

Universidade de São Paulo  
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

Alberto Afonso Júnior

**Influência das variáveis meteorológicas e poluentes  
atmosféricos na morbidade hospitalar por doenças  
cardiovasculares e respiratórias no município de São  
Paulo**

São Paulo

2016

Alberto Afonso Júnior

**Influência das variáveis meteorológicas e poluentes  
atmosféricos na morbidade hospitalar por doenças  
cardiovasculares e respiratórias no município de São  
Paulo**

Dissertação apresentada ao Departamento  
de Ciências Atmosféricas do Instituto de  
Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas  
como condição para a obtenção do título de  
Mestre em Ciências.

Área de conhecimento: Meteorologia

Orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz Teixeira  
Gonçalves

Versão Corrigida. O original encontra-se dispo-  
nível na Unidade

São Paulo

2016

*“[...] Whoever would study medicine aright must learn of the following subjects. First, he must consider the effect of the seasons of the year and differences between them. Secondly, he must study the warm and the cold winds, both, those which are common to every country and those peculiar to a particular locality [...].”*

---

Hippocrates, “Airs, Waters, Places”,  
(400bc)

Aos meus progenitores e irmãos.

## Agradecimentos

Inicialmente o agradecimento vai para o dador da vida, Jeová, único deus vivente e criador de todas as coisas, visíveis e invisíveis, o que inclui toda complexidade da atmosfera. Em seguida, aos meus pais pela geração e criação, irmãos e todos os outros membros da família pelo companheirismo, apoio, conselhos, chamadas de atenções, incentivos, encorajamentos, elogios, etc.

O agradecimento é extensivo à toda comunidade do Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA), primeiro pela hospitalidade com que me receberam e pelo acompanhamento em todo processo de integração. Importa-me destacar nesta lista, o professor Fábio Luiz Teixeira Gonçalves, com quem tive contato meses antes de estar no território Brasileiro, a quem agradeço desde já pela recepção, orientação, etc. Também gostaria de estender o agradecimento a professora Regina Cardoso pelo esclarecimento de dúvidas.

A todos os professores do IAG, pelas aulas e esclarecimento de dúvidas, Fábio Luiz Teixeira Gonçalves, Maria de Fátima Andrade, Ricardo Hallak, Maria Assunção Faus da Silva Dias, Tercio Ambrizzi e a Ryta Yuri Ynoue.

A Tatiana Toporcov, Ana Paula Sayuri Sato, ambas professoras da Faculdade de Saúde Pública, e Itamar de Souza Santos, professor da Faculdade de Medicina.

A estação meteorológica do IAG pela disponibilização dos dados meteorológicos do estado de São Paulo.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INAM) de Moçambique pela oportunidade para a realização do curso.

As professoras Maria de Fátima Andrade e Adalgiza Fornaro pelos dados de poluentes atmosféricos do estado de São Paulo.

Ao Sameh, Rafael, Glauber, Tique, Thiago, Camila e Cristiano pela disponibilidade no esclarecimento de dúvidas.

A toda equipe da administração, informática, reprografia e limpeza pelo apoio prestado incondicionalmente para o melhor desempenho das minhas atividades.

A equipe da Superintendência de Assistência Social (SAS) da Universidade de São Paulo (USP) pelo apoio social, que inclui a alimentação, transporte e saúde.

E por último, a Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa.

## *Resumo*

AFONSO Jr., A. **Influência das variáveis meteorológicas e poluentes atmosféricos na morbidade hospitalar por doenças cardiovasculares e respiratórias no município de São Paulo**. São Paulo, 2016. 115p. Dissertação (Mestrado)—IAG, Universidade de São Paulo.

Vários estudos ligados à relação entre variáveis meteorológicas, poluentes atmosféricos e internações ou mortes por doenças ligadas aos aparelhos respiratório e circulatório têm sido desenvolvidos no mundo todo. Estudos indicam que poluentes atmosféricos e variáveis meteorológicas são uma das principais causas das internações hospitalares por doenças cardiovasculares e respiratórias, principalmente de crianças (DRSPC) e idosos (DCDVI e DRSPI). Neste sentido, este trabalho teve como objetivo principal, analisar as possíveis causas das internações ocorridas entre os anos 2004 e 2013 no município de São Paulo, recorrendo para isso a Análise de Componentes Principais (ACP) e Estudo de Casos, cuja seleção consistiu nas internações iguais ou superiores a  $\pm 5\sigma$ . Para o efeito, foram obtidos dados diários de internações para crianças (0–14 anos) e idosos (65 anos em diante) através do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), de poluentes atmosféricos, monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>) e material particulado inalável (MP<sub>10</sub>), através da Companhia de Tecnologia e Saneamento Básico (CETESB). Por último, dados de variáveis meteorológicas, temperatura média do ar ( $T_{med}$ ), umidade relativa média do ar ( $UR_{med}$ ) e precipitação (Prec), através da estação meteorológica do Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG). Outono, seguido de inverno, destacaram-se como as épocas com valores altos nas internações por DRSP em crianças, e para as DCDVI, no inverno. Os máximos das DRSPC coincidem com mínimos da Prec, assim como máximos de DCDVI com mínimos de  $T_{med}$ . Quanto a caracterização dos níveis de poluição, é importante destacar que O<sub>3</sub> foi o poluente que apresentou maior número de ultrapassagens do padrão de qualidade do ar (PQAr) em 2012 (226 dias), e 419 dias para a estação de Ibirapuera em dez anos. O SO<sub>2</sub>, não registrou ultrapassagens no PQAr. Na ACP, destacam-se, pesos altos e positivos para os poluentes primários (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e MP<sub>10</sub>) no fator 1, seguidos de O<sub>3</sub>,  $UR_{med}$ ,  $T_{med}$ , Prec e doenças nos fatores 2 e 3; geralmente quando a morbidade aparece no fator 1, vêm associadas aos poluentes primários,  $T_{med}$  e  $UR_{med}$ , com um peso não significativo

( $< 0,5$ ). Os resultados de ACP feita para outono foram satisfatórios apresentando associação positiva e significativa da DRSPC (0,67) ao  $O_3$  (0,67) e  $T_{med}$  (0,82). As DRSPI associaram-se positivamente (0,36) aos poluentes primários e a  $T_{med}$  ( $-0,51$ ), enquanto que as DCDVI, vêm negativamente associadas ( $-0,42$ ) ao  $O_3$  (0,80) e a  $T_{med}$  (0,78). Relativamente ao estudo de casos, cinco casos foram selecionados para o acompanhamento dos sistemas meteorológicos até três dias antes do mesmo, onde a morbidade nessas datas são justificadas pela queda de temperatura associada às massas de ar. Os anticiclones também podem ser precedidos pelos sistemas frontais, advectando ar frio para o continente, caso dado nos dias 01/07/2005 e 01/12/2005. O caso do dia 01/08/2008, com um desvio positivo de  $+8\sigma$ , foi marcado por altas concentrações de  $O_3$ , nos três dias anteriores ao mesmo.

