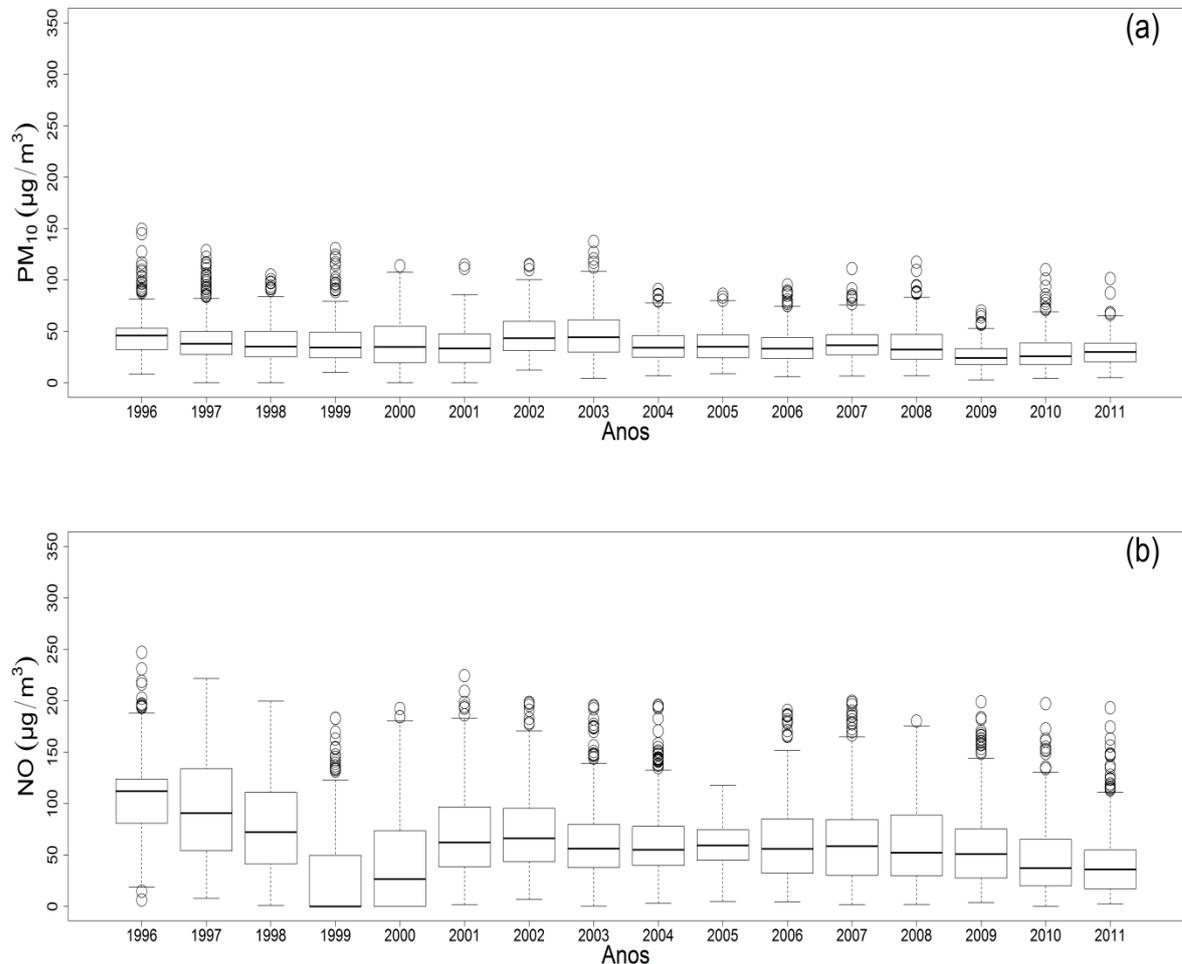
Continuação da Tabela 7. Estatística descritiva dos dados de poluição atmosférica (SO₂, NO₂, NO e PM₁₀) das estações de qualidade do ar nas regiões do estado de São Paulo

Poluentes	Localidades	Coeficiente Variação Amostral (%)	Desvio Padrão Amostral (µg.m ⁻³)	Quartil	
				Inferior (µg.m ⁻³)	Superior (µg.m ⁻³)
SO ₂	Cerqueira Cesar	80,65	8,58	4,70	14,14
SO ₂	Congonhas	61,51	10,66	9,34	23,34
SO ₂	Cubatão Centro	75,65	12,54	8,16	21,46
SO ₂	Cubatão Vila Parisi	75,49	15,83	9,80	27,26
SO ₂	Osasco	64,55	7,26	5,98	15,27
SO ₂	Paulínia	76,56	10,35	4,02	24,09
NO ₂	Cerqueira Cesar	37,90	23,43	45,16	75,29
NO ₂	Congonhas	42,09	29,97	53,66	89,68
NO ₂	Cubatão Centro	48,23	12,75	18,05	33,90
NO ₂	Cubatão Vila Parisi	23,03	10,93	40,33	53,76
NO ₂	Osasco	32,60	18,94	50,67	66,30
NO ₂	Paulínia	31,71	9,14	24,75	32,42
NO	Cerqueira Cesar	69,62	44,54	30,70	90,90
NO	Congonhas	38,83	47,78	91,43	157,35
NO	Cubatão Centro	58,97	17,53	18,04	37,47
NO	Cubatão Vila Parisi	48,17	29,53	40,80	79,09
NO	Osasco	38,46	35,98	77,78	110,49
NO	Paulínia	91,74	12,96	4,38	23,06
PM ₁₀	Cerqueira Cesar	52,31	19,85	24,02	47,51
PM ₁₀	Congonhas	45,43	23,29	35,68	63,86
PM ₁₀	Cubatão Centro	45,22	15,87	24,32	43,74
PM ₁₀	Cubatão Vila Parisi	38,15	30,69	58,80	101,81
PM ₁₀	Osasco	45,39	24,63	37,50	66,29
PM ₁₀	Paulínia	74,53	20,81	13,01	38,40

6.3 ESTATÍSTICA EXPLORATÓRIA APLICADA AOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS (SO₂, NO₂, NO e PM₁₀).

A análise exploratória da série temporal do período de 1996 a 2011 do material particulado (PM₁₀) na estação de monitoramento de qualidade do ar de Cerqueira César Figura 6 (a) e Tabela 12 (Apêndice A), mostrou a presença de uma alta variabilidade dos valores atípicos de *outliers*, em toda a série temporal, sendo os anos de 1996 a 2003 e 2007, 2008 e 2010 e 2011 com valores máximos superiores a 100 µg m⁻³, seguidos pela amplitude interquartílica (AIQ) variou de 18,11 a 37,52 µg m⁻³, sendo os anos de 2000 e 2003 os que apresentam as maiores AIQ na série (37,48 e 31,31 µg m⁻³), porém, os menores valores de AIQ foram registrados no período de 2004 a 2011, no qual se registra uma queda nos valores da AIQ, seguidos pelos demais parâmetros estatísticos, em que tal fato reflete a uma grande crise econômica que afetou o setor industrial do o país durante esse período, e pela grande crise financeira desencadeada pela bolha imobiliária nos Estados Unidos, esta crise repercutiu no Brasil provocando uma desaceleração da economia de forma geral onde o governo decidiu estimular o agronegócio em detrimento da indústria nacional, sendo destaque o ano de 2009 com a menor AIQ (15,62 µg m⁻³), seguidas pelas médias (43,98 µg m⁻³) e medianas (38,97 µg m⁻³).

Figura 6 (a) e (b): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (PM₁₀ e NO) das estações de qualidade do ar de Cerqueira César, estado de São Paulo



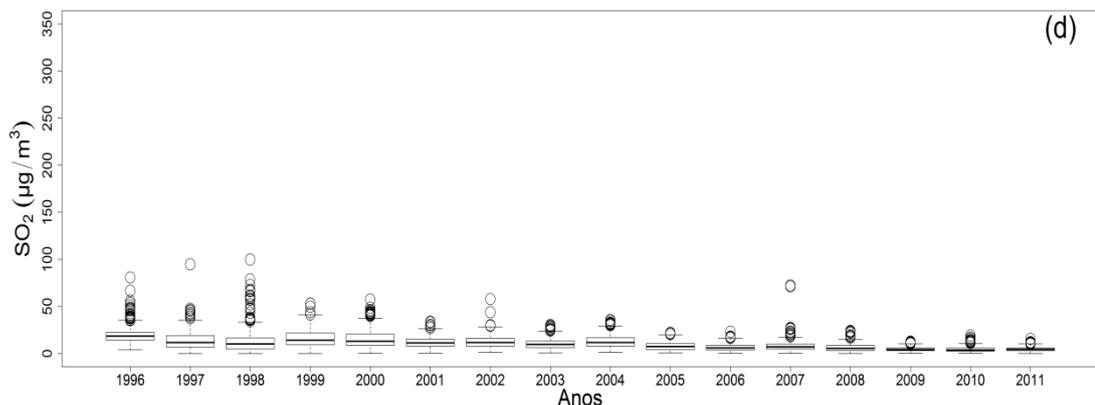
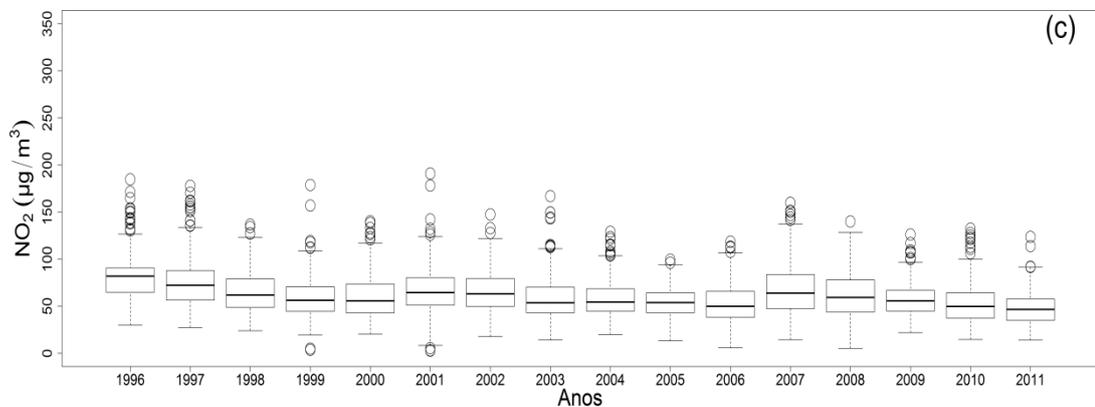
A análise do NO Figura 6 (b) e Tabela 13 (Apêndice A), observa-se uma alta variabilidade dos valores de *outliers*, no decorrer da série temporal, sendo as exceções os anos de 1997, 1998, 2005 e 2008, neste contexto destaque para 2005, ano em se registrou a menor variabilidade nas concentrações de NO na série, seguidos dos maiores valores máximos registrados superiores a 200 µg m⁻³ nos anos de 1996, 1997 e 2001, por outro lado, vale destacar o ano de 1999, no qual se registrou queda significativa dos níveis de concentração de NO, com valor mínimo de 0,00 µg m⁻³, seguido da média (30,58 µg m⁻³) e mediana também igual a 0,00 µg m⁻³, fato que sugere possíveis falhas nos equipamentos de medição, segundo Assunção (2012) é comum ocorrerem falhas em medições de séries temporais de dados, especialmente dados de poluição atmosférica, uma vez que estas são medidas de forma

constante e ininterrupta o que aumenta a probabilidade de defeitos acometerem nos equipamentos em questão.

Quanto a AIQ para o NO, observa-se uma variabilidade na série que foram de 37,64 a 79,59 $\mu\text{g m}^{-3}$, vale ressaltar que as maiores AIQ ocorreram nos anos de 1997 (79,59 $\mu\text{g m}^{-3}$) e 2000 (76,48 $\mu\text{g m}^{-3}$), seguida das maiores média e mediana da série em estudo, sendo estas 105,27 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 112,00 $\mu\text{g m}^{-3}$, em 1996, respectivamente.

Porém, quanto aos valores máximos, médios e de medianas, para o NO, observa-se ora uma queda nos níveis de emissões de NO, nos anos de 1997 (221,65 $\mu\text{g m}^{-3}$, 94,91 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 90,71 $\mu\text{g m}^{-3}$), 1998 (199,63 $\mu\text{g m}^{-3}$, 79,56 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 72,19 $\mu\text{g m}^{-3}$) e 1999 (182,94 $\mu\text{g m}^{-3}$, 30,58 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 0,00 $\mu\text{g m}^{-3}$) e no período de 2001 a 2011 que variam de 117,71 $\mu\text{g m}^{-3}$ a 224,42 $\mu\text{g m}^{-3}$, ora um aumento da emissão de NO nos anos de 2000 (192,42 $\mu\text{g m}^{-3}$, 58,01 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 50,31 $\mu\text{g m}^{-3}$) e 2001 (224,42 $\mu\text{g m}^{-3}$, 72,39 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 62,32 $\mu\text{g m}^{-3}$).

Figura 6 (c) e (d): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO_2 e SO_2) das estações de qualidade do ar de Cerqueira César, estado de São Paulo



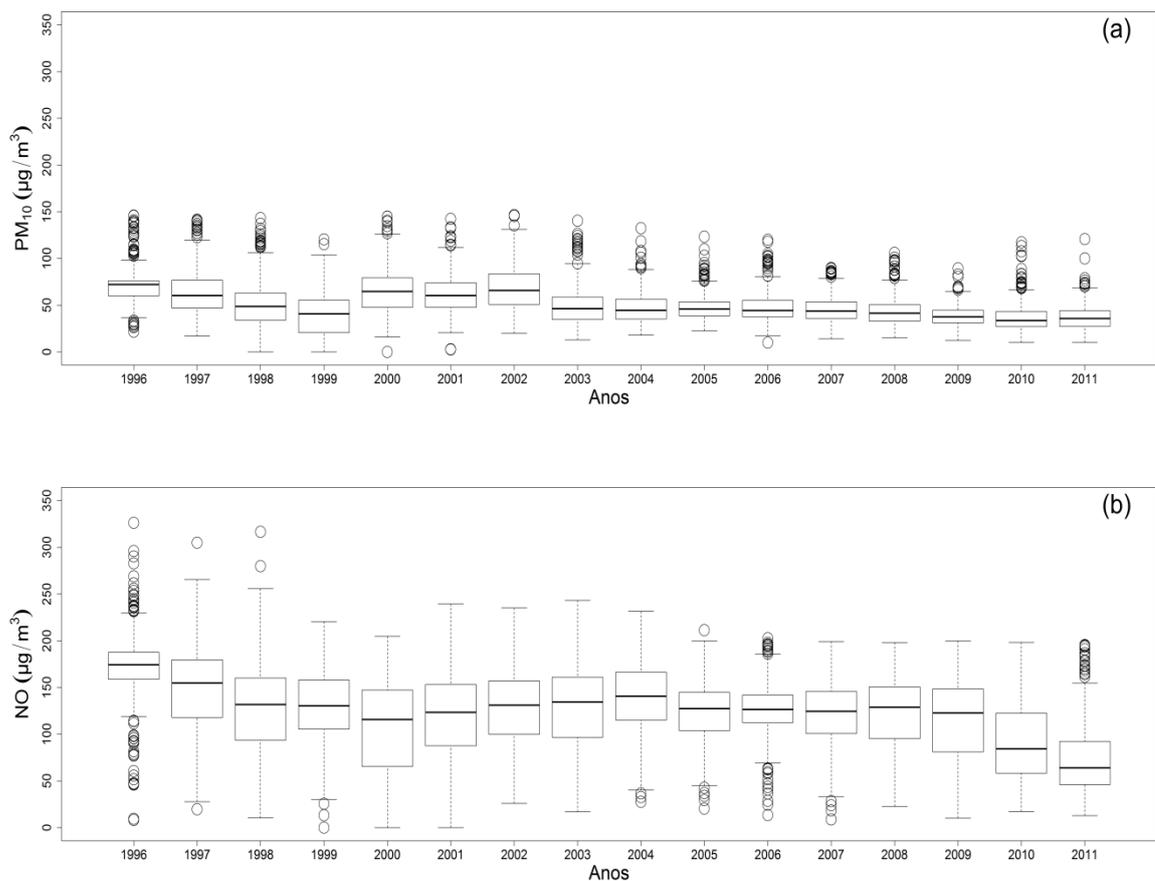
A análise exploratória do dióxido de Nitrogênio (NO_2) na estação de monitoramento de qualidade do ar de Cerqueira César no estado de São Paulo, no período de 1996 a 2011, aqui elencada na Figura 6 (c) e Tabela 14 (Apêndice A), mostra alta variabilidade comprovada pela existência de valores discrepantes de *outliers*, em todos os anos da série temporal, sendo os anos 1996, 1997, 1999, 2003 e 2007 Tabela 14 (Apêndice A) apresentaram valores máximos acima dos $150 \mu\text{g m}^{-3}$, este fato sugere relação com a indústria da cana-de-açúcar, de acordo com Lopes e Ribeiro (2006), a inserção do álcool na matriz energética brasileira, vem sendo estimulado desde 1978 até 2004, apesar de ser considerado um combustível limpo, seu processo de produção (especialmente antes de 2004, período antes da mecanização das lavouras de cana-de-açúcar em São Paulo) envolve uma pré-queima antes da colheita, o que pode favorecer a formação de NO_2 . Neste contexto destaque para 1999 e 2001 que tiveram *outliers* abaixo dos valores mínimos, os mesmos são seguidos de AIQ variando entre $21,24 \mu\text{g m}^{-3}$ e $36,00 \mu\text{g m}^{-3}$, neste contexto, se sobressaem os anos de 1997, 1998, 2007 e 2008 com AIQ superiores a os $30,00 \mu\text{g m}^{-3}$, por outro lado, os menores AIQ estiveram presentes nos anos de 2005 ($21,24 \mu\text{g m}^{-3}$) e 2009 ($\mu\text{g m}^{-3}$), em relação às médias e medianas, destaque para 1996 que registrou os maiores valores da série ($81,61 \mu\text{g m}^{-3}$ e $82,04 \mu\text{g m}^{-3}$).

A análise do SO_2 na estação de monitoramento de qualidade do ar de Cerqueira César, no período de 1996 a 2011, Figura 6 (d) e Tabela 15 (Apêndice A), mostrou uma alta variabilidade dos valores de (*outliers*) registrados em todos os anos da série, fato que se configura em todos os poluentes atmosféricos da estação de Cerqueira Cesar em questão, sendo as maiores amplitudes interquartílicas (AIQ) foram registradas em 1997, 1999 e 2000, porém os menores registros da AIQ ocorreram nos anos de 2009 e 2011, seguidos dos valores máximos que variaram entre $12,68 \mu\text{g m}^{-3}$ e $99,83 \mu\text{g m}^{-3}$ Tabela 15 (Apêndice A). Entretanto, a partir de 2005, é nítida a queda das concentrações de SO_2 na Figura 6 (d), fato que pode estar relacionado com a implantação do programa de redução dos percentuais de Enxofre na gasolina e no diesel, comercializados no Brasil, uma vez que autores como Golçalves et al., (2010) e Luvsana, (2012) são contundentes ao afirmar que o dióxido de Enxofre (SO_2) tem relação direta com a queima de combustíveis fósseis, sendo assim, destaque para carros a gasolina, bem como ônibus e caminhões a diesel, como agravante o petróleo brasileiro (parífico ou pesado) tem uma concentração superior de enxofre se comparado aos petróleos encontrados nos estados Unidos e Europa (naftênico ou leve).

Diante disso, São Paulo sai na frente, adotando limite máximo de 500 ppm contra 2000 ppm adotados no resto do Brasil de enxofre no diesel, além disso, São Paulo determina

que até 2009 este percentual deve estar na faixa de 10 a 50 ppm, vale ressaltar ainda a inserção de carros com motorização flexível, bem como o aumento de percentual de álcool na gasolina brasileira (25% atualmente), estes fatores combinados podem explicar esta redução sistemática observada na análise em estudo.

Figura 7 (a) e (b): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (PM₁₀ e NO) das estações de qualidade do ar de Congonhas, estado de São Paulo

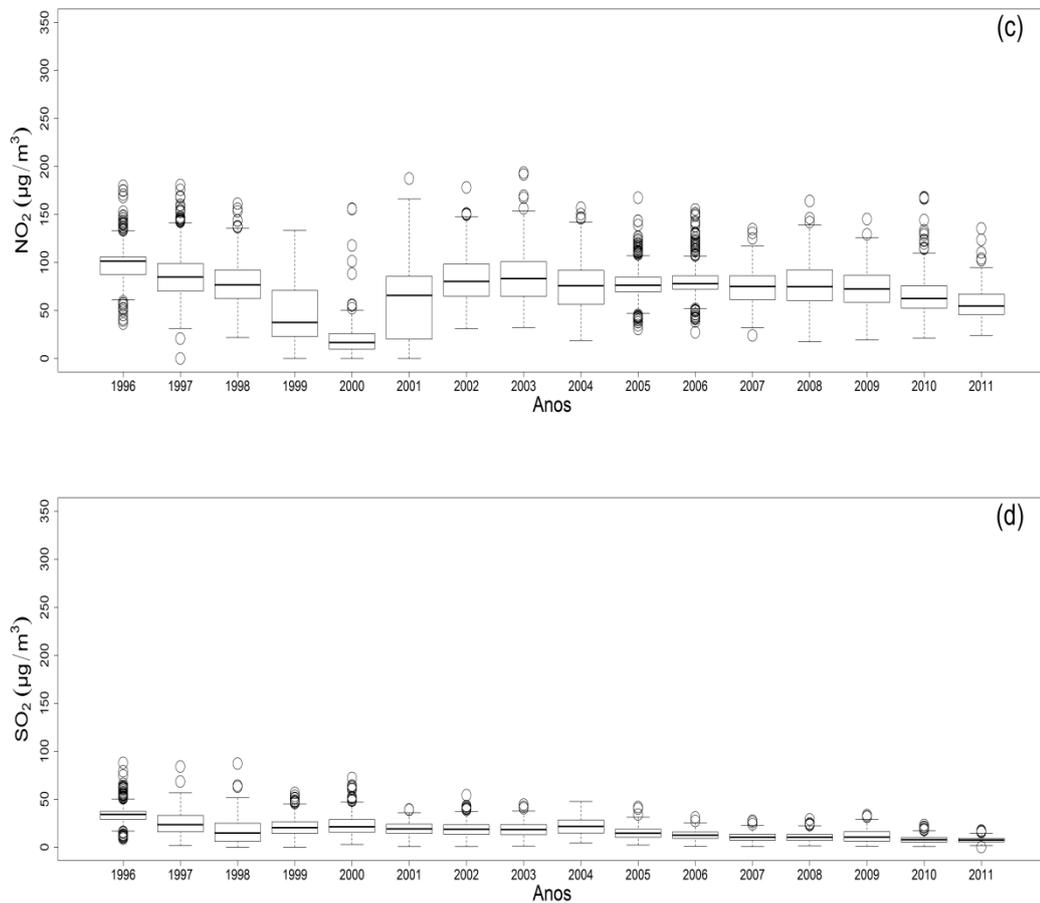


A análise da série temporal do período de 1996 a 2011 do material particulado (PM₁₀) na estação de monitoramento de qualidade do ar em Congonhas Figura 7 (a) e Tabela 16 (Apêndice A), mostrou a presença de uma alta variabilidade dos valores de PM₁₀ (*outliers*), em toda a série temporal, onde se observa nos anos de 1996, 1997, 1998, 2000, 2001, 2002 e 2003 as ocorrências de valores máximos superiores a 140 µg m⁻³, neste contexto, vale ressaltar que apenas os anos de 2007 e 2009 apresentam valores máximos abaixo de 100 µg m⁻³. As AIQ's, porém, variaram entre 13,62 µg m⁻³ e 34,46 µg m⁻³, seguidos dos maiores valores de médias e medianas, que foram registradas, no ano de 1996 (71,63 µg m⁻³ e 72,28 µg m⁻³), respectivamente Tabela 16 (Apêndice A). É notória a queda das concentrações de PM₁₀

a partir do ano de 2003. Este fato pode estar relacionado com as políticas públicas de redução dos percentuais de enxofre nos combustíveis brasileiros, uma vez que Congonhas possui elevado fluxo de aeronaves trafegando em sua área, por sua vez estas aeronaves demandam quantidades elevadas de combustíveis fósseis para seu funcionamento.

A Figura 7 (b) e Tabela 17 (Apêndice A) representa a análise do óxido de Nitrogênio (NO) realizada na estação de monitoramento da qualidade do ar de Congonhas, pode-se concluir que a variabilidade das concentrações de NO foi alta, em especial nos anos de 1996, 2005, 2006 e 2011 marcados pela intensa presença de *outliers* nos de 1996 a 1998, sendo os valores máximos registrados superiores a $300 \mu\text{g m}^{-3}$, acompanhado pelos anos de 1999 a 2006 onde os valores máximos foram superiores $200 \mu\text{g m}^{-3}$, neste contexto vale ressaltar que os valores mínimos registrados foram de $0,00 \mu\text{g m}^{-3}$ nos anos de 1999, 2000 e 2001, o que sugere falha nos equipamentos de medição, a amplitude interquartilica variou bastante, ficando entre $28,70 \mu\text{g m}^{-3}$ (1996) e $107,09 \mu\text{g m}^{-3}$ (2000), o que corrobora com a alta variabilidade observada na série, as médias e medianas ficaram acima dos $100 \mu\text{g m}^{-3}$ em todos os anos da série em estudo, situação que não se repetiu apenas em 2010 e 2011.

Figura 7 (c) e (d): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO_2 e SO_2) das estações de qualidade do ar de Congonhas, estado de São Paulo

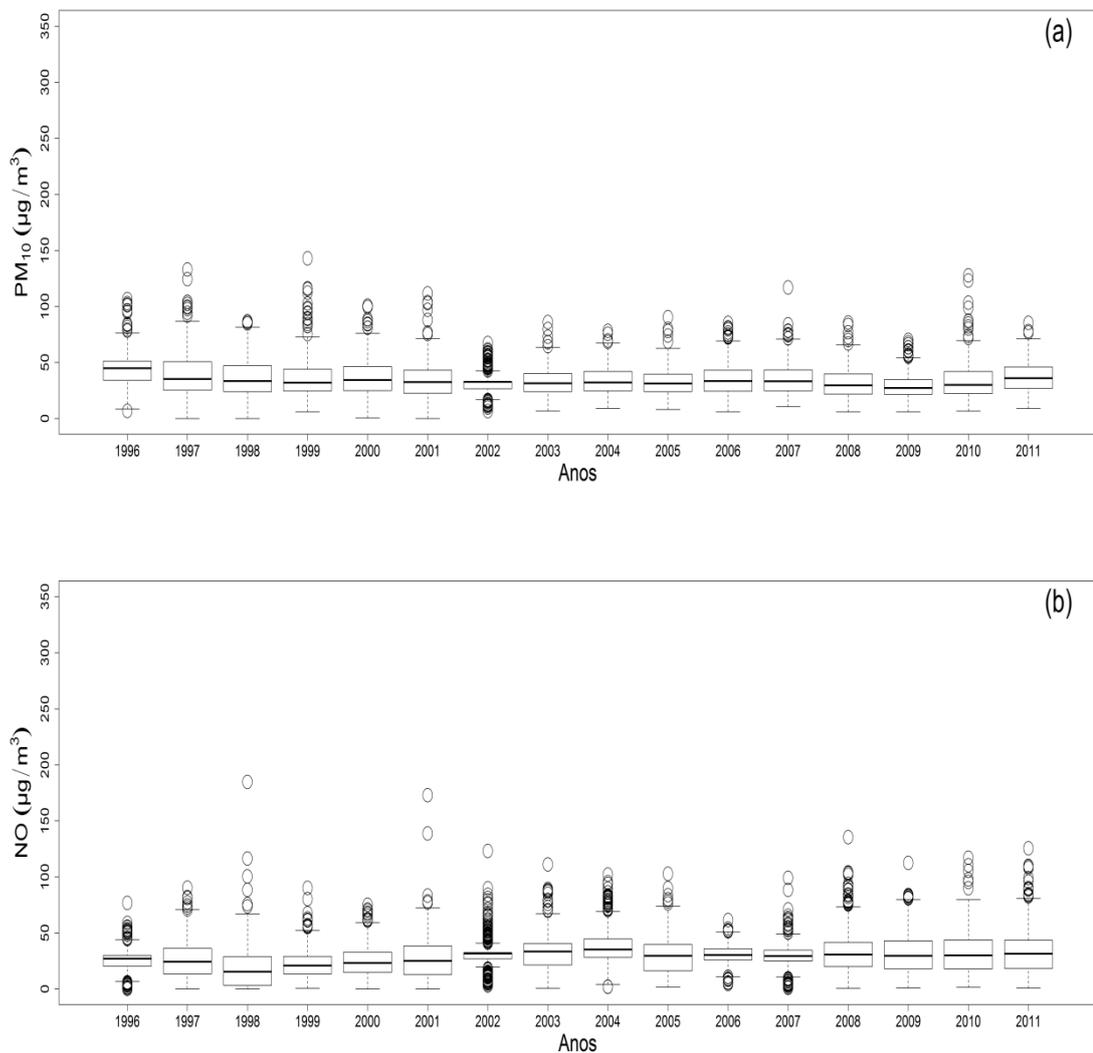


A análise da série temporal do período de 1996 a 2011 do dióxido de Nitrogênio (NO_2) na estação de monitoramento de qualidade do ar em Congonhas Figura 7 (c) e Tabela 18 (Apêndice A) mostra alta variabilidade das concentrações de NO_2 confirmada pela presença de valores discrepantes de *outliers* em todos os anos da série temporal, em que é observada uma queda desta na concentração de NO_2 em 2000, fato esse associado ao chamado “risco Lula” vivenciado na época que causou retração da atividade industrial brasileira, porém nota-se no período de 2002 a 2008 um aumento seguido de uma estabilidade das concentrações de dióxido de Nitrogênio Figura 7 (c) e Tabela 18 (Apêndice A), dado ao bom momento econômico que o Brasil, passava neste período, antes da do cenário de crise mundial em 2009, que reflete na queda do NO_2 no Brasil, em que os valores máximos registrados em todos os anos da série se mantiveram acima dos $130 \mu\text{g m}^{-3}$. Neste contexto destaque para 2003 ($193,62 \mu\text{g m}^{-3}$), com uma AIQ que variaram entre $13,69 \mu\text{g m}^{-3}$ em 2006 e $65,74 \mu\text{g m}^{-3}$ em 2001, neste contexto, é importante ainda frisar que as AIQ estiveram em patamares

superiores aos $30 \mu\text{g m}^{-3}$ nos anos de 1999, 2002, 2003, 2004 e 2008, as maiores média e mediana foram registradas em 1996 (99,09 e $101,41 \mu\text{g m}^{-3}$) Tabela 18 (Apêndice A).

Por fim, o dióxido de Enxofre (SO_2) Figura 7 (d) e Tabela 19 (Apêndice A) como exceção até agora, apresenta pouca variabilidade, apesar da presença de *outliers* em todos os anos da série, com exceção de 2004. Porém, as AIQ's se mostraram com baixos valores e se mantiveram inferiores a $19 \mu\text{g m}^{-3}$, variando entre $3,60 \mu\text{g m}^{-3}$ a $18,79 \mu\text{g m}^{-3}$ em 1998 a 2011, diante disso observa-se que pelo menos 50% dos dados coletados apresentam valores próximos aos encontrados para as medianas, Tabela 19 (Apêndice A), sendo o ano de 1996, o que registrou os maiores valores de médias e medianas ($34,77$ e $34,34 \mu\text{g m}^{-3}$), e no período de 2005 a 2011 observa-se uma queda nas acentuada nos parâmetros estatísticos Tabela 19 (Apêndice A) das concentrações de SO_2 , fato que sugere duas explicações, a partir de 2005 os carros com motorização flex (funcionam com gasolina ou álcool em qualquer proporção), foram estimulados pelo governo (com alíquota de 1,5% para o IPVA, contra os 4% dos carros somente a gasolina), além disso, foram bem aceiros no Brasil, especialmente em São Paulo pelo menor preço do álcool, sendo assim, em 2009 já representavam 80% dos licenciamentos de veículos novos no estado, soma-se a isto, o fato de que houve significativa redução da atividade industrial no país de 2009 a 2011 por conta da crise mundial de 2008.

Figura 8 (a) e (b): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (PM₁₀ e NO) da estação de qualidade do ar em Cubatão Centro, estado de São Paulo

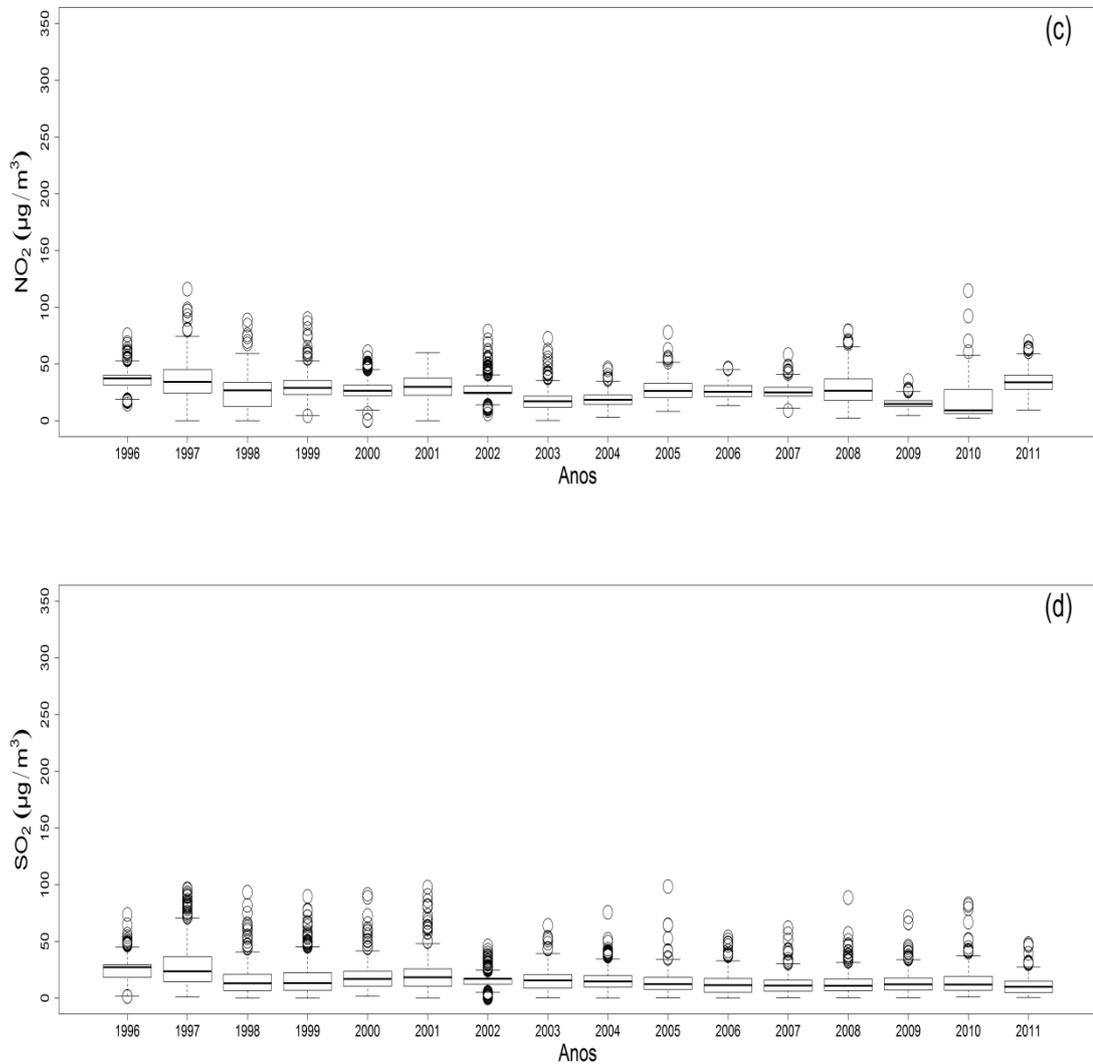


A análise exploratória da série temporal do período de 1996 a 2011 do material particulado (PM₁₀) na estação de monitoramento de qualidade do ar em Cubatão Centro Figura 8 (a) e Tabela 20 (Apêndice A), mostrou a ocorrência de uma alta variabilidade dos *outliers* do PM₁₀, sendo os maiores valores máximos registrados nos, anos de 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2007 e 2010 nos quais as emissões de PM₁₀ foram superiores a 100 µg m⁻³ seguidos nos mesmos anos pelas maiores AIQ e a menor registrada em 2002 (6,50 µg m⁻³).

Sendo a maior média e mediana, observadas no ano de 1996 (44,79 e 45,05 µg m⁻³), e no ano de 2009, ocorrem os menores valores de média e mediana registradas na série Tabela 20 (Apêndice A). Entretanto, observa-se nos demais anos valores de médias e medianas com valores acima dos 30,00 µg m⁻³, o que pode ser explicado pelo fato de que Cubatão Centro possui alto fluxo de veículos automotores, em especial a diesel (ônibus e caminhões).

A análise do óxido de Nitrogênio (NO) Figura 8 (b) e Tabela 21 (Apêndice A), na estação de Cubatão Centro, mais uma vez, mostra um comportamento semelhante às demais estações com relação à presença de valores discrepantes (*outliers*) na série temporal, neste contexto destaque para o ano de 2002 conforme Figura 8 (b). Quanto aos valores máximos de emissão de NO, pode-se observar as ocorrências de valores máximos acima de $100 \mu\text{g m}^{-3}$, nos anos de 1998, 2001, 2002, 2003, 2004 e 2005 e nos anos de 2009 a 2010 Tabela 21 (Apêndice A), em que o valores de AIQ's segue o mesmo padrão com valores superiores a $20 \mu\text{g m}^{-3}$, nos respectivos, embora, observa-se o mesmo comportamento, quanto aos valores da AIQ, para os anos de 1997, 2000 e 2008 Tabela 21 (Apêndice A). Em que os maiores valores das médias e medianas foram registrados nos anos de 1997, 1998, 2000, 2001, e no período de 2003 a 2005 e de 2008 a 2011 com valores que variaram entre $16,31 \mu\text{g m}^{-3}$ a $25,74 \mu\text{g m}^{-3}$ para a média e a mediana de $67,20 \mu\text{g m}^{-3}$ a $82,48 \mu\text{g m}^{-3}$ Tabela 16 (Apêndice A), que sugere relação direta com o aumento da atividade industrial decorrente do momento econômico favorável, o que se potencializa em face da presença do polo petroquímico localizado na cidade.