**Palavras-chave:** Poluição atmosférica. Variáveis meteorológicas. Doenças cardiovasculares e respiratórias.

## *Abstract*

AFONSO Jr., A. **Influence of meteorological variables and atmospheric pollutants in hospital morbidity for cardiovascular and respiratory diseases in the municipality of Sao Paulo**. Sao Paulo, 2016. 115p. Dissertation (Masters)—IAG, University of Sao Paulo.

A lot of research connected to relation between different meteorological variables, atmospheric pollutants and internment or deaths due to diseases connected to respiratory and circulatory system, have been developed in the world as whole. The researches show that atmospheric pollutant and meteorological variables are one of the main causes of the hospital admissions by the respiratory and cardiovascular diseases, mainly of children (RSPDC) and elderly (CDVDE and RSPDI). In this case, this work had as a main objective to analyse the possible causes of internment occurring between 2004 and 2013 in the municipality of Sao Paulo, leaning in this case, on Principal Component Analysis (PCA) and Cases Study, in which the selection consisted in internment equal or greater then  $\pm 5\sigma$ . Therefore, daily internment data for children (0 – 14 years) and elderly (65 years forewords) have been obtained through the Informatics Department of the Unified Health System (DATASUS), of daily air pollutants data, carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), ozone (O<sub>3</sub>) and Inhalable particulate matter (PM<sub>10</sub>), through the State Environmental Agency (CETESB). At last, daily meteorological variables data, mean air temperature ( $T_{med}$ ), mean air relative humidity (RH<sub>med</sub>) and precipitation (Prec) through the weather station of the Astronomy Geophysics and Atmospheric Sciences Institute (IAG). Autumn followed by winter, were recognized as remarkable seasons with the high percentage of internment by RSPDC and the CDVDE in winter. The maximum of RSPDC coincide with the minimum of the mean air temperature, as well as the maximum of CDVDE with the minimum of  $T_{med}$ . About the characterization of air pollution levels, it is important to point out that O<sub>3</sub> was the pollutant that presented the great number of overtaking of CETESB air quality standard (AQS) in 2012 (226 days) and 419 days for the Ibirapuera air quality station, in ten years. The SO<sub>2</sub> did not registrate the violation to AQS. In PCA, there are found the high and positive weights for primary air pollutants (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub>) in the factor 1, followed by the O<sub>3</sub>, RH<sub>med</sub>,  $T_{med}$ , Prec and diseases in the factors 2 e 3. When morbidity appear in the



factor 1, comes associates with primary air pollutants,  $T_{med}$  and  $UR_{med}$ , with not significant weight ( $< 0,5$ ). The results of PCA done for autumn were satisfactory presenting the positive and significant association of RSPDC (0,67) with  $O_3$  (0,67) and  $T_{med}$  (0,82). RSPDE were positively associated (0,36) with primary air pollutants and  $T_{med}$  ( $-0,51$ ), while CDVDE were negatively associated ( $-0,42$ ) with  $O_3$  (0,80) and  $T_{med}$  (0,78). Relatively to the cases study, were selected five cases for accompaniment of weather system until three days before itself, were the morbidity in this dates are justified for the fall of air temperature associated with air masses. Anticyclone can also be preceded by the fronts system casting the fresh air to the continent, it occurs in the days 2005/07/01 and 2005/12/01. The case of 2008/08/01 with the positive deviation of  $+8\sigma$  was marked by high concentration of  $O_3$  in three previous days to the same.

**Keywords:** Air pollution. Meteorological variables. Cardiovascular and respiratory diseases.

# Conteúdo

<b>Lista de Figuras</b>	<b>xii</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xiv</b>
<b>Lista de Símbolos e Abreviaturas</b>	<b>xv</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>18</b>
1.1 Poluentes Atmosféricos . . . . .	20
1.1.1 Monóxido de Carbono (CO) . . . . .	21
1.1.2 Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> ) . . . . .	21
1.1.3 Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> ) . . . . .	22
1.1.4 Material Particulado Inalável (MP <sub>10</sub> ) . . . . .	23
1.2 Padrões de Qualidade do Ar (PQAr), . . . . .	27
1.3 Revisão Bibliográfica . . . . .	29
1.3.1 Relação entre variáveis Meteorológicas e Saúde . . . . .	32
1.4 Objetivos . . . . .	32
1.4.1 Geral . . . . .	32
1.4.2 Específicos . . . . .	32
<b>2 Materiais e Métodos</b>	<b>34</b>
2.1 Materiais . . . . .	34
2.1.1 Estudo ecológico de séries temporais . . . . .	34
2.1.2 Descrição das variáveis de estudo . . . . .	34
2.1.3 Variáveis de saúde . . . . .	34
2.2 Caracterização da área de estudo . . . . .	36
2.2.1 Aspectos geográficos e climáticos de São Paulo . . . . .	36
2.2.2 Variáveis Ambientais . . . . .	38
2.3 Metodologia . . . . .	41

2.3.1	Dados faltantes . . . . .	42
2.3.2	Padronização das variáveis . . . . .	42
2.3.3	Análise estatística multivariada . . . . .	42
2.3.4	Estudo de casos . . . . .	46
<b>3</b>	<b>Resultados e Discussão</b>	<b>49</b>
3.1	Resultados . . . . .	49
3.1.1	Variação da morbidade ao longo do ano . . . . .	52
3.2	Relação entre o perfil das variáveis ambientais e morbidade . . . . .	52
3.2.1	Associação entre poluentes atmosféricos e morbidade . . . . .	53
3.2.2	Associação entre variáveis meteorológicas e morbidade . . . . .	53
3.3	Caracterização do perfil dos Poluentes Atmosféricos . . . . .	54
3.3.1	Variação das concentrações de CO . . . . .	55
3.3.2	Variação das concentrações de NO <sub>2</sub> . . . . .	56
3.3.3	Variação das concentrações de O <sub>3</sub> . . . . .	56
3.3.4	Variação horária das concentrações de O <sub>3</sub> por dias da semana . . . . .	57
3.3.5	Variação das concentrações de MP <sub>10</sub> . . . . .	58
3.3.6	Resultados das correlações entre as estações de qualidade do ar . . . . .	59
3.4	Análise de Componentes Principais para DRSP e DCDV . . . . .	60
3.4.1	Análise de componentes principais por estações do ano . . . . .	62
3.4.2	Análise de Componentes Principais usando <i>Lag</i> 3 . . . . .	66
3.5	Estudo de Casos . . . . .	68
3.5.1	Análise Sinótica para o evento do dia 01/07/2005 . . . . .	69
3.5.2	Análise Sinótica para o evento do dia 01/12/2005 . . . . .	72
3.5.3	Análise Sinótica para o evento do dia 01/01/2008 . . . . .	75
3.6	Discussão . . . . .	78
<b>4</b>	<b>Conclusão e Recomendações</b>	<b>82</b>
4.1	Conclusão . . . . .	82
4.1.1	Perfil da morbidade por faixa etária e épocas do ano . . . . .	82
4.1.2	Perfil da Poluição Atmosférica . . . . .	83
4.1.3	Análise de Componentes Principais . . . . .	83
4.1.4	Estudo de Casos . . . . .	84
4.2	Recomendações . . . . .	85

<b>A APÊNDICE – A: Variação da morbidade hospitalar para DCDV em idosos e DRSP em crianças e idosos</b>	<b>88</b>
<b>B APÊNDICE – B: Ultrapassagens do PQAr</b>	<b>90</b>
B.1 CO . . . . .	90
B.2 O <sub>3</sub> . . . . .	91
B.3 MP <sub>10</sub> . . . . .	93
<b>C APÊNDICE – C: ACP por estações do ano e usando <i>Lag</i> de 2 e 4 dias</b>	<b>94</b>
C.1 ACP para a Primavera . . . . .	94
C.2 ACP para o Verão . . . . .	96
C.3 ACP para <i>Lag</i> de 2 dias . . . . .	97
C.4 ACP para <i>Lag</i> de 4 dias . . . . .	98
<b>D APÊNDICE – D: Estudo de Casos</b>	<b>99</b>
D.1 Condição Sinótica para o caso de 01/09/2011 . . . . .	99
D.2 Condição Sinótica para o caso de 01/10/2012 . . . . .	101
<b>E ANEXO – A: Imagen de satélite para o caso de 01/09/2011</b>	<b>104</b>
<b>F ANEXO – B: Imagen de satélite para o caso de 01/10/2012</b>	<b>105</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>106</b>

## Lista de Figuras

2.1	Rede hospitalar do município de São Paulo. . . . .	35
2.2	Rede telemétrica da CETESB na cidade de São Paulo. . . . .	39
3.1	Proporção de internações para DRSPC, DRSPI e DCDVI em todo período de estudo. . . . .	49
3.2	Média diária de internações por dias da semana para DRSPC, DRSPI e DCDVI.	50
3.3	Média diária de internações por estações do ano para DRSPC, DRSPI e DCDVI	51
3.4	Variação da morbidade por DCDVI, DRSPC e DRSPI no município de São Paulo. . . . .	52
3.5	Variação das concentrações médias mensais dos poluentes e da morbidade em dez anos. . . . .	53
3.6	Variação das médias mensais das variáveis meteorológicas e da morbidade em dez anos. . . . .	54
3.7	Variação dos níveis das concentrações de CO. . . . .	55
3.8	Variação dos níveis das concentrações de NO <sub>2</sub> . . . . .	56
3.9	Variação dos níveis das concentrações de O <sub>3</sub> . . . . .	57
3.10	Variação dos níveis das concentrações horárias de O <sub>3</sub> por dias da semana. . .	58
3.11	Variação dos níveis das concentrações de MP <sub>10</sub> . . . . .	59
3.12	Morbidade normalizada para identificação dos casos. . . . .	68
3.13	Campos de pressão (hPa) ao nmm, vento ( <i>m/s</i> ) à 10 m e temperatura (°C) à 2 m. . . . .	70
3.14	Imagem de satélite do dia 01/07/2005, as 1200Z. . . . .	71
3.15	Comportamento das variáveis normalizadas para o caso do dia 01/07/2005. . .	72
3.16	Campos de pressão (hPa) ao nmm, vento ( <i>m/s</i> ) à 10 m e temperatura (°C) à 2 m. . . . .	73
3.17	Imagem de satélite do dia 01/12/2005, as 1210Z. . . . .	74
3.18	Comportamento das variáveis normalizadas para o caso do dia 01/12/2005 . .	75

3.19 Campos de pressão (hPa) ao nmm, vento ( $m/s$ ) à 10 m e temperatura ( $^{\circ}C$ ) à 2 m. . . . .	76
3.20 Imagem de satélite do dia 01/01/2008, as 1200Z. . . . .	77
3.21 Comportamento das variáveis normalizadas para o caso do dia 01/01/2008. . . . .	78
A.1 Variação da morbidade por DCDVI, DRSPC e DRSPI no município de São Paulo. . . . .	88
A.2 Variação da morbidade por DCDVI, DRSPC e DRSPI no município de São Paulo. . . . .	89
B.1 Variação dos níveis das concentrações de CO. . . . .	90
B.2 Variação dos níveis das concentrações de O <sub>3</sub> . . . . .	91
B.3 Variação dos níveis das concentrações de O <sub>3</sub> . . . . .	92
B.4 Variação dos níveis das concentrações de MP <sub>10</sub> . . . . .	93
D.1 Campos de pressão (hPa) ao nmm, vento ( $m/s$ ) à 10 m e temperatura ( $^{\circ}C$ ) à 2 m. . . . .	99
D.2 Comportamento das variáveis normalizadas para o caso do dia 01/09/2011. . . . .	100
D.3 Campos de pressão (hPa) ao nmm, vento ( $m/s$ ) à 10 m e temperatura ( $^{\circ}C$ ) à 2 m. . . . .	101
D.4 Comportamento das variáveis normalizadas para o caso do dia 01/10/2012. . . . .	102
E.1 Imagem de satélite do dia 01/09/2011, as 1200Z. . . . .	104
F.1 Imagem de satélite do dia 01/10/2012, as 1200Z. . . . .	105