Figura 8 (c) e (d): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO_2 e SO_2) da estação de qualidade do ar em Cubatão Centro, estado de São Paulo

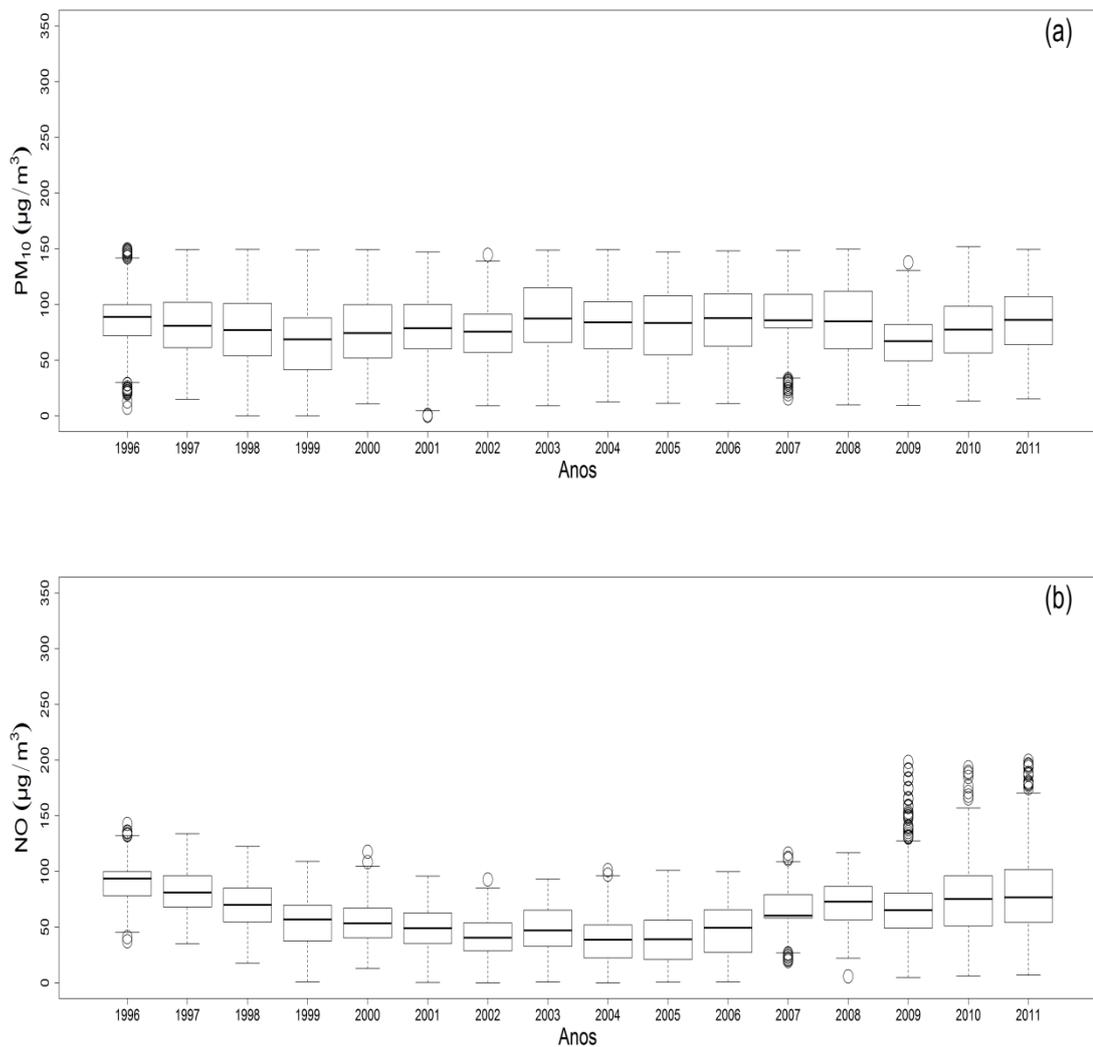


A análise do Dióxido de Nitrogênio (NO_2) Figura 8 (c) e Tabela 22 (Apêndice A) da estação Cubatão Centro, evidencia um comportamento com características semelhantes aos encontrados nas demais estações analisadas posteriormente, onde se observa uma forte presença de valores atípicos (*outliers*) foram registrados na série temporal de (NO_2), conforme a Figura 8 (c), com destaque para os anos de 1997 e 2010 em que foram registrados os maiores valores de *outliers*, seguido do menor valor em 2009 Tabela 22 (Apêndice A), em que tal fato pode estar diretamente relacionado com a redução da atividade industrial ocasionada pela crise econômica mundial de 2008, sendo as maiores médias e medianas de (NO_2) com valores superiores a $20 \mu\text{g m}^{-3}$ registradas nos anos de 1996 a 2002, e de 2005 a

2008 e em 2011, sendo destaque os anos de 1996 ($36,92 \mu\text{g m}^{-3}$ e $37,29 \mu\text{g m}^{-3}$) e 1997 ($35,97 \mu\text{g m}^{-3}$ e $34,19 \mu\text{g m}^{-3}$) e 2011 ($34,39 \mu\text{g m}^{-3}$ e $33,88 \mu\text{g m}^{-3}$) Tabela 22 (Apêndice A). Sendo as maiores AIQ's observadas nos anos de 1997, 1998 e 2010, seguidos dos menores valores de AIQ's, nos anos de 1996, 1999 a 2009, e 2011, em que se destacam os anos de 1996, 2002, 2004, 2006, 2007 e 2009.

A análise do dióxido de Enxofre (SO_2) Figura 8 (d) e Tabela 23 (Apêndice A) da estação de qualidade do ar Cubatão Centro, mostram mais uma vez um comportamento semelhante aos resultados anteriores encontrados na série temporal do SO_2 , quanto a alta variabilidade dos valores de SO_2 (outliers). Em que se observa nos anos de 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2005, 2008 e 2010 valores máximos acima de $80 \mu\text{g m}^{-3}$, seguidos de um leve aumento nos anos de 1996 e 1997, e uma posteriormente queda acentuada dos parâmetros estatísticos (média, mediana, amplitude interquartílica) das emissões de SO_2 na estação de Cubatão Centro Tabela 23 (Apêndice A), que pode estar parcialmente associado ao “risco Lula” anteriormente citado.

Figura 9 (a) e (b): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (PM₁₀ e NO) da estação de qualidade do ar em Cubatão Vila Parisi, estado de São Paulo



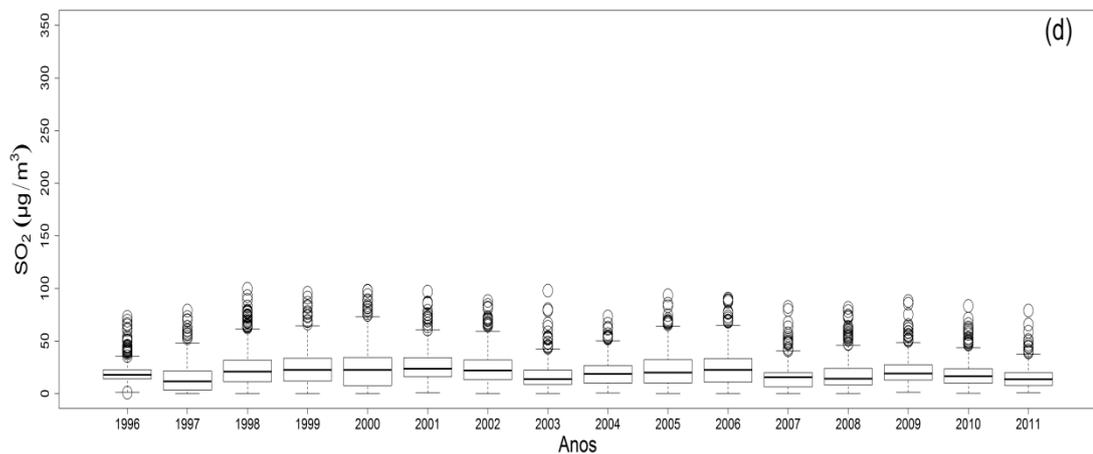
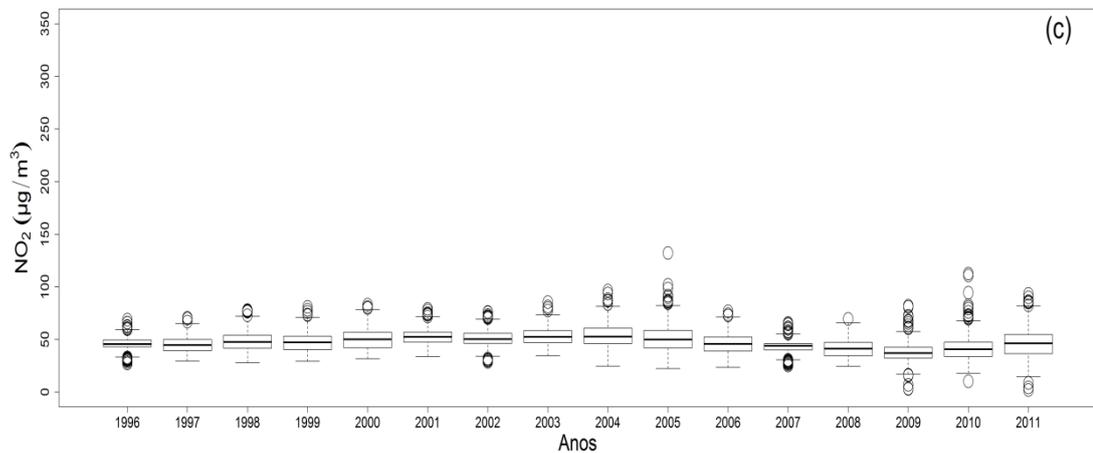
A análise série temporal do período de 1996 a 2011 do material particulado (PM₁₀) na estação de monitoramento de qualidade do ar em Cubatão Vila Parisi, Figura 9 (a) e Tabela 24 (Apêndice A), apontou para valores de outliers superiores a 130 µg m⁻³ na série temporal, em que nota-se ao longo da série uma baixa variabilidade quanto à ocorrência de outliers nos anos de 1996, 2001, 2002, 2007 e 2009, seguidos de um aumento e queda dos valores máximos observados nos anos de 1996 a 2002 Figura 9 (a) e Tabela 24 (Apêndice A), acompanhada ora por uma queda e aumento elevados dos valores máximos no decorrer dos demais anos da série em estudo, sendo os menos valores máximos registrados nos anos de 2002 (144,57 µg m⁻³) e 2009 (137,78 µg m⁻³), e amplitude interquartílica (AIQ) de 34,33 µg m⁻³ e 32,57 µg m⁻³, em que a maior AIQ foi registrada em 2005 (53,08 µg m⁻³), e as maiores médias e medianas registradas nos anos de 1996, 1997, 2000, 2003, 2004, 2006, 2007, 2008 e 2001 com valores

superiores a $80 \mu\text{g m}^{-3}$. Onde estas altas concentrações podem estar relacionadas à intensa atividade industrial desenvolvida na região de Cubatão, bem como com ao intenso tráfego de veículos na região.

Quanto a análise do NO na estação de qualidade do ar de Cubatão Vila Parisi, para o período de 1996 a 2011 Figura 9 (b) e Tabela 25 (Apêndice A), observa-se novamente um comportamento igual, aos observados nas demais estações de qualidade do ar registradas anteriormente, onde podemos observar uma alta variabilidade quanto à presença de *outliers* e dos valores máximos nos anos de 1996, 2000, 2002, 2007, e no período de 2009 a 2011 das emissões de NO, com valores superiores a $100 \mu\text{g m}^{-3}$, Tabela 25 (Apêndice A).

Todavia, podemos observar no decorrer da série temporal de NO Figura 9 (b), uma tendência significativa de queda no período de 1996 a 2002, seguida de um aumento nos valores máximos nos anos de 2003 a 2011, sendo os maiores valores máximos registrados nos anos de 2009 a 2011, quanto os demais parâmetros estatísticos, nota-se comportamento semelhante dos valores das médias, medianas e amplitude interquartílica, superiores a $21 \mu\text{g m}^{-3}$ e inferiores a $95 \mu\text{g m}^{-3}$ Tabela 25 (Apêndice A). Onde, podemos observar no período de 1996 a 2000, as ocorrências dos maiores médias que variam entre os intervalos de $57,51 \mu\text{g m}^{-3}$ a $90,33 \mu\text{g m}^{-3}$, acompanhadas pelos valores das medianas no mesmo intervalo, porém, para as AIQ, foram registrados os maiores valores nos respectivos anos de 1998 ($30,84 \mu\text{g m}^{-3}$), 1999 ($31,92 \mu\text{g m}^{-3}$), 2003 ($32,54 \mu\text{g m}^{-3}$), 2005 ($35,16 \mu\text{g m}^{-3}$), 2006 ($37,89 \mu\text{g m}^{-3}$), 2009 ($31,38 \mu\text{g m}^{-3}$), 2010 ($45,13 \mu\text{g m}^{-3}$) e 2011 ($47,13 \mu\text{g m}^{-3}$).

Figura 9 (c) e (d): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO_2 e SO_2) da estação de qualidade do ar em Cubatão Vila Parisi, estado de São Paulo



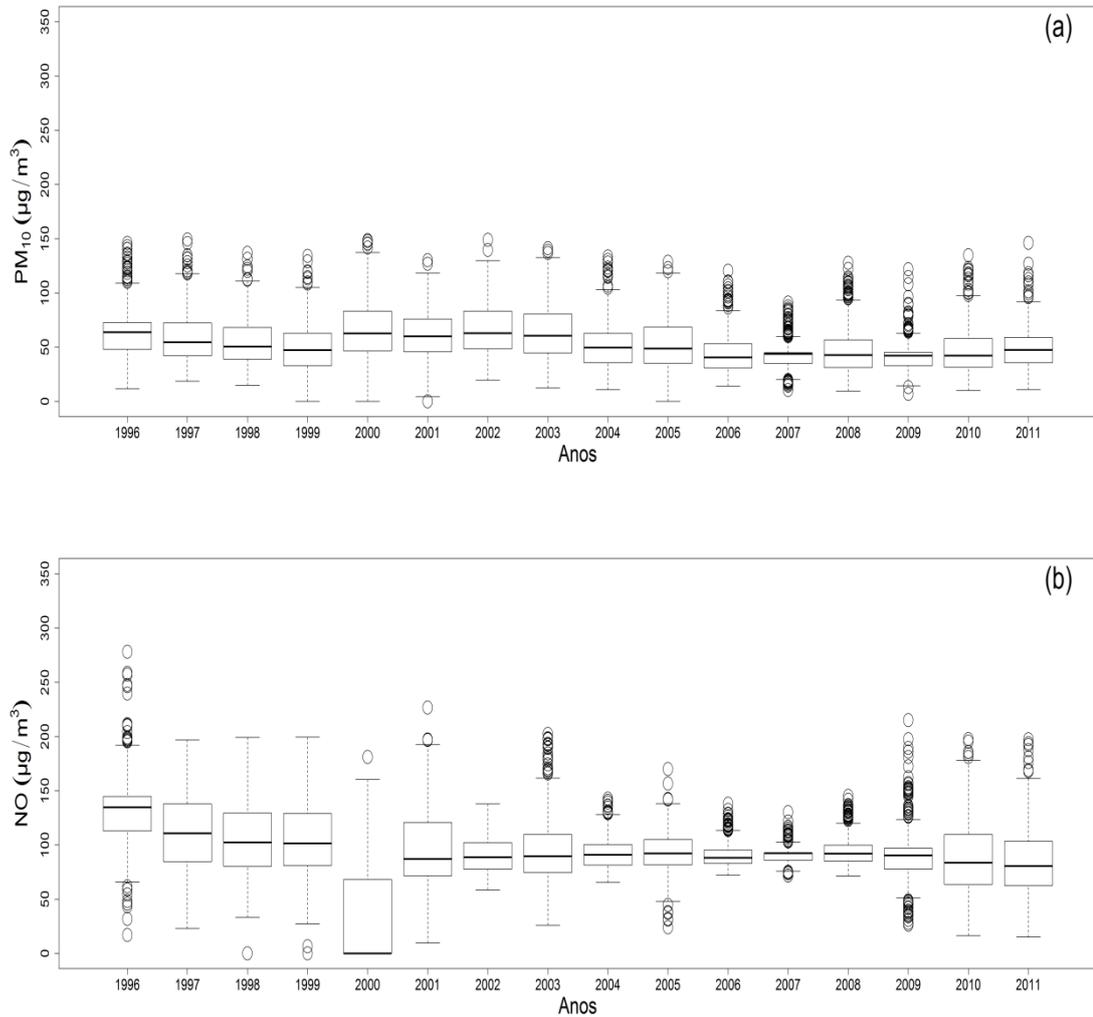
Quanto à análise exploratória da série temporal do dióxido de nitrogênio (NO_2) no período de 1996 a 2011 na estação de monitoramento de qualidade do ar em Cubatão Vila Parisi, Figura 9 (c) e Tabela 26 (Apêndice A), nota-se mais uma vez a presença de valores discrepantes (*outliers*) em toda a série temporal, ou seja, uma alta variabilidade nas concentrações do (NO_2), em que fica claro no decorrer da série temporal de NO_2 .

Todavia, a análise exploratória dos parâmetros estatísticos aplicados ao NO_2 , mostra o não distanciamento das respectivas médias e medianas, que apresentam valores praticamente iguais, e superiores ao terceiro quartil, diferentemente dos valores mínimos e máximos registrados na série temporal de 1996 a 2011, que mostram a ocorrência de valores máximos acima de $80 \mu\text{g m}^{-3}$ nos anos de 1999, 2000, 2003, 2004, 2005, 2009, 2010 e 2011, e amplitudes interquartílicas (AIQ), com valores entre o intervalo de $38,04 \mu\text{g m}^{-3}$ a $54,11 \mu\text{g m}^{-3}$, destaque para as menores AIQ registradas nos anos de 1996 ($6,58 \mu\text{g m}^{-3}$), 2001 ($9,65 \mu\text{g m}^{-3}$).

³), 2002 (9,40 $\mu\text{g m}^{-3}$) e 2007 (6,15 $\mu\text{g m}^{-3}$), respectivamente. Contudo, com relação às médias e medianas, as maiores observações na série em estudo ocorreram nos anos de 2000 a 2005, seguido de uma leve tendência de aumento e posterior queda do NO_2 , neste contexto é importante citar que no período de 2000 a 2005, todas as médias e medianas foram superiores a 50,00 $\mu\text{g m}^{-3}$. E que segundo Paula (2017) em um estudo sobre a Crise e perspectivas para a economia brasileira, afirma que o Brasil no ano de 2000 apresentou mostrou um crescimento onde o produto interno bruto – PBI cresceu 4,3%; e entre os anos de 2001 e 2003 o país passou por uma forte desaceleração (nesse período o PIB cresceu a uma taxa média de 1,7% ao ano); e entre os anos de 2004 e 2008, a economia brasileira cresceu a uma média anual de 4,8%; e no ano de 2009 houve uma breve recessão devido ao contágio da crise mundial; em 2010 a economia cresceu 7,6%, vindo a desacelerar em 2011 e 2014 para 2,4% a.a. em média; e em 2015 e 2016 a economia entrou em forte e longa recessão, com crescimento negativo médio de -3,7% a.a., puxado para baixo o setor de serviços e industrial.

A análise da emissão de SO_2 na região de Cubatão Vila Parisi no período de 1996 a 2011 na estação de monitoramento de qualidade do ar em Cubatão Vila Parisi, Figura 9 (d) e Tabela 27 (Apêndice A), mostra um comportamento igual ao observado nas demais estações analisadas anteriormente, em que se observa uma alta variabilidade dos valores de outliers na série temporal, com valores máximos acima de 90 $\mu\text{g m}^{-3}$ no período de 1998 a 2001, e nos anos de 2003, 2005 e 2006, onde os demais anos na série temporal se mantiveram no intervalo entre 70 $\mu\text{g m}^{-3}$ e 80 $\mu\text{g m}^{-3}$, seguidos dos valores mínimos entre 0,00 e 0,86 $\mu\text{g m}^{-3}$ Tabela 27 (Apêndice A). Quanto a análise das médias e medianas na série temporal de 1996 a 2011, repetisse o mesmo comportamento observado anteriormente nas outras estações de qualidade do ar, onde nota-se valores da média superiores a mediana, ou seja, valores da média acima de 20 $\mu\text{g m}^{-3}$ foram registrados em toda a série, destaque para o período de 1998 a 2001, e os anos de 2003, 2005, 2006 e 2009, seguidos pelas as AIQ's com valores também superiores a 20 $\mu\text{g m}^{-3}$ no respectivo período de 1998 a 2000, e nos anos de 2005 e 2006 Tabela 27 (Apêndice A). Contudo, observa-se no decorrer da série temporal a ocorrência de uma pequena progressiva e acentuada da emissão de SO_2 a partir de 2004, que pode está relacionada com as políticas públicas de redução do percentual de enxofre no diesel e na gasolina, bem como com o aperfeiçoamento da legislação ambiental no Brasil promovida durante este período de forma mais contundente.

Figura 10 (a) e (b): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (PM₁₀ e NO) da estação de qualidade do ar em Osasco, estado de São Paulo

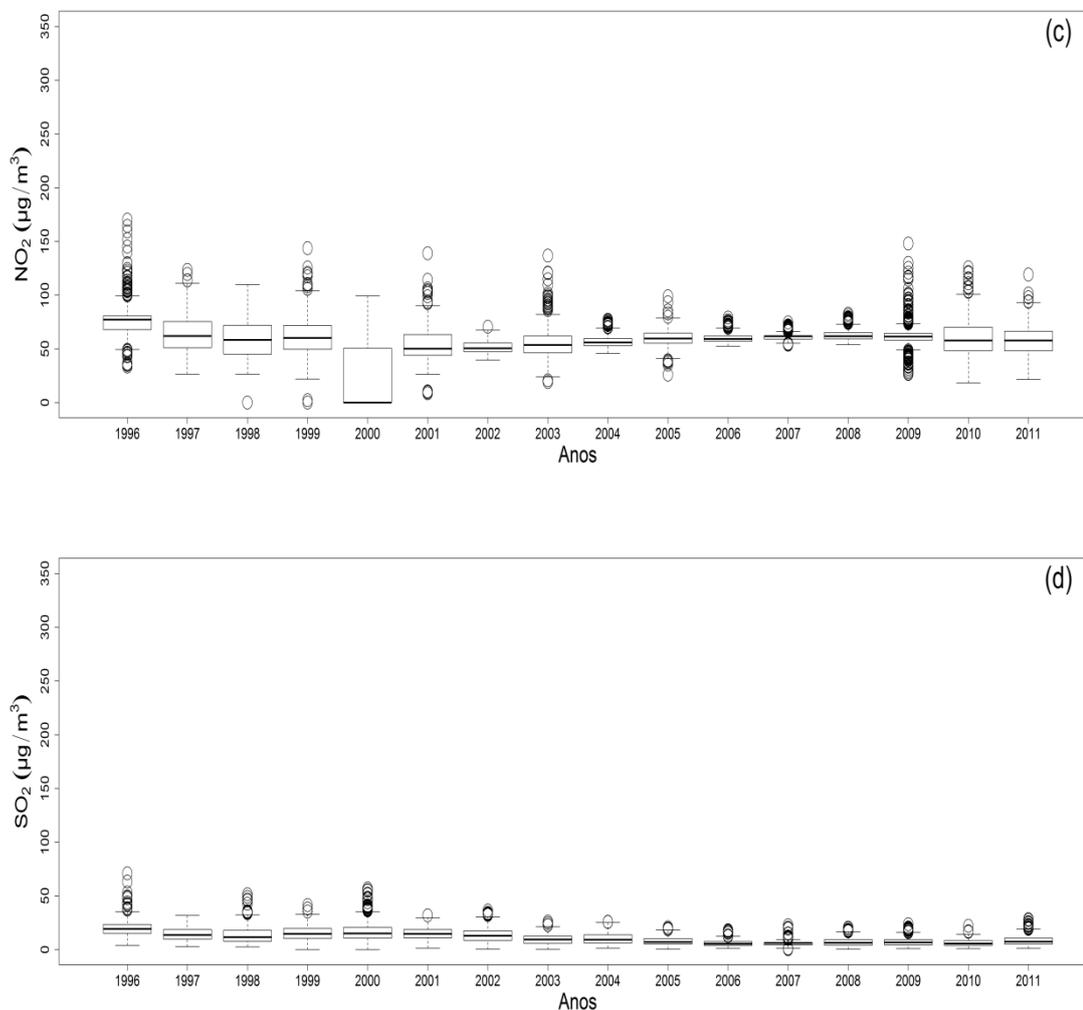


A análise exploratória do material particulado (PM₁₀) na estação de monitoramento de qualidade do ar em Osasco, da série temporal do período de 1996 a 2011 Figura 10 (a) e Tabela 28 (Apêndice A). Mostrou em relação aos resultados anteriores um comportamento igual, ou seja, uma alta variabilidade dos valores de outliers superiores a 90 µg m⁻³ em toda a série temporal. Sendo os anos de 1996, 1997, 2000, 2002, 2003 e 2011 apresentam os maiores valores máximos de PM₁₀ seguida das AIQ's que variou entre 23,25 µg m⁻³ a 38,04 µg m⁻³. Porém, vale ressaltar ainda que, nos demais anos da série, os valores máximos se mantiveram em patamares superiores a 120,00 µg m⁻³, situação diferente ocorreu apenas em 2007 (91,07 µg m⁻³). E, em relação às médias e as medianas, os maiores valores foram registrados nos anos de 1997, 2000 a 2003 com valores superiores a 60 µg m⁻³, sendo destaque o ano de 2000

com média e mediana de $74,80 \mu\text{g m}^{-3}$ e $71,94 \mu\text{g m}^{-3}$, por outro lado, os menores registros de médias e medianas com valores abaixo de $60 \mu\text{g m}^{-3}$ foram registrados nos de 1998, 1999 e no período de 2007 a 2011, Tabela 28 (Apêndice A). Fato que pode estar relacionado com a elevada densidade demográfica da cidade e a proximidade da mesma com a capital São Paulo, o que faz com que o trânsito seja intenso e pesado, principalmente pela presença de caminhões e ônibus nas ruas, por conta das atividades econômicas da região (IBGE, 2018).

A análise do óxido de Nitrogênio (NO) Figura 10 (b) e Tabela 29 (Apêndice A) para a estação de qualidade do ar de Osasco segue o mesmo comportamento das demais estações analisada até o momento, quanto à alta variabilidade dos valores de outliers observados na série em estudo, neste contexto vale ressaltar o ano de 2009 que apresentou a maior quantidade de *outliers*, onde valores acima de $180 \mu\text{g m}^{-3}$ foram registrados nos anos de 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001 e 2003, e nos períodos de 2009 a 2011, destaque para os anos de 1996 ($278,17 \mu\text{g m}^{-3}$), 2000 ($181,09 \mu\text{g m}^{-3}$), 2001 ($226,79 \mu\text{g m}^{-3}$), 2003 ($202,37 \mu\text{g m}^{-3}$) e 2009 ($215,04 \mu\text{g m}^{-3}$) que registraram os mais elevados valores máximos da série temporal. Todavia, quanto à ocorrência valores máximos abaixo de $140 \mu\text{g m}^{-3}$ foram observados registros nos anos de 2002, 2004, 2006, 2007 e 2007 conforme Tabela 29 (Apêndice A), o que sugere um a retração das atividades econômicas por conta do início do governo Lula. Em relação às médias e medianas, o ano de 1996 merece destaque pelos maiores valores da série ($132,93$ e $134,73 \mu\text{g m}^{-3}$ respectivamente), neste contexto, vale ressaltar que no ano de 2000 a mediana foi de $0,00 \mu\text{g m}^{-3}$ o que deixa claro que pelo menos 50% dos dados estarem contido no 3º quartil (são elevados em face da média), o que por sua vez conferiu ao referido ano, a maior amplitude interquartílica ($89,68 \mu\text{g m}^{-3}$), por fim, a menor AIQ foi em 2007 ($6,83 \mu\text{g m}^{-3}$), de 2009 até 2001 ocorreu aumento dos valores de concentrações do poluente NO, fato que pode estar ligado com a economia local, uma vez que, Osasco, segundo o IBGE 2008 possui o 2º maior PIB do estado de São Paulo, isto graças as intensas atividades industriais e comerciais desenvolvidas no município, o governo federal nesta época incentivou o crédito (especialmente para eletrodoméstico da linha branca) como medida de combate a crise de 2008 desencadeada nos estados Unidos da América.

Figura 10 (c) e (d): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO₂ e SO₂) da estação de qualidade do ar em Osasco, estado de São Paulo



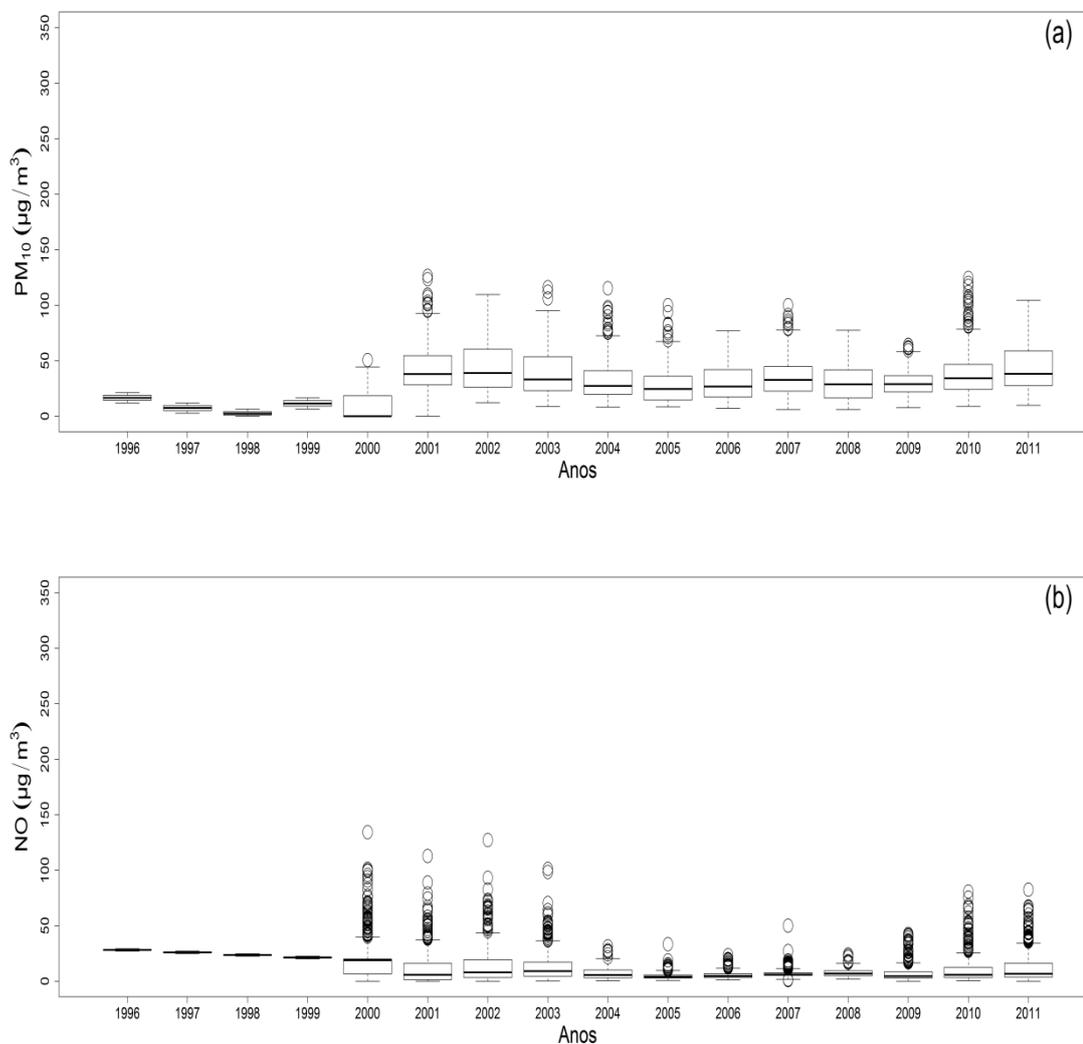
A análise exploratória da série temporal do período de 1996 a 2011 do dióxido de Nitrogênio (NO₂) na estação de monitoramento de qualidade do ar em Osasco, Figura 10 (c) e Tabela 30 (Apêndice A), revela através da presença de *outliers* uma alta variabilidade nos dados referentes às emissões de NO₂, no quais os anos de 1996, 1999, 2001, 2003, 2009, 2010 e 2011 mostraram as maiores ocorrências de *outliers* da série temporal em estudo, no que se referem aos valores máximos, os anos com valores acima de 100 µg m⁻³ foram registrados em 1996 a 1999, 2001, 2003, 2009, 2010 e 2011, em relação aos valores mínimos, os anos de 1998, 1999 e 2000 registraram 0,00 µg m⁻³, o que sugere falha dos equipamentos de medição, em relação às médias e as medianas, os maiores valores registrados ocorreram em 1996 com valores de 77,93 e 77,38 µg m⁻³, porém, nos demais anos da série, foram observados valores

superiores a $50,00 \mu\text{g m}^{-3}$, situação contrária pode-se observar em 2000 que teve média de $28,83 \mu\text{g m}^{-3}$ e mediana igual a $0,00 \mu\text{g m}^{-3}$, fato que confirma que a maioria dos dados coletados estão inseridos no 3º quartil, o ocasionou o registro da maior AIQ da série ($60,10 \mu\text{g m}^{-3}$), por outro lado, a menor AIQ foi observada em 2007 ($2,80 \mu\text{g m}^{-3}$).

A Figura 10 (d) e Tabela 31 (Apêndice A), a análise do dióxido de Enxofre (SO_2) na estação de monitoramento da qualidade do ar de Osasco, indica a presença mais uma vez de uma alta variabilidade das concentrações de SO_2 por conta da presença de pontos atípicos em todos os anos da série temporal em estudo, sendo o maior valor máximo registrado no ano de 1996 ($71,03 \mu\text{g m}^{-3}$), seguido por 1998 ($51,43 \mu\text{g m}^{-3}$), em contra partida, destaque o ano de 1999 em que se observa a presença de valor mínimo igual a $0,00 \mu\text{g m}^{-3}$, neste contexto, vale ressaltar que os anos de 2002, 2003, 2005, 2007 e 2009, os valores mínimos registrados ocorrem abaixo dos $0,50 \mu\text{g m}^{-3}$, e a AIQ's, variam entre $2,12 \mu\text{g m}^{-3}$ a $10,31 \mu\text{g m}^{-3}$ nos anos de 2000 a 2007, e a maior média e mediana foi registrada em 1996 ($20,46$ e $19,33 \mu\text{g m}^{-3}$).

Por outro lado os menores valores de média e mediana foram registrados no período de 2003 a 2011, com valores que variam entre $5,92 \mu\text{g m}^{-3}$ a $10,35 \mu\text{g m}^{-3}$ e mediana de $5,62 \mu\text{g m}^{-3}$ a $9,52 \mu\text{g m}^{-3}$. Onde segundo Bruni et al, 2014 fica evidente uma queda nas emissões de SO_2 entre 2006 e 2009, período em que ocorreu o maior percentual de licenciamento de carros flex no estado de São Paulo, sendo 60 % em 2006 e 80% em 2009, o leve aumento registrado na análise entre 2010 e 2011, pode estar relacionado com o aumento do álcool mediante a procura, o que faz com que o motorista reavalie o abastecimento através de uma conta simples, divide-se o preço da gasolina pelo preço do álcool, se o resultado for superior a 0,70, torna-se mais vantajoso abastecer com gasolina, uma vez que, esta além de render mais danifica menos os carros (escapamentos e peças de ignição).

Figura 11 (a) e (b): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (PM₁₀ e NO) da estação de qualidade do ar em Paulínia, estado de São Paulo



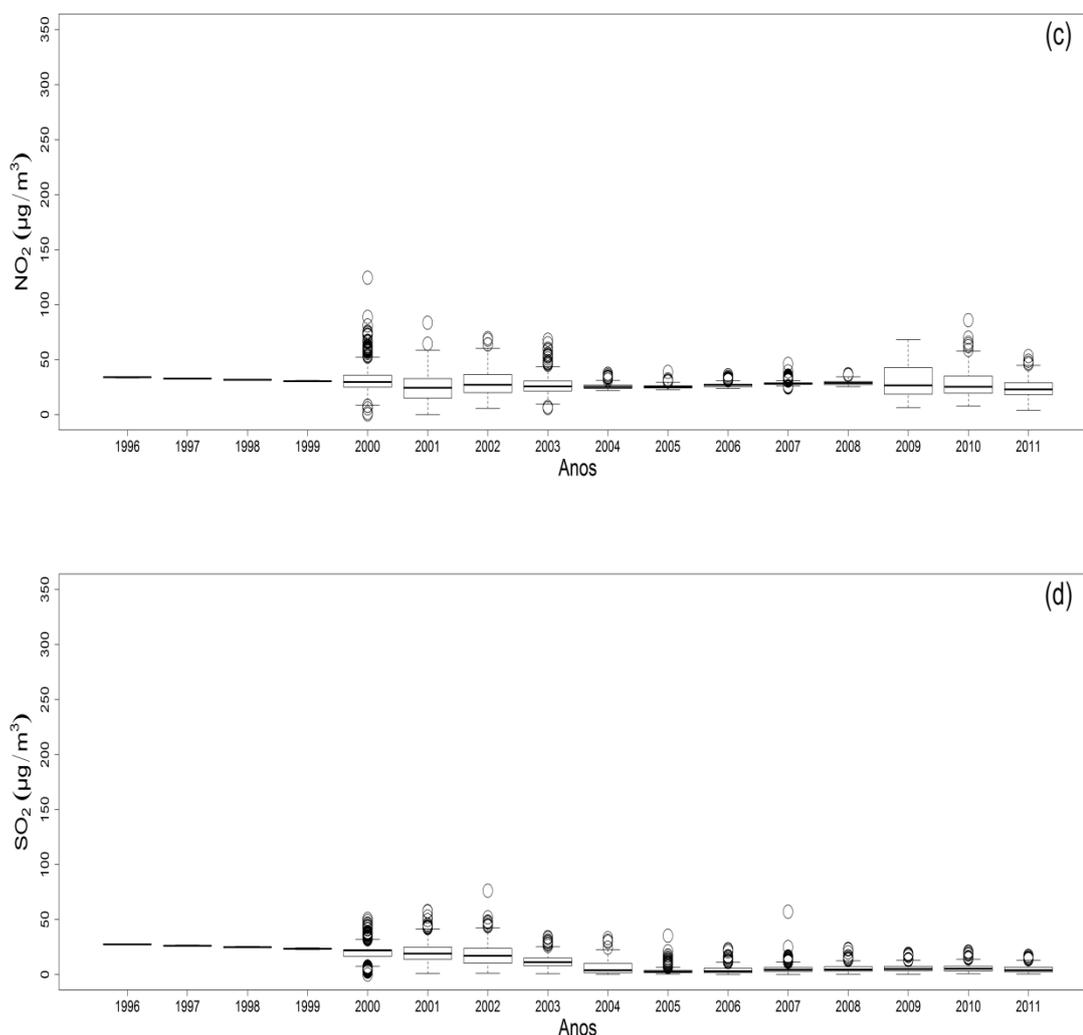
A análise exploratória da série temporal do período de 1996 a 2011 do material particulado (PM₁₀) na estação de monitoramento de qualidade do ar de Osasco, Figura 11 (a) e Tabela 32 (Apêndice A), uma alta variabilidade das emissões de PM₁₀ com valores máximos superiores a 100 µg m⁻³ nos anos de 2001, 2002, 2003, 2004 e 2005 seguidos dos anos de 2010 e 2011. Porém, nota-se na série temporal de PM₁₀ a não ocorrência de *outliers* nos anos de 1996 a 1999, com valores máximos em níveis abaixo dos 20 µg m⁻³, fato que sugere relação direta com a manutenção dos equipamentos de medição, uma vez que, em todos os demais estudos os anos iniciais foram protagonistas das maiores concentrações de poluentes registradas. A variação da amplitude interquartilica foi elevada, sendo a menor em 1998 (3,40 µg m⁻³) bem como o maior valor em 2002 de 34,01 µg m⁻³, quando a análise tem seu foco nas

médias e medianas, fica definido o maior registrado em 2002 (44,49 e 39,03 $\mu\text{g m}^{-3}$), por outro lado os menores valores foram observados em 1998 (2,73 e 2,36 $\mu\text{g m}^{-3}$).

A Figura 11 (b) e Tabela 33 (Apêndice A) retrata a análise do óxido de Nitrogênio (NO) em Paulínia, na qual fica nítido um comportamento semelhante ao ocorrido anteriormente quanto a emissão de PM_{10} quanto a não ocorrência de *outliers* no início da série temporal nos anos de 1996 a 1999, embora, note-se mais uma vez uma alta variabilidade das emissões de NO, sendo que, a exemplo da análise anterior, essa uma alta variabilidade ocorre no período de 2000 a 2011, nos quais os valores máximos registrados foram inferiores a 30,00 $\mu\text{g m}^{-3}$, sendo que de 2000 a 2003 esses valores foram superiores a 100,00 $\mu\text{g m}^{-3}$, neste contexto é válido destacar o ano de 2000 como ano que detectou o maior valor máximo na série (134,29 $\mu\text{g m}^{-3}$), em relação às AIQ's, situação de 1996 a 1999 semelhante aos tópicos anteriores, ou seja, valores muito abaixo dos demais valores da série, as AIQ's neste período foram inferiores a 1,5 $\mu\text{g m}^{-3}$, seguidas pela maior AIQ da série em 2000 (23,54 $\mu\text{g m}^{-3}$), no tocante as médias e medianas, os maiores valores foram registrados em 1996 com valores iguais a 28,20 e 28,20 $\mu\text{g m}^{-3}$, por outro lado, a menor média e mediana foi observada em 2005 (4,57 e 4,04 $\mu\text{g m}^{-3}$).

Paulínia encontra-se distante 119 Km da capital São Paulo, e por conta de abrigar o polo petroquímico a cidade sofre com os índices elevados de poluição, especialmente os óxidos nitrosos que são emitidos nos processos da indústria petroquímica.