## Lista de Tabelas

1.1	Fontes e características dos principais poluentes na atmosfera. . . . .	26
1.2	Padrões estaduais de qualidade do ar. . . . .	27
1.3	Padrões de qualidade do ar em vigor no Brasil. . . . .	28
1.4	Directrizes dos padrões de qualidade do ar da OMS. . . . .	28
3.1	Número de ultrapassagens para $O_3$ durante o período de estudo. . . . .	57
3.2	Correlação entre as estações que medem o poluente CO. . . . .	59
3.3	Correlação entre as estações que medem o poluente $NO_2$ . . . . .	59
3.4	Correlação entre as estações que medem o poluente $O_3$ . . . . .	60
3.5	Correlação entre as estações que medem o poluente $MP_{10}$ . . . . .	60
3.6	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI em todo o período. . .	61
3.7	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPC em todo período. . . .	62
3.8	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPI em todo período. . . .	62
3.9	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI no outono. . . . .	63
3.10	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPC no outono. . . . .	64
3.11	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPI no outono. . . . .	64
3.12	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI no inverno. . . . .	65
3.13	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPI no inverno. . . . .	65
3.14	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPC no inverno. . . . .	66
3.15	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI usando <i>lag</i> 3. . . . .	67
3.16	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPC usando <i>lag</i> 3. . . . .	67
3.17	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPI usando <i>lag</i> 3. . . . .	67
C.1	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI na primavera. . . . .	94
C.2	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI na primavera. . . . .	94
C.3	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI na primavera. . . . .	95
C.4	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI no verão. . . . .	96
C.5	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI no verão. . . . .	96

C.6	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI no verão. . . . .	96
C.7	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI usando <i>lag 2</i> . . . . .	97
C.8	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPC usando <i>lag 2</i> . . . . .	97
C.9	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPI usando <i>lag 2</i> . . . . .	97
C.10	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI usando <i>lag 4</i> . . . . .	98
C.11	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPC usando <i>lag 4</i> . . . . .	98
C.12	Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPI usando <i>lag 4</i> . . . . .	98



## Lista de Símbolos e Abreviaturas

$\mu$  Média populacional

$\sigma$  Desvio padrão

$\Sigma$  Somatório

$^{\circ}C$  Graus Célsius ou Centígrados

$^{\circ}$  Grau(s)

MP<sub>10</sub> Material Particulado Inalável–  $2,5 \mu g/m^3 < \text{diâmetro aerodinâmico} \leq 10 \mu g/m^3$

NO<sub>2</sub> Nitrogen Dioxide (Dióxido de Nitrogênio)

O<sub>3</sub> Ozone (Ozônio)

SO<sub>2</sub> Sulfur Dioxide (Dióxido de Enxofre)

ACP Análise de Componentes Principais

CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CID–X Código Internacional de Doenças, décima versão

CO Carbono Monoxide (Monóxido de Carbono)

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente

CP<sub>n</sub> Componente Principal n

CPTEC/INPE Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

DATASUS Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde

DCDV Doenças cardiovasculares

DCDVI Doenças Cardiovasculares em Idosos

DENATRAN Departamento Nacional de Trânsito

DRSP Doenças respiratórias

DRSPC Doenças Respiratórias em Crianças

DRSPI Doenças Respiratórias em Idosos

ECMWF The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

FEPAM Fundação Estadual de Proteção Ambiental – Rio Grande do Sul (RS)

GOES Geostationary Satellite Server

GrADS Grid Analysis and Display System

IAG Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Cadastro

MP Material Particulado

OMS Organização Mundial de Saúde

PROCONVE Programa de Controle de Emissão Veicular

RMSP Região Metropolitana de São Paulo

SUS Sistema Único de Saúde

USP Universidade de São Paulo

WHO World Health Organization

## Introdução

São inúmeros os casos referentes aos efeitos da poluição do ar e parâmetros meteorológicos na saúde humana ao redor do mundo, com maior enfoque para os grandes centros urbanos. A emissão de partículas e gases para a atmosfera acabam facilitando na fixação de novos extremos de temperatura do ar, próximo à superfície terrestre, através do fenômeno conhecido por efeito de estufa. Embora o homem seja um animal homeotérmico, mantendo a temperatura corporal interna constante, apesar das variações desta variável no meio exterior, o impacto da temperatura do ar na morbidade e mortalidade pode estar relacionada às doenças cardiovasculares e respiratórias (Patz et al., 2005).

A semelhança da poluição do ar, o homem também sofre os efeitos da variação das condições do tempo e/ou do clima. Existem vários estudos que comprovam a relação entre a mudança no estado do tempo/clima e a saúde/fisionomia humana (Patz et al., 2000).

O ar poluído afeta principalmente os sistemas cardiovascular e respiratório, sobretudo em idosos, crianças, pessoas com problemas de saúde preexistentes como, doenças pulmonares, cardíacas, diabetes, gestantes e praticantes de esportes ao ar livre e em horários impróprios. Segundo Braga et al. (2001), os poluentes de que mais se fazem referência em estudos sobre o impacto da poluição do ar na saúde são CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e MP<sub>10</sub>, tendo sido recentemente acrescido à essa lista, o MP<sub>2,5</sub>, devido aos males que pode causar à saúde, aliado ao seu menor diâmetro aerodinâmico, o que facilita a sua deposição em regiões mais profundas do pulmão.

Há algumas décadas atrás, o assunto relacionado a episódios de poluição atmosférica, variáveis meteorológicas e saúde não era abordado com tanta frequência como é hoje, esse interesse começou logo após os trágicos acontecimentos resultantes da poluição do ar na Bélgica em 1930 e Londres em 1952. O caso de maior destaque é o de Londres, ocorrido entre os dias 5 e 9 de dezembro de 1952, onde condições atmosféricas aprisionaram o ar insalubre sobre essa cidade, impedindo desta forma, a dispersão dos poluentes atmosféricos para outras regiões. Essa poluição era resultante de *smog* (*smoke e fog*) e emissões industriais, tendo na sua composição o material particulado (MP) e enxofre (S), o que causou nas duas semanas

seguintes ao episódio, 100 mil doentes e 4 mil mortos (Nemery et al., 2001).

Nos anos 1800, com a revolução industrial na Inglaterra, intensificou-se o uso do carvão, e com ele o ar poluído, e devido ao desconforto térmico decorrente do seu uso, muitos operários adoeceram, e outros perderam a vida, obrigando os empregadores a melhorarem as condições de trabalho. Um século depois (1916), criou-se nos Estados Unidos da América (EUA) a comissão Americana de ventilação, e em 1953, a Sociedade Internacional de Biometeorologia (SIB), constituída inicialmente por biólogos e meteorologistas, pois, atualmente fazem parte da sociedade, pesquisadores de várias outras áreas (Folk, 1997).

Na maior parte dos casos de episódios de poluição, aponta-se a inversão térmica e condições de tempo relacionadas aos sistemas de alta pressão (anticiclone), como as causas do aprisionamento do ar, o que impede a mistura vertical das massas de ar.

Segundo Conde (2001), estudos anteriores indicam a ocorrência de certas doenças, sobretudo as crônicas não transmissíveis, em determinadas épocas do ano, mostrando uma estrita relação destas às condições de tempo e/ou clima predominantes nesses períodos. Tromp et al. (1980) define o termo “meteorotrópico” como o efeito causado por um ou mais fatores ambientais no indivíduo ou grupo de indivíduos. Estas doenças afetam sobretudo as crianças e idosos, incrementando as admissões hospitalares diárias (Gasparrini et al., 2015).

Os seres vivos reagem, de alguma forma, às variações de alguns parâmetros ambientais, resultantes de reações químicas e físicas, que ocorrem na atmosfera. A área de conhecimento que estuda esses efeitos é a biometeorologia, onde um dos objetos de estudo é a adaptação do homem às variações e mudanças climáticas (Burton et al., 2009).

O interesse sobre o impacto das variáveis ambientais na saúde é muito antigo, cerca de 400 anos antes de Cristo (a.c.), Hipócrates, considerado na época, pai da medicina, comparou em seu livro “Ar, Água e Lugares”, a fisionomia e o carácter do povo asiático ao europeu como resultado das características ambientais de cada um dos habitats destes dois povos, aliás, diz que quem quiser estudar medicina, deveria ter conhecimentos suficientes sobre os tipos de ventos. Em vista disso, nos anos 450 a.c, ergueu-se na Grécia uma torre dos ventos, com oito lados, onde cada um destes era dedicado à uma Deidade, e cada um desses Deuses correspondia a um estado da atmosfera (Goncalves & Coelho, 2010). Sabia-se na época que Deus Bóreas representava o vento que soprava na direção norte, e era forte e violento, e para o Deus Notus (sul), era quente e formava nuvens, sendo o vento do oeste, do Deus Zéfiro, era suave e agradável, enquanto que para o do leste, do Deus Euro, criava tempestades para os marinheiros.

## 1.1 Poluentes Atmosféricos

Segundo a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) número 3 de 28/06/1990, a CETESB-COMPANHIA (2003) considera “poluente atmosférico” à

[...] qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Estes poluentes são introduzidos na atmosfera por dois processos, ou diretamente através das fontes poluidoras (primários), ou através de reações de constituintes da própria atmosfera (secundários). Um dos poluentes secundários de que se dará destaque neste estudo é o  $O_3$ , que além dos constituintes químicos (COVs e NOx), depende da radiação solar.

As condições meteorológicas desempenham um papel crucial nos níveis de poluição da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), podendo contribuir tanto para o seu aumento como para a sua redução. O  $O_3$  em particular pode causar tosse, problemas respiratórios e danificação do pulmão, tornando-o mais susceptível a infecções, agravos à doenças pulmonares, aumento na frequência de asma e aumento do risco de morte por doenças pulmonares ou cardíacas.

Aerossol são coleções de partículas sólidas ou líquidas suspensas em gás. Estas são constituídas por partículas microscópicas de várias origens, sendo as de maior destaque, ressuspensão de partículas do solo, fumo (termoelétrica), partículas formadas por processos fotoquímicos, sal proveniente do spray marinho e nuvens atmosféricas de gotas de água ou partículas de gelo. Estas partículas impactam não só na visibilidade e formação de nuvens, mas também na saúde e conseqüentemente na qualidade de vida do ser vivo (Hinds, 1982).

Humanos evoluíram um mecanismo efetivo de defesa contra os perigos dos aerossóis, que consiste na restrição do acesso das partículas nas regiões sensíveis do pulmão. Contudo, importa destacar que a toxicidade do aerossol em geral, está na sua composição química e no local da deposição no interior do sistema respiratório.

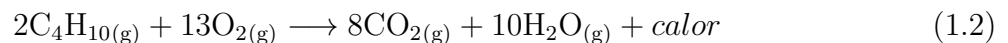
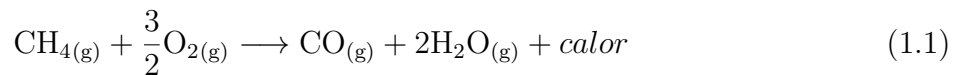
A seguir, far-se-á uma descrição de todos os poluentes atmosféricos envolvidos no estudo, focando-se mais nas suas características, propriedades, origem, consumo e seus efeitos à saúde do homem.

### 1.1.1 Monóxido de Carbono (CO)

CO é um gás incolor e inodoro, resultante da combustão incompleta de combustíveis contendo carbono (carvão, petróleo, etc.), oxidação de metano (CH<sub>4</sub>) ou hidrocarbonetos não metânicos (HCNM), como é o caso de isopreno (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>), um dos compostos orgânicos voláteis (COVs) importantes na química da atmosfera (formação do aerossol secundário), e pela combustão de combustíveis fósseis. O inverno é o período com menores níveis de concentrações do radical hidroxila (OH), por isso, este é o período do ano com maiores concentrações dos poluentes, inclusive o CO (Wallace & Hobbs, 2006).

No que diz respeito aos males que este poluente pode causar ao homem, estudos realizados por Braun (2003) e Gouveia et al. (2006) indicam forte relação com as doenças do coração, devido à sua toxicidade. Os efeitos da exposição ao CO são refletidos na capacidade de transporte do oxigênio (O<sub>2</sub>) no sangue a partir das artérias às veias através dos capilares; transporte esse que é realizado por uma substância contida no sangue, denominada “hemoglobina”, que na presença de CO, tem maior preferência (240 vezes mais) por este que pelo O<sub>2</sub>.

As equações 1.1 e 1.2 apresentam reações de combustão de CH<sub>4</sub> para produção de CO, na presença de pouco O<sub>2</sub>), e de C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> para obtenção de CO<sub>2</sub>, na presença de muito O<sub>2</sub>).



### 1.1.2 Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>)

Para os óxidos de nitrogênio (NO e NO<sub>2</sub>), apenas o dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) mostrou ser perigoso à saúde, devido às concentrações deste composto encontradas na atmosfera. Em geral as principais fontes de monóxido de nitrogênio (NO) e NO<sub>2</sub> são os motores de automóveis, seguidas de usinas termoelétricas e industriais que fazem o uso de combustíveis fósseis. O NO e NO<sub>2</sub> formam-se como resultado da reação de nitrogênio (N) com O<sub>2</sub>, mediante elevadas temperaturas; e devido a sua alta reatividade, reagem com O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e hidrocarbonetos (HC) formando NO, e com a ação da radiação solar, NO<sub>2</sub>, HC e O<sub>2</sub>, para formar O<sub>3</sub>. E assim vai se repetindo o ciclo, formação-consumo dos constituintes da atmosfera.