Figura 11 (c) e (d): Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO₂ e SO₂) da estação de qualidade do ar em Paulínia, estado de São Paulo



A análise exploratória da série temporal do período de 1996 a 2011 do dióxido de Nitrogênio (NO₂) na estação de monitoramento de qualidade do ar em Paulínia, Figura 10 (c) e Tabela 34 (Apêndice A) revela através da presença de *outliers* (discrepâncias) alta variabilidade entre os anos de 2000 a 2008 e 2010 a 2011, por outro lado nos anos de 1996 a 1999 não se nota pontos discrepantes na série em questão, neste contexto destaque para o ano de 2000 com a maior emissão de NO₂ (124,38 µg m⁻³) bem como o ano em que ocorreu a maior incidência de *outliers*, sugerindo que os anos de 1996 a 1999 não retratam a realidade do período, a maior AIQ da série foi registrada no ano de 2009 (24,03 µg m⁻³), neste contexto, é interessante o fato que de 1996 até 1999 as AIQ's foram inferiores a 0,60 µg m⁻³, em relação às médias e medianas registradas na série, fica claro que as maiores ocorreram nos anos de 1996 (33,98 e 33,98 µg m⁻³), 1997 (32,85 e 32,85 µg m⁻³), 1998 (31,71 e 31,71 µg m⁻³) e 1999

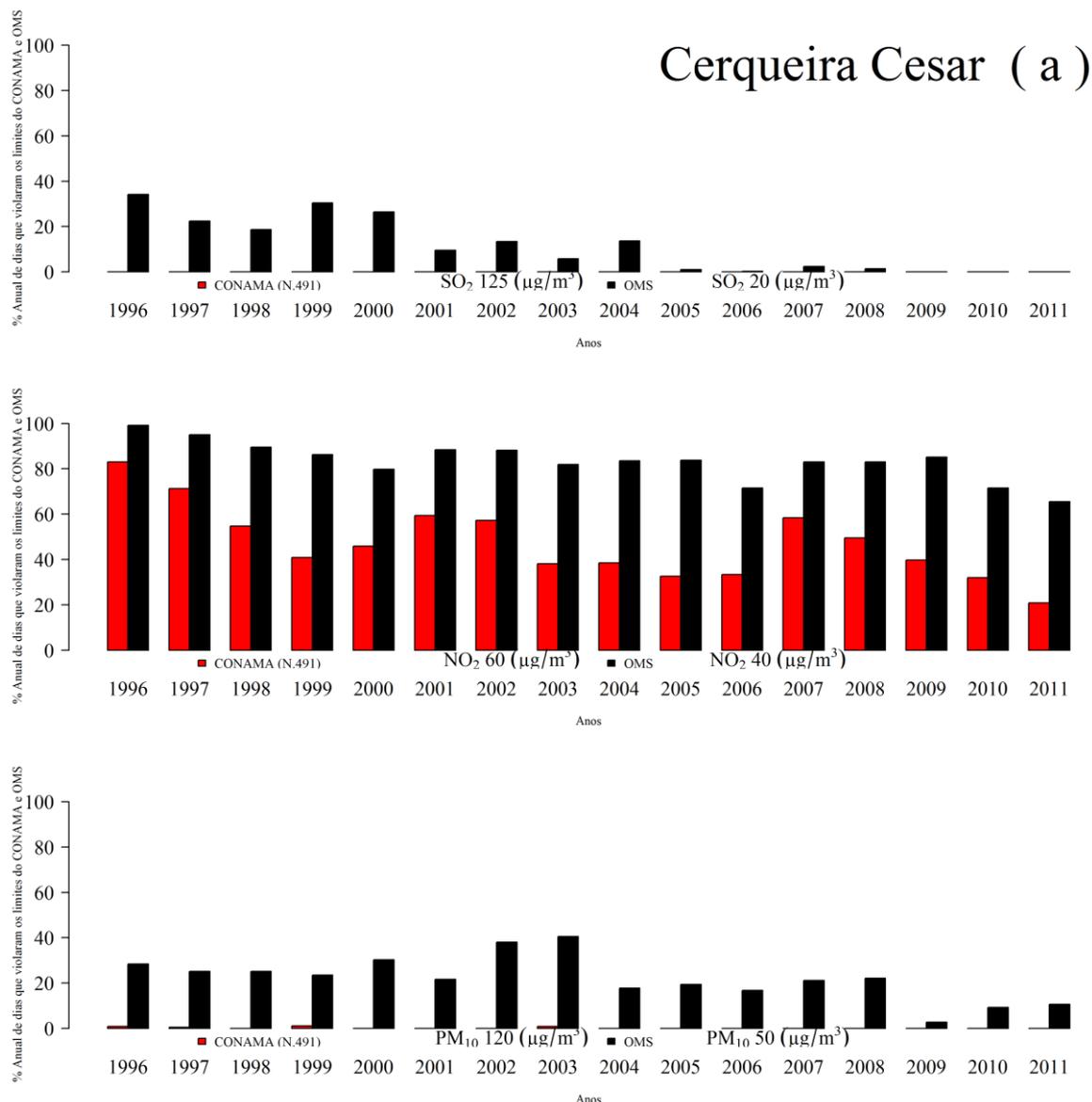
(30,52 e 30,52 $\mu\text{g m}^{-3}$), respectivamente, fato relevante nestes valores, é que neste período ocorreu simetria nos dados aferidos, em contra partida, as menores médias e medianas da série, foram nos anos de 2001 (23,84 e 24,51 $\mu\text{g m}^{-3}$) e 2011 (24,15 e 23,01 $\mu\text{g m}^{-3}$), porém, observa-se nos anos de 2004 a 2008 uma redução significativa nas concentrações do NO_2 de modo que, as mesmas chegaram em patamares próximos aos primeiros anos da série, isto pode estar relacionado com o endurecimento da legislação ambiental proposta pelo governo da época, bem como a políticas públicas no sentido de estímulos aos veículos com motores flexíveis, além do aumento do percentual de álcool na gasolina brasileira. A Figura 11 (d) e Tabela 35 (Apêndice A), referente à análise do dióxido de Enxofre (SO_2) na estação de monitoramento da qualidade do ar de Paulínia, mostra elevada variabilidade nos dados coletados a partir do ano 2000 a 2011, verifica-se também que o maior valor máximo registrado foi no ano de 2002 (76,28 $\mu\text{g m}^{-3}$) o que pode ser relacionado ao crescimento econômico da época, por outro lado os anos de 2008 a 2011 foram os que registraram os menores valores máximos aferidos na série que por sua vez podem ser atribuídos ao momento desfavorável do país que enfrentava uma crise econômica de dimensão mundial, sendo que, estes estiveram em patamares inferiores a 25 $\mu\text{g m}^{-3}$, em 2002 foi vista a maior amplitude interquartílica (13,37 $\mu\text{g m}^{-3}$), neste contexto, é importante frisar que, nos anos de 1996, 1997, 1998 e 1999 as amplitudes interquartílicas foram inferiores a 0,80 $\mu\text{g m}^{-3}$, em relação as médias e medianas, as maiores foram registradas em 1996 (27,54 e 27,54 $\mu\text{g m}^{-3}$), seguida por 1997 (26,32 e 26,32 $\mu\text{g m}^{-3}$), além de 1998 (25,04 e 25,04 $\mu\text{g m}^{-3}$) em todos os anos citados existe simetria nos dados relativos as concentrações de SO_2 registrados na estação de Paulínia, onde uma queda progressiva de 2001 a 2011 Figura 11 (d), fato que pode estar relacionado com a inserção de carros flex no mercado, com políticas públicas de redução dos percentuais de enxofre na gasolina e no óleo diesel brasileiro, bem como nas políticas relativas a emissões de veículos automotores no Brasil .

6.4 VIOLAÇÕES DOS LIMITES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS (SO₂, NO₂ e PM₁₀) CRITÉRIOS CONAMA E OMS.

Nas Figuras 12 (a), 12 (b), 12 (c), 12 (d), 12 (e) e 12 (f) encontra-se as concentrações das emissões dos poluentes atmosféricos (SO₂, NO₂, PM₁₀), nas respectivas estações de monitoramento da qualidade do ar de Cerqueira Cesar, Congonhas, Cubatão Centro, Cubatão Vila Parisi, Osasco e Paulínia obtidos da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), no período de 1996 a 2011.

Com base na resolução CONAMA N° 491/2018, que estabelece os padrões de qualidade do ar intermediários PI-1 (Tabela 1) com limite de 125 µg/m³ para o (SO₂) 60 µg/m³ para o (NO₂), e 120 µg/m³ para o (PM₁₀) para as 24 horas. Porém a OMS (Tabela 2), adota os limites bastante restritivos em comparação ao do CONAMA, que estabelece um limite de 20 µg/m³ para o (SO₂) em 24 horas, 40 µg/m³ para o (NO₂), 50 µg/m³ para o (PM₁₀) para a média anual aritmética.

Figura 12 (a): Percentuais (%) Anuais de Dias de Violações dos Limites de (SO_2 , NO_2 , PM_{10}), segundo CONAMA e OMS, na estação de qualidade do ar de Cerqueira César, no estado de São Paulo, período de 1996-2011



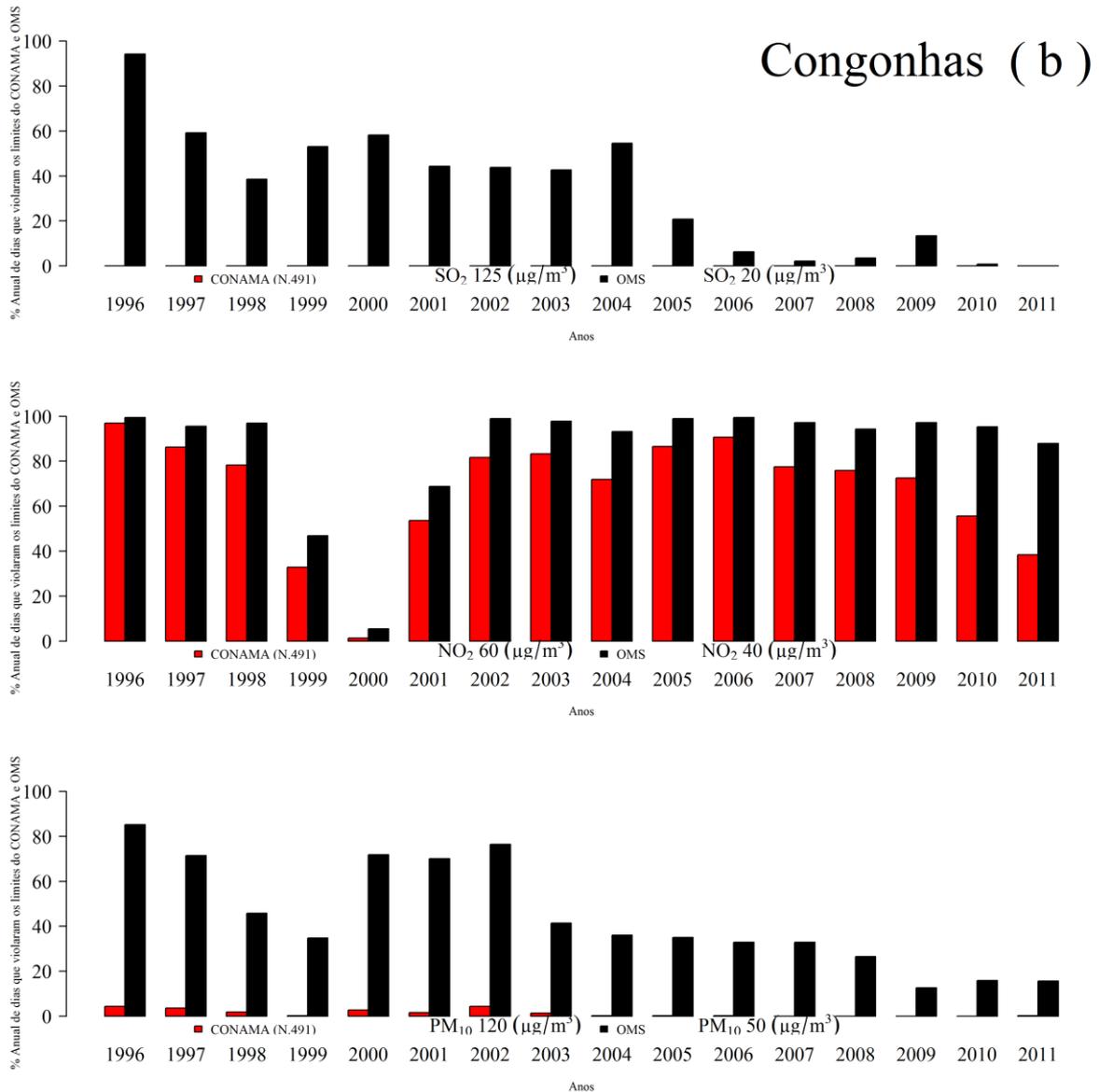
A análise da emissão de dióxido enxofre (SO_2) na estação de Cerqueira César Figura 12 (a) mostrou uma forte queda nas emissões de (SO_2) em toda a série temporal, em que os maiores percentuais anuais de dias de violações segundo o critério da OMS ocorreram nos anos de 1996, 1999 e 2000, com percentuais de 34,15%, 30,41% e 26,50% respectivamente, por outro lado, os menores percentuais de emissões de SO_2 foram observados em 2005 (1,10%) e 2006 (0,27%), em que nos respectivos anos de 2009, 2010 e 2011 não foram registrados percentuais de violações das emissões de SO_2 , comportamento semelhante foi

registrado com base nos critérios adotado pelo CONAMA em que não foram observados violações nas emissões de SO₂ em toda a série temporal.

Em relação ao dióxido de Nitrogênio (NO₂) a análise Figura 12 (a), registrou percentuais anuais de dias de violações superiores a 65% das emissões em todos os anos da série temporal em estudo, destaque para os anos 1996 (99,18%), 1997 (95,07%), além do ano de 1998 (89,59%) de violações, além disso, destaca-se ainda o ano de 2011, protagonista do menor percentual anual de dias de violações de NO₂ (65,48%) segundo critério da OMS, situação semelhante foram encontradas na análise adota como base no critério do CONAMA, onde observamos que em 1996 e 1997 apresentam os maiores percentuais anuais de dias de violações (83,07% e 71,23%), respectivos. Neste contexto, vale destacar uma significativa redução dos percentuais anuais de dias de violações nos anos de 2005, 2006, 2010 e 2011, com valores fixados em 32,06%, 33,42%, 32,05% e 20,82% respectivamente.

Porém, em relação ao material particulado (PM₁₀), Figura 12 (a) na estação de Cerqueira Cesar os anos de 2002 e 2003, registraram os mais elevados percentuais anuais de dias de violações dos limites do (PM₁₀), sendo estes de 38,08% e 40,55%, em contrapartida, ressalta-se que o ano de 2009 registrou o menor percentual anual de dias de violações dos limites de PM₁₀ da série temporal (2,74%) com base no critério da OMS. Porém, quando a análise passa a admitir o critério do CONAMA, observa-se que os maiores valores percentuais de anuais de dias de violações dos limites de emissões de PM₁₀ ficam evidentes nos anos de 1996 e 2003 (0,82% em ambos), destaque para o ano de 1997 (0,55%), seguido pelo ano de 1999 com 1,10%, não sendo registrados nos demais anos da série temporal episódios de violações dos limites emissões do poluente em análise.

Figura 12 (b): Percentuais (%) Anuais de Dias de Violações dos Limites de (SO₂, NO₂, PM₁₀), segundo CONAMA e OMS, na estação de qualidade do ar de Congonhas, no estado de São Paulo, período de 1996-2011



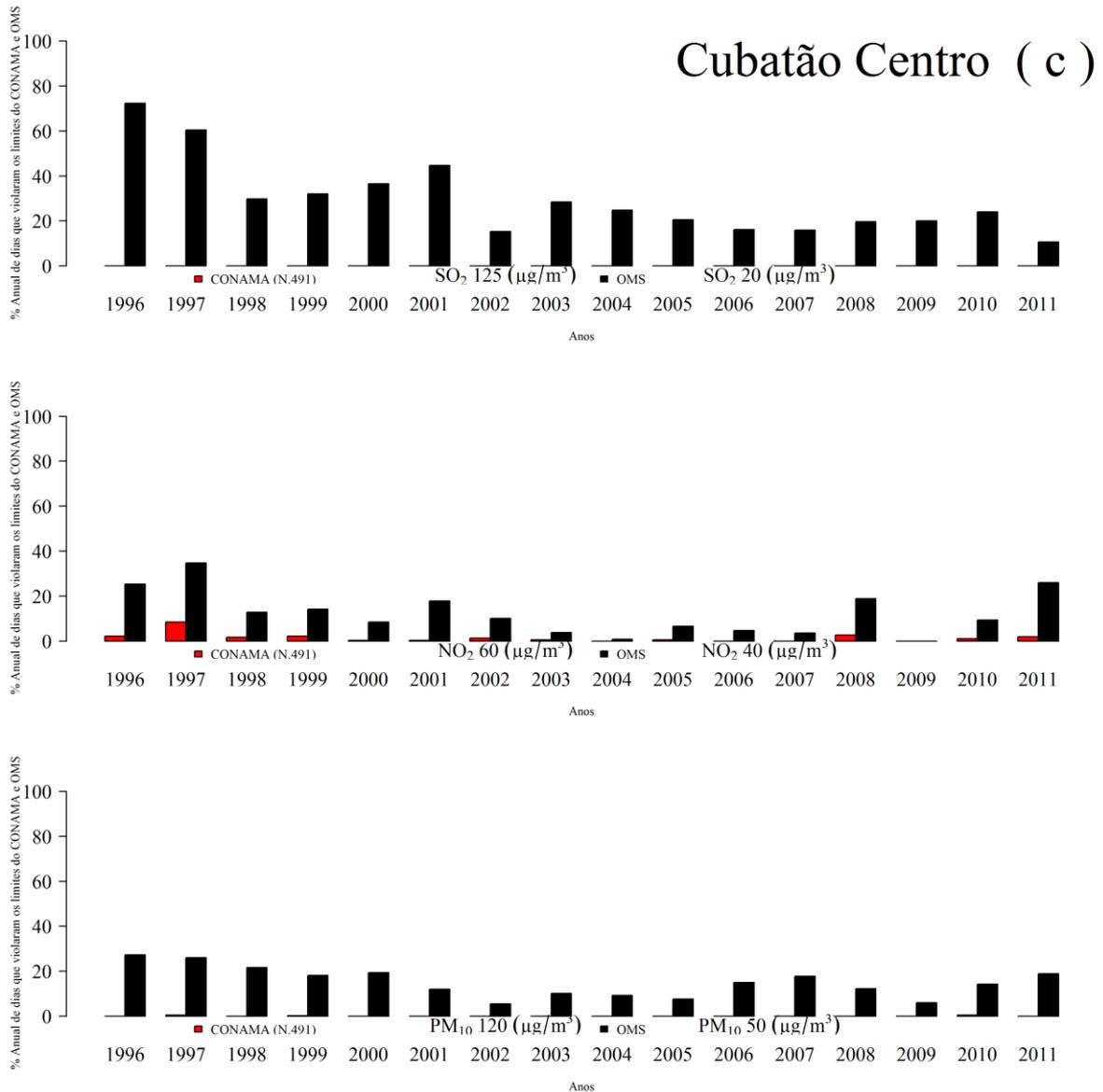
A análise das emissões de (SO₂, NO₂, PM₁₀) na estação de Congonhas Figura 12 (b), evidencia um comportamento semelhante ao verificado na série temporal da estação de Cerqueira Cesar Figura 12 (a), quanto à existência de uma queda nas emissões de SO₂ e PM₁₀, no período de 2004 a 2011 nas duas estações, fatos esses que podem está ligado a medidas e políticas tomadas relativamente aos transportes (Transporte Público, Inspeção periódica de veículos, Remoção de enxofre e chumbo, Combustíveis, - Normas de controle e Carros Elétricos), que afetam a qualidade do ar nas várias cidades.

Os resultados da Figura 12 (b) mostrou que os maiores percentuais anuais de dias de violações do SO₂ segundo o critério da OMS ocorreram nos anos de 1996 e 1997 com percentuais de 94,26% e 59,18% respectivamente, por outro lado, o ano de 2010 registrou o menor percentual anual de dias de violações (0,82%), neste cenário destaque para 2011, único ano da série temporal que não registrou violação anual de dias de emissões de SO₂, porém nenhum registro de violações de emissões de SO₂ foi observado na série temporal Figura 12 (b), segundo os critérios do CONAMA.

Em relação ao NO₂ a análise da Figura 12 (b), registrou percentuais superiores a 90% de violações anuais de dias em vários anos da série temporal em estudo, sendo que, 1996 e 2006 registraram o maior valor percentual anual de dias de violações da série temporal 99,45% em ambos os anos, sendo destaque também os anos de 2002 (98,90%) e 2005 (98,90%), porém, uma situação contraia é observada em 2000, onde foi registrado o menor percentual da série temporal (5,46%), das violações anuais de dias, segundo critério da OMS, por outro lado, quando a análise adota como base o critério do CONAMA, observa-se que 1996, 1997, 2005 e 2006 apresentaram elevados percentuais anuais de dias de violações (96,99%, 86,30%, 86,58% e 90,68%), respectivamente, neste contexto, vale destacar uma significativa redução dos percentuais anuais de dias de violações nos anos de 1999 e 2011, com valores fixados em 32,88%, 38,36% respectivamente, em que o ano de 2000 registrou o menor valor percentual anual de dias de violações da série temporal (1,37%).

Por fim a análise Figura 12 (b), em relação ao material particulado (PM₁₀) revela que o ano de 1996, registrou o maior percentual de dias de violações do PM₁₀ (85,25%), seguidos dos 1997, 2000, 2001 e 2002 com valores percentuais anuais de dias de violações de 71,51%, 71,86%, 70,14% e 76,44% respectivamente, porém o ano de 2009 apresentou o menor percentual de violações (12,60%), segundo o critério da OMS. Entretanto, quando se aplica a análise com base nos critérios do CONAMA, observa-se que toda a série temporal de PM₁₀ apresentou os menores percentuais anuais de dias de violações com destaque para os anos de 1999, 2004, 2005, 2006 e 2011 com valores iguais a 0,27%, seguidos pelos anos de 1997, 1998, 2000, 2001, 2002 e 2003 com percentuais anuais de dias de violações variando de 1,37% a 4,38%, entretanto registros de não violações dos percentuais anuais de dias de violações (0,0%) foram observados nos anos de 2007, 2008, 2009 e 2010.

Figura 12 (c): Percentuais (%) Anuais de Dias de Violações dos Limites de (SO₂, NO₂, PM₁₀), segundo CONAMA e OMS, na estação de qualidade do ar de Cubatão Centro, no estado de São Paulo, período de 1996-2011



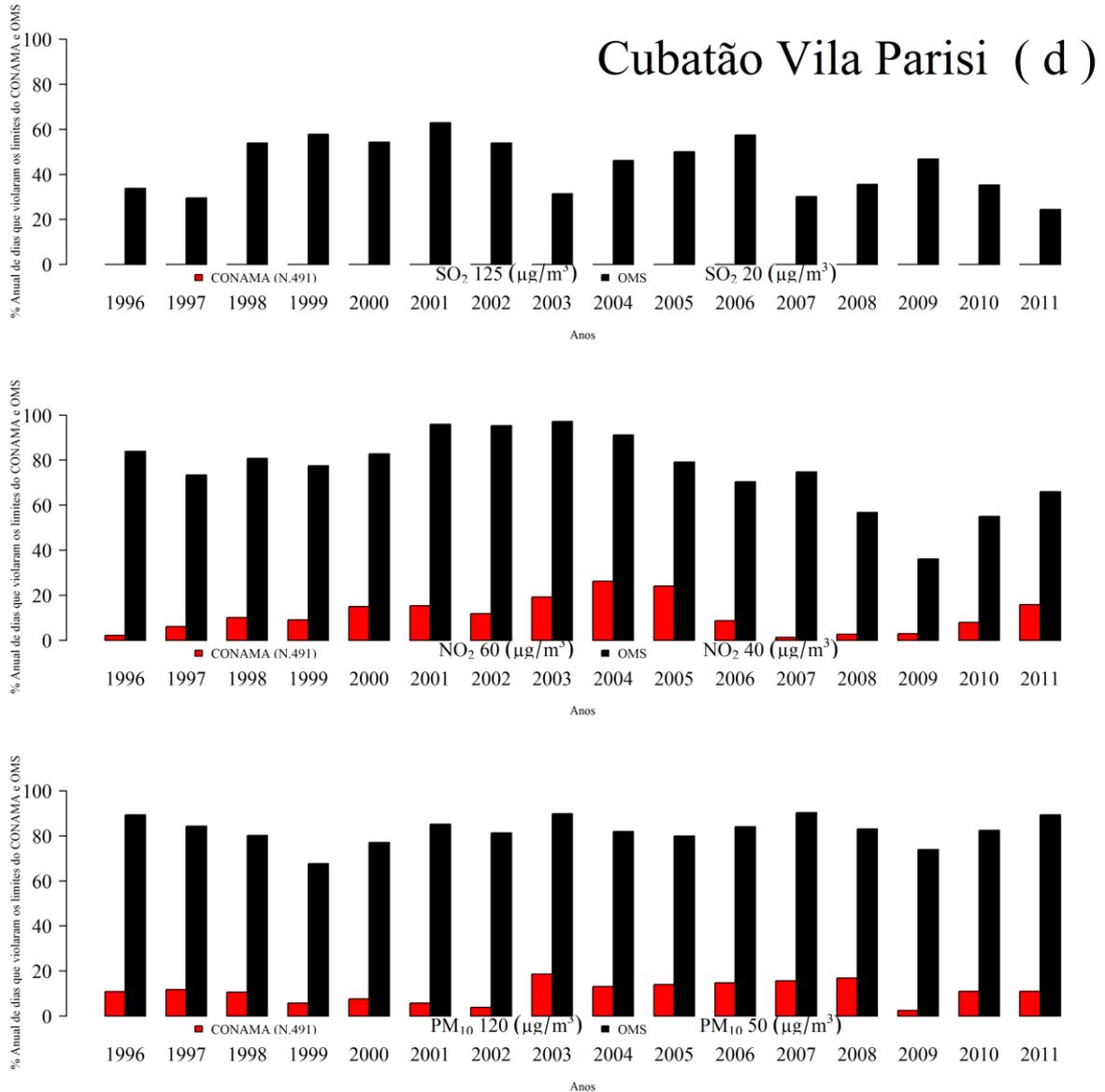
A análise das emissões dos poluentes atmosféricos (SO₂, NO₂ e PM₁₀) na estação de Cubatão Centro Figura 12 (c) segundo os critérios da OMS, mostrou que os maiores percentuais anuais de dias de violações do (SO₂) ocorreram nos anos de 1996, 1997 e 2001, com percentuais de 72,40%, 60,50% e 44,66% respectivamente, por outro lado, os anos de 2002, 2006 e 2007 registram os menores percentuais anuais de dias de violações (15,34%, 16,16% e 15,89%), neste contexto vale ressaltar que 2011 registou o menor percentual anual de dias de violações da série temporal (10,68%), segundo o critério da OMS. No tocante ao

critério adotado pelo CONAMA, não foram observados percentuais de violações para o SO₂ na série temporal em estudo.

Em relação ao dióxido de Nitrogênio (NO₂) de acordo com o critério da OMS, a análise da Figura 12 (c), registrou os maiores percentuais anuais de dias de violações nos anos de 1996 (25,41%), seguido pelos anos de 1997 (34,79%) e 2011 (26,03%), por outro lado, os anos de 2000 (8,47%), 2003 (3,84%), 2004 (0,82%), 2005 (6,58%), 2006 (4,66%), 2007 (3,56%), 2009 (0,00%) e 2010 (9,32%) registraram os menores percentuais anuais de dias de violações, em que vale ressaltar que o ano de 2009 não registrou nenhuma violação anual de emissões de NO₂, de acordo com o critério da OMS, quando utilizado o critério do CONAMA, observa-se em toda a série temporal de 1996 a 2011, baixos percentuais anuais de dias de violações do NO₂, que variam de 0,00% a 8,49%.

Em relação ao material particulado (PM₁₀), a análise Figura 12 (c) revela que foram registrados baixos percentuais anuais de dias de violações, no intervalo de 21,64% a 30,33% nos anos de 1996 a 2001, seguidos dos anos de 2004 a 2011 que variam no intervalo de 2,74% a 22,13% tendo por base os critérios admitidos pela OMS. Embora, observem-se percentuais anuais de dias de violações entre 38,08% e 40,55% nos anos de 2002 e 2003. Ao admitir o critério CONAMA, observa-se a não violação dos limites do PM₁₀, na estação Cubatão Centro, nos anos de 1998 e de 2000 a 2011, sendo a exceção os anos de 1996 e 2003 que apresentaram valores de violações iguais a 0,82%, e o ano de 1999 com percentual anual de dia de violação de 1,10% Figura 12 (c).

Figura 12 (d): Percentuais (%) Anuais de Dias de Violações dos Limites de (SO_2 , NO_2 , PM_{10}), segundo CONAMA e OMS, na estação de qualidade do ar de Cubatão Vila Parisi, no estado de São Paulo, período de 1996-2011



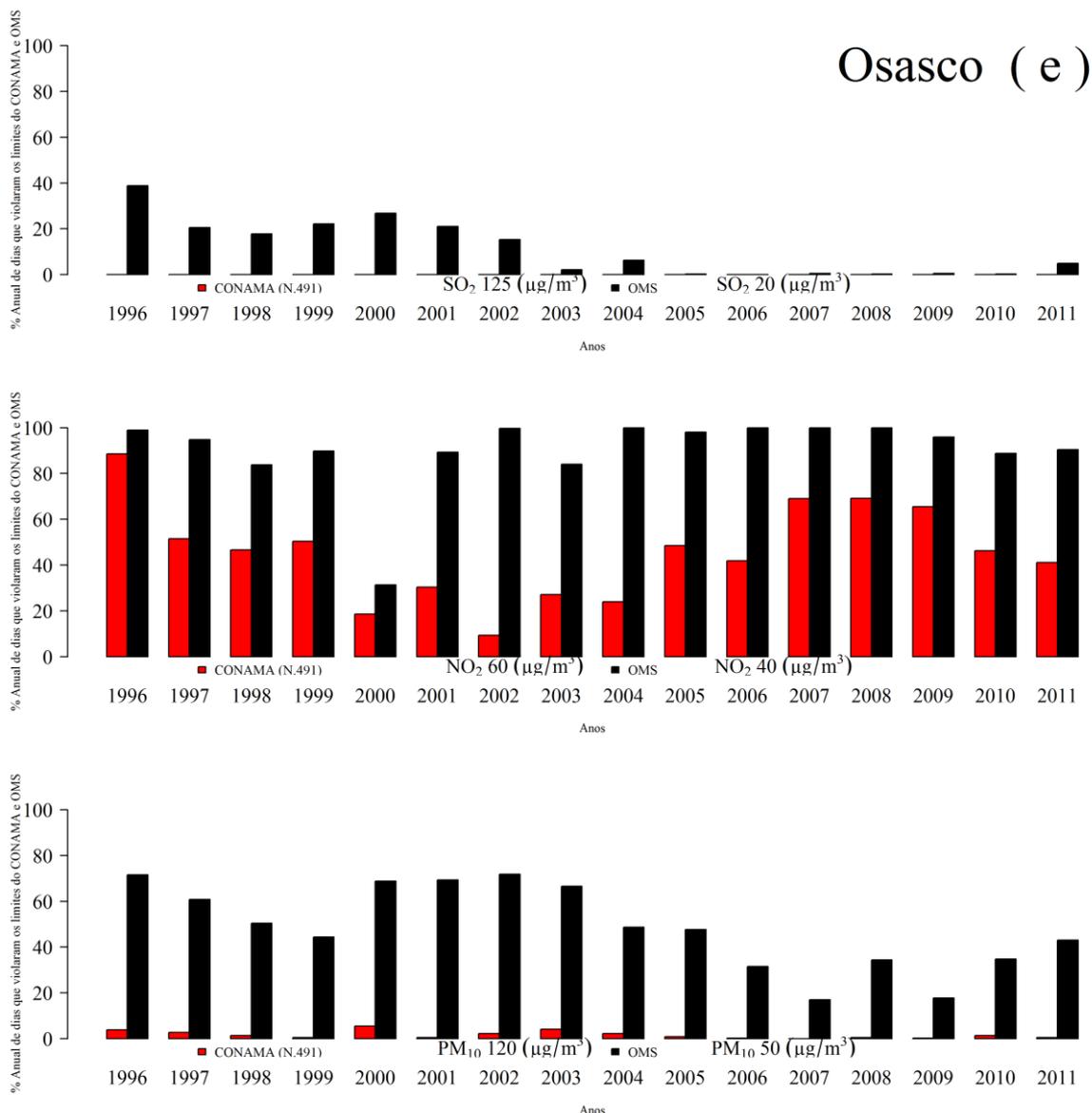
A análise das emissões de (SO_2 , NO_2 , PM_{10}) da estação de Cubatão Vila Parisi Figura 12 (d), segundo os critérios da OMS, revelou que em relação ao SO_2 , os maiores percentuais anuais de dias de violações no intervalo de 46,17% a 63,01% ocorreram nos anos de 1998 a 2002 e de 2004, 2006 e 2009, porém, percentuais anuais de dias de violações no intervalo de 24,4% a 35,5% foram registrados nos anos de 1996, 1997 e 2003 a 2008 e 2010 a 2011, Figura 12 (d). Em que, observa-se comportamento semelhante quanto aos registros de percentuais anuais de dias de não violações das emissões do SO_2 na estação de Cubatão Vila Parisi Figura 12 (d), em relação às estações de Cerqueira César Figura 12 (a) e Cubatão

Centro Figura 12 (c), onde em nenhum dos anos da série temporal de 1996 a 2011 não violaram as emissões de SO₂ nas respectivas estações, segundo os critérios do CONAMA.

A análise do NO₂ Figura 12 (d) para a estação de Cubatão Vila Parisi indicou que os anos de 1996 a 2007 registraram percentuais anuais de dias de violações superiores a 70%, seguidos de baixos percentuais de violações no período de 2008 (56,83%), 2009 (36,16%), 2010 (55,07%) a 2011 (66,03%) tendo por base o critério da OMS, em relação ao critério CONAMA, os menores percentuais anuais de dias de violações do dióxido de nitrogênio menor que 3%, ocorreram nos anos de 1996 (2,19%), 2007 (1,37%), 2008 (2,73%) a 2009 (3,01%) e superiores a 6% nos anos de 1997 a 2006 e de 2010 a 2011 com percentuais de violações que variam entre 6,03% a 26,23%.

Quanto ao material particulado (PM₁₀), a análise na Figura 12 (d), mostra que, em todos os anos da série temporal, os percentuais de violações foram superiores a 65%, foram observados nos anos de 1999 (67,67%), 2000 (77,05%) e 2009 (73,97%), neste contexto destacam-se os anos de 1996 a 1998, e de 2001 a 2011, com percentuais de violações elevados de 80,00% a 89,34%, segundo critério da OMS. Porém, com base no critério do CONAMA, foram observados em toda a série temporal baixos percentuais anuais de violação dos limites de PM₁₀, em que se destaca os anos de 1999 (5,75%), 2000 (7,65%), 2001 (5,75%), 2002 (3,84%) e 2009 (2,47%), seguidos por valores acima de 10% nos anos de 1996 (10,93%), 1997 (11,78%), 1998 (10,68%), e de 2003 (18,63%) a 2008 (16,94%) e 2010 e 2011 ambos com o mesmo valor (10,96%).

Figura 12 (e): Percentuais (%) Anuais de Dias de Violações dos Limites de (SO_2 , NO_2 , PM_{10}), segundo CONAMA e OMS, na estação de qualidade do ar de Osasco, no estado de São Paulo, período de 1996-2011



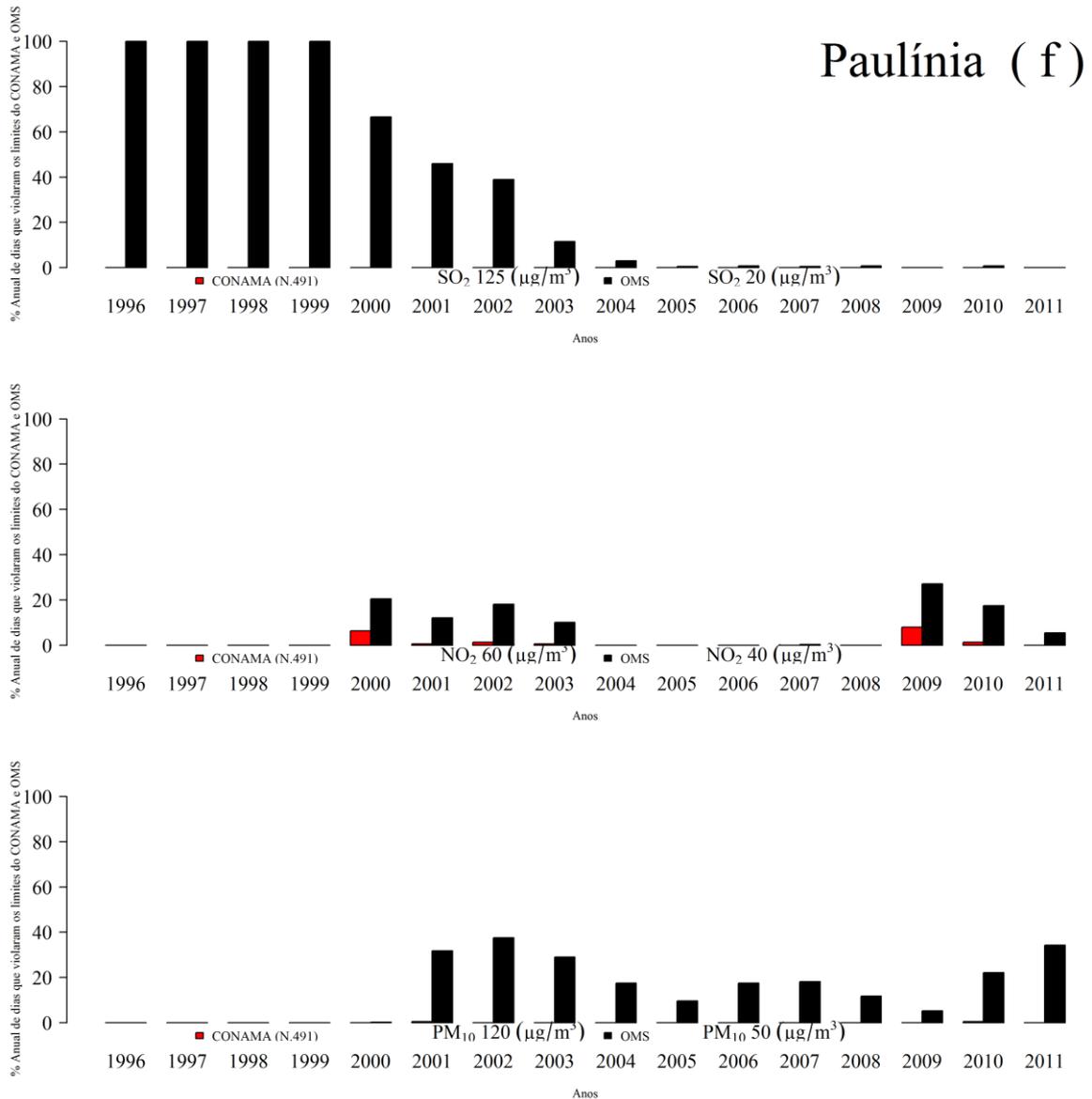
A análise das emissões de poluição atmosférica do SO_2 na estação de Osasco Figura 12 (e) mostrou um comportamento semelhante ao observado na estação Cerqueira César Figura 12 (a), em que a percentuais anuais de dias de violações superiores a 10% foram observados nos respectivos anos de 1996 (34,15%), 1997 (22,47%), 1998 (18,63%), 1999 (30,41%), 2000 (26,50%), 2002 (13,42%) e 2004 (13,66%), em contra partida, os menores percentuais anuais de dias de violações ocorreram nos anos de 2001 (5,59%), 2003 (5,75%), 2005 (1,10%), 2006 (0,27%), 2007 (2,47%) e 2008 (1,37%), seguidos dos anos de 2009, 2010 e 2011 ambos com valores iguais a 0,00%, segundo o critério da OMS. Porém, com base no

critério do CONAMA, um comportamento igual, foi observado nas estações de Cerqueira César, Cubatão, Cubatão Vila Parisi e Congonhas, em que não foram constados registros de violações dos limites do dióxido de Enxofre (SO_2) nas séries temporais analisadas.

Para a análise de NO_2 , Figura 12 (e), observa-se que os anos de 2004, 2006, 2007 e 2008 apresentaram percentuais anuais dias de violações de 100%, situação diferente foi registrada no ano de 2000, com percentual de 31,42% de violações dos limites de NO_2 sendo este o menor percentual anual de dias de violações da série temporal, porém, nos demais anos observa-se percentuais de violações elevados, ou seja, acima dos 80% Figura 12 (e), conforme o critério da OMS, porém quando o critério do CONAMA, os anos de 1996 a 1999 e de 2005 a 2011 apresentaram percentuais de violações dos limites do NO_2 superiores a 40%, neste contexto vale ressaltar os anos de 1996 (88,52%), 2007 (69,04%), 2008 (69,13%), e 2009 (65,48%), bem como o ano de 2002 com o menor percentual de violações 9,32%.

Com relação ao material particulado (PM_{10}) segundo o critério da OMS, Figura 12 (e), evidencia que, o maior percentual de violação dos limites do poluente em estudo foi superior a 60% nos anos de 1996 (71,58%), 1997 (60,82%), 2001 (69,32%), 2002 (71,78%) e 2003 (66,58%). Sendo os menores valores percentuais de violações registrados em 2007 (16,99%) e 2009 (17,81%), entretanto, em relação à norma do CONAMA, foram observados baixos valores dos percentuais de violações dos limites do PM_{10} na série temporal, sendo destaque os anos de 1999, 2001, 2008 e 2011 com percentuais iguais a 0,55%, seguidos pelos de 2006 e 2009 com 0,27%, e 2007 que não registrou nenhuma violação do PM_{10} .

Figura 12 (f): Percentuais (%) Anuais de Dias de Violações dos Limites de (SO₂, NO₂, PM₁₀), segundo CONAMA e OMS, na estação de qualidade do ar de Paulínia, no estado de São Paulo, período de 1996-2011



A análise das emissões de poluentes atmosféricos para a estação de Paulínia Figura 12 (f) mostrou em relação SO₂, a ocorrência de percentuais de violações iguais a 100% segundo o critério da OMS nos anos de 1996 a 1999, porém, percentuais de violações entre 10% e 70% foram registrados nos anos de 2000 a 2002.

Entretanto, percentuais de violações inferiores a 3% foram registrados no período de 2004 a 2011 Figura 12 (f), não sendo registrados violações de SO₂ nos anos de 2009 e 2011. Quando aplicados os critérios do CONAMA, não são identificados registros episódios de violações dos limites do SO₂.

Em relação ao NO_2 a análise Figura 12 (f), indica baixos percentuais anuais violações nos anos de 2000, 2001, 2002, 2003 e 2007, 2009, 2010 e 2011. Porém, ressaltar-se que, os demais anos da série temporal não registraram percentuais de violações dos limites de NO_2 segundo o critério adotado pela OMS. Entretanto, quando adotado o critério do CONAMA, a foram observados na Figura 12 (f), a ocorrência de percentuais de violações muito baixo nos respectivos anos de 2000, 2001, 2002, 2003 e de 2009 a 2010 em que os demais anos da série em estudo não registram percentuais de violações dos NO_2 .

Em relação ao material particulado (PM_{10}), a análise Figura 12 (f), também, registrou baixos percentuais de violações, com valores superiores a 30% nos anos de 2001 (31,78%), 2002 (37,53%) e 2011 (34,25%), bem menores nos anos de 2000, 2004 a 2009, neste contexto, observa-se que os anos de 1996, 1997, 1998 e 1999 não registraram violações do PM_{10} , conforme o critério da OMS. Todavia, a análise do PM_{10} Figura 12 (f), com base no critério CONAMA, mostrou que apenas os anos de 2001 e 2010 registraram um percentual anual de dias que violara em 0,55% os critérios de limites estabelecidos pelo CONAMA para o (PM_{10}), nos demais anos da série temporal não foram registros violações dos limites de material particulado (PM_{10}) na estação de Paulínia.

Em todas as estações analisadas neste trabalho, foi constatado uma redução substancial dos níveis de concentração de dióxido de Enxofre (SO_2) a partir do ano de 2005, de acordo com Zeri et al., 2015, este fato está diretamente relacionado com a inserção dos carros com motorização flex no Brasil, ou seja, carros equipados com motores capazes de funcionar com gasolina ou álcool em qualquer proporção, estes começaram a ser fabricados no Brasil em 2003, em 2005 já respondiam por 60% das vendas de veículos na país, o fato de São Paulo ser o maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil faz com que o álcool seja o mais barato do país, consequentemente o combustível tem a preferência do motorista na hora de abastecer, em 2009 os carros flex já respondiam por 80% dos licenciamentos de veículos novos no estado de São Paulo, por outro lado, o SO_2 registrado nas estações de monitoramento da qualidade do ar de Cubatão Centro e Cubatão Vila Parisi, não apresentaram queda tão significativa quanto às demais regiões estudadas, fato que está intimamente ligado ao complexo petroquímico localizado na cidade, uma vez que, o mesmo possui intensa atividade industrial.

Essa atividade industrial está relacionada com a manutenção das concentrações de material particulado (PM_{10}) nas estações de monitoramento da qualidade do ar de Cubatão Vila Parisi e Osasco, regiões muito industrializadas, situação semelhante ocorre na estação de Congonhas, porém neste contexto a presença de PM_{10} pode estar relacionada com o aeroporto e o tráfego de aeronaves, uma vez que estas necessitam de muito querosene para funcionar, os

níveis de concentração do NO_2 , nas estações de Cerqueira César, Congonhas, Cubatão Vila Parisi e Osasco se mantiveram altos, segundo Júnior et al., 2008 este fato sugere intensa movimentação de veículos automotores, especialmente os movidos a Diesel (ônibus e caminhões), ainda em relação ao NO_2 detectado nas estações acima citadas, indo de encontro as afirmações de Carvalho et al., 2015, as concentrações do poluente (NO_2) podem ser diretamente influenciadas pela temperatura do ar, umidade e velocidade dos ventos, além disso, os ciclos de energia solar, fatores antropogênicos (trânsito e atividades industriais).

6.5 TENDÊNCIAS DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS (SO_2 , NO_2 E PM_{10}) NAS ESTAÇÕES DE QUALIDADE DO AR DO ESTADO DE SÃO PAULO.

A análise das tendências e do ponto de inflexão dos valores das concentrações do SO_2 , NO_2 e PM_{10} nas estações de monitoramento da qualidade do ar atmosférico de Cerqueira César, Congonhas, Cubatão Centro, Cubatão Vila Parisi, Osasco e Paulínia, evidencia que de forma geral a tendência é de queda em todas as estações e em todos os poluentes nos anos da série temporal em estudo, o que pode ser conferido na Tabela 32 abaixo, situação que não se repete em Cubatão Centro para o óxido de nitrogênio (NO) no ano de 2001, Cubatão Vila Parisi para o material particulado (PM_{10}) no ano de 2003 e em Osasco para o dióxido de nitrogênio (NO_2) no ano de 1999.

Em relação aos pontos de mudanças bruscas, determinados pelo teste de Pettitt, destaque para os anos de 2003 e 2004 nos quais foram registrados 6 episódios de mudanças bruscas em cada ano, seguidos por 1999 com 3 mudanças bruscas, 2002, 2005 e 2006 com 2 mudanças e por fim 1998, 2001 e 2007 com apenas uma mudança brusca cada na tendência da série temporal.

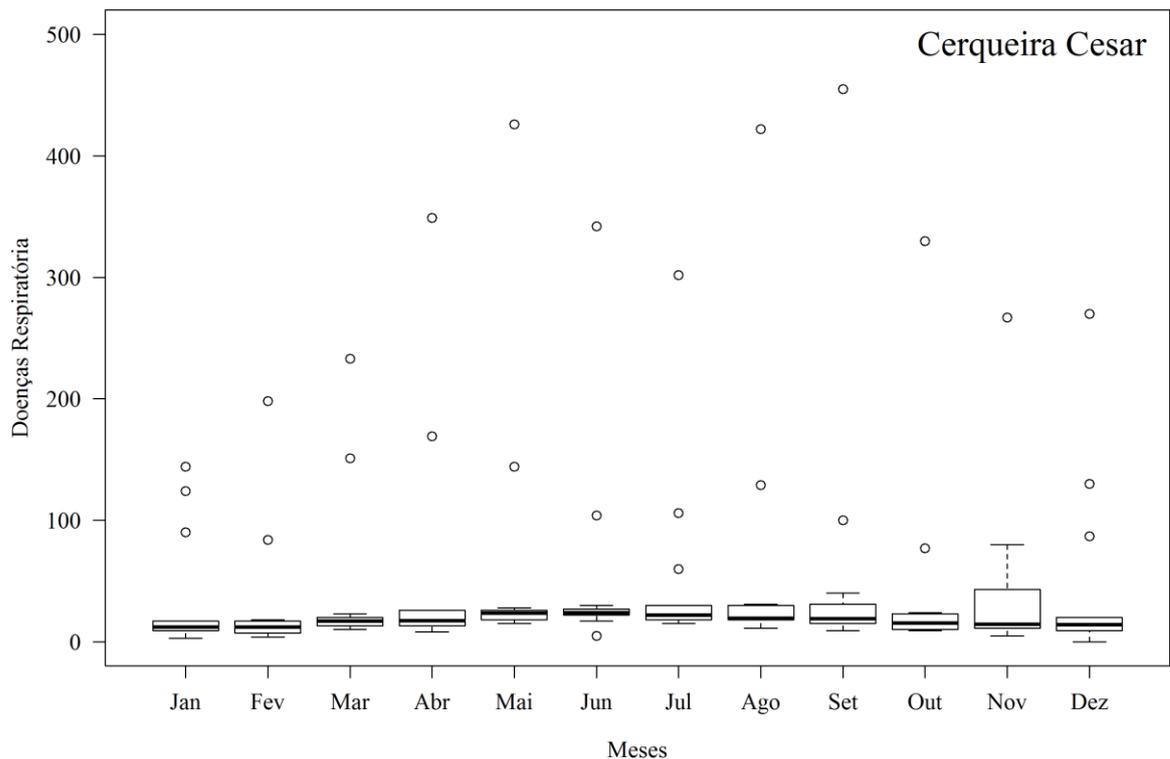
Tabela 8: Análise estatística da tendência e detecção dos anos e meses de mudanças bruscas nos valores dos poluentes atmosféricos, pelos testes não paramétricos de Mann-Kendall (MK), Método de Sen (S_e) e Pettitt (P) para o período de 1996-2011

LOCALIDADE	POLUENTES	MANN-KENDALL (MK)			CURVATURA	PETTIT (P)	
		Z	τ	P.Valor	SEN (S_e)	ANOS	MÊS
CERQUEIRA CESA	PM ₁₀	-	-0,2545	0,0000	-0,0704	2003	OUT
	NO	-	-0,3255	0,0000	-0,2214	1999	MAI
	NO ₂	-	-0,3298	0,0000	-0,1107	2003	SET
	SO ₂	-	-0,5955	0,0000	-0,0736	2004	SET
CUBATÃO CENTRO	PM ₁₀	-	-0,1774	0,0003	-0,0305	2001	AGO
	NO	+	0,2204	0,0000	0,0524	2002	JAN
	NO ₂	-	-0,1888	0,0001	-0,0559	2002	JUN
	SO ₂	-	-0,3443	0,0000	-0,0559	2003	AGO
CONGONHAS	PM ₁₀	-	-0,4038	0,0000	-0,1570	2003	OUT
	NO	-	-0,3863	0,0000	-0,2672	2006	OUT
	NO ₂	-	-0,1755	0,0003	-0,0913	1998	DEZ
	SO ₂	-	-0,5875	0,0000	-0,1101	2005	JUN
CUBATÃO VILA PARISI	PM ₁₀	+	0,0249	0,6085	0,0104	2003	JAN
	NO	-	-0,0226	0,6419	-0,0154	2007	JAN
	NO ₂	-	-0,1822	0,0002	-0,0375	2005	SET
	SO ₂	-	-0,1023	0,0353	-0,0237	2006	SET
OSASCO	PM ₁₀	-	-0,2738	0,0000	-0,0996	2004	SET
	NO	-	-0,2286	0,0000	-0,1338	1999	SET
	NO ₂	+	0,0127	0,7953	0,0029	1999	OUT
	SO ₂	-	-0,5231	0,0000	-0,0683	2004	SET
PAULÍNIA	PM ₁₀	-	-0,0166	0,7327	-0,0045	2003	OUT
	NO	-	-0,1804	0,0002	-0,0221	2004	MAI
	NO ₂	-	-0,0907	0,0619	-0,0138	2004	SET
	SO ₂	-	-0,3015	0,0000	-0,0330	2004	MAI

6.6 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS DE DOENÇAS RESPIRATÓRIAS NAS CIDADES ONDE ESTÃO LOCALIZADAS AS ESTAÇÕES DE QUALIDADE DO AR DO ESTADO DE SÃO PAULO.

6.6.1 Cerqueira César

Figura 13: Estatística exploratória dos dados de Doenças Respiratórias na cidade de Cerqueira César, estado de São Paulo

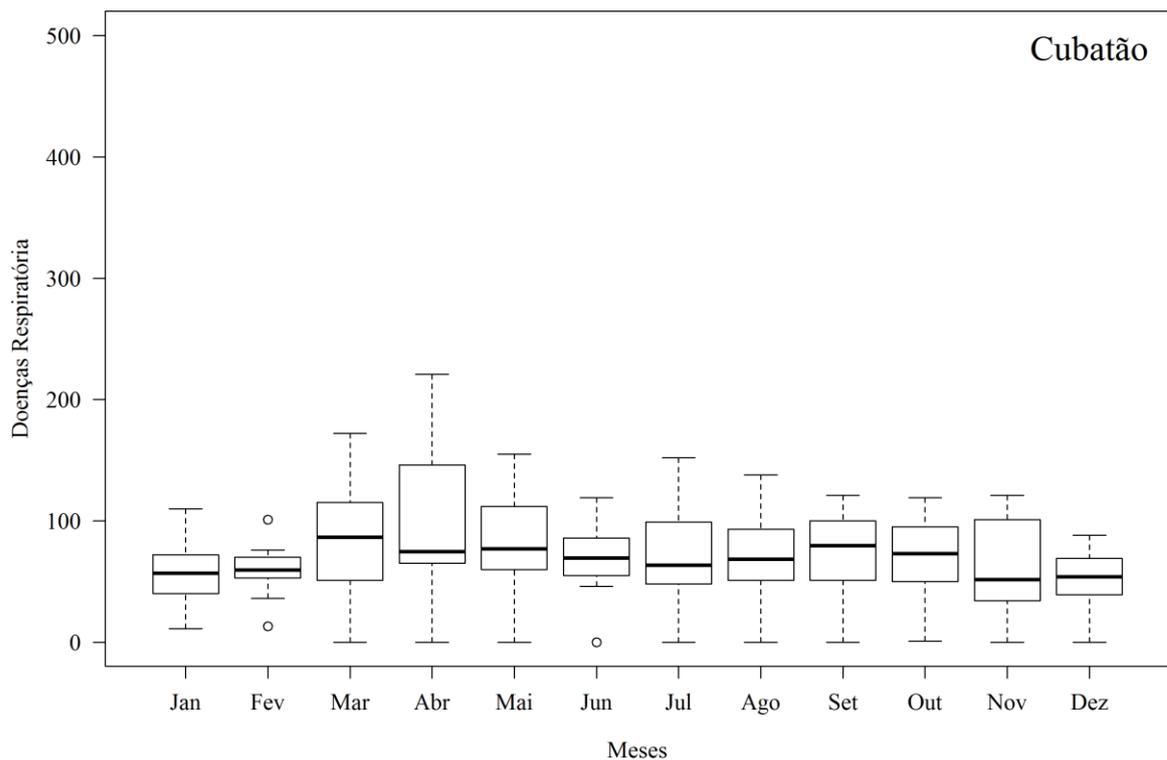


A análise exploratória dos dados de doenças respiratórias na cidade de Cerqueira César, Figura (13), mostra alta variabilidade por conta da presença de pontos discrepantes (*outliers*) em toda a série, neste contexto, destaque para o acumulado do mês de janeiro e dezembro, os valores relativamente baixos podem estar ligados ao fato que a cidade de Cerqueira César possui a menor população dentre todas que compõem o estudo, cerca de 19.495 habitantes (IBGE, 2018), os valores máximos registrados foram vistos nos meses de setembro, maio e agosto, com 455, 426 e 422 casos respectivamente, o que pode ser explicado pelo tempo frio inerente a estes meses do ano, o que por sua vez propicia a inversão térmica e consequentemente aumenta os casos de doenças decorrentes da poluição (CUNHA, 2002), por outro lado, os valores mínimos foram registrados nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e novembro, com valores de 0, 3, 4 e 5 casos respectivamente, o que pode ser explicado pelo

fato que, nestes meses o tempo se caracteriza pelas fortes e constantes chuvas, o que por sua vez, promove a dispersão dos poluentes, bem como a melhoria do ar atmosférico, consequentemente reduz os casos de doenças respiratórias (ALMEIDA, 1999). A amplitude interquartílica variou entre 4,50 (junho) e 25,25 (novembro), o que confirma a alta variabilidade anteriormente citada, as médias variaram entre 29,21 (fevereiro) e 59,14 (maio), em relação às medianas, a variação de 12,00 (janeiro e fevereiro) e 24,00 (junho), por fim a análise em questão revela uma variação do desvio padrão de 47,85 (janeiro) e 117,06 (setembro).

6.6.2 Cubatão

Figura 14: Estatística exploratória dos dados de Doenças Respiratórias na cidade de Cubatão, estado de São Paulo

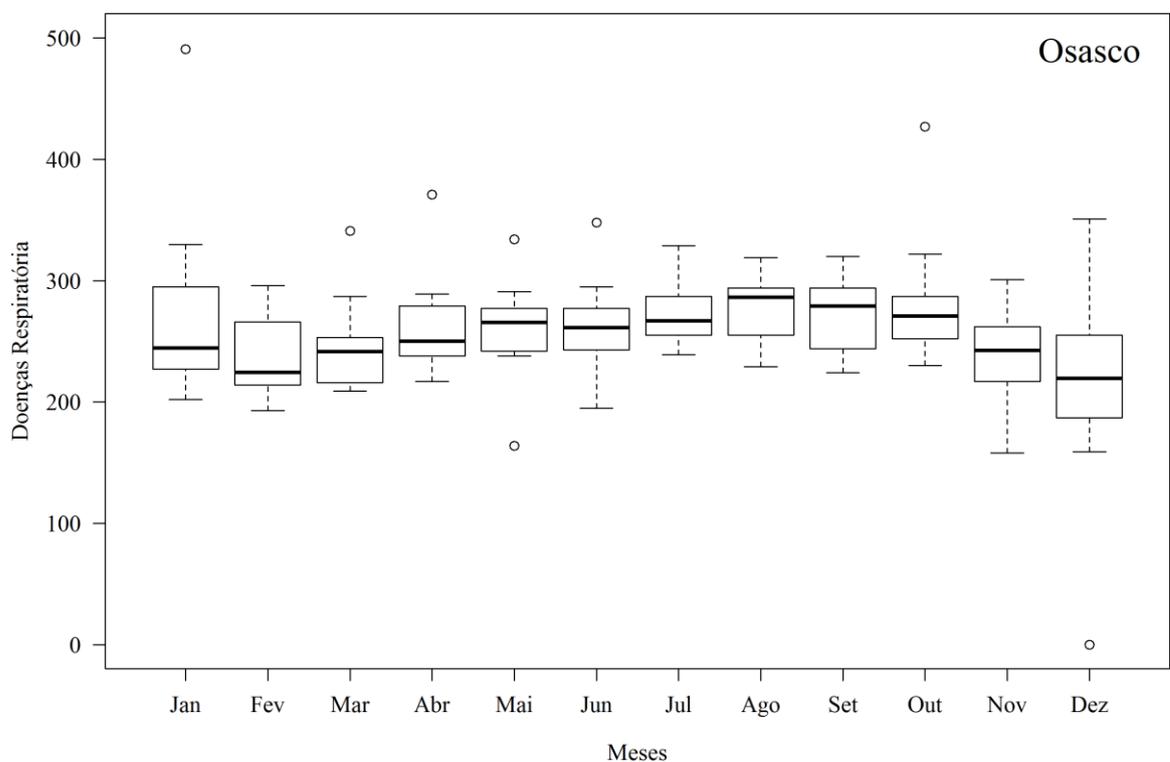


A análise exploratória dos dados de doenças respiratórias na cidade de Cubatão, Figura (14), demonstra que neste caso a variabilidade não foi relevante, ou seja, não apresenta grandes discrepâncias, o que pode ser constatado pela ausência de *outliers*, os valores máximos registrados foram de 172 e 221, e, março e abril respectivamente, em relação aos valores mínimos, o destaque fica por conta do fato que, de março a setembro, bem como novembro a dezembro os valores foram de 0,0. A amplitude interquartílica variou entre 16,00

em fevereiro e 79,50 em abril, neste contexto, vale ressaltar à elevada AIQ de novembro (65,25), as maiores médias e medianas foram registrada em abril (102,430) e em maio (86,50) respectivamente, por outro lado, as menores médias e medianas foram observadas em dezembro (51,43) e novembro (51,50), por fim, a análise mostra que o desvio padrão varou entre 20,38 (fevereiro) e 59,74 (abril).

6.6.3 Osasco

Figura 15: Estatística exploratória dos dados de Doenças Respiratórias na cidade de Osasco, estado de São Paulo

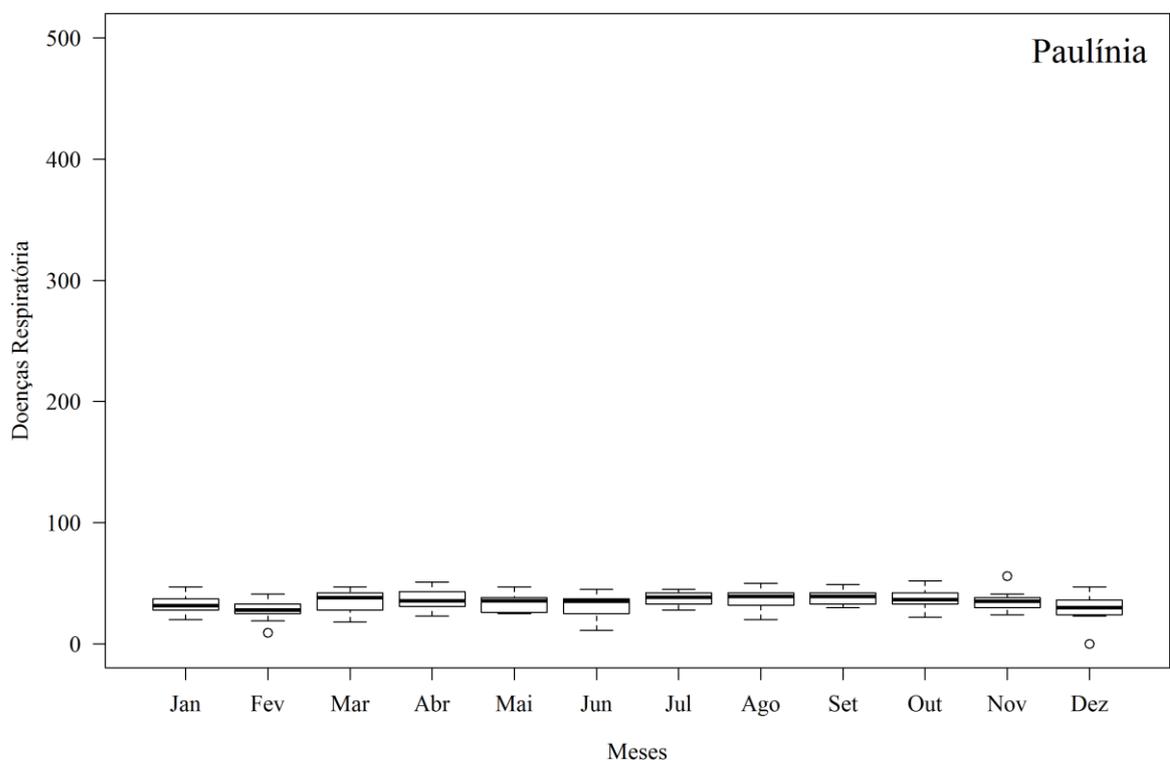


A análise exploratória dos dados de doenças respiratórias na cidade de Osasco, Figura (15), mostra valores mais elevados em relação às demais cidades objetos do presente estudo, o que pode estar relacionado com o fato que Osasco tem a maior população (697.886 habitantes) das anteriormente citadas cidades (IBGE, 2018), além disso, se pode observar pontos discrepantes (*outliers*) nos meses de janeiro, março, abril, maio, junho e outubro, o denota alta variabilidade nestes meses, os valores máximos registrados estiveram presentes em Janeiro e outubro (491,00 e 427,00 respectivamente), neste contexto, vale ressaltar que em todos os demais meses da série os valores máximos foram superiores a 300,00 (exceção de fevereiro com 296,00). No que se refere a amplitude interquartílica, a variação ficou entre

59,75 (janeiro) e 32,50 (junho), aqui destaca-se também o mês de dezembro (57,25), em relação as médias e medianas, os maiores valores foram vistos em agosto (277,43 e 286,50), por outro lado, os menores valores forma vistos em dezembro (215,00 e 219,50), finalizando a análise em questão, pode-se observar uma variação entre 27,70 em julho e 78,55 em dezembro.

6.6.4 Paulínia

Figura 16: Estatística exploratória dos dados de Doenças Respiratórias na cidade de Paulínia, estado de São Paulo



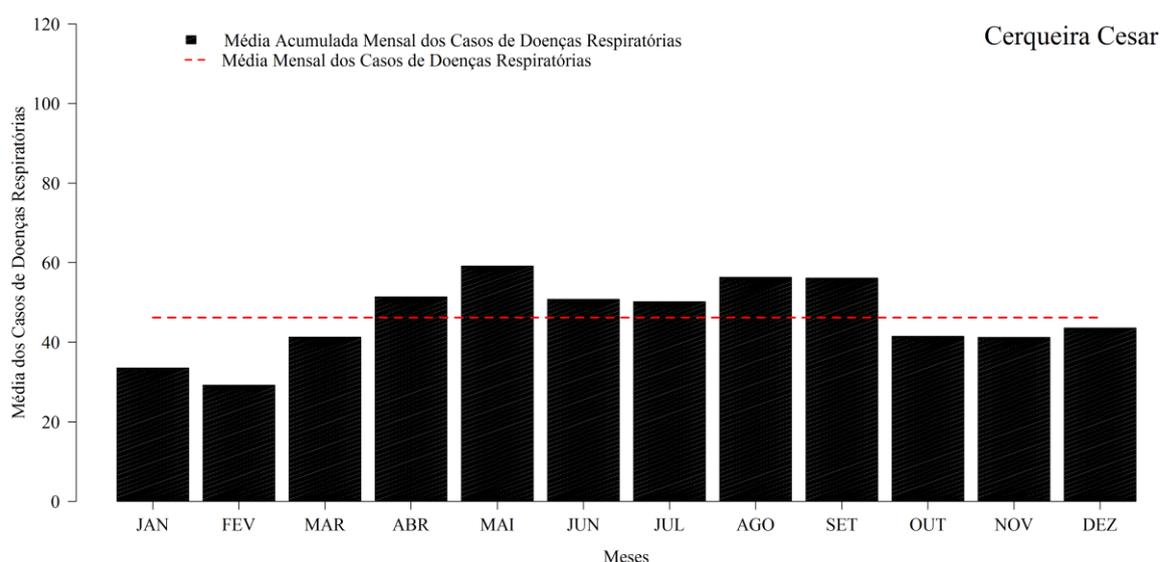
A análise exploratória dos dados de doenças respiratórias na cidade de Paulínia, Figura (16), evidencia pouca variabilidade, o que pode ser confirmado pela ausência de *outliers* na série temporal em estudo, situação diferente ocorre apenas em fevereiro, novembro e dezembro, o maior valor registrado foi em novembro (56,00), neste contexto, vale ressaltar que os valores máximos foram bem próximos, variando entre 41,00 e 56,00, em relação aos valores mínimos, destaque para dezembro (0,0), no que se refere ao AIQ, os valores estiveram fixados entre 7,25 (novembro) e 13,00 (março), corroborando com a baixa variabilidade constatada no início da análise, analisando as médias e medianas, os maiores valores foram observados em setembro (38,14 e 39,00 respectivamente), por outro lado, os menores valores

se deram em fevereiro (27,93 e 28,00 respectivamente), por fim, em relação ao desvio padrão, a análise mostra que os mesmos variaram entre 5,39 no mês de julho e 10,80 no mês de dezembro.

6.7 ANÁLISE DAS MÉDIAS ACUMULADAS MENSIS DOS CASOS DE DOENÇAS RESPIRATÓRIAS NAS CIDADES ONDE ESTÃO LOCALIZADAS AS ESTAÇÕES DE QUALIDADE DO AR DO ESTADO DE SÃO PAULO.

6.7.1 Cerqueira César

Figura 17: Média acumulada mensal dos casos de doenças respiratórias na cidade de Cerqueira César, estado de São Paulo

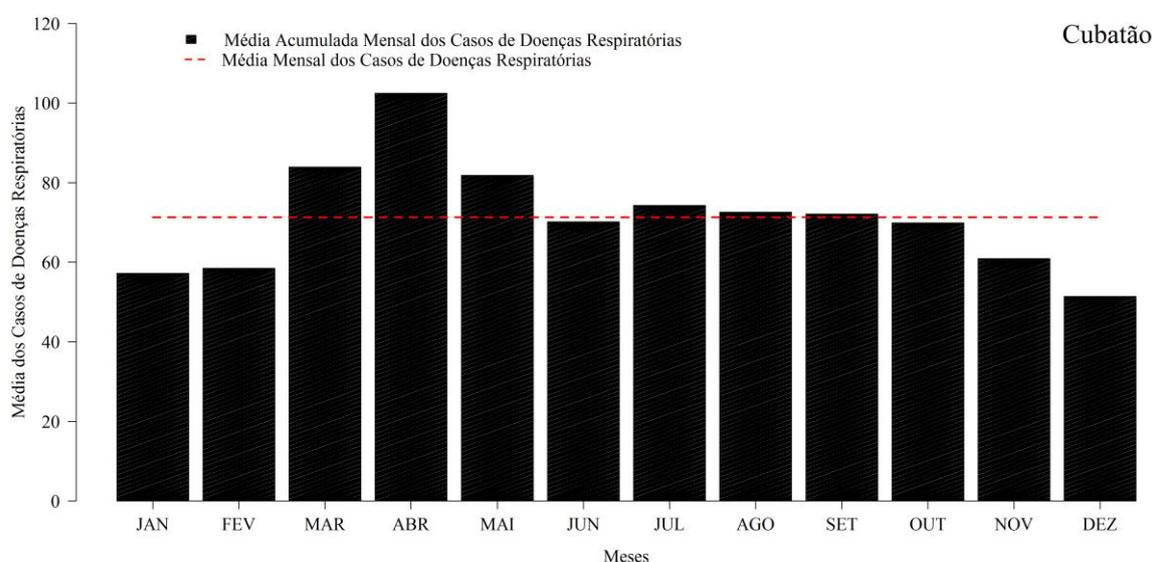


A análise das médias mensais acumuladas dos casos de doenças respiratórias na cidade de Cerqueira César, Figura (17), demonstra que nos meses de abril, maio, junho, julho, agosto e setembro, os valores registrados estiveram acima da média (46,20), neste contexto destaque para maio, com o maior valor de média acumulada em toda a série (59,0) o que significa 28% acima da média, estes valores altos neste período, podem ser explicados pelo fato que, o tempo nestes meses é frio e seco, condições (poucos ventos e baixas temperaturas) que favorecem a concentração dos poluentes, conseqüentemente a proliferação de doenças respiratórias, por outro lado, nos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, os valores registrados estiveram abaixo da média anteriormente citada, destaque para fevereiro, que registrou o menor valor de média acumulada em toda a série (29,0), o que por sua vez, configura valor 37% inferior à média, o que pode ser explicado pelo fato que o tempo

nestes meses do ano favorece a dispersão dos poluentes atmosféricos (índices pluviométricos elevados, alta umidade relativa do ar), sendo assim, ocorre melhoria da qualidade do ar atmosférico e conseqüentemente redução dos casos de doenças respiratórias.

6.7.2 Cubatão

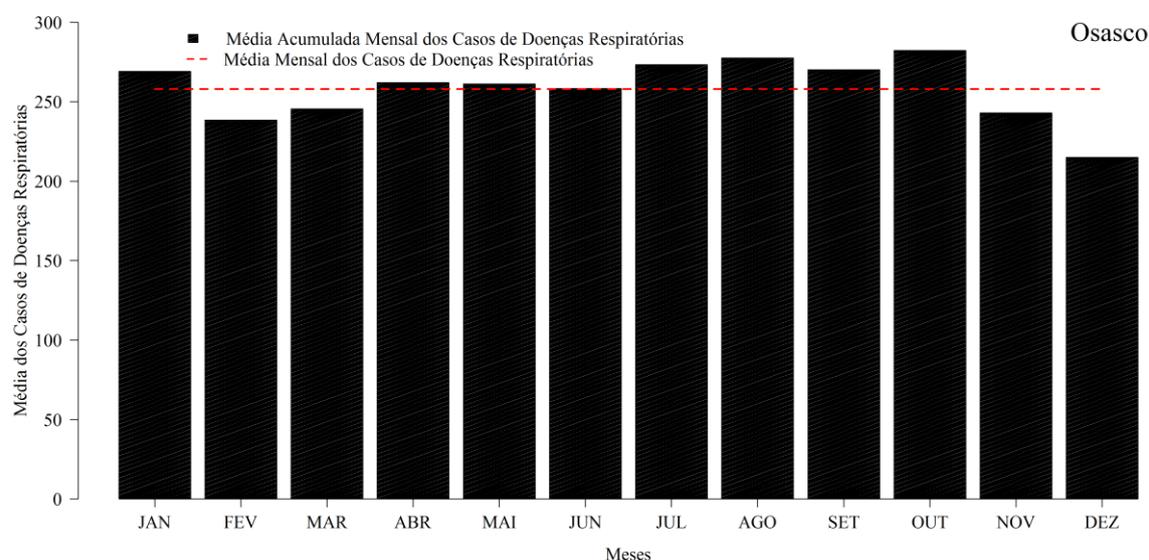
Figura 18: Média acumulada mensal dos casos de doenças respiratórias na cidade de Cubatão, estado de São Paulo



A análise das médias mensais acumuladas dos casos de doenças respiratórias na cidade de Cubatão, Figura (18), demonstra que os meses de março, abril e maio os valores das médias acumuladas foram significativamente acima da média da série temporal (71,26), sendo março 15,09%, abril 30,40% e maio 12,86% acima da média da série, fato que, pode estar relacionado com o tempo seco e frio, além disso, pelo alto grau de industrialização da cidade, o que favorece a inversão térmica, a análise revela ainda que os valores de julho a setembro foram superiores a média, por outro lado, do período compreendido entre novembro e fevereiro os valores observados foram inferiores aos da média, neste contexto, vale ressaltar o mês de dezembro, com o menor valor registrado na série temporal em estudo (51,0) o que resulta em 28% abaixo da média, estes valores mais baixos sugerem correlação com as condições climáticas inerentes a esse período do ano (umidade relativa do ar, chuvas mais frequentes e ventos mais fortes).

6.7.3 Osasco

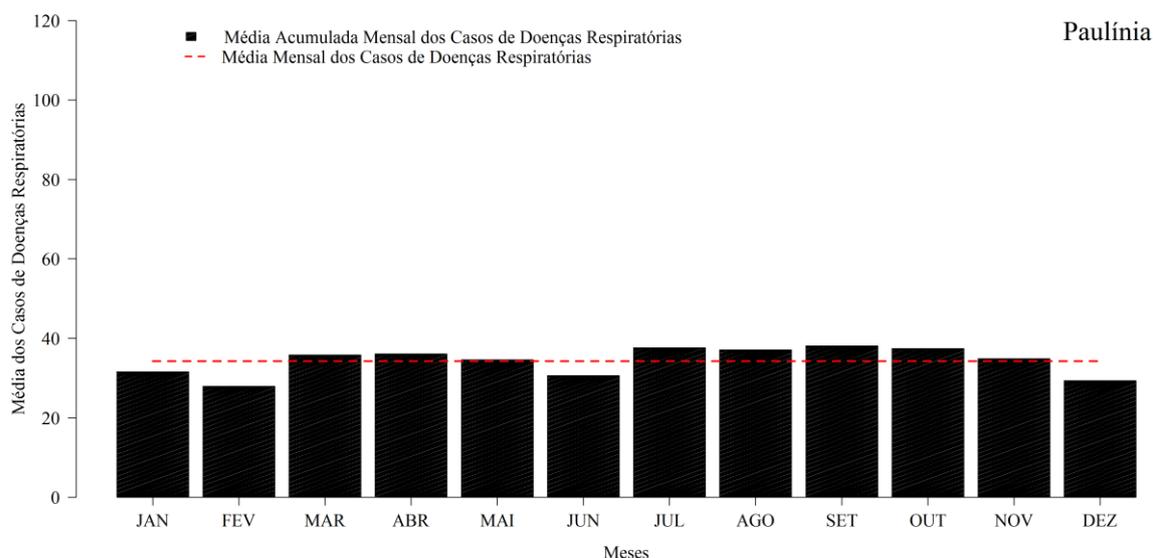
Figura 19: Média acumulada mensal dos casos de doenças respiratórias na cidade de Osasco, estado de São Paulo



A análise das médias mensais acumuladas dos casos de doenças respiratórias na cidade de Osasco, Figura (19), deixa claro que a média calculada na cidade é mais alta que as demais cidades deste estudo, o que pode ser explicado pelo fato que Osasco possui a maior população de todas as cidades com 697.886 habitantes (IBGE, 2018), nos meses de janeiro, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro os valores estiveram acima da média, aqui destaque para outubro (282,0) o que significa 12% acima da média, apesar do período em questão compreender meses que favorecem dispersão de poluentes (chuvas e ventos) quanto meses que favorecem concentração dos poluentes (baixas temperaturas e umidade do ar), os valores estiveram acima das médias (que por sua vez são elevadas), o que sugere relação com a presença de muitas indústrias na cidade, em especial ligadas ao polo petroquímico da cidade, em contrapartida, novembro, dezembro, fevereiro e março, registraram valores abaixo da média calculada na cidade, porém com destaque para dezembro (215,0) configurando valor 17% abaixo da média.

6.7.4 Paulínia

Figura 20: Média acumulada mensal dos casos de doenças respiratórias na cidade de Paulínia, estado de São Paulo

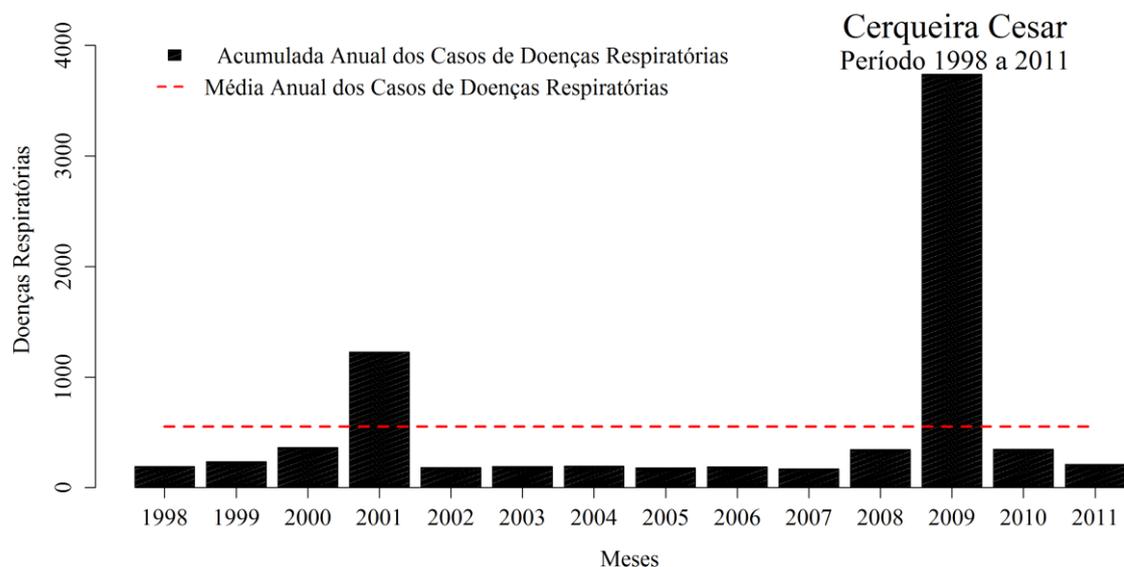


A análise das médias mensais acumuladas dos casos de doenças respiratórias na cidade de Paulínia, Figura (20), mostra que nesta cidade as médias calculadas foram as menores de toda a série temporal em estudo, apesar de a cidade abrigar a sede da Replan a maior refinaria de petróleo da América latina, o que por sua vez, faz com que a fiscalização esteja mais atuante na área, obrigando as empresas da cidade a se manterem dentro dos padrões aceitáveis de poluição, contribuindo assim com a melhora da qualidade do ar atmosférico local e reduzindo com isso as doenças na população, os meses de março, abril, maio, julho, agosto, setembro, outubro e novembro, os valores registrados foram ligeiramente superiores às médias calculadas para a cidade, vale ressaltar que julho e setembro registraram valores 11% acima das médias, por outro lado janeiro, fevereiro, junho e dezembro, registraram valores inferiores a média da cidade, neste contexto, vale ressaltar que fevereiro protagonizou o menor valor da série (28,0) que corresponde redução de 19% em relação à média da mesma, essa redução se deu em período de predominância de condições climáticas favoráveis a dispersão de poluentes (chuvas e ventos abundantes), o que corrobora com redução de doenças respiratórias na população local.

6.8 ACUMULADO ANUAL DOS CASOS DE DOENÇAS RESPIRATÓRIAS NAS CIDADES ONDE ESTÃO LOCALIZADAS AS ESTAÇÕES DE QUALIDADE DO AR DO ESTADO DE SÃO PAULO.