Portanto, além da presença de NO<sub>2</sub> proveniente do exterior dos domicílios, este gás também é produzido no interior destes através da combustão que ocorre no fogão a gás, aquecedores e

cigarros (caso haja um fumante na casa). Tal como o CO, o NO<sub>2</sub> é tóxico, e esta propriedade deve-se ao seu poder oxidante (Pryor & Lightsey, 1981).

### 1.1.3 Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>)

SO<sub>2</sub> é um gás incolor, cheiro desagradável, detectável pelo olfato humano em concentrações que variam de 0,3 ppmv à 1,0 ppmv (CETESB-COMPANHIA, 1993). A principal fonte natural de SO<sub>2</sub> é a oxidação de Dimethyl Disulfide (DMS) e sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), seguido de atividade vulcânica e queima de biomassa. Contudo, a combustão de combustível fóssil (petróleo, carvão) gerada pelos escapamentos de ônibus e caminhões é a maior fonte antropogênica de SO<sub>2</sub>.

O SO<sub>2</sub> tem a facilidade de se alojar no aparelho respiratório devido a sua solubilidade nas paredes do mesmo. Há Evidências de que o SO<sub>2</sub> agrava doenças respiratórias preexistentes e desenvolve novas doenças, aliás, mesmo dentro dos padrões de qualidade, SO<sub>2</sub> está associado à internações por doenças respiratórias.

Altamente solúvel em água à 30°, a maior parte de SO<sub>2</sub> inalado por uma pessoa em repouso aloja-se nas vias aéreas superiores, podendo transitar para regiões mais distais do pulmão, caso a pessoa esteja em atividade física (Iwasawa et al., 2015). Faz-se a eliminação desta substância, por dois processos, expiração e urina.

#### 1.1.3.1 Ozônio (O<sub>3</sub>)

O<sub>3</sub> é um gás formado em condições de vento calmo, temperaturas altas, céu com pouca cobertura de nuvens e conseqüentemente, muita radiação solar. Conhecido como poluente secundário por se formar como resultado de reações químicas envolvendo outros constituintes atmosféricos (COVs e NOx), na presença da luz solar, o O<sub>3</sub> é também um indicador da presença de oxidantes fotoquímicos, ou seja, os precursores envolvidos na sua formação. São vários os efeitos que este poluente pode causar à saúde do homem, os quais se podem destacar, a irritação nos olhos, redução da capacidade pulmonar, reduzindo desta forma a resistência deste órgão às doenças respiratórias infecciosas. Além de O<sub>3</sub>, faz parte da mistura de oxidantes fotoquímicos associados a estes efeitos os peroxi-acetilnitratos, conhecidos pela abreviatura PAN (CETESB-COMPANHIA, 1993).

O comportamento das concentrações deste e de outros poluentes no município de São Paulo tem sido estudado com muito rigor por vários pesquisadores com o intuito de ajudar na redução dos danos associados à inalação destes constituintes atmosféricos. Carvalho et al.

(2015) estudaram o estado e a tendência da qualidade do ar na RMSP, como resultados das políticas de emissões implementadas pelo Brasil há algumas décadas. Relativamente ao comportamento do  $O_3$ , eles constataram um aumento nos níveis deste poluente, embora os outros de que este depende para a sua formação estivessem diminuindo ( $CO$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  e  $MP_{10}$ ). Observou-se um aumento do  $O_3$  ao invés da sua diminuição por causa do maior uso do etanol ao invés de diesel, e isto se deveu à oferta do mercado. É importante lembrar que ainda no âmbito de uma das políticas de controle de emissões (PROCONVE), Brasil reduziu em 2012 as concentrações do enxofre (S) contidas no diesel até a metade, e, portanto, em vista dessa redução, aquele combustível ficou conhecido pela sigla  $S_{50}$  naquela época. Um ano depois, portanto, em 2013, registrou-se ainda uma redução de S de 50% para apenas 10%, ou seja, de  $S_{50}$  para  $S_{10}$  (CETESB-COMPANHIA, 2012).

Com baixa solubilidade em água, o  $O_3$  acaba sendo tóxico ao sistema respiratório humano, chegando a depositar-se nos alvéolos, região do pulmão onde ocorrem as trocas gasosas. Exposições não prolongadas a este gás pode causar ataque de tosse, enquanto que as prolongadas, um mal-estar geral (Boelter & Davidson, 1997).

#### 1.1.4 Material Particulado Inalável ( $MP_{10}$ )

Entende-se por material particulado inalável ou aerossol atmosférico, às partículas sólidas e líquidas em suspensão na atmosfera. A maior parte dessas partículas são geralmente originadas quer por emissões diretas das fontes poluidoras (naturais e antropogênicas), quer por processos físico-químicos (transformação gás-partícula) que ocorrem na atmosfera. O tamanho destas partículas é expresso em relação ao seu tamanho aerodinâmico, definido como o diâmetro de uma esfera densa com a mesma velocidade de sedimentação que a partícula em questão (Dockery & Pope, 1994).

Brasil ainda não possui padrões de qualidade do ar para partículas de tamanho inferior a  $10 \mu$ , embora estas estejam chamando a atenção de muitos pesquisadores no mundo inteiro. Laden et al. (2000) indica maior aumento na percentagem dos casos de mortalidade (1,5%) associados ao aumento da concentração de  $MP_{2,5}$ , relativamente ao aumento destes (0,4%) associados à  $MP_{10}$ . Em geral, as partículas estão divididas em dois grupos, partículas finas e partículas grossas, do seguinte modo:

- **Partículas grossas**, que compreendem partículas com diâmetro entre  $2,5\mu$  e  $10\mu$  conhecidas como partículas de moda grossa. A sua composição depende muita de como as partículas foram originadas, para as que se originam da combustão descontrolada,



tempestade de poeira e outros materiais da crosta terrestre são constituídos de silício (Si), alumínio (Al), ferro (Fe), sódio (Na) e cloro (Cl); por vezes pólen, esporos e outros materiais biológicos.

- **Partículas finas**, que provem da combustão de fontes móveis (automóveis) e estacionárias (incineradoras e termoelétricas), apresentam um diâmetro menor do que  $2,5\mu$  (*fine mode*) podendo atingir partes mais distais do sistema respiratório, obstruindo as trocas gasosas (Schwartz & Neas, 2000). São em geral constituídas por carbono (C), chumbo (Pb), vanádio (Va), bromo (Br), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>).

Estas partículas interferem na vida do homem de várias formas, começando pela obstrução da visibilidade, corrosão e a deposição sobre os objetos no exterior e interior das residências; reduz a capacidade do sistema respiratório na remoção destas e de outras partículas lá depositadas; é constituinte de compostos orgânicos, HC policíclicos com propriedades carcinogênicas (Taner et al., 2013).