6.8.1 Cerqueira César

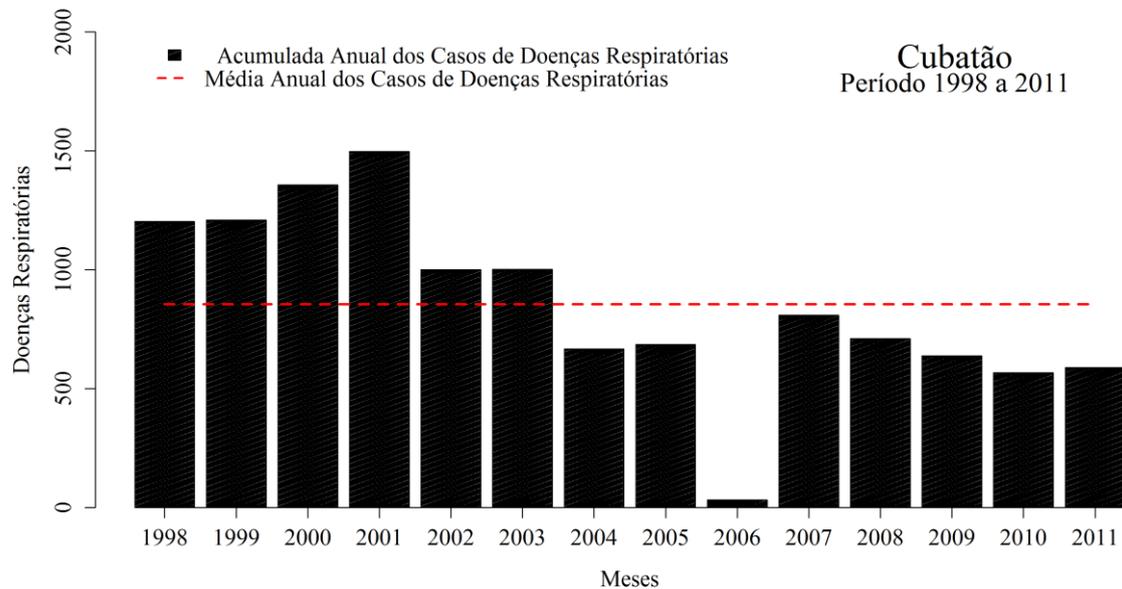
Figura 21: Acumulado Anual dos casos de doenças respiratórias na cidade de Cerqueira César, estado de São Paulo



A análise do acumulado anual de doenças respiratórias na cidade de Cerqueira César, estado de São Paulo, Figura (21), mostra claramente que 2009 foi o ano em que se registrou o maior número de casos dessas doenças em toda a série (3738 casos), seguido de 2001 com 1225 casos, o que significa um acumulado de 674,20 % e 220,95 % acima da média anual dos casos calculada no período em estudo respectivamente, por outro lado o ano de 2007 foi o que teve o menor número de casos de doenças respiratórias em Cerqueira César (169 casos), o que representa apenas 30 % da média calculada para a série temporal, nos demais anos o número de casos registrados se mantiveram abaixo da média da cidade (554,43 casos)

6.8.2 Cubatão

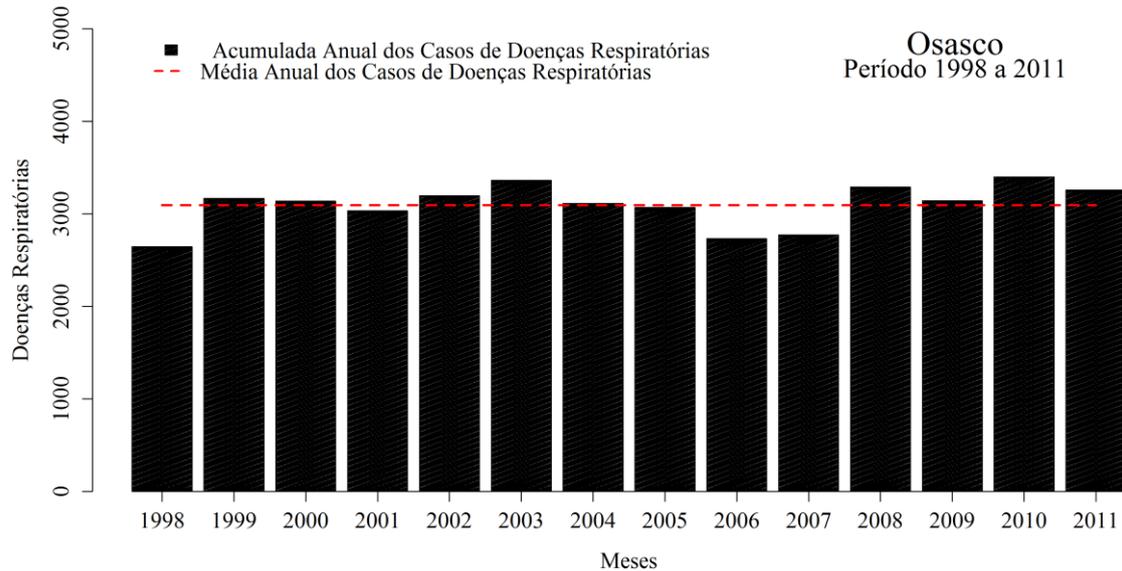
Figura 22: Acumulada Anual dos casos de doenças respiratórias na cidade de Cubatão, estado de São Paulo



A análise do acumulado anual de doenças respiratórias na cidade de Cubatão, estado de São Paulo, Figura (22), demonstra que de 1998 a 2003, o número de casos de doenças respiratórias acumuladas em um ano foi superior a média calculada (855,14 casos), neste contexto, vale ressaltar que, 2001 protagonizou a maior quantidade de casos dessas doenças na população de Cubatão (1498 casos) que representa um aumento de 175,17 % em relação à média da série temporal em estudo, em contrapartida, de 2004 a 2011, os casos registrados se mantiveram abaixo da média calculada para a série, aqui destaque para o ano de 2006 (32 casos), ou seja, uma redução de 96,25 % se comparado com a média do período.

6.8.3 Osasco

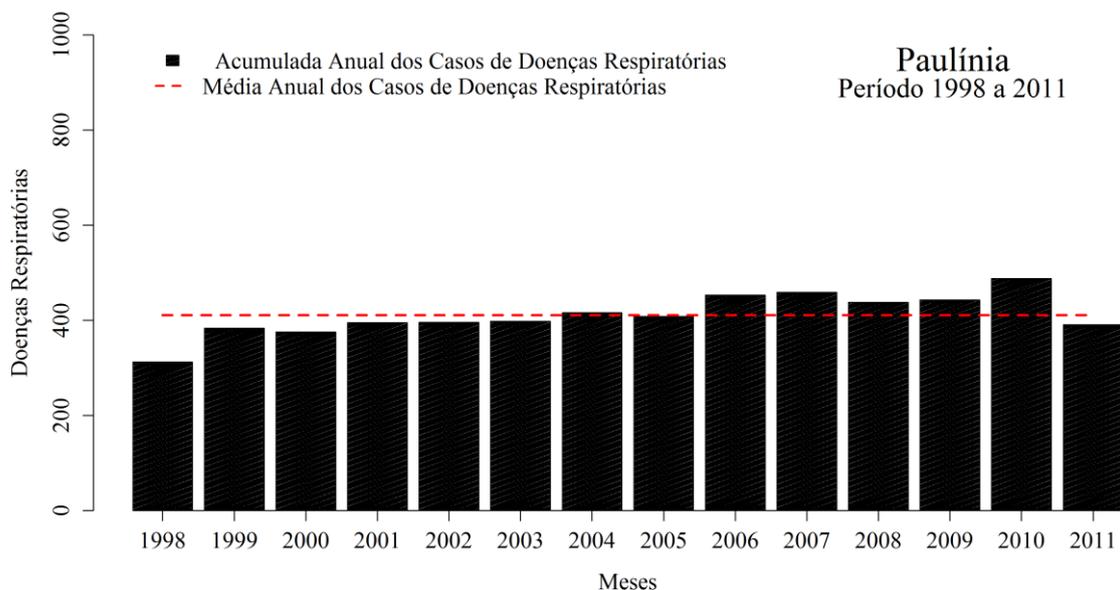
Figura 23: Acumulada Anual dos casos de doenças respiratórias na cidade de Osasco, estado de São Paulo



A análise do acumulado anual de doenças respiratórias na cidade de Osasco, estado de São Paulo, Figura (23), evidencia que, a exceção de 1998, 2006 e 2007, todos os demais anos da série registram número de casos superior a média calculada na série para Osasco (3095,57 casos), fica evidente também que, Osasco teve a maior média em todas as cidades estudadas, o que pode estar relacionado com o fato que a mesma possui a maior população entre as cidades do estudo 697.886 habitantes (IBGE, 2018), neste contexto, vale ressaltar que o ano de 2010 no qual foi visto o maior número de casos registrados de doenças respiratórias na população de Osasco (3399), ou seja, teve neste ano um aumento de 109,80 % em comparação com a média da cidade, por outro lado, 1998 teve o menor número de casos de doenças respiratórias na população local (2647), o que por sua vez, significa redução de 14,50 % em relação a média.

6.8.4 Paulínia

Figura 24: Acumulada Anual dos casos de doenças respiratórias na cidade de Paulínia, estado de São Paulo



Em relação à cidade de Paulínia, estado de São Paulo, a análise do acumulado anual de doenças respiratórias na cidade, Figura (24), mostra que os valores registrados entre 2004 e 2005 (416 e 408 casos respectivamente), estiveram próximos da média (411,29 casos), mostra ainda que, de 2006 a 2010 os valores foram superiores a média, neste contexto destaque para 2010 com 3399 casos (9,80 % acima da média), a análise em questão, por fim, mostra que de 1998 a 2003 o número de casos de doenças respiratórias na cidade foi menor que a média da mesma, destaque para 1998 (313 casos) o que representa uma redução de 23,90 % se comparado à média da cidade no período estudado.

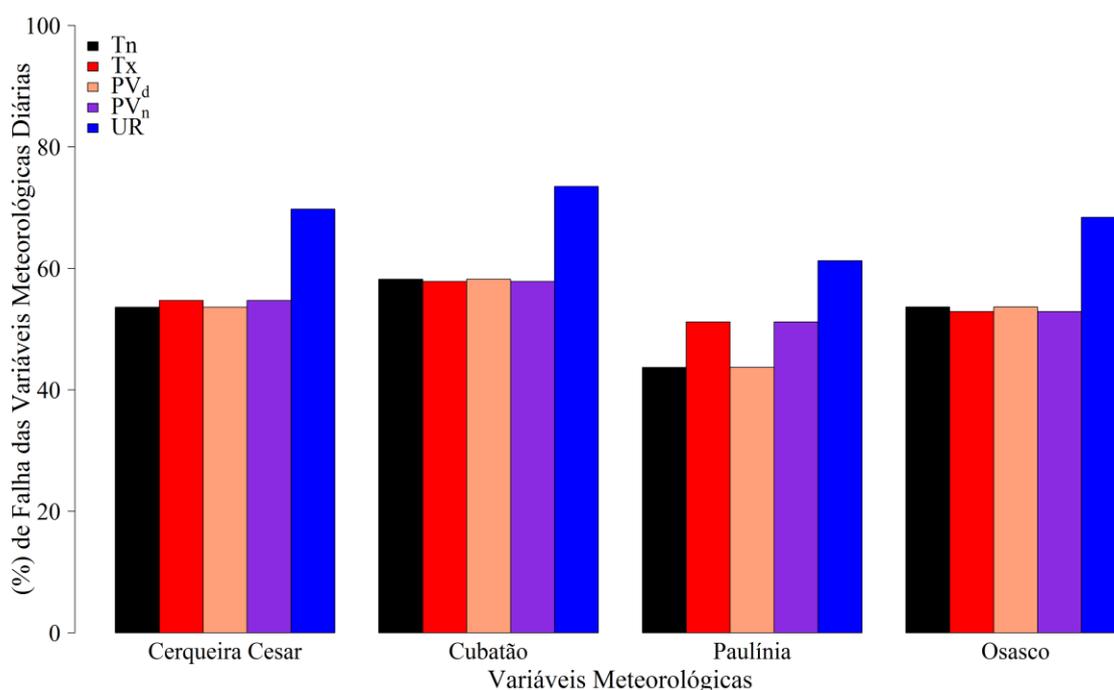
6.9 FALHAS DOS DADOS DAS VARIÁVEIS METEREOLÓGICAS (temperatura máxima e temperatura mínima, pressão de vapor diurna e pressão de vapor mínima, umidade relativa do ar)

A análise das falhas dos dados meteorológicos (variáveis meteorológicas), nas cidades de Cerqueira César, Cubatão, Paulínia e Osasco (Figura 25), no período de 2000 a 2011, mostrou que, em relação à temperatura máxima, o maior percentual de falhas foi registrado em Cubatão (58,25%) e o menor em Paulínia (43,71%), no que diz respeito à temperatura

mínima, a análise dos dados mostra um comportamento semelhante a máxima, onde o maior percentual de falhas ocorreu em Cubatão (57,86%) e o menor ocorreu em Paulínia (51,20%). As falhas dos dados de pressão de vapor diurna, nas cidades em estudo, revelam que, Cubatão teve o maior percentual de dados faltantes (58,25%), enquanto Paulínia teve o menor percentual (43,71%), para a pressão de vapor noturna, as falhas de dados seguem da mesma forma, onde Cubatão registrou o maior percentual (57,86%), enquanto Paulínia teve o menor percentual de dados faltantes (51,20%), sendo destaque à umidade relativa do ar, que apresentam os maiores percentuais de falhas nas estações de Cerqueira César (69,77%), Cubatão (73,51%), Paulínia (61,28%) e Osasco (68,45%), vale ressaltar que seguindo o mesmo comportamento das demais variáveis, Cubatão registrou o maior valor (73,51%) e Paulínia ficou com o menor percentual (61,28%).

Segundo Nunes (2007), a ocorrência de dados faltantes em estudos de séries temporais é um fato, diante disso, ocorre uma preferência por estudos feitos a partir de bancos de dados completos, porém como alternativa a esta situação, existe a imputação de dados faltantes, ou seja, técnicas que objetivam o complemento dos dados em estudo, a autora fez um comparativo entre um estudo realizado com um banco de dados completo e outro realizado com banco de dados incompleto, para tanto, a autora abordou dados de 470 pacientes cirúrgicos, dados completos, uma vez que, em casos cirúrgicos os hospitais focam nas informações sobre os pacientes, para realização do comparativo através de simulação criou outros dois bancos de dados a partir do original, no primeiro com falhas de 5% e o segundo com falhas de 20% (ambas os casos falhas provocadas), após esta fase realizou a imputação dos dados faltantes, e prosseguiu com as análises estatísticas nos três casos, concluiu que quando comparados os resultados obtidos, observa-se discrepância nos valores obtidos devido às diferenças de tamanho nos espaços amostrais, o que por sua vez, confirma que a preferência por análises baseadas em banco de dados completos pode levar a conclusões equivocadas.

Figura 25: Distribuição dos percentuais de falhas dos dados meteorológicos (temperatura máxima e temperatura mínima, pressão de vapor diurna e pressão de vapor mínima, umidade relativa do ar) no período de 2000 a 2011 nas estações de Cerqueira César, Congonhas, Cubatão Centro, Cubatão Vila Parisi, Osasco e Paulínia no estado de São Paulo.



7.0 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS DE SAÚDE, CONCENTRAÇÕES DE POLUENTES E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS DA CIDADE DE CUBATÃO

As concentrações de poluentes atmosféricos estão diretamente relacionadas com a maior parte das internações hospitalares decorrentes de doenças do aparelho respiratório, o que por sua vez, acarreta prejuízo às pessoas e aos cofres públicos, estes prejuízos são referentes aos custos do tratamento e aos dias de trabalho e/ou estudo perdidos pela população (PAIVA, 2014; OLIVEIRA, 2018). As condições climáticas (temperatura, umidade relativa do ar, precipitação e ventos) influenciam diretamente na poluição atmosférica, dentre estas o vento tem papel relevante na dispersão de poluentes e consequente melhora da qualidade do ar (ALMEIDA, 1999).

Os dados obtidos no site do DATASUS revelam que a cidade de Cubatão, no período de 2000 a 2011, em 4383 dias de observação manteve uma média de 2,18 e desvio padrão de

2,04 internações por dia decorrentes de doenças respiratórias variando entre 0 e 17 internações diárias. Além disso, é importante ressaltar 75% dos dados são inferiores a 3 internações diárias.

Os dados obtidos do produto MOD11C1 do satélite MODIS-Terra para o mesmo período, mostram que a média da temperatura em Cubatão foi 21,08 °C e o desvio padrão foi de 2,96 °C, com valor mínimo de 5,76 °C e valor máximo de 39,48 °C. Analisando a Tabela 9 observa-se ainda que, em 75% das observações e anotações os valores anotados foram inferiores a 22,16 °C, ou seja, a maior parte das anotações teve valores superiores a média do período. A média da umidade relativa do ar no mesmo período foi de 82,53% e o desvio padrão foi de 4,24%, variando entre 51,44% de valor mínimo e 100% de valor máximo, por fim a análise desta variável meteorológica mostra que em 75% das 4383 observações os valores foram menores que 83,82%. A pressão de vapor foi objeto de análise na Tabela em estudo, portanto é notável que a média desta foi de 11,35 kPa e o desvio padrão ficou em 0,88 kPa, o valor mínimo e máximo da pressão de vapor em Cubatão foi de 7,28 kPa e 17,89 kPa respectivamente, vale ressaltar que em 75% das anotações os valores observados foram inferiores a 11,66 kPa.

Por fim, a análise da Tabela 9, agora focada nos poluentes atmosféricos, através de dados fornecidos pelas estações de monitoramento da qualidade do ar de Cubatão Centro e Cubatão Vila Parisi mostra que a média do PM₁₀ foi de 81,25 µg.m⁻³ e o desvio padrão foi de 30,18 µg.m⁻³, os valores mínimo e máximo, foram 0,00 e 152,01 µg.m⁻³ respectivamente (elevada amplitude interquartílica), além disso, 75% dos dados coletados se mantiveram abaixo dos 103,06 µg.m⁻³. Para o monóxido de Nitrogênio (NO) a média ficou fixada em 56,89 µg.m⁻³ enquanto o desvio padrão foi de 29,88 µg.m⁻³, o valor mínimo observado foi de 16,68 µg.m⁻³ enquanto o valor máximo foi de 199,35 µg.m⁻³, sendo que 75% das observações foram inferiores a 73,18 µg.m⁻³. Em relação ao dióxido de Nitrogênio (NO₂) a média foi de 47,64 µg.m⁻³ enquanto o desvio padrão foi de 11,59 µg.m⁻³, o valor mínimo observado foi de 1,92 µg.m⁻³ e o valor máximo foi de 132,20 µg.m⁻³, além disso, 75% das observações foram inferiores a 54,70 µg.m⁻³. Por fim a observação da Tabela 8 mostra que o dióxido de enxofre (SO₂) teve como média 20,95 µg.m⁻³, desvio padrão de 15,66 µg.m⁻³, o valor mínimo e o valor máximo foram 0,00 e 97,86 µg.m⁻³ respectivamente, além disso, em 75% das observações a concentração do SO₂ esteve abaixo de 27,34 µg.m⁻³.

Em todos os itens analisados e elencados na Tabela 9, é notória a grande amplitude interquartílica (vista pela diferença entre o valor máximo e mínimo), com destaque para as internações diárias, PM₁₀ e SO₂ com valores mínimos de 0,00 e valores máximos

significativamente superiores às suas médias, neste contexto, vale citar que, o valor máximo das internações diárias foi 771,82%, o valor máximo do PM₁₀ foi 87,09% e o valor máximo do SO₂ foi 467,11% acima das suas respectivas médias (2,18; 81,25 e 20,95).

Tabela 9: Análise descritiva do número de internações por doenças respiratórias, variáveis atmosféricas (temperatura, umidade relativa do ar e pressão de vapor) e concentração dos poluentes atmosféricos (PM₁₀, NO, NO₂ e SO₂)

Variáveis		N*	%	Dias**	Média	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo
Internações por Doenças Respiratórias	Total	9552	100	4383	2,18	2,04	0,00	17,00
	PM ₁₀ (µg.m ⁻³)	-	-	4383	81,25	30,18	0,00	152,01
Poluentes Atmosféricos	NO (µg.m ⁻³)	-	-	4383	56,89	29,88	16,68	199,35
	NO ₂ (µg.m ⁻³)	-	-	4383	47,64	11,59	1,92	132,20
	SO ₂ (µg.m ⁻³)	-	-	4383	20,95	15,66	0,00	97,86
Variáveis Meteorológicas	Temperatura (°C)	-	-	4383	21,08	2,96	5,76	39,48
	Umidade Relativa (%)	-	-	4383	82,53	4,24	51,44	100,00
	Pressão de Vapor (KPa)	-	-	4383	11,35	0,88	7,28	17,89

N* - Número de internações por doenças respiratórias no período de 2000 a 2011 em Cubatão (SP).

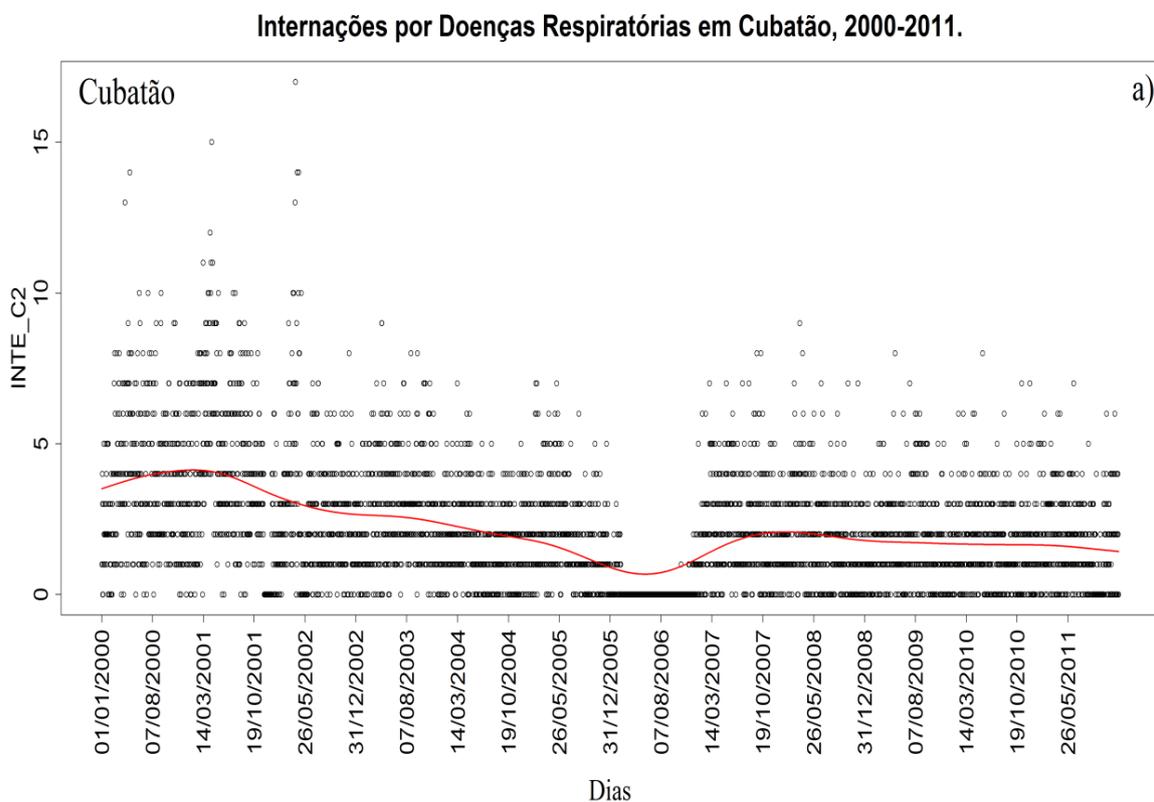
Dias** - Total de dias do período estudado, de 2000 a 2011 em Cubatão (SP).

A análise descritiva dos números referentes às internações da população de Cubatão, relacionadas com doenças respiratórias, no período de 2000 a 2011, foram suavizadas pela função *spline* do programa R, demonstra elevada variação, além disso, nota-se que entre os anos de 2000 e 2002 foram registrados os maiores valores absolutos de internações, é notável também que entre os anos de 2005 a 2007 os valores foram os menores registrados na série, após o ano de 2008 até 2011 existe uma tendência de queda, é evidente que as variações observadas na Figura 26 se devem as especificidades de cada época do ano, onde nos períodos de outono e inverno ocorre uma maior incidência de internações por estas doenças, uma vez que, temperaturas menores prejudicam a dispersão dos poluentes, principalmente quando ocorrem inversões térmicas, por outro lado, períodos de primavera e verão favorecem a dispersão dos poluentes, por conta do aumento dos índices pluviométricos e dos ventos.

Em seu trabalho de pesquisa, Tayra et al., (2012) identificaram uma tendência de queda nos números relacionados com as internações decorrentes de doenças respiratórias na

cidade de Cubatão, entre os anos de 2000 e 2009. Os autores afirmam que em 2000 o número de internações era de 1162 casos para cada 100 mil habitantes, em 2009 esses valor baixou para 469 internações a cada 100 mil habitantes (redução de 60% na quantidade de internações), os autores atribuíram esta redução ao controle mais rigoroso da poluição atmosférica e também ao aprimoramento das equipes médicas da cidade, que por sua vez estariam agindo de forma pró-ativa evitando assim as internações.

Figura 26: Análise descritiva do número de internações por doenças respiratórias na cidade de Cubatão (SP) no período de 2000 a 2011

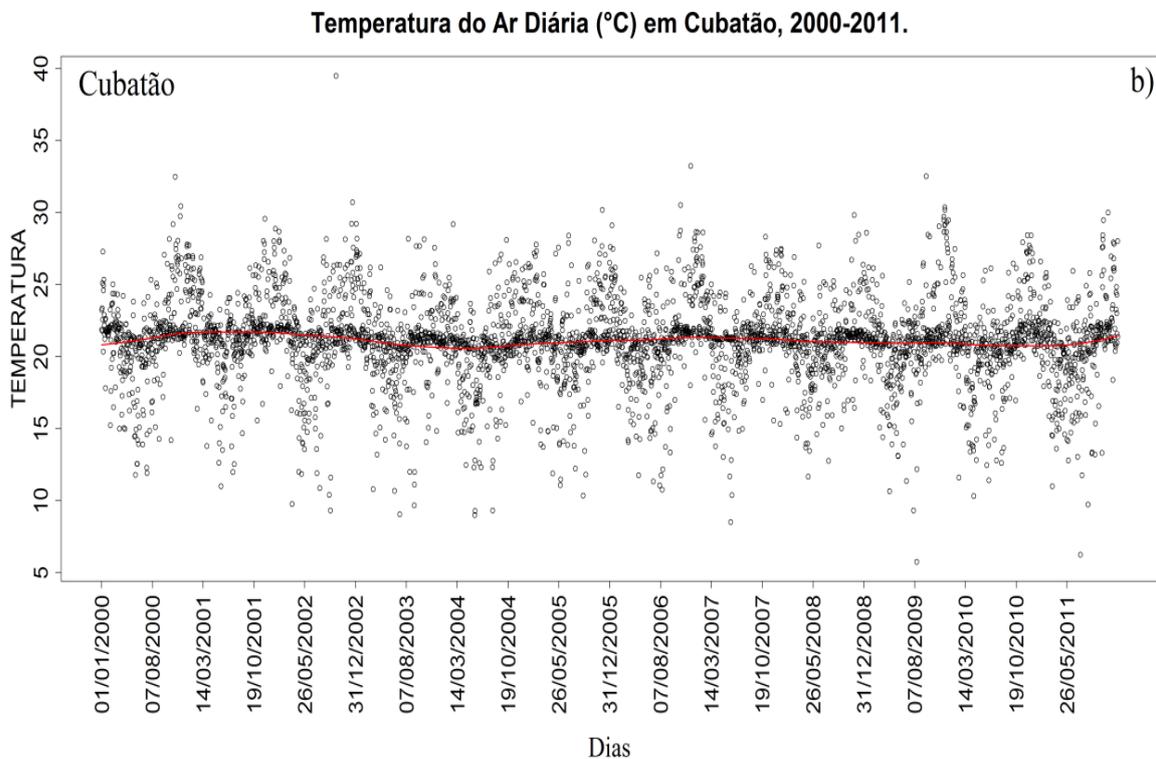


Analisando os dados de temperatura da cidade de Cubatão (SP) Figura 27, no período de 2000 a 2011, após a suavização via função *spline*, indicam que a temperatura do ar variam de acordo com a época do ano. Apesar desta variação, a curva de suavização apresenta padrão de estabilidade, se mantendo entre 20 e 25 °C na maior parte do tempo, o que pode estar relacionado com o clima da cidade, o qual apresenta verões curtos e quentes e com céu encoberto na maior parte do tempo. Por outro lado, a estação de inverno em Cubatão são longos e com céu “limpo”, além disso, altos índices pluviométricos registrados, em geral os termômetros na cidade registram temperaturas entre 19 °C e 32 °C. A Figura 27 mostra o

comportamento das médias de temperatura na cidade em estudo, é possível notar que a mesma apresenta uma onda contínua, sendo assim, apesar da estabilidade predominante na série, os episódios de variabilidade podem se relacionar com a maior ou menor incidência de doenças na população local, especialmente nas temperaturas mais baixas.

O ar atmosférico é especialmente afetado em sua qualidade quando ocorre a inversão térmica característica dos períodos frios, o que prejudica a dispersão e a concentração dos poluentes, com isso afeta as pessoas, monumentos históricos, corpos hídricos e até mesmo florestas e biomas de grandes extensões, além disso, a inversão térmica é mais nociva nos grandes centros urbanos, pois a arquitetura dos prédios acaba por dificultar a circulação dos ventos, condições meteorológicas como céu claro e ventos fracos (predominantes nos invernos de Cubatão) favorecem a inversão térmica o que corrobora com a formação do *smog* fotoquímico e do *smog* industrial, resultando em uma condição propícia às doenças respiratórias (DUCHIADE, 1992; TURNER, 1994; ALMEIDA, 1999; MARTINS, 1999; CRUZ, 2002).

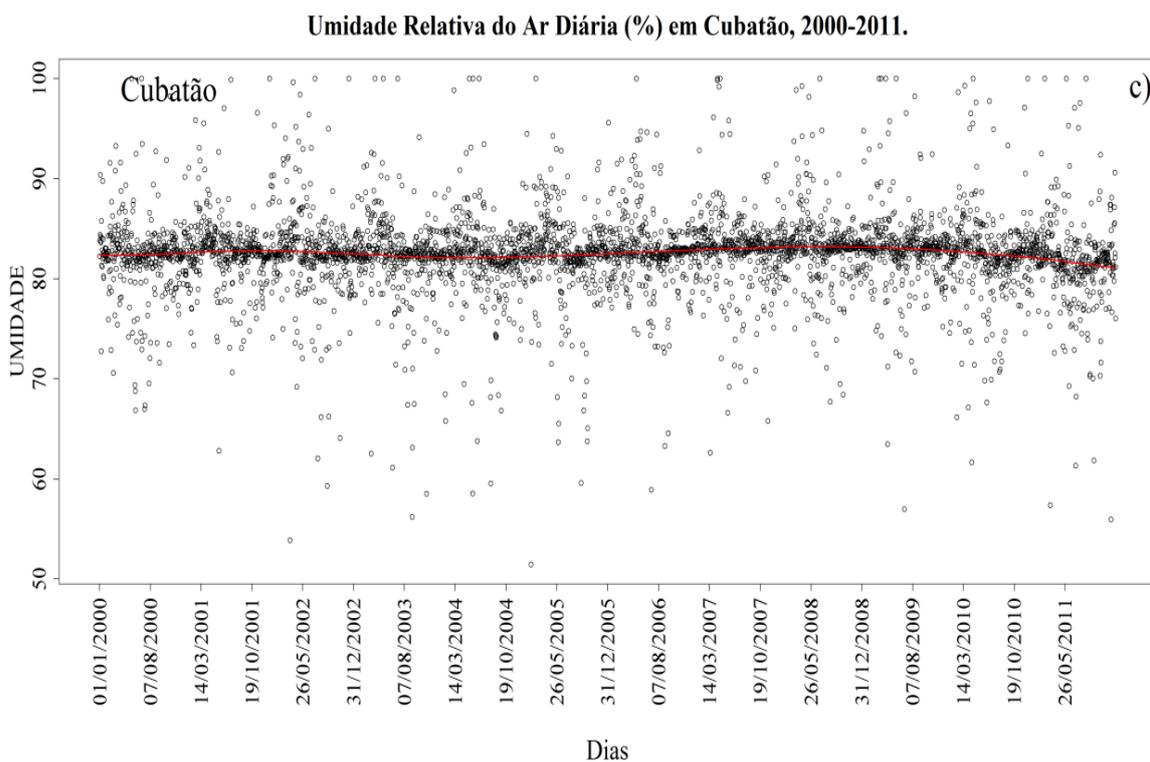
Figura 27: Análise descritiva dos dados de temperatura do ar na cidade de Cubatão (SP) no período de 2000 a 2011.



A análise descritiva referente à umidade relativa do ar na em Cubatão (SP) apresentada na Figura 28, com base na suavização efetuado através da função *spline*, mostra a presença de uma alta variabilidade nos percentuais de umidade do ar contabilizados, ora atingindo 100% e outrora atingindo 50%, embora, a umidade relativa concentra-se na maior parte do tempo observado entre 80% e 85%, o que é um valor considerado bom para a manutenção da qualidade do ar e conseqüentemente favorece a respiração e a saúde das pessoas, bem como da fauna e da flora (SOUZA et al., 2007). A estabilidade na umidade relativa do ar em Cubatão está relacionada com o fato de que a cidade possui praias, o que por sua vez, através do regime de ventos acaba por levar o vapor d'água resultante da evaporação marítima para a atmosfera local.

A umidade relativa do ar influencia diretamente na ocorrência de doenças respiratórias na população, pois em meio a baixos percentuais de umidade do ar, ocorre predominância de resites, alergias e sangramentos nasais. Por outro lado, excesso de umidade relativa do ar acaba prejudicando a dispersão dos poluentes. Além disso, favorece a formação e precipitação das chuvas ácidas, bem como a proliferação de vetores causadores de doenças. (BARCELLOS et al., 2009).

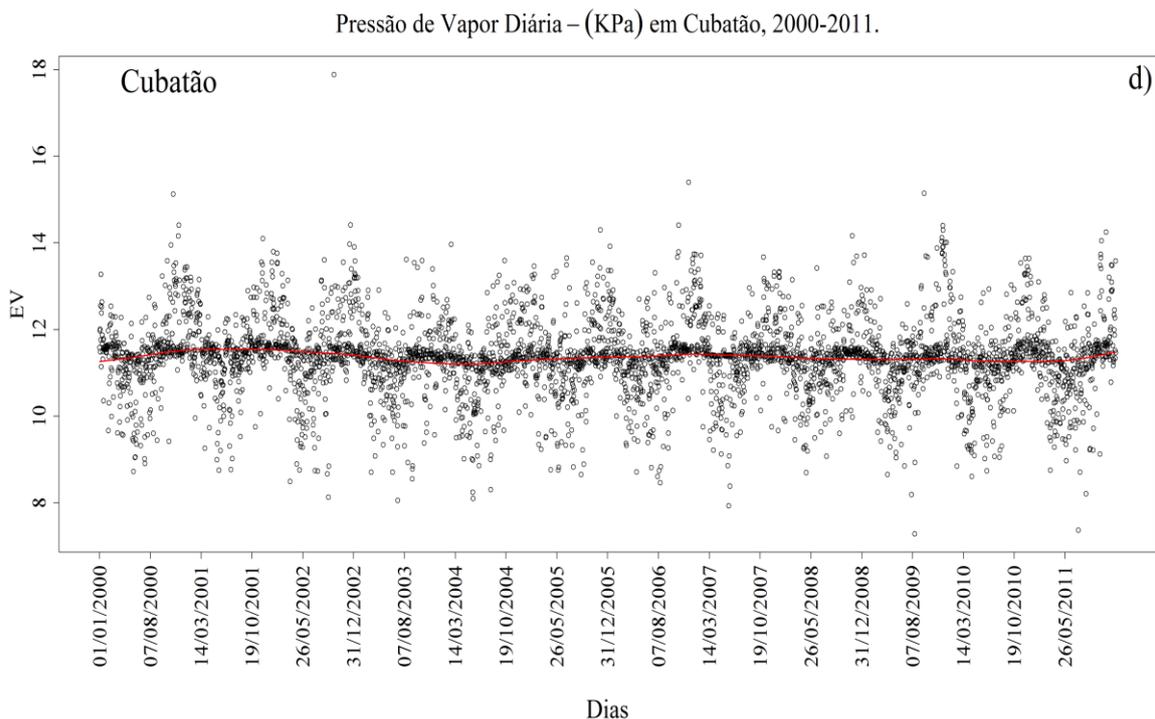
Figura 28: Análise descritiva dos dados de umidade relativa do ar na cidade de Cubatão (SP) no período de 2000 a 2011.



O resultado da análise descritiva da pressão de vapor atmosférico na cidade de Cubatão (SP), Figura 29, observa-se uma alta variabilidade da pressão de vapor no decorrer da série temporal, com uma curva de suavização praticamente linear, embora a distribuição dos pontos na figura acima remete a uma senóide, com a formação de picos e vales que se dá por conta dos valores discrepantes registrados na série temporal, apesar disto, é evidente que na maior parte do tempo a pressão de vapor atmosférico na cidade de Cubatão se mantém entre 10 e 12 kPa com tendência leve de queda do início ao fim da série em estudo.

A pressão de vapor corresponde à força que uma molécula necessita para se “desprender” do fluido ao qual pertence. À medida que o ar atmosférico se aquece a pressão atmosférica aumenta, conseqüentemente a pressão de vapor também sobe, aumentando a evaporação dos corpos hídricos locais, o que por sua vez acarreta um aumento das precipitações, com mais precipitação ocorre à melhora do ar atmosférico, o ar é “lavado” pela chuva (OLIVEIRA, 2011; AZEVEDO et al., 2015), O fato de Cubatão estar ao nível do mar contribui para que a pressão atmosférica na cidade seja elevada, com isso ocorrem amplitudes térmicas, o que por sua vez pode explicar a alta variabilidade dos dados de doenças respiratórias na cidade de Cubatão.

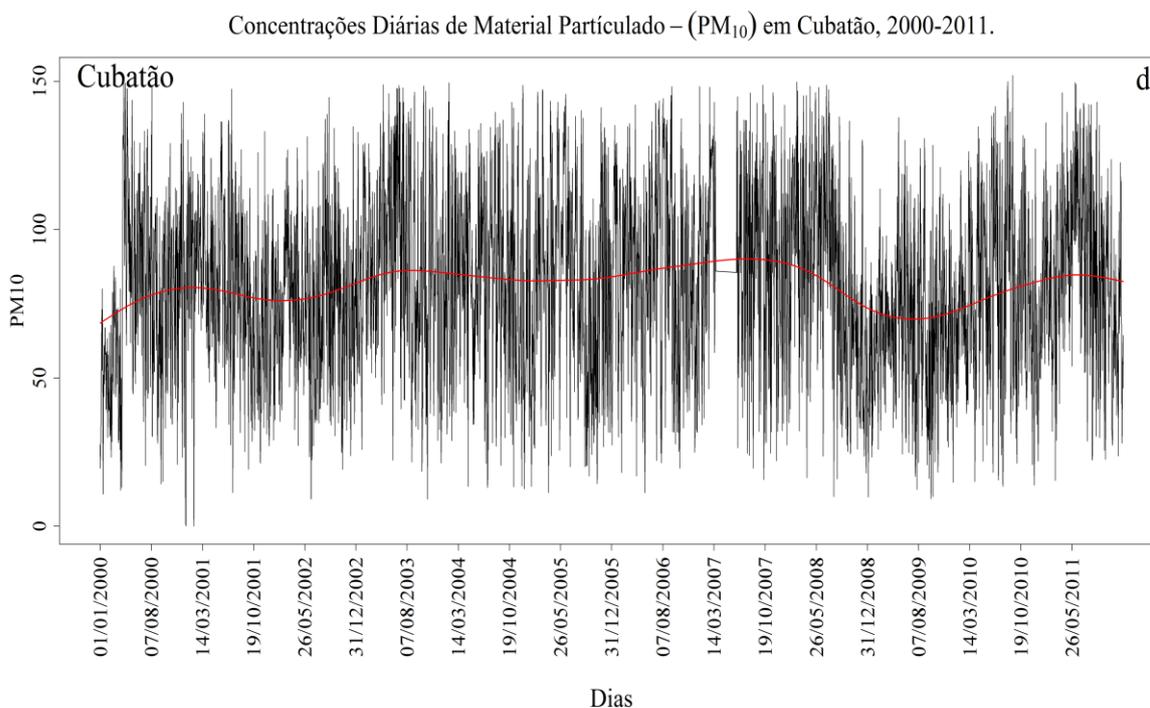
Figura 28: Análise descritiva dos dados de pressão de vapor atmosférico na cidade de Cubatão (SP) no período de 2000 a 2011.



A análise descritiva dos dados referentes às concentrações diárias do PM_{10} em Cubatão, no período de 2000 a 2011, suavizada via função *spline* do programa R, mostra de forma clara uma alta variabilidade da série temporal. Além disso, a série em estudo registrou por diversas vezes valores iguais a 0, e discrepantes acima da média, em algumas observações essas discrepâncias equivalem ao dobro do valor da média da série. Vale ressaltar que entre o final do ano de 2006 e o início do ano de 2008 a Figura 30 apresenta ausência de dados, fato que foi corrigido neste estudo pelo processo de imputação anteriormente detalhado e discutido.

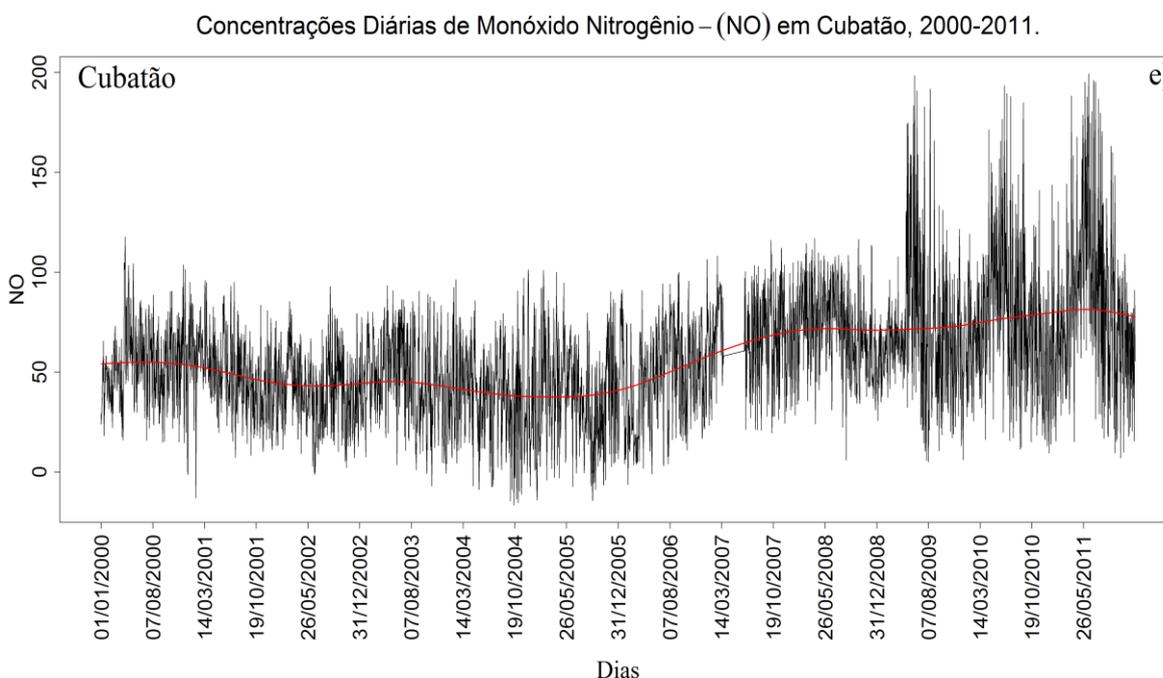
O material particulado PM_{10} consiste em partículas suspensas na atmosfera terrestre, podem ser sólidas ou gasosas, o mesmo é nocivo à saúde humana, pois penetra no trato respiratório e causa danos ao mesmo, estas partículas podem ser oriundas de fontes móveis e fixas, além de fontes naturais como vulcões (DOCKERY et al., 1993; CÉSAR et al., 2013). Em seus estudos Zeng et al., (2015) através de modelos aditivos generalizados confirmaram relação entre o aumento das concentrações de PM_{10} e o aumento da morbidade hospitalar e da mortalidade decorrente da exposição ao poluente em questão.

Figura 30: Análise descritiva dos dados de concentração diária do PM_{10} na cidade de Cubatão (SP) no período de 2000 a 2011



Na Figura 31 encontra-se a análise descritiva dos dados das concentrações diárias do NO em Cubatão no período de 2000 a 2011, onde observa-se mais uma vez, a presença de uma alta variabilidade da série temporal, com registros de valores máximos de aproximadamente 4 vezes o valor da média para o período em estudo, além de um aumento na concentração de NO a partir do ano de 2005. Vale ressaltar que da mesma forma que o estudo relacionado com o PM_{10} no ano de 2007 onde ocorreram falhas nos dados de concentração do NO, o que pode estar relacionado com falhas nos equipamentos de medição em ambos os estudos.

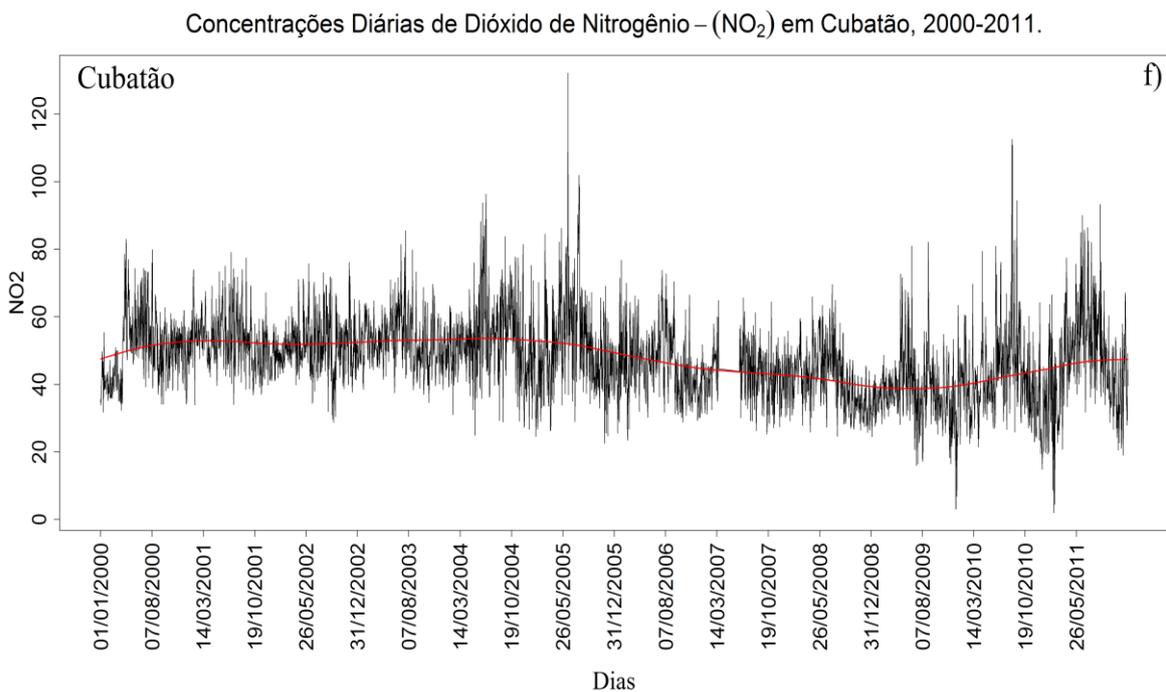
Figura 31: Análise descritiva dos dados de concentração diária do monóxido de Nitrogênio (NO) na cidade de Cubatão (SP) no período de 2000 a 2011



A suavização da distribuição temporal dos dados referentes às concentrações do NO_2 em Cubatão, no período em estudo mostra pontos de discrepância e elevada variabilidade nos dados entre os anos de 2004 e 2005, este fato se repete entre 2010 e 2011. Além disso, é nítida a queda a partir de 2005, que pode estar relacionado ao aperfeiçoamento da legislação (impulsionada pela OMS 2005). Pode ainda ter ligação com a inserção dos carros flex no Brasil, na maior parte do tempo os registros dão conta de concentrações superiores aos $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ o que é inferior aos limites tolerados pelo CONAMA e pela OMS. Seguindo as demais figuras neste estudo nota-se que faltam dados no ano de 2007. A série em estudo apresenta

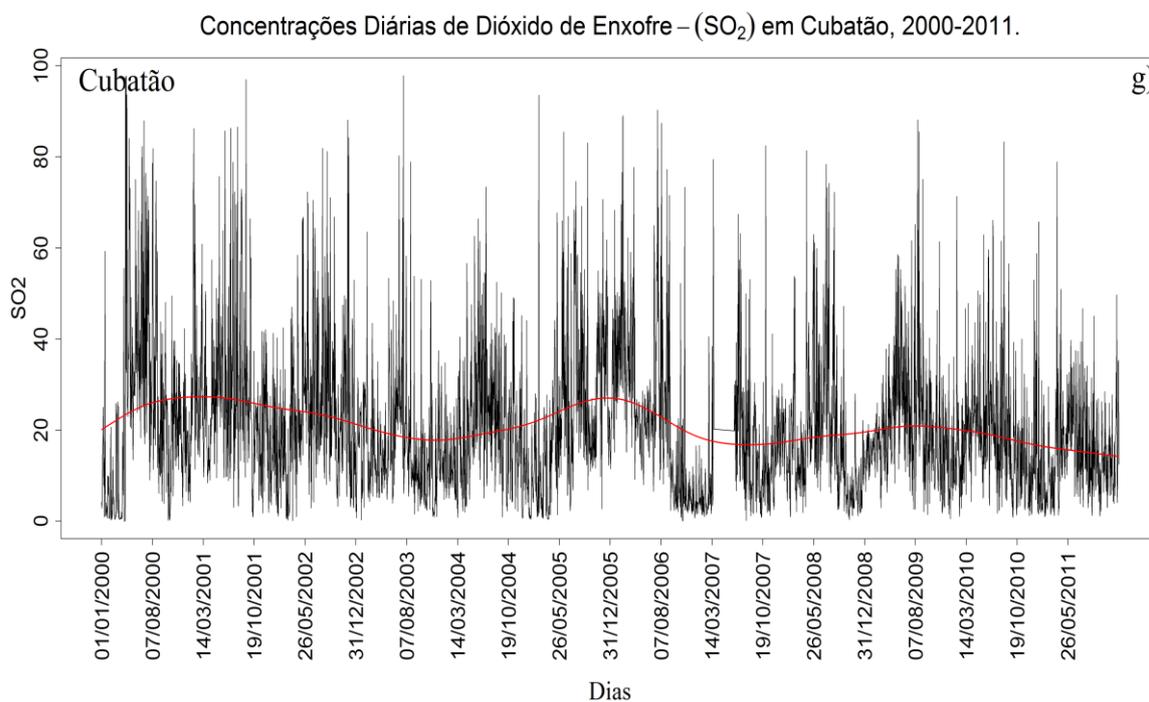
tendência de queda, neste contexto destaque para o anos de 2008, 2009 e 2010 com a maior redução nas concentrações deste poluente, este fato pode ter relação com a crise econômica de 2008 que reduziu a atividade industrial no Brasil e no mundo e consequentemente a emissão de poluentes, especialmente em Cubatão que é altamente industrializada.

Figura 32: Análise descritiva dos dados de concentração diária do dióxido de Nitrogênio (NO₂) na cidade de Cubatão (SP) no período de 2000 a 2011.



A suavização da série temporal em estudo (Figura 33) revela que em relação aos dados de concentrações diárias do SO₂ existe alta variabilidade e também revela a presença de pontos discrepantes elevados durante toda a série temporal, nota-se que em 2005 ocorre um aumento das concentrações de SO₂, logo em seguida inicia-se um movimento de queda progressiva até o final da série em estudo, o que pode ser por conta da redução do percentual de enxofre na gasolina e no óleo diesel produzidos no Brasil.

Figura 33: Análise descritiva dos dados de concentração diária do dióxido de Enxofre (SO₂) na cidade de Cubatão (SP) no período de 2000 a 2011



7.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS

7.1.1 Correlação de Pearson

O cálculo da correlação de Pearson realizado entre a variável dependente (internações hospitalares totais por doenças respiratórias em Cubatão) e as variáveis independentes (concentração dos poluentes SO₂, NO₂, NO e PM₁₀, temperatura, umidade relativa do ar e pressão de vapor diurna e noturna) teve como nível de significância o valor de 20%.

A análise da correlação apontou associação significativa muito baixa da temperatura, umidade relativa do ar, pressão de vapor e do NO, SO₂ além do PM₁₀ com o número de internações totais por doenças respiratórias em Cubatão. Por outro lado, ocorreu associação significativa considerada baixa do NO₂ com as anteriormente descritas internações, conforme Tabela 10 a seguir:

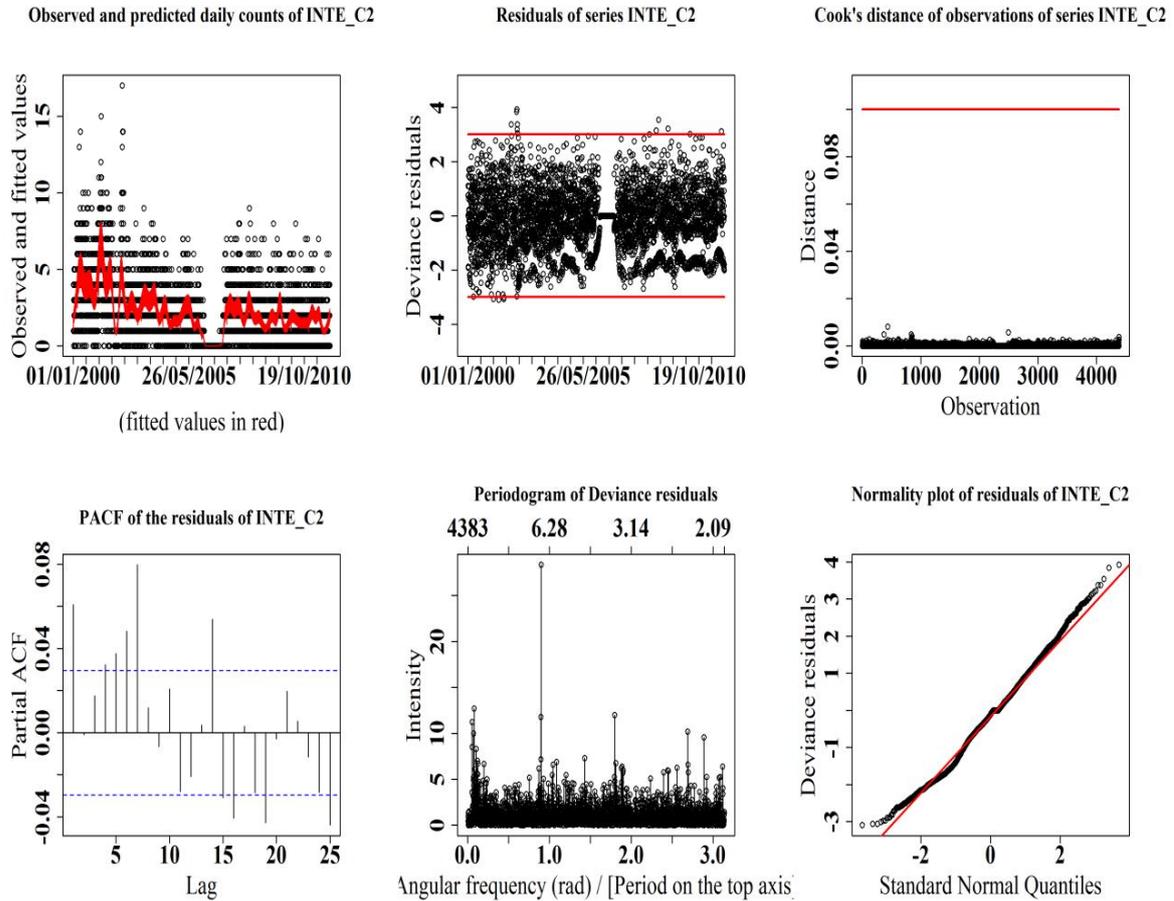
Tabela 10: Correlação de Pearson entre o número de internações por doenças respiratórias, variáveis atmosféricas (temperatura, umidade relativa do ar e pressão de vapor) e concentração dos poluentes atmosféricos (PM₁₀, NO, NO₂ e SO₂), no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2011

Variáveis	Correlação de Pearson	Significância	P_V_Pearson	R ² _Pearson
TEMPERATURA	-0,0077	Muito Baixa	0,6084	0,0001
EV	-0,0127	Muito Baixa	0,3998	0,0002
UMIDADE	0,0896	Muito Baixa	0,0000	0,0080
PM ₁₀	0,0471	Muito Baixa	0,0018	0,0022
NO	0,0023	Muito Baixa	0,8785	0,0000
NO ₂	0,1641	Baixa	0,0000	0,0269
SO ₂	0,0811	Muito Baixa	0,0000	0,0066

7.1.2 Análise de regressão

O Modelo Aditivo Generalizado adotado neste estudo apresenta ajuste satisfatório quando analisados os gráficos de resíduos, cook, função da autocorrelação parcial, periodogramas e normalidade dos resíduos. O gráfico de valores previstos é fiel à série em estudo no que se refere à tendência e à sazonalidade. Em relação ao gráfico de resíduos ao longo do tempo, o mesmo retrata um cenário onde predomina um bom controle da sazonalidade apesar da existência de valores discrepantes (*outliers*). O gráfico de cook por sua vez se mostra bastante estável e não apresenta *outliers*, em relação ao gráfico de autocorrelação. Pode-se observar que a correlação dos dados foi na parte da análise considerada muito baixa, o gráfico do periodograma dos resíduos evidencia que as variações cíclicas da série estão numa condição de controle. Por fim, o gráfico que se refere a normalidade dos resíduos, não apresentou distanciamento significativo entre os quantis de resíduos e os quantis de distribuição normal. Neste contexto, vale ressaltar que em valores de resíduos muito baixos e muito altos esta situação se inverte, conforme Figura 34 a seguir:

Figura 34: Valores previstos, resíduos contra o tempo, distância de cook, função de correlação parcial, periodograma dos resíduos e de quantis dos resíduos contra quantis da distribuição normal para internações por doenças respiratórias totais em Cubatão



O modelo de distribuição polinomial tem por função a estimativa da defasagem e efeito (janela imunológica), uma vez que, a exposição aos poluentes atmosféricos podem ter efeitos adversos no mesmo dia ou nos dias posteriores ao contato, estes efeitos estão discutidos nos gráficos de riscos relativos para cada poluente do estudo, conforme figuras 35, 36, 37 e 38 adiante.

7.1.3 Internações hospitalares por doenças respiratórias totais

Os efeitos estimados para o modelo de defasagem distribuída polinomialmente foi estatisticamente insignificante para incrementos de $1 \mu\text{g.m}^{-3}$ de SO_2 , NO_2 e NO quando analisados através das defasagens individuais, conforme as Figuras 35, 36 e 37 a seguir:

Figura 35: Risco relativo percentual para inserção de 1 $\mu\text{g.m}^{-3}$ de SO_2 para internações totais por doenças respiratórias em Cubatão, no período de 2000 a 2011

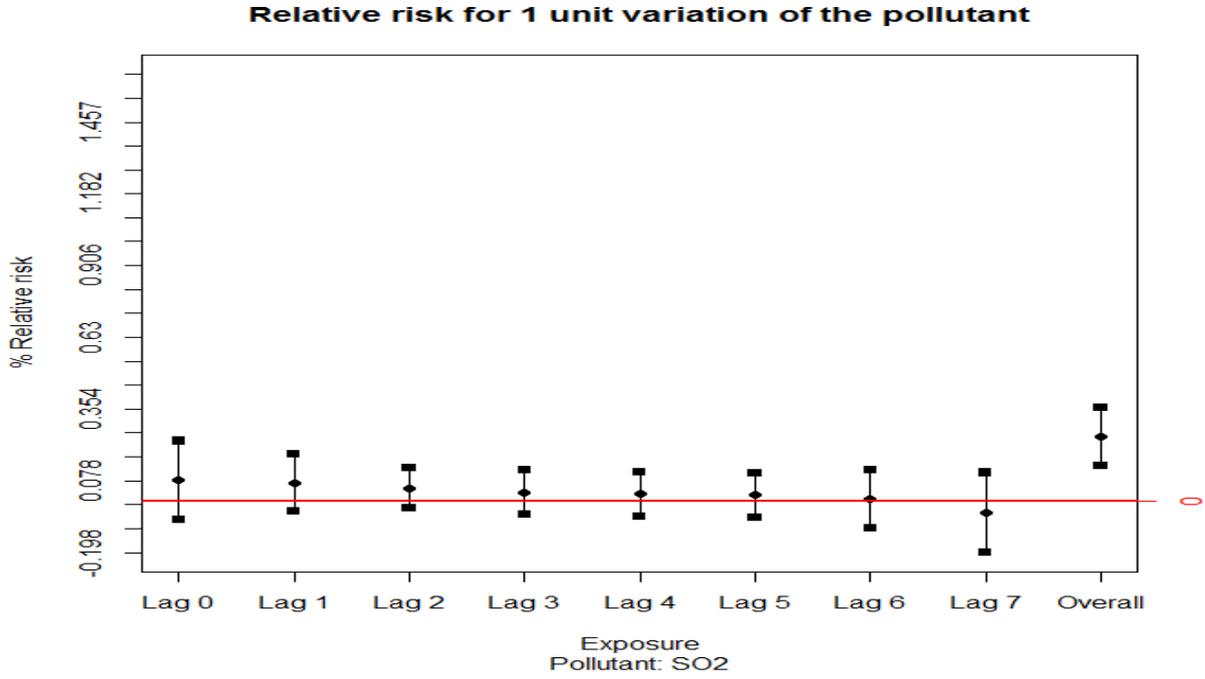


Figura 36: Risco relativo percentual para inserção de 1 $\mu\text{g.m}^{-3}$ de NO_2 para internações totais por doenças respiratórias em Cubatão, no período de 2000 a 2011

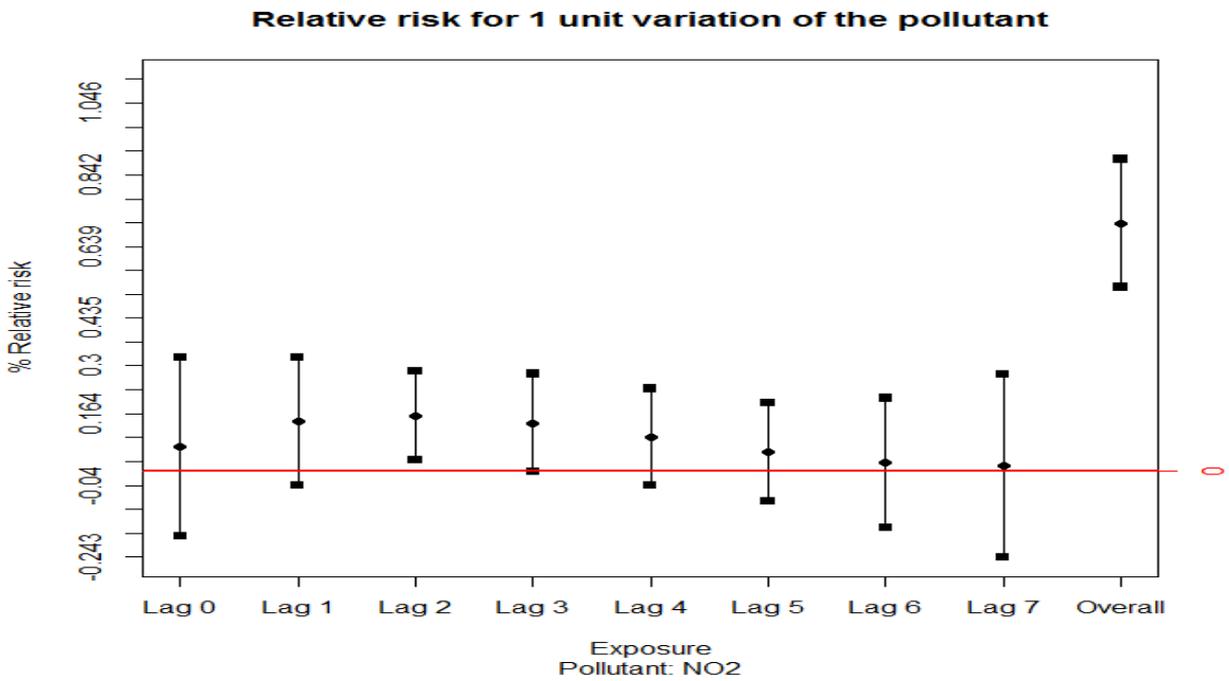
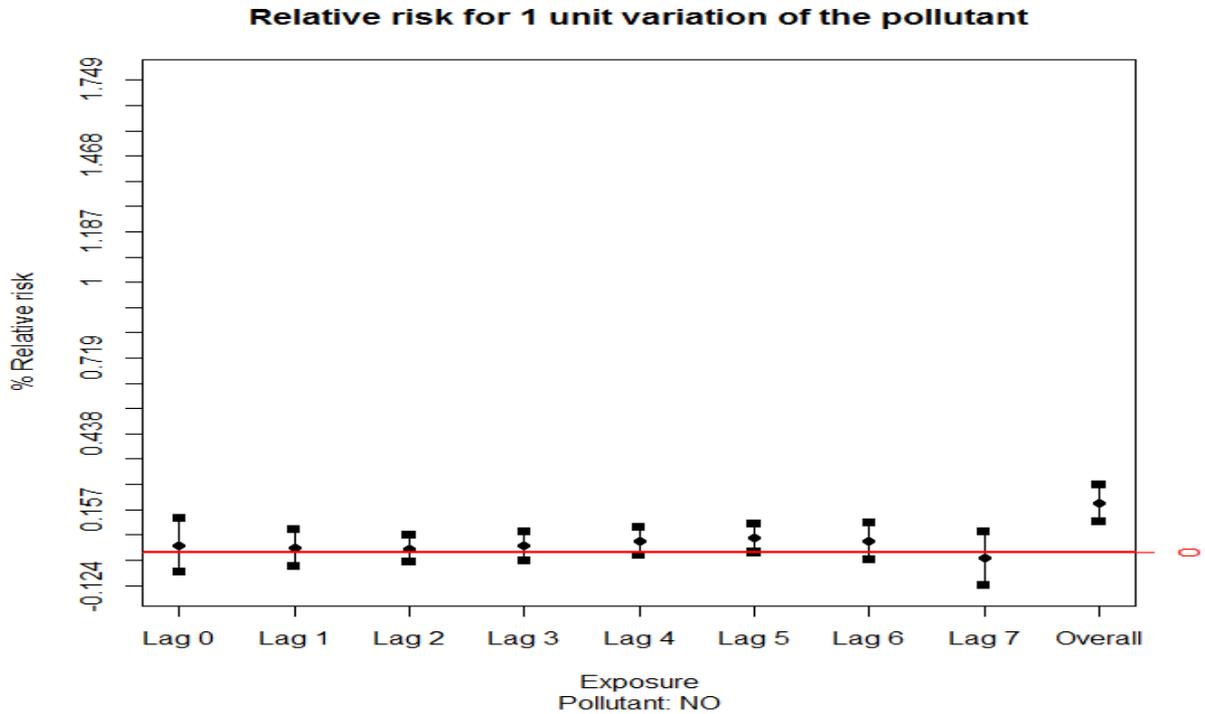
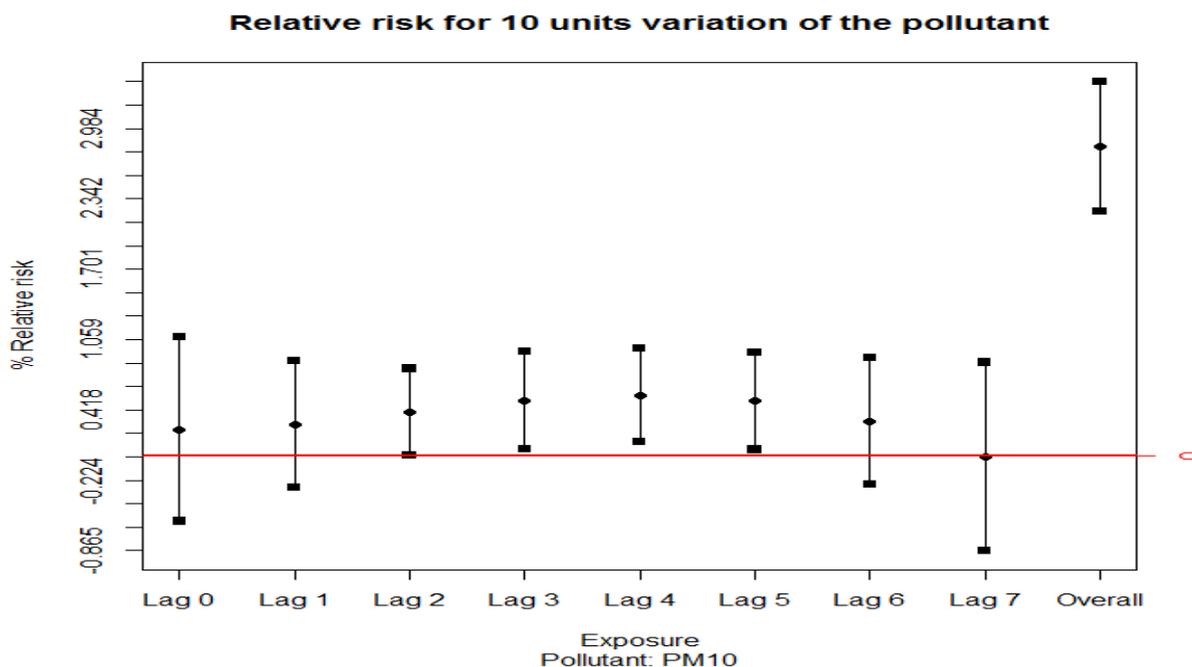


Figura 37: Risco relativo percentual para inserção de $1 \mu\text{g.m}^{-3}$ de NO para internações totais por doenças respiratórias em Cubatão, no período de 2000 a 2011



Os efeitos estimados para o modelo de defasagem distribuída polinomialmente foi estatisticamente significativo para incrementos de $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ de PM_{10} quando analisados através das defasagens individuais nos *lags* 2, 3, 4 e 5 (com RR% de 0,3970, 0,5044, 0,5526 e 0,4992 respectivamente) no acumulado dos riscos relativos (2,8179) conclui-se que dos 9552 casos de internações hospitalares por doenças respiratórias totais, o PM_{10} esteve associado a 6162 internações, o que equivale a 65,12% do total de internações conforme a Figura 38 a seguir:

Figura 38: Risco relativo percentual para inserção de $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de PM_{10} para internações totais por doenças respiratórias em Cubatão, no período de 2000 a 2011



Em estudo realizado na região metropolitana de Belo Horizonte os autores avaliaram os impactos da poluição atmosférica nas internações por doenças respiratórias em crianças (menores de 5 anos) e por doenças cardiovasculares em adultos (maiores de 39 anos), para tanto utilizaram um Modelo Aditivo Generalizado e regressão de Poisson. Após análises dos resultados, concluíram que o MP_{10} esteve associado nos casos de doenças respiratórias em crianças e em doenças cardiovasculares em adultos com RR% de 1,06 e 1,25 respectivamente. O estudo em questão utilizou as defasagens de tempo e também considerou os RR% acumulados de 5 dias (GOUVEIA et al., 2018).

Oliveira (2018) encontrou associação positiva entre o MP_{10} e um aumento nas doenças respiratórias totais no valor de 1,39% (*lag 2*) e 1,36% (*lag 3*). A autora verificou ainda que o MP_{10} também provocou aumento das doenças circulatórias totais de 3,39% (*lag 0*), 2,09% (*lag 1*) e 1,10% (*lag 2*) em ambas as situações o aumento da concentração do poluente em estudo foi de $\mu\text{g m}^{-3}$, a autora chegou a estes resultados através de estudo realizado na cidade de Volta Redonda após analisar os dados de poluição atmosférica da cidade, a mesma se valeu de Modelo Aditivo Generalizado e regressão de Poisson. Além disso, no estudo, a autora considerou as defasagens de tempo para melhor compreender os efeitos da poluição atmosférica.

Em estudo realizado na cidade de Cubatão (SP), Nardocci et al. (2013) encontraram associação estatística significativa entre o PM_{10} e doenças respiratórias totais. Os autores afirmam que para cada incremento de $10 \mu g.m^{-3}$ de PM_{10} houve um aumento de 4,25% nos casos de internações relacionadas com o poluente em questão. Para tanto os autores realizaram regressão de Poisson e utilizaram Modelo Aditivo Generalizado (MAG). No modelo adotado pelos autores, a concentração de PM_{10} foi considerada variável independente. Além disso, como variáveis respostas foram utilizadas a temperatura, a umidade relativa do ar e os dias da semana. Por conta destas variáveis citadas o resultado estatístico pode ter sido mais significativo em relação ao presente estudo, uma vez que, o MAG utilizado neste trabalho contempla uma quantidade maior de variáveis, o que por sua vez pode fazer com que a significância seja menor.

7.2 ANÁLISE DOS GASTOS COM INTERNAÇÕES HOSPITALARES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS TOTAIS EM CUBATÃO (SP)

A partir dos resultados obtidos pelo Modelo Aditivo Generalizado, podemos concluir que o poluente PM_{10} apresentou risco relativo percentual de 2,8179 no acumulado de 7 dias, o que permite avaliar a quantidade de internações e os custos das mesmas que estão relacionados com o poluente em questão. Neste contexto, no período em estudo foi constatado que dos 9552 registros de internações por doenças respiratórias totais, 6162 casos são atribuíveis ao poluente PM_{10} o que por sua vez representou um custo total no período de R\$ 3.786.199,44 para a cidade de Cubatão (SP). Por fim, em consulta ao DATASUS, foi verificado que de 2000 a 2007 a média dos gastos com internações decorrentes de doenças respiratórias totais foi de R\$ 465,28. No entanto de 2008 a 2011 estes gastos foram de R\$ 1.035,18,

A análise em questão pode ser considerada em duas etapas, sendo que a primeira etapa corresponde ao período de 2000 a 2007 (médias de gastos com doenças respiratórias foi de R\$ 465,28) e a segunda etapa corresponde ao período de 2008 a 2011 (médias de gastos com doenças respiratórias foi de R\$ 1035,18). Sendo assim, a análise da primeira etapa mostra que o ano de 2001 foi o que registrou o maior número de casos atribuídos ao PM_{10} totalizando 966 internações, o que corresponde a 15,67% dos casos de internações totais por doenças respiratórias, o que por sua vez acarretou um custo de R\$ 449.460,48 para os cofres públicos de Cubatão (SP). Por outro lado, o ano de 2006 teve o menor número de casos atribuídos ao PM_{10} totalizando 32 internações, o que equivale a 0,34% das internações totais e que custou

ao município a quantia de R\$ 9770,88 quando se considera o período em que a média dos gastos era de R\$ 465,28.

A análise da segunda etapa mostra que o ano de 2008 teve o maior número de internações por doenças respiratórias relacionadas com o PM₁₀ o que totaliza 448 casos e equivale a 7,27% do total. Além disso, estes casos acarretaram custos de R\$ 463.760,64 para o município de Cubatão (SP). Por outro lado, o menor número de casos de internações atribuídas ao PM₁₀ foi registrado em 2010, sendo este de 377 casos, o que representa 6,12% dos casos em questão, o que significou um custo de R\$ 390.262,86 para Cubatão (SP), conforme o que está descrito na Tabela 11:

Tabela 11: Estimativa dos custos atribuídos à poluição do ar, por conta das doenças respiratórias na cidade de Cubatão (SP), no período de 2000 a 2011

Período	Risco Relativo RR (%)	Internações N	Casos Atribuídos NA	Custo Médio* CM	Custo Total G
2000	2.82	1357	875	465,28	407.585,28
2001	2.82	1498	966	465,28	449.460,48
2002	2.82	1001	646	465,28	300.570,88
2003	2.82	1002	646	465,28	300.570,88
2004	2.82	668	431	465,28	200.535,68
2005	2.82	686	443	465,28	206.119,04
2006	2.82	32	21	465,28	9.770,88
2007	2.82	809	522	465,28	242.876,16
2008	2.82	694	448	1.035,18	463.760,64
2009	2.82	627	404	1.035,18	418.212,72
2010	2.82	584	377	1.035,18	390.262,86
2011	2.82	594	383	1.035,18	396.473,94
Total		9552	6162		3.786.199,44

CM = Custo médio das internações (DATASUS) por doenças circulatórias.

8 CONCLUSÃO

A análise de falhas de dados da série temporal das emissões de poluentes atmosféricos diários (SO₂, NO₂, NO e PM₁₀) no período de 1996 a 2011 nas estações de monitoramento de qualidade do ar mostra que os maiores percentuais de falhas foram observados nos poluente óxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂), neste contexto destaque para os

óxidos nitrosos (NO e NO₂) que apresentaram os maiores percentuais da série (Cubatão Vila Parisi, 84,17 % para NO e 74,64 % para NO₂), onde a técnica de imputação de dados adotada preencheu com sucesso as respectivas falhas de dados.

A estatística descritiva aplicada à série temporal das emissões diárias de SO₂, NO₂, NO e PM₁₀ mostra elevada amplitude em relação às médias registradas, com destaque para o NO em Cubatão e Paulínia. Os coeficientes de variação (CV's) também tiveram registro de valores elevados, sendo 91,14 % em Paulínia para o óxido de nitrogênio e 80,65 % para o dióxido de enxofre (SO₂) em Cerqueira César, por fim o desvio padrão para o óxido de nitrogênio (NO) foi de 47,78 µg.m⁻³ em Congonhas.

A análise exploratória da série temporal mostra alta variabilidade em todas as análises, principalmente a presença de (*outliers*). Vale ressaltar que a estação de Congonhas tem as maiores amplitudes interquartílicas da série, seguido de uma diminuição nas concentrações dos poluentes a partir de 2005.

Em relação às violações das concentrações de poluentes nas estações de monitoramento da qualidade do ar em São Paulo, quando tem por base o critério adotado pela OMS, apresentam valores superiores aos admitidos pelo CONAMA, uma vez que, o critério OMS é bem mais restritivo do que o critério CONAMA. O NO₂ nas estações de Cerqueira César, Congonhas, Cubatão Vila Parisi e Osasco se destaca em relação aos demais poluentes.

As tendências e os pontos de inflexão das concentrações de poluentes da série via testes não-paramétricos (Mann-Kendall e Pettitt) aponta uma tendência de diminuição em todas as estações e nos poluentes, exceto para Cubatão (PM₁₀) e Osasco (NO₂).

A análise exploratória dos dados de doenças respiratórias nas cidades em estudo mostrou alta variabilidade nas cidades, com exceção de Paulínia, mostrou ainda que a cidade de Osasco teve a maior quantidade de casos de doenças respiratórias no estudo.

As médias mensais acumuladas dos casos de doenças respiratórias nas cidades estudadas mostrou que em todas as cidades os valores constatados estiveram próximos ou acima das médias e em Osasco foram registrados os maiores valores entre as cidades estudadas. Neste contexto, foram observados os seguintes valores, Cerqueira César (46,20), Cubatão (71,26), Paulínia (34,74) e Osasco (257,90) casos por mês. Aqui se destaca a cidade de Cubatão (102 casos nos meses de abril, 43,13 % acima da média). A cidade de Cerqueira César (29 casos nos meses de fevereiro, 37,77 % abaixo da média), em Osasco e Paulínia os números estiveram próximos à média.

As médias acumuladas anuais dos casos de doenças respiratórias nas cidades elencadas no estudo mostraram que os valores observados são Cerqueira César (554,43),

Cubatão (855,14), Paulínia (411,29) e Osasco (3095,57) casos por ano, neste contexto, vale destacar a cidade de Cerqueira César, na qual foi visto o maior número de casos da série no ano de 2009 (3738 casos, 674,20 % acima da média), por outro lado, o menor número de casos foi registrado em Cubatão no ano de 2006 (32 casos, 96,25 % abaixo da média), em Osasco e Paulínia os números estiveram próximos à média.

Em relação ao percentual de falhas dos dados meteorológicos nas cidades em estudo, Cubatão e Paulínia registraram respectivamente o maior e o menor valor percentual de falhas em todas as variáveis meteorológicas.

A análise descritiva do número de internações por doenças respiratórias, variáveis atmosféricas (temperatura, umidade relativa do ar e pressão de vapor) e concentração dos poluentes atmosféricos (PM_{10} , NO, NO_2 e SO_2), revelou uma grande amplitude interquartílica nos dados. Além disso, os valores máximos registrados em alguns casos foi muito superior à média registrada. A saber, o valor máximo das internações diárias foi 771,82%, o valor máximo do PM_{10} foi 87,09% e o valor máximo do SO_2 foi 467,11% acima das suas respectivas médias.

A correlação de Pearson identificou uma correlação muito baixa entre as internações e os poluentes, exceto para o NO_2 com uma correlação tida como baixa.