Segundo a Agência Internacional para Pesquisa em Câncer (AIPC), as concentrações do MP encontrado fora dos domicílios é cancerígeno, conclusão baseada na relação entre o MP<sub>2,5</sub> e MP<sub>10</sub>, embora não tivessem quantificado essa evidência. Hamra et al. (2014) estudaram a evidência quantitativa da relação entre MP e o câncer do pulmão, tendo chegado a conclusão de que o MP<sub>2,5</sub> apresentou um risco de 1,09, com um intervalo de confiança de 95% (1,04 – 1,14), mais preciso que o MP<sub>10</sub> que com risco de 1,08 teve um intervalo de confiança de 95% (1,00 – 1,17). O estudo levou em consideração possíveis fatores de confusão como tabagismo, que apresentou um risco de 1,44, relativamente aos não fumantes, 1,18.

Há evidências consistentes de que curta e longa exposição ao MP, sobretudo o fino, ou seja, MP<sub>2,5</sub> esteja ligada a morbidade e mortalidade por doenças cardiovasculares. As concentrações deste poluentes foram relacionados a uma série de doenças cardiovasculares como enfarto do miocárdio, acidente vascular encefálico, insuficiência cardíaca, arritmias, e tromboembolismo venoso (Martinelli et al., 2013).

Após a inalação, estas partículas são removidas através dos espirros, tosse e deglutição, e para as que tiverem se depositado em regiões ainda mais distais do sistema, são fagocitadas pelos macrófagos alveolares, e depois removidas através do aparelho mucocilar ou sistema linfático (Braga, 1998).

A CETESB tem publicado anualmente relatórios para o controle dos níveis de poluição, e os efeitos das políticas de controle de emissões definidas. Além do diagnóstico da qualidade do ar do estado de São Paulo, também consta no relatório informações meteorológicas e as

principais fontes de emissão no referido ano. São Paulo tem sido referência no Brasil em episódios de poluição do ar e seus impactos na saúde dos habitantes (Nedel et al., 2015). Até a data da elaboração deste trabalho, o relatório a que se teve acesso foi de 2013.

Portanto, na tabela 1.1, abaixo está representada uma síntese dos principais poluentes, suas características, fontes e os efeitos que estes podem causar ao meio ambiente.

Tabela 1.1: Fontes e características dos principais poluentes na atmosfera.

Poluente	Caraterísticas	Fontes principais	Efeitos gerais ao meio ambiente
CO	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.	
NO <sub>2</sub>	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
SO <sub>2</sub>	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser transformado a SO <sub>3</sub> , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa e papel, fertilizantes.	Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas.
O <sub>3</sub>	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente para a atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais.
MP <sub>10</sub> e C	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc.	Faixa de tamanho menor do que 10 micras. Processos de combustão (indústria e veículos automotores), poeira ressuspensa, aerossol secundário (formado na atmosfera).	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.

Fonte: FEPAM

## 1.2 Padrões de Qualidade do Ar (PQAr),

Padrão de Qualidade do Ar (PQAr) define legalmente um limite máximo a partir do qual as concentrações dos poluentes estão num intervalo aceitável ou inaceitável para a segurança da saúde das pessoas. Baseados em estudos científicos realizados como consequência de eventos extremos de poluição no passado, a OMS estabeleceu em 2005 que,

“[...] Os padrões de qualidade do ar (PQAr) variam de acordo com a abordagem adotada para balancear riscos à saúde, viabilidade técnica, considerações econômicas e vários outros fatores políticos e sociais, que por sua vez dependem, entre outras coisas, do nível de desenvolvimento e da capacidade nacional de gerenciar a qualidade do ar (CETESB-COMPANHIA, 2013).”

E segundo o decreto estadual número 59.113, de 23/04/2013, houve fixação de novos PQAr para o estado de São Paulo, baseado nas diretrizes estabelecidas pela OMS. Fixaram-se três metas intermediárias (MI) para que gradualmente fossem cumpridas até que se alcançasse o padrão final, e para tal é necessário que haja uma rigorosidade no cumprimento das políticas estabelecidas para redução de emissões (móveis e fixas).

São Paulo ainda está na execução da primeira etapa (MI 1), com exceção para o CO, sem padrões para as metas intermediárias, e, portanto, estando em vigor o padrão final, que é de 9 ppmv, segundo a tabela 1.2.

Tabela 1.2: Padrões estaduais de qualidade do ar.

Poluente	Amostragem	MI 1	MI 2	MI 3	Padrão Final
Unidades	Horas			$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
CO	8	—	—	—	9 ppmv
NO <sub>2</sub>	1	260	240	220	200
SO <sub>2</sub>	24	60	40	30	20
O <sub>3</sub>	8	140	130	120	100
MP <sub>10</sub>	24	120	100	75	50

Fonte: CETESB

Segundo BENATTI (1990), o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na sua resolução número 03/1990 subdivide os padrões de qualidade do ar em dois grupos, primários e secundários, como se pode observar da tabela 1.3. Os primários consistem no controle de excessos nas concentrações das substâncias na atmosfera que podem acarretar danos à saúde humana e para os secundários consiste no controle dos mínimos valores abaixo dos quais a vida normal dos seres vivos em geral pode ser afetada. Este alerta é extensivo aos materiais e ao meio ambiente.

Tabela 1.3: Padrões de qualidade do ar em vigor no Brasil.

Poluente	Amostragem	Concentração (Violações aceitas por ano)	
		Padrão Primário	Padrão Secundário
MP <sub>10</sub> ( $\frac{\mu g}{m^3}$ )	24h	150 (1)	
	Anual	50	Igual ao Padrão Primário
SO <sub>2</sub> ( $\frac{\mu g}{m^3}$ )	24h	365 (1)	100 (1)
	Anual	80	40
CO ( $\frac{\mu g}{m^3} - ppm$ )	1h	40.000 – 35 (1)	
	8h	10.000 – 9 (1)	Igual ao Padrão Primário
O <sub>3</sub> ( $\frac{\mu g}{m^3}$ )	1h	160	160
NO <sub>2</sub> ( $\frac{\mu g}{m^3}$ )	1h	320	190
	Anual	100	Igual ao Padrão Primário

Fonte: Elaboração a partir da Resolução CONAMA 03/1990 (MMA, 1989).

Segundo WHO (2006), 2 milhões de mortes prematuras por ano, em todo mundo, são atribuídas aos efeitos da poluição em ambientes internos e externos. As diretrizes de qualidade do ar da OMS visam reduzir os impactos da poluição ambiental na saúde. A tabela 1.4 indica os limites dos PQAr da OMS para os quatro principais poluentes do ar, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e MP<sub>10</sub>.