O Modelo Aditivo Generalizado (MAG) apresentou ajustes satisfatórios, embora observe-se que no MAG os poluentes SO_2 , NO e NO_2 se mostraram insignificantes estatisticamente. Porém, o MAG associou o PM_{10} às doenças respiratórias totais na cidade de Cubatão (SP) em 6163 internações, sendo que, este valor corresponde à 65,12% do total de internações na cidade e no período do estudo (9552 internações). Para tanto foi considerado o RR% acumulado de 7 dias (2,8179), o que acarretou um custo total de R\$ 3.786.199,44 para os cofres públicos de Cubatão (SP).

Os resultados obtidos por este trabalho podem ser utilizados na formação de políticas públicas mais eficazes e eficientes, no entanto o mesmo não encerra as discussões sobre o tema, pelo contrário abre precedentes para novos estudos, que possam através de adaptações e implementações de diferentes metodologias completar as lacunas deixadas por este trabalho.

9 REFERÊNCIAS

- AHMED, S. I.; RUDRA, R.; DICKINSON, T. AHMED, M. Trend and periodicity of temperature time series in Ontario. *American Journal of Climate Change*, 2014.
- ALMEIDA, I. T. *A poluição atmosférica por material particulado na mineira a céu aberto, em São Paulo*. 1999. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 1999.
- ALMEIDA, J. S. Cenário atual do monitoramento da poluição atmosférica na capital do estado de Mato Grosso, Cuiabá. *Revista Acadêmica Oswaldo Cruz*, Ed. 13, 2017.
- ALVES, J. J. S.; Hospitalizações por pneumonia em crianças menores de cinco anos no período de 2000 a 2012, 2014.
- AMÂNCIO, T. C.; NASCIMENTO, C. F. L. Asma e poluentes ambientais: um estudo de séries temporais. *Revista da Associação Médica Brasileira*, v.58, n.3, p.302-7, 2012.
- AMARAL, M. V. S. G. *Ajuste de modelos e comparação de séries temporais para dados de vazão específica em microbacias pareadas*. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Piracicaba, 2014.
- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. *Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano*. Texto para discussão. Instituto de Economia/UNICAMP, n. 155, 2009.
- ARAÚJO, L.F.P. et al . Avaliação da Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Fortaleza – Ceará (Resultados Preliminares). *Anais Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, XVIII*, Salvador, 1995.
- ARBEX, M. A. *Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima da plantação de cana-de-açúcar sobre a morbidade respiratória na população de Araraquara - SP*. Tese (Doutorado em Patologia) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina, São Paulo, 2002.
- ASSUNÇÃO F. *Estratégias para tratamento de variáveis com dados faltantes durante o desenvolvimento de modelos preditivos*. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Instituto de Matemática e Estatística, São Paulo, 2012.
- ASSUNÇÃO, J. V. *Poluição Atmosférica*. In: CASTELLANO, E. G., *Desenvolvimento Sustentado: Problemas e Estratégias*. São Paulo, Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1998.
- AYOADE, j. O. *Introdução à climatologia para os trópicos*. São Paulo: Difel, 1996.

- AZEVEDO, J. V. V.; SANTOS, C. A. C.; ALVES, T. L. B.; OLINDA, R. A. Influência do clima na incidência de infecção respiratória aguda em crianças nos municípios de Campina Grande e Monteiro, Paraíba, Brasil, 2015.
- AZUAGA, D. *Danos Ambientais Causados por Veículos Leves no Brasil*. 2000. 168 f. Tese (Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universal Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ), Rio de Janeiro, 2000.
- BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *Pesquisa agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.
- BAIRD, C. Química Ambiental. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- BAKONYI S. M. C, DANNI-OLIVEIRA I. M, MARTINS L. C, BRAGA A. L. F. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. *Revista Saúde Pública*, São Paulo, v. 38, n. 38, p. 695-700, 2004.
- BALTOKOSKI, V; TAVARES, M.H.F.; MACHADO, R.E; OLIVEIRA, M.P. Calibração de modelo para a simulação de vazão e de fósforo total nas sub-bacias dos rios Conrado e Pinheiro - Pato Branco (PR). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.34, n.1, p.253-261, 2010.
- BARACHO, S. M. *Tratamento de Dados Ausentes em Estudos Longitudinais*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Estatística, 2003.
- BARCELLOS, C. et al. Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*. v. 18, n. 3, p. 285-304, 2009.
- BELL, M.L.; PENG, R.D.; DOMINICI, F. The exposure–response curve for ozone and risk of mortality and the adequacy of current ozone regulations. *Environ Health Perspect*. 2006;
- BENÍCIO, M. H. D’A.; CARDOSO, M. R. A.; GOUVEIA, N. C. e MONTEIRO, C. A. Tendência secular da doença respiratória na infância na cidade de São Paulo (1984-1996). *Rev. Saúde Pública*, São Paulo, v. 34, supl. 6, p. 91-101. 2000
- BLAIN, G. Séries anuais de temperatura máxima média do ar no estado de São Paulo: variações e tendências climáticas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, p. 114-124, 2010.
- BONAVIDES, Paulo. Curso de Direito Constitucional. São Paulo: *Malheiros*, 2000.
- BOTKIN, D. B.; KELLER, E. A. *Ciência Ambiental*. Terra, um Planeta Vivo. Editora: LTC, Rio de Janeiro, 2011.
- BRAGA, A. et. al Poluição atmosférica e saúde humana. *Revista USP*, São Paulo, n. 5, 2001.
- BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N. Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana. *In: Sustentabilidade na geração e uso de energia no Brasil: os próximos 20 anos*. Campinas, 2002.

- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução do CONAMA Nº 018 de 6 de maio de 1986. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – PROCONVE. Diário Oficial da União, Brasília (DF), 1986.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução. CONAMA 491/2018 de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Diário Oficial da União. Brasília (DF) 2018.
- BRASIL. LEI Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília (DF).1981.
- BRUNI, A. C., Bales, M. P. Dias, C. CETESB, *Plano de Controle de poluição Veicular (PCPV)*.2014-2016. São Paulo, 2014.
- BUTTEL, F. H. Sociologia Ambiental, Qualidade Ambiental E Qualidade De Vida: Algumas Observações Teóricas. Organizador: Herculano, S., Freitas, C. M., Porto, M. F. S. *Qualidade De Vida & Riscos Ambientais*, 2000, pp. 29 –48.
- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.5, n.1, p.89–97, 1997.
- CANÇADO, J. E. D; BRAGA, A.; PEREIRA, L.A.A.; ARBEX, M.A.; SALDIVA, P. H. N., SANTOS, U. P. Clinical repercussions of exposure to atmospheric pollution. *J Bras Pneumol*. 2006; 32 (Supl 1): S5-S11, São Paulo, 2006.
- CARLSEN, E.; GIWERCMAN, A.; KEIDING, N.; SKAKKEBAEK, N. E. Evidence for decreasing quality of semen during past 50 years. *BMJ*, 1992.
- CASSANDRA, V.H.; MUNGER, J.W.; STEVEN, C.W.; ZAHNISER, M.; NELSON, D.J.; MCMANUS, B. Atmospheric reactive nitrogen concentration and flux budgets at a Northeastern US forest site. *Agric. for Meteorol.*, v.136, n.1-4, p.159 - 174, 2006.
- CÉSAR, G. C. A.; NASCIMENTO, C. F. L.; CARVALHO, A. J. Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças. *Revista Saúde Pública*, v. 47, n. 6, 2013.
- CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo*, 2013. Disponível em: <http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicações-relatórios/>. Acesso em: 03 de abril de 2019.
- CHAN, C.K., YAO, X. Air pollution in mega cities in China. *Atmospheric Environment*, v.42, n.1, p.1 - 42, 2008.

- COELHO, M. S. Z. S. *Uma análise estatística com vistas a previsibilidade de internações por doenças respiratórias em funções de condições meteorológicas na cidade de São Paulo*. 2007. 196 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, 2007.
- CRUZ, A. P. F. N. *A Tutela Ambiental do Ar Atmosférico*. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Esplanada (ADCOAS), 2002.
- CUNHA, R. M. P. *Estudo do Transporte de Poluentes na Região do Pólo Petroquímico, Localizado em Triúfno- Rs*. 2002. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.
- DAPPER, S. N.; SPOHR, C.; ZANINI, R. R. *Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no Estado de São Paulo, SP*, 2016.
- Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) 2015. Frota por município e tipo de veículo. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/frota2015.htm>. Acesso em: abril de 2019.
- DIAS, A. J. R.; ALBIERI, S. Uso de imputação em pesquisas domiciliares. VIII Encontro Nacional de Estudos Populacionais. *Anais...Volume 1: Informação Demográfica, Fecundidade, Demográfica Histórica*, p. 11:26, São Paulo: ABEP,1992.
- DOCKERY, D. W. et al. Na association between air pollution and mortality in six U. S. cities. *The New England Journal of Medicine, Waltham*, v. 329, n. 24, p. 1753 a 1759, Dec 1993.
- DOWNING, D.; CLARK, J. *Estatística aplicada*. São Paulo: Saraiva, 2000.
- DUCHIADE, M. P. Air Pollution and Respiratory Diseases: A Review. *Cadernos de Saúde Pública*, v.8, n.3, p.311-330, Rio de Janeiro, 1992.
- ENDERS, C. K. *Applied missing data analysis*. New York, 2010.
- ENGELS, J.; DIEHR, P. Imputation of missing longitudinal data: a comparison of methods. *Journal of Clinical Epidemiology*, p. 968-976, 2003.
- FECHINE, J. A. L.; GALVÍNCIO, J. D. Aplicação do teste de Mann-Kendall na Análise de tendências Climáticas em anos de El Niño na Bacia Hidrográfica do Rio Pontal, estado de Pernambuco. *In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém. Amazônia e o Clima Global*. Belém: SBMET, 2010, v. 1, n. 2, p. 1-5, 2010.
- FENGER, J. Urban air quality. *Atmospheric Environment*, 1999.
- FERNANDEZ, R. N; ABDALLAH, P. R; MENEZES, G. Custo das doenças respiratórias associadas à poluição atmosférica: um estudo de caso para a cidade do Rio Grande - RS. *Economia e Desenvolvimento*, v. 22, p. 62-76, 2010. Disponível em: <http://ich.ufpel.edu.br/economia/professores/carraro/artigo_rodrigo.pdf> Acesso em: 22 set. 2019.

FERRARI, A. L. *Variabilidade e Tendência da Temperatura e Pluviosidade nos municípios de Pirassununga, Rio Claro, São Carlos e São Simão (SP): Estudo sobre Mudança Climática de Curto Prazo em Escala Local*. 2012. 156 f Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos SP, 2012.

FERREIRA, L. G. *A gestão ambiental do polo industrial de Cubatão a partir do Programa de Controle da Poluição iniciado em 1983: atores, instrumentos e indicadores*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública da USP, São Paulo, 2007.

FOLHA, S. P. Disponível em <http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u96807.shtml>. Acesso em 30 de abril, 2018.

FORNARO, A.; GONÇALVES, F. L. T.; SEGALIN, B. *Black Carbon em Material Particulado nas Residências de Idosos na Região Metropolitana de São Paulo*. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 3, 311-318, 2016.

FRANCISCO, P. M. S. B.; DONALISIO, M. R.; BARROS, M. B. A.; CÉSAR, C. L. G.; CARANDINA, L.; GOLDBAUM, M. Fatores associados à doença pulmonar em idosos. *Rev Saúde Pública*, São Paulo, v. 40, n. 3, p. 428-35, 2006.

FREITAS, V. C.; JUNGER, W. , LEON, A. P., GRIMALDI, R., SILVA, M. A. F. R., GOUVEIA, N. Poluição do ar em cidades brasileiras: selecionando indicadores de impacto na saúde para fins de vigilância. *Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília*, 22(3):445-454, jul-set 2013, 2013.

GANANÇA, F. F.; GOMES, L. P. M.; TOLEDO, R. N.; GUIMARÃES, M. C. Obstrução nasal. *Revista brasileira de medicina*, São Paulo, 05 maio. 2011. Disponível em: <http://www.moreirajr.com.br/revistas.asp?fase=r003&id_materia=93>. Acesso em 17 de julho de 2019.

GILBERT, R. O. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. New York: *Van Nostrand Reinhold*, p. 2-240, 1983.

GOIS, G. *Catástrofes naturais no estado do Rio de Janeiro baseado em dados climáticos e produtos orbitais: uma abordagem estatística*. 2017. 345 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Florestais. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), 2017.

GOLÇALVES, T. L. F. et. al. Modelagem dos processos de remoção sulfato e dióxido de enxofre, presentes no particulado em diferentes localidades da região metropolitana de São Paulo. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 28, 2010.

- GOLDEMBERG, J. ; FILHO, L. G. M. Um novo protocolo de Kyoto Barros. Texto para o Instituto de estudos avançados da USP. Disponível em: <http://www.iea.usp.br/iea/contato56.html>. Acesso em: abril, 2018.
- GOMES, E. P. *Levantamento das principais fontes de emissões atmosféricas na cidade de Manaus*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, departamento de Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, 2009.
- GOMES, J. Poluição atmosférica, um manual universitário. Editora: Publindústria, *Edições Técnicas*, 2ª edição, 2010.
- GOUVEIA, N; LEON, A. P., JUNGER, W., LINS, J. F., FREITAS, C. Air pollution and health impacts in the metropolitan Region of Belo Horizonte – Minas Gerais, 2018. Disponível em: <http://www.cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/poluicao-do-ar-e-impactos-na-saude-na-regiao-metropolitana-de-belo-horizonte-minas-gerais/16710?id=16710>. Acesso em: julho de 2019
- GROPPO, J. D. et. al. Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas bacias do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenções antrópicas. *Geociências*. v. 24, n. 2, p. 181-193, 2005.
- GUANABARA, L. C. R.; ASSUNÇÃO, J. V.; CASSIANO-JÚNIOR, O. Qualidade do ar na cidade de Bertioga. *Rev Científica Integrada*. 2014. São Paulo, ed. 2, v. 1, 2014.
- GUEDES, T. A. et al. Projeto de ensino Aprender Fazendo Estatística, p. 49, 2005.
- HARRELL, F.E JR. Regression modeling strategies with applications to linear models, logistic regression and survival analysis. *Springer-Verlag*, New York, 2001. 522p.
- HIRSCH, R. M.; SLACK, J. R. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research*, v. 20, n. 6, p. 727 – 732, June (1984).
- HOPKINS, W.G. A new view of statistics: *Correlation coefficient*. 2009. Disponível em: <http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html> Acesso em: junho de 2019.
- HORGNIES, M.; DUBOIS-BRUGGER, I.; GARTNER, E.M. NO_x pollution by hardened concrete and the influence of activated charcoal additions. *Cement and Concrete Research*, v.42, p.1348 - 1355, 2012.
- JASINSKI, R.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F. Poluição atmosférica e internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes em Cubatão, São Paulo, Brasil, entre 1997 e 2004. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v.27, n.11, p.2242-52, 2011.

- KANNAN, S. et al. Exposures to airborne particulate matter and adverse perinatal outcomes: a biologically plausible mechanistic framework for exploring potential effect modification by nutrition. *Environmental Health Perspect*, v.114, 11^a edição, p.1636-42, 2006.
- KENDALL, M. G. Rank correlation measures. Charles Griffin: *London, U.K*, p.220, 1975.
- KLEEBERGER, S. R.; ROUBEY, R. A.; HARRIS, B. D.; BROMBERG, P. A.; PEDEN, D. B. Ozone enhances markers of innate immunity and antigen presentation on airway monocytes in healthy individuals. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, v. 120, n. 3, p. 719-722, 2007.
- KUNDZEWICZ, Z. W.; ROBSON, A. Detecting trend and Other Changes in Hydrological Date. Geneva: *World Climate Programme-Water, World Climate Programme Date and Monitoring*, p. 158, 2000.
- KÜNZLI, N.; PEREZ, L.; RAPP, R. Air quality and health, Lausanne. *European Respiratory Society*, v. 66, 2010.
- LACERDA, A.; LEROUX, T.; MORATA, T. Efeitos tóxicos da exposição ao monóxido de carbono: uma revisão. *Pró-fono Revista de atualização científica, Barueri (SP)*, v. 17, n. 3, p. 403-412, set. Dez., 2015.
- LAWRENCE, A. J.; MASI, A.; TANEJA, A. Indoor/outdoor relationships of carbon monoxide and oxides of nitrogen in domestic homes with roadside, urban and rural locations in a central Indian region. *Indoor Air*, v.15, n.2, p.76 - 82, 2005.
- LEMOS, J. F. *Poluição veicular: análise dos impactos e benefícios ambientais com a substituição dos veículos leves na cidade de São Paulo*, 2010 133 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Programa Interunidades de pós graduação em energia, 2010.
- LI, Z.; GUO, J.; DING, A.; LIAO, H.; LIU, J.; SUN, Y.; WANG, T.; XUE, H.; ZHANG, H., ZHU, B. Aerosol and boundary-layer interactions and impact on air quality. *Natl Sci Rev*, 2017, Vol. 4, No. 6, 2017.
- LIMA, Y. A. *Um estudo da qualidade do ar na cidade de Fortaleza (CE)*. 2017. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2017.
- LISBOA, H. M. Controle da poluição atmosférica. *Capítulo VIII, Meteorologia e dispersão de poluentes atmosféricos*, Montreal, 2007.
- LOPES, F. S.; RIBEIRO, H. Mapeamento de internações hospitalares por problemas respiratórios e possíveis associações à exposição humana aos produtos da queima da palha de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. *Rev Bras Epidemiol*. 2006;9(2):215-25.

- LOUREIRO L. N. *Panorâmica Sobre Emissões Atmosféricas Estudo De Caso: Avaliação Do Inventário Emissões Atmosféricas da Região Metropolitana do Rio De Janeiro para fontes móveis*. 2005. 153 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2005.
- LOVE, G. J.; LAN, S-P.; SHY, C. M. & STRUBA, R. J. The incidence and severity of acute respiratory illness in families exposed to different levels of air pollution, New York Metropolitan Area, 1971-1972. *Archives of Environmental Health*, 36: 66-73, 1981.
- LUVSANA, M.E.; SHIE, R. H.; PUREVDORJ, T.; BADARCH, L.; BALDORJ, B.; CHAN, C-C. The influence of emission sources and meteorological conditions on SO₂ pollution in Mongolia. *Atmospheric Environment*, v.61, p.542 - 549, 2012.
- MACHIN, A. B.; NASCIMENTO, L. F. C. Efeitos da exposição a poluentes do ar na saúde das crianças de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, ISSN 1678-4464, v. 34, nº 3, , ISSN 1678-4464, v. 34, nº 3, io de Janeiro, 2018.
- MAISONET, M.; CORREA, A.; MISRA, D.; JAAKKOOLA J. J. K. A review of the literature on the effects of ambient air pollution on fetal grow. *Environ Res.*, 2004.
- MANN, H. B. *Econometrica. The econometric society*, v.13, n.3, p. 245-269, 1945.
- MARLAND, G.; BODEN, T.A.; ANDRES, R. J. (2001). Global, Regional, and National Fossil Fuel CO₂ Emissions US Department of Energy, *Carbon Dioxide Information Analysis Center* <<http://cdiac.esd.ornl.gov/>> Acesso em: abril, 2018.
- MARTINS, E. M.; MEIRELES, A. R.; MAGALHÃES F. R.; CARVALHO J. B. B.;
- MARTINS, J. A. (1999). Qualidade ambiental urbana para todos. *Revista CREA RJ*, Rio de Janeiro, nº 24, maio/junho de 1999.
- MEDRI, W. *Análise exploratória de dados*, 82 p, Londrina, Paraná, p. 342, 2011.
- MINAMISAVA R., BARBOSA M., MALAGONI L., ANDRAUS L. Fatores associados ao baixo peso ao nascer no Estado de Goiás. *Revista Eletrônica de Enfermagem*, 2004.
- MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Poluentes atmosféricos*, 2017. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidadedoar/poluentesatmosf%C3%A9ricos>> Acesso em 27 abril de 2019.
- MOONS, K.G.; DONDERS, R.A.; STIJNEN T.; HARRELL, F.E. JR. Using the outcome for imputation of missing predictor values was preferred. *Journal of Clinical Epidemiology*, 2006.
- MOORE, D. S.; NOTZ, W. I.; FLIGNER M. A. *A Estatística Básica e sua Aplicação*. LTC Editora, 7ª edição, 2017.

- MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; LIEW, M. W. VAN; BINGER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, Zurique, v.50, p.885-900, 2007.
- MORTATTI, J. et. al. Hidrologia dos rios Tietê e Piracicaba: séries temporais de vazão e hidrogramas de cheia. *Revista Ciência e Tecnologia*. v. 12, n. 23, p. 55-68, 2004.
- MOURA, I. F. S. *Avaliação de MP₁₀ na Região Metropolitana de Belo Horizonte*. 2016. 144 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2016.
- NICOLUSSI, F. H. et al. Poluição do ar e doenças respiratórias alérgicas em escolares. *Revista de Saúde Pública*, v.48, n.2, p.326-30, 2014.
- NIELSEN, S. F. Proper and improper multiple imputation. *International Statistical Review*, 2003.
- NORMANDO, D.; TJÄDERHANE, L.; QUINTÃO, C. C. A. A escolha do teste estatístico – um tutorial em forma de apresentação em PowerPoint. *Dental Press Journal of Orthodontics*, Maringá, v.15, n.1, p.101-106, 2010.
- NUNES, L. N. *Métodos de imputação de dados aplicados na área da saúde*. Tese (Doutorado em Epidemiologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Medicina, Porto Alegre, 2007.
- NUNES, L. N.; KLÜCK, M. M.; FACHEL, J. G. Comparação de métodos de imputação única e múltipla usando como exemplo um modelo de risco para mortalidade cirúrgica. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 596-606, 2010.
- NUNES, L. N.; KLÜCK, M. M.; FACHEL, J. G. Uso da imputação múltipla de dados faltantes: uma simulação utilizando dados epidemiológicos. *Caderno de Saúde Pública*, p. 268-278, 2009.
- OLIVEIRA, J. G.I. *A poluição atmosférica e os seus efeitos na saúde da população do município de Volta Redonda*. 2018. 119 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda, Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental, 2018.
- OLIVEIRA, M. S. Associação entre poluição do ar e morbimortalidade por doenças cardiorrespiratórias no município de Volta Redonda, RJ, Brasil 2011.
- OLIVEIRA-JÚNIOR, J. S. P. *Legislação Brasileira sobre Poluição do ar*. Câmara dos Deputados, Biblioteca digital da Câmara, 2007.

- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS. WHO Guidelines. PANDEMIC AND EPIDEMIC DISEASES. Infection prevention and control of epidemic and pandemic-prone acute respiratory infections. 2014.
- PAGANO, M.; GAUVREAU, K. *Princípios de Bioestatística* (2ª ed.). (L. S. Paiva, Trad.) São Paulo: Thomson Learning, 2004.
- PAIVA, R. F. P. S. *A valoração ambiental a partir da economia ecológica: um estudo de caso para a poluição hídrica e atmosférica na cidade de Volta Redonda, RJ*. 2010. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia, 2010.
- PAIVA, R. F. P. S. Hospital morbidity due to diseases associated with air pollution in the city of Volta Redonda, Rio de Janeiro: cases and economic cost. *Revista de Saúde Coletiva*, v.22, p. 127-32, 2014.
- PASSOS, P. N. A conferência de Estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente. *Revista direitos fundamentais e democracia*, v. 6, UniBrasil - Faculdades Integradas do Brasil, 2009.
- PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied statistics*, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.
- PIRES, J. M. M.; LENA, J. C.; MACHADO, C. C.; SÉRGIO, P. R. Potencial poluidor de resíduo sólido da Samarco Mineração: estudo de caso da barragem de germano. *Rev. Árvore*, Viçosa-MG, v.27, n.3, p. 393-397, 2003.
- PONTE, J. P. et al. *Investigações Matemática na Sala de Aula*. 3ª ed. São Paulo, SP: Autêntica, 2013.
- RADICCHI, A. L. A. A poluição na bacia aérea da região metropolitana de Belo Horizonte e sua repercussão na saúde da população. *Revista Brasileira de Estudos de população*, v. 29, n. 1, 2012.
- RAMIREZ, A. Toxicologia del Cádmiu. Conceptos Actuales para Evaluar Exposición Ambiental u Ocupacional com Indicadores Biológicos. *Anales de la Facultad de Medicina Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, v. 63, p. 51-64, Peru, 2002.
- RIBEIRO, H. Os climas na cidade de São Paulo: teoria e prática – Poluição do ar e Doenças Respiratórias. São Paulo: DSAFSP/USP. 1988. pp. 136-144.
- RIBEIRO, H. P. Estudo das correlações entre infecções das vias aéreas superiores, bronquite asmática e poluição do ar em menores de 12 anos. Santo André. *Pediatria Prática*, 1971.
- RIBEIRO, H.; PESQUERO, C. Queimadas de cana-de-açúcar: avaliação de efeitos na qualidade do ar e na saúde respiratória de crianças. *Estudos Avançados*, v.24, n.68, 2010.

- RIBEIRO, M. M. Emissões de poluentes atmosféricos no Rio de Janeiro em relação a normas nacionais e internacionais, *Revista Internacional de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 07, n. 01, p. 32 - 48, jan-jun 2017.
- RIBEIRO, R. E. P.; ARAGÃO, M. R. S.; SOUZA, L. F.; FÁTIMA, M. C.; VILAR, R. A. A. Estimativa da altura da camada limite planetária diurna e noturna na cidade de Natal, Estado do Rio Grande do Norte. *Ciência e Natura, Santa Maria v.38 Ed. EspecialIX Workshop Brasileiro de Micrometeorologia*, 2016, p. 452- 459 *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM*, 2016.
- RUBIN D. B. Multiple Imputation for Nonresponse in Surveys. New York: Wiley, 1987.
- RUSSO, P. R. A qualidade do ar no município do Rio de Janeiro: uma análise espaço-temporal de partículas em suspensão na atmosfera, *Revista de Ciências Humanas*, v. 10, n. 1, p. 78 a 93, jan a jun de 2010.
- SANTANA, E. et al. *Padrões de qualidade do ar Experiência comparada Brasil, EUA e União Europeia*. Instituto de Energia e Meio Ambiente – IEMA, São Paulo, 2012.
- SANTOS, R. S.; SEDIYAMA, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; ABRAHÃO, G. M. Homogeneidade de séries climatológicas em Minas Gerais. *Revista brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental*, v. 6, n. 12, p. 1338-1345, 2012.
- SANTOS, U. P. Poluição, aquecimento global e repercussões na saúde. *Revista da Associação Médica Brasileira*, v.53, n.3 São Paulo, 2007.
- SALDIVA, P. H. N.; MAUAD, T.; CAPELOZZI, V. L. et al . Pulmões. Pleura. In: FILHO, B.; BOGLIOLO, G. *Patologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 298-344. 2000.
- SANTOS, H. L.; FIALHO, M. L.; REIS, K. P.; FRANCO, M. V.; OLIVEIRA, R. B. Relação entre poluentes atmosféricos e suas consequências para a saúde. *Revista científica Intraciência*, ed. 17. 2019. São Paulo, 2019.
- SCHAFER, J. L. Multiple imputation: a primer. *Statistical Methods in Medical Research*, 1999.
- SCHAFER, J. L.; GRAHAM, J. W. Missing Data: Our View of the State of the Art. *Psychological Methods*, p. 147-177, 2002.
- SILVA, José Airton. *Um Estudo da Qualidade do Ar na Cidade de Fortaleza (CE)*. 2010. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Ceará, Curso de Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas, Fortaleza, 2010.
- SILVEIRA, I. H.; JUNGER W. L. Espaços verdes e mortalidade por doenças cardiovasculares no município do Rio de Janeiro. *Rev Saúde Pública*. 2018; 52:49, São Paulo, 2018.

- SNEYERS, R. Sur l'analyse statistique des series d'observations. *Genève: Organisation Météorologique Mondiale*, 192 pp, OMM Note Technique, 143, 1975.
- SOUSA, N.M.N.; DANTAS, R.T.; LIMEIRA, R.C. Influência de variáveis meteorológicas sobre a incidência do dengue, meningite e pneumonia em João Pessoa-PB. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.22, n.2, p. 183-192, 2007.
- SOUZA, A. S.; GOIS, G.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. F. análise estatística da variabilidade mensal da chuva e temperatura do ar no município de Resende. In: *I CONGRESSO NACIONAL DE TECNOLOGIA AMBIENTAL Sustentabilidade e Bioeconomia*, 2018, Volta Redonda. Universidade Federal Fluminense, 2018. v. 1. p. 1-2.
- SRÁM, R. J. et al. Ambient air pollution and pregnancy outcomes: a review of the literature. *Environmental Health Perspectives*, v.113, p.375-82, 2005.
- STIGLER, S. M. The history of statistics: the measurement of uncertainty before 1900. Cambridge, USA: *The Belknap Press of Harvard University Press*, 1986.
- STULL, R. B. Introduction to Boundary Layer Meteorology London: *Kluwer Academic Publishers*, 1988.
- TACO, G. B. G. *Desenvolvimento de uma metodologia para identificar espacialmente os níveis de emissão de gases derivados de veículos automotores nas áreas urbanas*. 2006. 156 f. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Universidade de Brasília, departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, 2006.
- TADANO, S. Y. *Análise do impacto de MP10 na saúde populacional: estudo de caso em Araucária, PR*. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- TAYRA, F.; RIBEIRO, H.; NARDOCCI, A. C. Avaliação Econômica dos Custos da Poluição em Cubatão - SP com Base nos Gastos com Saúde Relacionados às Doenças dos Aparelhos Respiratório e Circulatório. *Saúde Soc.* São Paulo, v.21, n.3, p.760-775, 2012.
- TARANTINO, A. B. *Doenças pulmonares*. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002.
- TELLES, A. B. *Relações entre condições climáticas e Infecções respiratórias agudas notificadas em Salvador – 2004 a 2008.*/ Aline Barreto Teles. – Salvador, 2011.
- TEIXEIRA, L.R. *Efeitos de um programa de atividades físicas para criança asmática, avaliados por provas de função pulmonar*. São Paulo: 1990. P.72 Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola de Educação Física da USP, 1990.
- TOLEDO, G. I. F. M.; NARDOCCI A. C. Poluição veicular e saúde da população: uma revisão sobre o município de São Paulo (SP). *Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (USP)*, São Paulo, 2010.

- TONG, Z.; CHEN, Y.; MALKAWI, A. Estimating natural ventilation potential for high-rise buildings considering boundary layer meteorology. *Applied Energy* 193 (2017) 276–286, 2017.
- TONG, C. H. M.; YIM, S. H. L.; ROTHENBERG, D.; WANG, C.; LIN, C.; CHEN, Y. D.; LAU, N. C. Assessing the impacts of seasonal and vertical atmospheric conditions on air quality over the Pearl River Delta region. *Atmospheric Environment* 180 (2018) 69–78, 2018.
- TORETI, A.; KUGLITSCH, F. G.; XOPLAKI, E.; DELLA-MARTA, P. M.; AGUILAR, E.; PROHOMF, M.; LUTERBACHERG, J. Short Communication: A note on the use of the standart normal homogeneity teste to detect inhomogeneities in climatic series. *International Journal of Climatology*, 2011.
- TRIOLA, Mario F. Introdução à estatística. 10. ed. Rio de Janeiro: *Livros Técnicos e Científicos*, 2008. 696 p., ISBN 9788521615866.
- TURNER, B. D. Workbook of atmospheric dispersion estimates. New York, *Lewis* 2º ed, 1994.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. *Meteorologia e climatologia*. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia-Ministério da Agricultura, 515 p, 2001.
- VIEIRA, S. Estatística básica. *Cengage Learning*, São Paulo, 2013.
- VIOLA, M. R.; MELLO, C.R.; ACERBI JUNIOR, F.W.; SILVA, A.M. Modelagem hidrológica na bacia hidrográfica do Rio Aiuruoca, MG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.13, n.5, p.581–590, 2009.
- WAAL, T.; PANNEKOEK, J.; SCHOLTUS, S. Handbook of statistical data editing and imputation. New Jersey: *John Wiley & Sons*, 2001.
- WILLMOTT, C. J. On the validation of models. *Physical Geography*, v.2, n.2, p.184-194, 1981.
- YUE, S.; PILON, P. J.; PHINNEY, B. Canadian Streamflow Trend Detection: Impacts of Serial and Cross-Correlation. *Hydrological Sciences Journal* 48, p. 51-63, 2003.
- ZENG, Q.; LI, G.; ZHAO, L.; JIANG, G.; PAN, X. Characteristics of the Exposure-Response Relationship of Particulate Matter and Mortality: A Time Series Analysis of 7 Cities in China, *JOEM*, v. 57, n. 10, 2015.
- ZERI, M.; CARVALHO, V. S. B.; CUNHA-ZERI, G.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; LYRA, G. B.; FREITAS, E. D. Assessment of the variability of pollutants concentration over the metropolitan area of São Paulo, Brazil, using the wavelet transform. *Atmos. Sci. Let.* 17: 87–95, 2016.
- ZHANG P. Multiple imputation: theory and method. *Int Stat Rev*, 2003.

ZHANG, W.; YAN, Y.; ZHENG, J.; LI, L.; DONG, X.; CAI, H. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. *Global and Planetary Change*, 2009.

ZHU, X.; TANG, G.; GUO, J.; HU, B.; SONG, T.; WANG, L.; XIN, J.; GAO, W.; MÜNKEL, C.; SCHÄFER, K.; LI, X.; WANG, Y. Mixing layer height on the North China Plain and meteorological evidence of serious air pollution in southern Hebei. *Atmos. Chem. Phys*, 18, 4897–4910, 2018.

II CONSENSO BRASILEIRO SOBRE RINITES, 2006. *Rev. bras. alerg. imunopatol.* v. 29, n. 1, São Paulo, 2006.

IV DIRETRIZES BRASILEIRAS PARA O MANEJO DA ASMA, *J. bras. pneumol.* vol. 32, uppl.7, São Paulo, 2006

APÊNDICE (A)

Tabela 12: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (PM₁₀) da estação de qualidade do ar de Cerqueira César, no estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
($\mu\text{g m}^{-3}$)							
1996	83,84	22,20	32,47	53,02	46,40	46,07	20,55
1997	83,68	16,52	27,71	50,10	42,65	38,00	22,39
1998	87,45	12,90	25,33	50,18	38,91	35,42	24,85
1999	86,71	11,94	24,40	49,32	39,42	34,39	24,92
2000	117,79	5,34	24,08	61,57	43,98	38,97	37,48
2001	89,21	6,05	19,91	47,63	34,65	33,49	27,72
2002	102,89	16,97	31,29	59,93	47,31	43,54	28,64
2003	108,38	14,46	30,11	61,42	48,06	44,39	31,31
2004	77,60	14,41	24,94	46,01	36,32	34,16	21,06
2005	80,12	13,39	24,52	46,76	36,56	35,22	22,24
2006	74,59	13,67	23,82	44,13	35,72	33,33	20,31
2007	76,31	17,45	27,26	46,88	38,83	36,55	19,62
2008	83,34	10,99	23,05	47,17	37,29	32,48	24,12
2009	56,69	9,84	17,65	33,26	26,09	24,24	15,62
2010	70,37	7,12	17,66	38,74	29,55	25,86	21,08
2011	65,76	11,43	20,49	38,60	31,27	30,01	18,11

Tabela 13: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO) da estação de qualidade do ar de Cerqueira César, no estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
($\mu\text{g m}^{-3}$)							
1996	246,94	6,21	80,98	123,65	105,27	112,00	42,67
1997	221,65	8,02	54,27	133,86	94,91	90,71	79,59
1998	199,63	1,24	41,39	110,97	79,56	72,19	69,58
1999	182,94	0,00	0,00	49,73	30,58	0,00	49,73
2000	192,42	0,00	16,27	92,75	58,01	50,31	76,48
2001	224,42	1,75	38,58	96,75	72,39	62,32	58,17
2002	198,26	6,89	43,73	95,49	73,37	66,21	51,76
2003	195,34	0,44	37,89	79,81	63,46	56,28	41,92
2004	195,68	3,24	40,04	77,68	63,17	55,12	37,64
2005	117,71	4,87	44,94	74,52	60,81	59,36	29,59
2006	190,62	4,59	32,45	85,12	63,96	56,10	52,67
2007	199,45	1,68	30,32	84,37	64,50	58,65	54,04
2008	180,10	2,04	30,13	88,62	63,15	52,27	58,49
2009	198,87	3,90	27,65	75,24	56,98	50,91	47,59
2010	197,08	0,19	20,02	65,15	46,23	37,37	45,14
2011	193,13	2,47	17,29	55,01	43,05	36,02	37,72

Tabela 14: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO₂) da estação de qualidade do ar de Cerqueira César, no estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
(µg m ⁻³)							
1996	184,74	30,10	64,81	90,82	81,61	82,04	26,00
1997	177,81	27,51	56,68	87,83	76,27	72,39	31,15
1998	136,83	24,04	48,95	79,03	65,54	62,11	30,08
1999	178,64	3,66	44,67	70,80	59,37	56,40	26,13
2000	140,16	20,45	50,21	79,72	67,37	65,38	29,51
2001	190,93	2,78	51,40	80,50	66,72	64,60	29,10
2002	147,51	17,85	49,90	79,46	65,10	63,26	29,56
2003	166,91	14,33	43,20	70,41	59,16	53,91	27,21
2004	129,07	20,12	45,03	68,38	57,97	54,58	23,35
2005	99,44	13,43	43,16	64,40	55,12	54,12	21,24
2006	118,66	5,89	38,33	65,84	53,75	50,06	27,52
2007	159,84	14,56	47,64	83,64	67,78	63,99	36,00
2008	139,96	5,28	43,90	78,02	62,43	59,57	34,12
2009	126,17	21,99	44,99	66,93	57,33	55,83	21,94
2010	132,35	14,81	37,55	64,31	52,76	49,80	26,76
2011	123,74	14,15	35,09	57,74	47,68	46,82	22,65

Tabela 15: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (SO₂) da estação de qualidade do ar de Cerqueira César, no estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
(µg m ⁻³)							
1996	80,79	3,90	14,22	22,64	19,73	18,65	8,42
1997	94,71	0,00	6,92	19,10	13,72	11,78	12,18
1998	99,83	0,00	4,82	16,54	13,40	10,22	11,73
1999	53,10	0,17	9,32	22,04	16,38	14,23	12,72
2000	57,37	0,20	10,29	22,91	17,80	14,66	12,63
2001	33,89	0,63	8,12	15,46	12,07	11,29	7,35
2002	57,97	1,13	7,96	16,30	12,69	11,63	8,34
2003	30,47	0,81	6,46	13,62	10,51	9,71	7,17
2004	35,71	1,32	8,14	16,84	12,85	11,74	8,70
2005	21,98	0,81	4,11	10,62	8,01	7,46	6,51
2006	23,21	0,38	3,76	8,89	6,71	6,13	5,13
2007	72,33	0,47	4,86	10,12	8,21	7,20	5,26
2008	24,02	0,04	3,23	8,49	6,22	5,48	5,26
2009	12,68	0,38	3,15	5,99	4,76	4,35	2,84
2010	19,19	0,41	2,62	5,90	4,51	3,76	3,28
2011	15,48	0,10	2,97	5,91	4,64	4,37	2,94

Tabela 16: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (PM₁₀) das estações de qualidade do ar de Congonhas

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
($\mu\text{g m}^{-3}$)							
1996	145,80	21,63	60,02	76,13	71,63	72,28	16,11
1997	141,50	17,04	46,90	76,75	64,70	60,47	29,85
1998	143,31	0,00	34,13	63,16	50,51	48,77	29,03
1999	120,32	0,00	20,75	55,31	38,05	40,87	34,56
2000	144,75	0,00	55,33	83,03	70,24	69,90	27,70
2001	142,35	2,71	47,73	74,09	62,84	60,40	26,36
2002	146,48	20,04	50,90	83,73	68,82	65,80	32,83
2003	140,33	12,93	34,85	58,79	50,26	46,39	23,94
2004	132,40	18,01	35,46	56,66	47,86	44,60	21,20
2005	123,34	22,57	38,74	53,71	48,23	46,15	14,97
2006	120,08	10,09	37,94	55,13	48,57	44,39	17,19
2007	89,93	14,03	36,05	53,78	45,82	43,92	17,73
2008	106,02	15,25	33,04	50,77	44,23	41,59	17,72
2009	89,42	12,20	31,18	44,80	38,59	37,76	13,62
2010	117,39	10,24	27,10	43,41	37,83	33,71	16,31
2011	120,77	10,35	27,50	44,33	37,48	35,82	16,83

Tabela 17: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO) das estações de qualidade do ar de Congonhas

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
($\mu\text{g m}^{-3}$)							
1996	326,04	8,27	158,83	187,54	172,52	174,41	28,70
1997	304,80	19,79	118,00	179,68	149,47	154,86	61,69
1998	316,46	10,48	93,65	160,20	128,83	131,79	66,55
1999	220,53	0,00	105,46	157,97	125,83	130,33	52,51
2000	204,84	0,00	45,12	152,21	102,72	119,95	107,09
2001	239,51	0,00	87,69	153,10	119,96	123,46	65,41
2002	235,03	26,04	99,78	157,05	126,88	131,04	57,27
2003	243,16	16,93	96,73	161,11	128,85	134,52	64,38
2004	231,39	27,63	115,22	166,27	136,72	140,66	51,05
2005	211,23	20,44	104,12	144,78	125,16	127,49	40,66
2006	202,73	13,55	112,64	141,87	126,71	126,56	29,22
2007	199,32	8,74	100,69	145,79	120,07	124,55	45,10
2008	198,13	22,71	95,52	150,69	122,67	129,02	55,17
2009	199,89	10,20	81,16	148,49	116,27	122,83	67,33
2010	198,41	17,37	58,41	122,52	92,52	84,49	64,10
2011	195,52	13,02	46,16	92,14	73,49	64,09	45,98

Tabela 18: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO₂) das estações de qualidade do ar de Congonhas

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
(µg m ⁻³)							
1996	179,83	36,50	87,48	105,82	99,09	101,41	18,33
1997	180,71	0,00	70,17	99,02	85,69	85,01	28,86
1998	161,19	21,98	62,63	92,23	78,79	76,71	29,60
1999	133,40	0,00	23,05	70,92	46,33	37,69	47,87
2000	155,99	0,00	6,85	27,18	19,31	17,11	20,33
2001	187,42	0,00	20,17	85,92	59,69	65,78	65,74
2002	178,25	31,17	65,09	98,48	83,48	80,46	33,39
2003	193,62	32,40	64,96	100,99	84,82	83,28	36,03
2004	157,12	18,81	56,48	91,89	76,33	75,90	35,41
2005	167,45	30,81	69,52	84,85	77,84	76,47	15,33
2006	155,29	27,26	72,48	86,18	80,84	78,07	13,69
2007	134,74	24,08	61,52	86,31	74,77	75,06	24,79
2008	163,93	17,53	60,71	92,38	76,70	74,96	31,67
2009	145,33	19,49	58,71	86,90	72,73	72,64	28,19
2010	167,92	21,11	52,69	75,88	66,39	62,66	23,19
2011	135,44	24,22	46,00	67,15	57,19	54,75	21,15

Tabela 19: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (SO₂) das estações de qualidade do ar de Congonhas

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
(µg m ⁻³)							
1996	87,78	9,06	29,01	37,58	34,77	34,34	8,57
1997	84,04	1,67	16,15	33,08	24,65	23,50	16,93
1998	87,06	0,00	6,17	24,96	16,80	14,85	18,79
1999	56,67	0,00	14,43	26,70	21,39	20,45	12,26
2000	72,29	4,26	17,93	30,92	25,32	24,33	12,99
2001	39,40	0,72	14,24	23,99	19,26	19,14	9,76
2002	54,28	0,56	13,55	23,56	19,49	18,76	10,02
2003	44,50	1,12	13,08	23,74	18,84	18,52	10,65
2004	47,65	4,49	14,85	28,35	22,25	21,74	13,50
2005	41,84	2,33	10,42	18,81	14,86	14,58	8,39
2006	31,06	0,92	9,41	15,97	12,86	12,66	6,55
2007	27,79	0,58	7,35	13,74	10,58	10,45	6,39
2008	29,06	1,37	7,06	13,29	10,69	10,43	6,22
2009	33,59	1,04	6,40	16,34	11,87	10,65	9,94
2010	23,13	0,71	5,51	10,26	8,19	7,85	4,74
2011	17,31	0,10	5,71	9,31	7,51	7,45	3,60

Tabela 20: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (PM₁₀) da estação de qualidade do ar em Cubatão Centro, estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
(µg m ⁻³)							
1996	106,49	6,78	34,23	51,29	44,79	45,05	17,06
1997	132,87	0,00	25,27	50,70	38,98	35,32	25,43
1998	86,70	0,00	24,10	47,15	35,12	33,44	23,05
1999	142,96	6,15	24,55	44,14	36,67	32,07	19,59
2000	100,69	0,60	26,22	49,68	39,26	36,63	23,46
2001	111,68	0,00	22,61	43,15	34,31	32,53	20,53
2002	67,40	6,59	26,53	33,03	32,04	32,84	6,50
2003	86,12	6,83	24,14	40,22	32,64	31,58	16,08
2004	78,29	9,18	24,80	41,88	33,51	32,17	17,08
2005	90,33	8,01	24,12	39,61	32,55	31,36	15,49
2006	85,30	6,08	24,51	43,08	35,37	33,57	18,56
2007	116,96	10,71	24,86	43,45	35,95	33,42	18,59
2008	85,73	5,86	21,94	39,80	32,08	29,75	17,86
2009	70,24	5,93	21,70	34,77	29,20	27,42	13,07
2010	127,67	6,69	22,32	42,15	33,81	30,16	19,82
2011	85,31	9,06	26,97	46,12	37,46	36,00	19,14

Tabela 21: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO) da estação de qualidade do ar em Cubatão Centro, estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
(µg m ⁻³)							
1996	76,86	0,00	20,54	29,99	26,27	27,20	9,45
1997	90,39	0,19	13,52	36,45	26,36	24,38	22,93
1998	184,75	0,00	3,43	28,94	19,62	15,51	25,51
1999	90,24	0,56	13,57	29,20	22,79	20,93	15,63
2000	75,19	0,00	14,80	36,10	26,70	24,86	21,30
2001	172,88	0,00	13,08	38,38	26,90	25,09	25,30
2002	123,14	3,12	27,04	32,69	32,34	31,63	5,66
2003	111,11	0,62	21,53	40,55	32,98	33,60	19,03
2004	102,11	1,94	28,47	44,79	38,44	35,41	16,31
2005	102,78	1,72	16,27	39,75	30,50	29,68	23,48
2006	61,59	4,49	26,11	36,14	31,23	30,43	10,03
2007	99,17	0,92	24,96	34,76	29,98	29,57	9,80
2008	135,48	0,59	20,18	41,77	33,65	30,86	21,59
2009	112,44	0,94	18,21	43,00	32,10	29,74	24,79
2010	117,11	1,56	18,13	43,87	32,70	30,12	25,74
2011	125,51	0,83	18,37	43,47	34,38	31,55	25,10

Tabela 22: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO₂) da estação de qualidade do ar em Cubatão Centro, estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
(µg m ⁻³)							
1996	75,72	14,68	31,62	40,05	36,92	37,29	8,43
1997	115,76	0,00	24,46	45,13	35,59	34,19	20,66
1998	88,83	0,00	12,44	33,75	23,99	26,78	21,31
1999	89,80	4,22	23,13	35,59	30,09	28,99	12,46
2000	60,74	0,00	23,23	33,70	28,59	27,48	10,47
2001	60,11	0,00	22,50	37,56	29,46	29,86	15,06
2002	79,01	5,90	23,89	30,63	27,62	24,65	6,74
2003	72,66	0,35	11,67	21,73	18,47	17,09	10,07
2004	46,49	3,25	14,40	22,61	18,99	18,44	8,21
2005	77,89	8,35	20,50	32,93	27,04	26,26	12,43
2006	46,46	13,43	21,33	30,90	26,41	25,54	9,57
2007	58,26	8,99	21,64	29,56	25,86	24,93	7,92
2008	79,29	2,18	18,00	36,88	28,16	26,36	18,88
2009	35,30	4,48	12,39	17,80	15,24	14,79	5,40
2010	114,64	2,21	6,52	27,49	17,35	9,11	20,97
2011	69,94	9,45	27,76	40,31	34,39	33,87	12,55

Tabela 23: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (SO₂) da estação de qualidade do ar em Cubatão Centro, estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
(µg m ⁻³)							
1996	73,70	1,30	18,42	29,59	24,98	27,43	11,17
1997	96,46	1,26	14,52	36,87	28,35	23,75	22,35
1998	93,33	0,00	6,73	21,19	15,71	13,11	14,46
1999	89,73	0,00	6,96	22,38	17,11	13,41	15,42
2000	91,50	2,19	9,45	24,20	18,57	16,59	14,75
2001	97,85	0,00	10,71	25,93	20,63	18,37	15,22
2002	46,11	0,12	12,50	17,33	15,96	17,08	4,83
2003	64,00	0,27	8,80	21,07	16,08	15,73	12,27
2004	75,63	0,00	9,93	19,95	15,73	14,74	10,01
2005	98,48	0,22	7,71	18,41	14,12	12,47	10,70
2006	53,84	0,13	5,39	17,26	12,28	11,53	11,87
2007	62,14	0,41	6,22	15,93	12,31	11,10	9,70
2008	88,67	0,54	6,71	16,94	13,31	11,05	10,23
2009	71,62	0,47	7,12	17,83	13,95	12,21	10,71
2010	83,22	0,96	7,03	19,32	14,83	12,00	12,29
2011	47,80	0,66	5,19	14,99	11,15	10,09	9,80

Tabela 24: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (PM₁₀) da estação de qualidade do ar em Cubatão Vila Parisi, estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
(µg m ⁻³)							
1996	149,52	7,37	71,88	99,85	86,28	88,87	27,97
1997	149,42	14,91	61,34	102,09	82,52	80,90	40,75
1998	149,59	0,00	53,85	101,06	77,66	77,15	47,20
1999	149,06	0,00	41,46	88,06	65,65	68,73	46,60
2000	149,56	14,23	63,65	105,18	84,18	85,28	41,53
2001	147,32	0,00	60,40	100,07	78,82	78,78	39,67
2002	144,57	9,17	56,92	91,25	74,37	75,73	34,33
2003	148,88	9,09	66,03	115,06	89,79	87,48	49,03
2004	149,52	12,61	60,53	102,51	82,45	84,02	41,98
2005	147,22	11,28	55,01	108,09	81,81	83,46	53,08
2006	148,23	11,22	62,78	109,49	86,28	87,87	46,71
2007	148,68	15,63	79,11	109,13	89,87	85,89	30,02
2008	149,79	9,85	60,61	112,00	85,12	84,93	51,39
2009	137,78	9,27	49,44	82,02	66,74	67,14	32,57
2010	152,01	13,39	56,53	98,31	78,56	77,43	41,78
2011	149,56	15,37	64,04	107,13	85,40	86,29	43,08

Tabela 25: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO) da estação de qualidade do ar em Cubatão Vila Parisi, estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
(µg m ⁻³)							
1996	142,63	37,35	78,34	99,75	90,33	93,74	21,40
1997	134,06	35,15	68,09	96,25	82,56	81,10	28,16
1998	122,49	17,72	54,56	85,40	69,40	69,97	30,84
1999	109,06	1,02	37,79	69,71	54,03	57,01	31,92
2000	117,65	12,99	44,13	70,11	57,51	58,30	25,98
2001	95,91	0,45	35,51	62,83	49,12	49,16	27,32
2002	92,77	0,16	28,75	54,05	41,10	40,63	25,30
2003	93,35	0,88	32,86	65,40	48,38	47,22	32,54
2004	101,21	0,10	22,50	52,02	38,66	38,80	29,51
2005	101,04	0,54	21,02	56,18	39,40	39,14	35,16
2006	99,91	0,98	27,57	65,46	47,16	49,59	37,89
2007	115,99	19,47	58,21	79,28	65,55	60,41	21,06
2008	116,98	5,90	56,75	86,59	71,99	72,97	29,84
2009	198,37	4,96	49,21	80,59	70,21	65,36	31,38
2010	193,43	6,01	51,14	96,27	76,10	75,36	45,13
2011	199,35	7,02	54,47	101,60	82,29	76,81	47,13

Tabela 26: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO₂) da estação de qualidade do ar em Cubatão Vila Parisi, estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
(µg m ⁻³)							
1996	68,79	27,09	43,20	49,78	46,02	45,70	6,58
1997	70,56	29,61	39,39	50,10	45,43	44,77	10,71
1998	77,89	27,81	41,77	54,04	48,55	47,72	12,28
1999	80,93	29,41	40,48	53,07	47,57	47,42	12,59
2000	82,97	34,06	47,86	58,65	54,11	53,43	10,79
2001	79,06	33,87	47,59	57,24	52,83	52,56	9,65
2002	76,07	28,70	46,46	55,86	51,35	50,48	9,40
2003	85,49	34,57	47,11	58,47	53,21	52,69	11,36
2004	96,35	24,86	46,24	60,75	53,86	52,86	14,52
2005	132,20	22,51	41,82	58,77	51,44	50,10	16,96
2006	76,76	23,44	39,10	52,34	46,33	45,96	13,23
2007	65,63	25,19	39,99	46,14	43,33	44,04	6,15
2008	69,55	24,53	34,72	47,27	41,68	41,38	12,55
2009	82,07	2,97	32,37	42,61	38,04	37,13	10,24
2010	112,60	10,24	33,94	47,55	42,38	40,87	13,62
2011	93,25	1,92	36,68	54,84	46,55	46,36	18,16

Tabela 27: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (SO₂) da estação de qualidade do ar em Cubatão Vila Parisi, estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
(µg m ⁻³)							
1996	72,89	1,03	14,14	22,71	19,53	17,84	8,56
1997	78,93	0,17	3,44	21,63	15,15	11,69	18,19
1998	99,67	0,12	11,26	31,82	24,80	20,99	20,56
1999	95,83	0,00	12,11	33,73	24,54	22,56	21,61
2000	97,79	0,00	17,86	39,35	31,30	27,66	21,49
2001	97,00	0,86	16,34	34,19	27,06	23,64	17,85
2002	88,12	0,05	13,29	32,15	24,29	21,99	18,87
2003	97,86	0,24	8,83	22,44	17,07	13,83	13,61
2004	73,40	0,60	10,11	26,82	20,45	18,83	16,71
2005	93,58	0,33	10,24	32,21	23,28	20,11	21,98
2006	90,32	0,00	11,09	33,31	24,81	22,55	22,23
2007	82,47	0,11	6,41	20,08	15,54	15,68	13,67
2008	81,41	0,28	8,48	23,85	18,46	14,28	15,37
2009	88,13	1,37	13,00	27,36	21,80	19,24	14,36
2010	83,30	0,49	9,83	23,70	18,56	16,60	13,87
2011	78,91	0,93	7,81	19,80	15,30	13,69	11,99

Tabela 28: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (PM₁₀) da estação de qualidade do ar em Osasco, estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
($\mu\text{g m}^{-3}$)							
1996	146,11	11,76	48,20	72,74	64,32	63,83	24,54
1997	149,25	18,63	42,08	72,45	60,56	54,66	30,38
1998	136,92	14,92	39,02	68,16	55,76	50,55	29,14
1999	134,25	0,00	32,97	62,83	46,60	47,32	29,87
2000	148,66	17,21	53,44	91,48	74,80	71,94	38,04
2001	130,20	0,00	45,93	75,96	61,95	60,02	30,03
2002	149,00	19,47	48,50	83,29	66,80	63,05	34,79
2003	141,32	12,47	44,81	80,68	65,01	60,67	35,87
2004	133,67	10,73	35,79	62,71	52,82	49,68	26,92
2005	128,82	0,00	35,12	68,58	52,99	48,71	33,46
2006	120,63	14,20	31,04	53,15	45,04	40,55	22,12
2007	91,07	10,49	34,98	44,96	42,15	43,94	9,98
2008	127,88	9,52	31,46	56,71	47,21	42,86	25,25
2009	121,89	6,97	32,95	45,30	41,87	42,21	12,35
2010	134,69	9,99	31,48	57,98	48,15	42,29	26,49
2011	146,27	10,97	35,66	58,91	49,98	47,51	23,25

Tabela 29: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO) da estação de qualidade do ar em Osasco, estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
($\mu\text{g m}^{-3}$)							
1996	278,17	16,96	112,88	144,63	132,93	134,73	31,75
1997	196,83	23,02	84,65	137,77	113,05	110,70	53,12
1998	199,30	0,00	80,33	129,45	105,37	102,36	49,12
1999	199,48	0,00	81,16	128,86	104,55	101,50	47,70
2000	181,09	0,00	0,00	89,62	43,51	0,00	89,62
2001	226,79	9,65	71,68	120,73	97,60	87,09	49,04
2002	137,90	58,61	77,69	102,29	89,99	88,82	24,61
2003	202,37	26,10	74,55	109,61	95,40	89,59	35,06
2004	142,66	65,58	81,63	100,39	92,99	90,88	18,76
2005	169,98	24,06	81,72	104,99	92,89	92,30	23,28
2006	137,95	72,11	83,14	95,31	90,80	88,24	12,17
2007	130,20	71,60	85,94	92,76	90,92	92,37	6,83
2008	145,25	71,43	85,10	99,79	94,75	92,11	14,69
2009	215,04	26,41	77,93	96,90	90,48	90,41	18,97
2010	197,56	16,44	63,68	109,71	87,79	83,62	46,03
2011	197,50	15,18	62,67	103,27	84,39	80,58	40,60

Tabela 30: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO₂) da estação de qualidade do ar em Osasco, estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
($\mu\text{g m}^{-3}$)							
1996	170,18	33,60	68,15	80,72	77,93	77,38	12,57
1997	123,47	26,56	51,18	75,59	64,36	62,10	24,41
1998	109,91	0,00	45,24	72,02	59,29	58,46	26,77
1999	143,73	0,00	49,73	71,93	61,72	60,20	22,21
2000	99,53	0,00	0,00	60,10	28,83	0,00	60,10
2001	139,01	8,65	43,99	63,27	54,50	50,31	19,27
2002	70,66	39,76	47,28	55,47	51,49	50,69	8,19
2003	136,73	19,22	46,36	62,03	55,84	53,68	15,67
2004	77,10	45,86	52,99	59,70	57,06	56,12	6,71
2005	98,98	26,07	55,28	64,84	60,04	59,68	9,55
2006	79,05	52,62	57,24	62,12	60,36	59,25	4,87
2007	74,56	53,86	59,23	62,02	61,21	61,83	2,80
2008	82,78	53,87	59,32	65,09	63,05	61,92	5,77
2009	147,98	26,64	58,30	64,41	62,57	61,49	6,12
2010	125,88	18,40	48,51	70,19	60,17	57,84	21,68
2011	119,14	21,63	48,20	66,44	58,20	57,94	18,24

Tabela 31: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (SO₂) da estação de qualidade do ar em Osasco, estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
($\mu\text{g m}^{-3}$)							
1996	71,03	4,13	15,45	23,54	20,46	19,33	8,09
1997	31,84	2,86	9,81	18,84	14,58	13,78	9,03
1998	51,43	2,65	7,83	18,08	13,74	11,80	10,25
1999	41,50	0,00	10,58	19,68	15,34	14,78	9,09
2000	48,45	1,13	11,70	22,01	17,86	15,79	10,31
2001	31,95	1,50	11,22	18,79	15,12	14,87	7,57
2002	36,49	0,42	8,69	17,70	13,61	12,97	9,01
2003	26,14	0,33	5,87	12,61	9,67	9,52	6,75
2004	25,80	1,62	6,24	13,95	10,35	9,33	7,70
2005	20,77	0,38	5,09	10,45	8,04	7,15	5,36
2006	18,08	1,23	4,10	7,49	6,05	5,62	3,39
2007	22,75	0,48	4,45	6,57	5,93	6,35	2,12
2008	20,61	0,39	4,28	9,34	7,31	6,52	5,06
2009	23,72	0,96	4,68	9,31	7,51	6,90	4,63
2010	22,22	0,92	4,13	8,42	6,36	5,71	4,29
2011	28,52	1,17	5,15	10,79	8,74	7,56	5,64

Tabela 32: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (PM₁₀) da estação de qualidade do ar em Paulínia, estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
($\mu\text{g m}^{-3}$)							
1996	21,26	12,11	14,40	18,97	16,69	16,69	4,58
1997	12,08	2,87	5,19	9,79	7,49	7,50	4,60
1998	6,63	0,00	1,18	4,22	2,73	2,36	3,04
1999	16,67	6,66	9,10	14,10	11,60	11,58	5,00
2000	50,54	0,00	0,00	20,69	7,86	0,00	20,69
2001	126,38	0,00	28,23	54,53	43,53	38,02	26,30
2002	109,73	12,34	26,34	60,35	44,49	39,03	34,01
2003	116,15	8,74	23,16	53,78	40,10	33,22	30,62
2004	115,21	8,23	19,92	41,04	32,89	27,38	21,12
2005	100,05	8,40	14,67	36,07	28,08	24,64	21,40
2006	76,90	7,18	17,44	42,00	31,31	26,88	24,55
2007	99,99	6,06	22,64	44,80	35,77	32,77	22,17
2008	77,57	6,17	16,56	41,87	30,33	28,73	25,31
2009	64,20	7,73	21,96	36,60	29,68	29,05	14,64
2010	124,52	8,97	24,27	46,87	38,80	34,26	22,60
2011	104,63	9,95	27,77	58,76	44,11	38,34	30,98

Tabela 33: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO) da estação de qualidade do ar em Paulínia, estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
($\mu\text{g m}^{-3}$)							
1996	29,29	27,10	27,65	28,74	28,20	28,20	1,09
1997	27,10	24,89	25,45	26,55	26,00	26,00	1,10
1998	24,89	22,60	23,18	24,33	23,75	23,76	1,14
1999	22,59	20,14	20,77	22,00	21,38	21,39	1,23
2000	134,29	0,02	5,21	28,75	21,83	17,24	23,54
2001	112,78	0,00	1,62	16,04	12,30	5,90	14,41
2002	127,10	0,15	3,28	19,51	15,83	8,01	16,22
2003	101,08	0,18	4,60	17,35	14,34	9,08	12,76
2004	31,48	0,60	3,15	10,20	7,19	5,73	7,05
2005	33,39	0,80	2,78	5,64	4,57	4,04	2,86
2006	23,48	1,15	3,27	6,86	5,59	4,83	3,59
2007	50,14	0,91	5,28	7,73	7,13	6,12	2,45
2008	24,03	1,85	5,08	9,46	7,59	7,02	4,37
2009	42,69	0,04	3,08	8,58	7,52	4,68	5,50
2010	80,78	0,56	3,31	12,55	11,14	5,84	9,24
2011	82,39	0,07	3,83	16,23	12,89	6,80	12,40

Tabela 34: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (NO₂) da estação de qualidade do ar em Paulínia, estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
(µg m ⁻³)							
1996	34,54	33,42	33,70	34,26	33,98	33,98	0,56
1997	33,42	32,29	32,57	33,14	32,85	32,85	0,56
1998	32,29	31,13	31,42	32,00	31,71	31,71	0,58
1999	31,12	29,90	30,22	30,83	30,52	30,52	0,61
2000	124,38	5,58	24,88	42,94	34,96	29,40	18,06
2001	83,45	0,00	15,19	32,85	23,84	24,51	17,66
2002	69,53	5,77	20,00	36,42	29,25	27,15	16,42
2003	68,01	5,92	21,50	30,58	27,23	25,79	9,08
2004	37,16	21,87	23,86	27,01	25,70	25,17	3,14
2005	38,85	22,57	24,23	26,33	25,46	25,14	2,10
2006	35,83	23,95	25,60	27,79	27,11	27,10	2,19
2007	45,99	24,62	27,75	28,96	28,76	28,14	1,21
2008	36,79	25,48	27,36	30,19	28,96	28,80	2,83
2009	68,07	6,47	18,63	42,66	30,95	26,61	24,03
2010	85,86	7,71	19,52	35,23	28,31	25,40	15,71
2011	53,07	4,17	18,31	28,99	24,15	23,01	10,68

Tabela 35: Estatística exploratória dos dados de poluição atmosférica (SO₂) da estação de qualidade do ar em Paulínia, estado de São Paulo

Anos	Máximo	Mínimo	Quartil_1	Quartil_3	Media	Mediana	Altitude
							Interquartílica (AIQ)
(µg m ⁻³)							
1996	28,15	26,94	27,24	27,85	27,54	27,54	0,60
1997	26,94	25,70	26,01	26,63	26,32	26,32	0,62
1998	25,69	24,35	24,70	25,37	25,04	25,04	0,67
1999	24,35	22,78	23,20	23,98	23,59	23,60	0,78
2000	50,61	0,00	15,34	26,05	21,63	21,84	10,70
2001	57,68	0,91	14,01	25,06	20,43	19,18	11,04
2002	76,28	1,29	10,46	23,83	18,36	17,20	13,37
2003	34,07	0,77	8,08	15,11	12,14	11,35	7,03
2004	33,15	0,36	1,77	10,31	6,73	4,11	8,54
2005	35,28	0,56	1,88	3,84	3,49	2,71	1,96
2006	23,23	0,00	1,87	5,67	4,13	3,10	3,79
2007	57,14	0,00	3,08	6,46	5,22	4,44	3,38
2008	23,29	0,45	3,09	7,14	5,38	4,57	4,04
2009	18,92	0,46	3,69	7,49	5,80	5,10	3,80
2010	21,05	0,81	3,35	7,75	6,01	5,37	4,41
2011	17,12	0,65	2,46	6,83	5,07	4,11	4,38

APÊNDICE (B)

```
##### DADOS DE POLUIÇÃO E METEOROLOGICOS- CUBATAO -C2
```

```
rm(list = ls(all = TRUE))
```

```
dir.create('C:/DADOS-POLUICAO-MAG-CUBATAO-C2')
```

```
setwd('C:/DADOS-POLUICAO-MAG-CUBATAO-C2')
```

```
getwd()
```

```
##LIBEGLANDO PACOTES
```

```
library(xlsx)
```

```
library(rJava)
```

```
library(xlsxjars)
```

```
library(ares)
```

```
#####ENTRADA DE DADOS
```

```
###
```

```
N=2
```

```
dados1<-read.xlsx("DADOS_C1-C2-C3-C4.xls",sheetIndex=N, header= TRUE)
```

```
attach(dados1)
```

```
dados1
```

```
setup(dados1,"Date",date.format="%d/%m/%Y")
```

```
desc.data()
```

```
str(dados1)
```

```
##### MODELO ADITIVO GENERALIZADO-C2
```

```
#####
```

```
###INCLUINDOOS FERIADOS NO GAM
```

##2000

carnaval_1=gen.holidays(Date,"carnaval","07/03")
sexta_1=gen.holidays(Date,"sexta","21/04")
pascoa_1=gen.holidays(Date,"pascoa","23/03")
christmas_1=gen.holidays(Date,"christmas","22/06")

C_1=gen.holidays(Date,"C2","09/04")
tiradentes_1=gen.holidays(Date,"dentes","21/04")
trabalho_1=gen.holidays(Date,"trabalho","01/05")
independencia_1=gen.holidays(Date,"independencia","07/09")
aparecida_1=gen.holidays(Date,"aparecida","12/10")
finados_1=gen.holidays(Date,"finados","02/11")
republica_1=gen.holidays(Date,"republica","15/11")
natal_1=gen.holidays(Date,"natal","25/12")

##2001

carnaval_2=gen.holidays(Date,"carnaval","27/02")
sexta_2=gen.holidays(Date,"sexta","13/04")
pascoa_2=gen.holidays(Date,"pascoa","15/04")
christmas_2=gen.holidays(Date,"christmas","14/06")

C_2=gen.holidays(Date,"C2","09/04")
tiradentes_2=gen.holidays(Date,"dentes","21/04")
trabalho_2=gen.holidays(Date,"trabalho","01/05")
independencia_2=gen.holidays(Date,"independencia","07/09")
aparecida_2=gen.holidays(Date,"aparecida","12/10")
finados_2=gen.holidays(Date,"finados","02/11")
republica_2=gen.holidays(Date,"republica","15/11")
natal_2=gen.holidays(Date,"natal","25/12")

##2002

carnaval_3=gen.holidays(Date,"carnaval","12/02")
sexta_3=gen.holidays(Date,"sexta","29/03")
pascoa_3=gen.holidays(Date,"pascoa","31/03")

christmas_3=gen.holidays(Date,"christmas","30/05")

C_3=gen.holidays(Date,"C2","09/04")

tiradentes_3=gen.holidays(Date,"dentes","21/04")

trabalho_3=gen.holidays(Date,"trabalho","01/05")

independencia_3=gen.holidays(Date,"independencia","07/09")

aparecida_3=gen.holidays(Date,"aparecida","12/10")

finados_3=gen.holidays(Date,"finados","02/11")

republica_3=gen.holidays(Date,"republica","15/11")

natal_3=gen.holidays(Date,"natal","25/12")

##2003

carnaval_4=gen.holidays(Date,"carnaval","04/02")

sexta_4=gen.holidays(Date,"sexta","18/04")

pascoa_4=gen.holidays(Date,"pascoa","20/04")

christmas_4=gen.holidays(Date,"christmas","19/06")

C_4=gen.holidays(Date,"C2","09/04")

tiradentes_4=gen.holidays(Date,"dentes","21/04")

trabalho_4=gen.holidays(Date,"trabalho","01/05")

independencia_4=gen.holidays(Date,"independencia","07/09")

aparecida_4=gen.holidays(Date,"aparecida","12/10")

finados_4=gen.holidays(Date,"finados","02/11")

republica_4=gen.holidays(Date,"republica","15/11")

natal_4=gen.holidays(Date,"natal","25/12")

##2004

carnaval_5=gen.holidays(Date,"carnaval","24/02")

sexta_5=gen.holidays(Date,"sexta","09/04")

pascoa_5=gen.holidays(Date,"pascoa","11/04")

christmas_5=gen.holidays(Date,"christmas","10/06")

C_5=gen.holidays(Date,"C2","09/04")

tiradentes_5=gen.holidays(Date,"dentes","21/04")

trabalho_5=gen.holidays(Date,"trabalho","01/05")
 independencia_5=gen.holidays(Date,"independencia","07/09")
 aparecida_5=gen.holidays(Date,"aparecida","12/10")
 finados_5=gen.holidays(Date,"finados","02/11")
 republica_5=gen.holidays(Date,"republica","15/11")
 natal_5=gen.holidays(Date,"natal","25/12")

##2005

carnaval_6=gen.holidays(Date,"carnaval","08/02")
 sexta_6=gen.holidays(Date,"sexta","25/03")
 pascoa_6=gen.holidays(Date,"pascoa","27/03")
 christmas_6=gen.holidays(Date,"christmas","26/05")

C_6=gen.holidays(Date,"C2","09/04")
 tiradentes_6=gen.holidays(Date,"dentes","21/04")
 trabalho_6=gen.holidays(Date,"trabalho","01/05")
 independencia_6=gen.holidays(Date,"independencia","07/09")
 aparecida_6=gen.holidays(Date,"aparecida","12/10")
 finados_6=gen.holidays(Date,"finados","02/11")
 republica_6=gen.holidays(Date,"republica","15/11")
 natal_6=gen.holidays(Date,"natal","25/12")

##2006

carnaval_7=gen.holidays(Date,"carnaval","28/02")
 sexta_7=gen.holidays(Date,"sexta","14/04")
 pascoa_7=gen.holidays(Date,"pascoa","16/04")
 christmas_7=gen.holidays(Date,"christmas","15/06")

C_7=gen.holidays(Date,"C2","09/04")
 tiradentes_7=gen.holidays(Date,"dentes","21/04")
 trabalho_7=gen.holidays(Date,"trabalho","01/05")
 independencia_7=gen.holidays(Date,"independencia","07/09")
 aparecida_7=gen.holidays(Date,"aparecida","12/10")
 finados_7=gen.holidays(Date,"finados","02/11")

republica_7=gen.holidays(Date,"republica","15/11")
natal_7=gen.holidays(Date,"natal","25/12")

##2007

carnaval_8=gen.holidays(Date,"carnaval","20/02")
sexta_8=gen.holidays(Date,"sexta","06/04")
pascoa_8=gen.holidays(Date,"pascoa","08/04")
christmas_8=gen.holidays(Date,"christmas","07/06")

C_8=gen.holidays(Date,"C2","09/04")
tiradentes_8=gen.holidays(Date,"dentes","21/04")
trabalho_8=gen.holidays(Date,"trabalho","01/05")
independencia_8=gen.holidays(Date,"independencia","07/09")
aparecida_8=gen.holidays(Date,"aparecida","12/10")
finados_8=gen.holidays(Date,"finados","02/11")
republica_8=gen.holidays(Date,"republica","15/11")
natal_8=gen.holidays(Date,"natal","25/12")

##2008

carnaval_9=gen.holidays(Date,"carnaval","05/02")
sexta_9=gen.holidays(Date,"sexta","21/03")
pascoa_9=gen.holidays(Date,"pascoa","23/03")
christmas_9=gen.holidays(Date,"christmas","22/05")

C_9=gen.holidays(Date,"C2","09/04")
tiradentes_9=gen.holidays(Date,"dentes","21/04")
trabalho_9=gen.holidays(Date,"trabalho","01/05")
independencia_9=gen.holidays(Date,"independencia","07/09")
aparecida_9=gen.holidays(Date,"aparecida","12/10")
finados_9=gen.holidays(Date,"finados","02/11")
republica_9=gen.holidays(Date,"republica","15/11")
natal_9=gen.holidays(Date,"natal","25/12")

##2009

carnaval_10=gen.holidays(Date,"carnaval","24/02")
 sexta_10=gen.holidays(Date,"sexta","10/04")
 pascoa_10=gen.holidays(Date,"pascoa","12/04")
 christmas_10=gen.holidays(Date,"christmas","11/06")

C_10=gen.holidays(Date,"C2","09/04")
 tiradentes_10=gen.holidays(Date,"dentes","21/04")
 trabalho_10=gen.holidays(Date,"trabalho","01/05")
 independencia_10=gen.holidays(Date,"independencia","07/09")
 aparecida_10=gen.holidays(Date,"aparecida","12/10")
 finados_10=gen.holidays(Date,"finados","02/11")
 republica_10=gen.holidays(Date,"republica","15/11")
 natal_10=gen.holidays(Date,"natal","25/12")

##2010

carnaval_11=gen.holidays(Date,"carnaval","16/02")
 sexta_11=gen.holidays(Date,"sexta","02/04")
 pascoa_11=gen.holidays(Date,"pascoa","04/04")
 christmas_11=gen.holidays(Date,"christmas","03/06")

C_11=gen.holidays(Date,"C2","09/04")
 tiradentes_11=gen.holidays(Date,"dentes","21/04")
 trabalho_11=gen.holidays(Date,"trabalho","01/05")
 independencia_11=gen.holidays(Date,"independencia","07/09")
 aparecida_11=gen.holidays(Date,"aparecida","12/10")
 finados_11=gen.holidays(Date,"finados","02/11")
 republica_11=gen.holidays(Date,"republica","15/11")
 natal_11=gen.holidays(Date,"natal","25/12")

##2011

carnaval_12=gen.holidays(Date,"carnaval","08/03")
 sexta_12=gen.holidays(Date,"sexta","22/04")
 pascoa_12=gen.holidays(Date,"pascoa","24/04")
 christmas_12=gen.holidays(Date,"christmas","23/06")

```

C_12=gen.holidays(Date,"C2","09/04")
tiradentes_12=gen.holidays(Date,"dentes","21/04")
trabalho_12=gen.holidays(Date,"trabalho","01/05")
independencia_12=gen.holidays(Date,"independencia","07/09")
aparecida_12=gen.holidays(Date,"aparecida","12/10")
finados_12=gen.holidays(Date,"finados","02/11")
republica_12=gen.holidays(Date,"republica","15/11")
natal_12=gen.holidays(Date,"natal","25/12")

```

```

#####
##### INÍCIO DAS INTERAÇÕES DOS POLUENTES
#####

```

```

###ALTERAÇÃO DO GRAU DE LIBERDADE

```

```

GL1=72 ### VARAVEL TIME (TEMPO) 6 GRAUS DE LIBERDADE POR ANO X 12
ANOS = 72 GRAUS DE LIBERDADE
GL1

```

```

GL2=2 ### TEMPERATURA COM DEFASAGEM DE DOIS DIAS (lag 2)

```

```

GL3=48 ### TEMPERATURA ATUALIZADA 4 GRAUS DE LIBERDADE POR ANO X
12 ANOS=48 GRAUS DE LIBERDADE
GL3

```

```

GL4=24 ### A UMIDADE CONSIDERANDO UMA ASSOCIAÇÃO NÃO LINEAR COM
2 GRAUS DE LIBERDADE POR ANO X 12 ANOS = 24 GRAUS DE LIBERDADE
GL4

```

```

###INTE_1- TEMPERATURA

```

```

f1A=INTE_C2~ns(time,GL1)+weekdays+newyear+carnaval_1+carnaval_2
+carnaval_3+carnaval_4+carnaval_5+carnaval_6+carnaval_7+carnaval_8

```

+carnaval_9+carnaval_10+carnaval_11+carnaval_12

+sexta_1+sexta_2+sexta_3+sexta_4+sexta_5+sexta_6+sexta_7+sexta_8+sexta_9
+sexta_10+sexta_11+sexta_12

+pascoa_1+pascoa_2+pascoa_3+pascoa_4+pascoa_5+pascoa_6+pascoa_7+pascoa_8+pascoa_9
+pascoa_10+pascoa_11+pascoa_12

+christmas_1+christmas_2+christmas_3+christmas_4+christmas_5+christmas_6
+christmas_7+christmas_8+christmas_9+christmas_10+christmas_11+christmas_12

+C_1+C_2+C_3+C_4+C_5+C_6+C_7+C_8+C_9+C_10+C_11+C_12
+tiradentes_1+tiradentes_2+tiradentes_3+tiradentes_4+tiradentes_5
+tiradentes_6+tiradentes_7+tiradentes_8+tiradentes_9+tiradentes_10
+tiradentes_11+tiradentes_12

+trabalho_1+trabalho_2+trabalho_3+trabalho_4+trabalho_5
+trabalho_6+trabalho_7+trabalho_8+trabalho_9+trabalho_10
+trabalho_11+trabalho_12

+independencia_1+independencia_2+independencia_3+independencia_4+independencia_5
+independencia_6+independencia_7+independencia_8+independencia_9+independencia_10
+independencia_11+independencia_12

+aparecida_1+aparecida_2+aparecida_3+aparecida_4+aparecida_5
+aparecida_6+aparecida_7+aparecida_8+aparecida_9+aparecida_10
+aparecida_11+aparecida_12

+finados_1+finados_2+finados_3+finados_4+finados_5
+finados_6+finados_7+finados_8+finados_9+finados_10
+finados_11+finados_12

+republica_1+republica_2+republica_3+republica_4+republica_5

```
+republica_6+republica_7+republica_8+republica_9+republica_10
+republica_11+republica_12
```

```
+natal_1+natal_2+natal_3+natal_4+natal_5
+natal_6+natal_7+natal_8+natal_9+natal_10
+natal_11+natal_12
+ns(l(TEMPERATURA,GL2),GL3)
+ns(l(UMIDADE,GL2),GL4)
+EV
```

```
(mod1A=fit.core(f1A))
```

```
#####
```

FIM

```
#####
```

```
###ESTIMANDO DOS EFEITOS DOS POLUENTES PELO METODO PDLM POR
POLUENTES
```

```
#####ALTERAÇÃO LAG
```

```
LAG=7
```

```
DEG=4
```

```
#### UNIDADES DOS POLUENTES
```

```
PM10_V1=10
```

```
NO_V1=1
```

```
NO2_V1=1
```

```
SO2_V1=1
```

```
(N=length(dados1[,1:2])-1)### NÃO ALTERAR
```

```
RR1=estimate.risks(mod1A,c("PM10"))
```

```
,labels=c("PM10")
```

```
,method="pdlm"
```

```
,pdlm.struc=list(l=LAG,deg=DEG)
,unit=rep(PM10_V1,N))
```

```
RR2=estimate.risks(mod1A,c("NO")
,labels=c("NO")
,method="pdlm"
,pdlm.struc=list(l=LAG,deg=DEG)
,unit=rep(NO_V1,N))
```

```
RR3=estimate.risks(mod1A,c("NO2")
,labels=c("NO2")
,method="pdlm"
,pdlm.struc=list(l=LAG,deg=DEG)
,unit=rep(NO2_V1,N))
```

```
RR4=estimate.risks(mod1A,c("SO2")
,labels=c("SO2")
,method="pdlm"
,pdlm.struc=list(l=LAG,deg=DEG)
,unit=rep(SO2_V1,N))
```

```
#### SAÍDA FINAL TABELAS
```

```
write.xlsx(RR1,"EFEITO-DO-POLUENTE-PM10-PDLM-TODAS-METEOROLOGICAS-
C2.xlsx",col.names=TRUE)
```

```
write.xlsx(RR2,"EFEITO-DO-POLUENTE-NO-PDLM-TODAS-METEOROLOGICAS-
C2.xlsx",col.names=TRUE)
```

```
write.xlsx(RR3,"EFEITO-DO-POLUENTE-NO2-PDLM-TODAS-METEOROLOGICAS-
C2.xlsx",col.names=TRUE)
```

```
write.xlsx(RR4,"EFEITO-DO-POLUENTE-SO2-PDLM-TODAS-METEOROLOGICAS-
C2.xlsx",col.names=TRUE)
```

```
##### FIM DO SCRIPT #####
```