Tabela 1.4: Diretrizes dos padrões de qualidade do ar da OMS.

Poluente	Tempo médio de amostragem	Concentração
MP <sub>10</sub> ( $\frac{\mu g}{m^3}$ )	Anual	20
	24h	50
SO <sub>2</sub> ( $\frac{\mu g}{m^3}$ )	24h	20
	10 min	500
O <sub>3</sub> ( $\frac{\mu g}{m^3}$ )	8h	100
NO <sub>2</sub> ( $\frac{\mu g}{m^3}$ )	Anual	400
	1h	200

Fonte: OMS

Num estudo recentemente realizado pela OMS, indica que mais de 80% de pessoas vivendo em áreas urbanas, são expostas à níveis de poluição que excedem os limites por ela estabelecidos. Na última atualização, feita ainda este ano, a OMS apresentou entre outras cidades, São Paulo, cidade de México e Buenos Aires com níveis de concentrações de MP<sub>10</sub> inferiores a  $50 \frac{\mu g}{m^3}$ , para o período 2011 – 2015. Esta lista é liderada pela cidade de Delhi, capital da Índia, com aproximadamente  $250 \frac{\mu g}{m^3}$  (WHO et al., 2014).

A inalação tanto de gases como de partículas, que constituem os principais poluentes, é feita através da boca, ou nariz, onde em seguida percorre o trato respiratório, até a região inferior (alveolar), local onde ocorrem as trocas gasosas, ou seja, o CO<sub>2</sub> do sangue pelo O<sub>2</sub> inalado, para depois ser redistribuído pelos tecidos do corpo através do sistema circulatório. Segundo Hinds (1982) processa-se para um indivíduo adulto, normal, um volume de ar no

intervalo de 10 à 25  $m^3$  por dia, o equivalente a 0,5 l por cada inspiração no estado de inatividade e o triplo (1,5 l) durante um trabalho forçado.

Interação, impactação e difusão são os três processos pelos quais as partículas são depositadas nas diversas regiões do organismo, em função da sua forma, densidade e tamanho. A deposição das partículas também depende da geometria das vias aéreas, do campo do fluxo hidrodinâmico do ar e do padrão na respiração de cada indivíduo (Hinds, 1982).

### 1.3 Revisão Bibliográfica

Dos vários problemas de saúde ligados ao aparelho circulatório, Wang et al. (2009) aponta o acidente vascular cerebral (AVC) como a maior causa de morte no mundo, depois das doenças coronárias, com registro de cerca de 16 milhões de novos casos ao ano. Aliado a isto, está o impacto socioeconômico decorrente do mesmo; Souza (2012), realizou um estudo em 96 distritos de São Paulo, no período 2006 – 2008, onde analisou taxas de mortalidade por AVC em homens e mulheres, levando em consideração fatores como, níveis de escolaridade e agregado familiar em cada domicílio. Concluiu-se desse estudo que as taxas de mortalidade eram maiores em homens e em pessoas de baixa renda.

É importante destacar que além de causas ambientais, outros fatores podem estar relacionados aos casos de AVC, entre eles, o consumo excessivo de álcool e tabaco e níveis altos de colesterol. O Brasil tem a maior percentagem de óbitos tanto para homens como para mulheres, e esta é atribuída às doenças crônicas não transmissíveis, especialmente as DCDV (AVC) (Giroto et al., 2009).

No que diz respeito as doenças do aparelho respiratório, conhecidas como doenças respiratórias crônicas (DRC), a asma, rinite alérgica e a doença obstrutiva crônica (DPOC) são as mais diagnosticadas, chegando a afetar centenas de milhões de pessoas de todas as idades em todo mundo (Chor & Menezes, 2011).

Excessiva frota veicular, elevado número de indústrias, extensas áreas asfaltadas e a urbanização acelerada são alguns dos fatores que tornam as grandes cidades susceptíveis a níveis de poluição e condições atmosféricas anômalas (extremos), o que acaba afetando o conforto térmico da população nelas residente (Cesar et al., 2013). Estudos feitos por Ferreira & Cardoso (2014) e Nicolussi et al. (2014a), mostraram haver uma relação entre o estado insalubre do ar e a saúde pública, incrementando desse modo o número de internações hospitalares (Pinheiro et al., 2014).

As fontes de emissão destes gases ou partículas podem variar em função do local, período

e condições atmosféricas, cabendo a emissão veicular a maior parte da poluição por  $O_3$  e  $MP_{10}$  que se verifica na RMSP. As políticas de controle de emissões veiculares começaram a ser implementadas pelo PROCONVE (Programa de Controle de Emissão Veicular) em 1986. Pode-se apontar a não inclusão dos motocicletas na lista para o uso do novo diesel como uma das razões para manutenção de níveis altos de poluição atmosférica, visto que estes chegam a poluir 10 à 20 vezes mais do que os carros novos (Carvalho et al., 2015).

No Brasil, o estado de São Paulo tem sido referência em estudos que relacionam poluição atmosférica, variáveis meteorológicas e internações e/ou mortes resultantes da variação dessas variáveis. Pesquisadores ligados a várias instituições, têm reunido esforços de forma a esclarecer certos comportamentos (fora do comum) nas admissões hospitalares.

Analisando dados de poluentes atmosféricos, e variáveis atmosféricas, entre os anos 1996 e 2000, Braun (2003) identificou, em consequência das baixas temperaturas registradas no inverno, um incremento nas mortes por doenças cardiovasculares em idosos, contrariamente ao que aconteceu no verão, com o aumento das temperaturas e a queda regular de precipitação.

Outro fator, não menos importante, a ser levado em conta nos estudos sobre a associação entre poluição atmosférica e efeitos adversos à saúde é o socioeconômico, como a renda mensal, nível de escolaridade e tipo de habitação. Martins et al. (2004) estudaram o efeito do poluente  $MP_{10}$  na mortalidade por doenças respiratórias de idosos com diferentes status socioeconômicos, tendo chegado a conclusão de que o  $MP_{10}$  estava negativamente correlacionado aos idosos de alta renda e nível de escolaridade, e positivamente aos idosos de baixa condição socioeconômica.

Cendon et al. (2006) concluíram que os efeitos da poluição sobre os casos de internações por infarto do miocárdio eram maiores em unidades de terapia intensiva, e que o  $SO_2$  apresentou uma associação robusta e estatisticamente significativa. Houve um aumento de 13% nas internações em consequência do aumento do intervalo interquartil para as concentrações de  $SO_2$ .

Além das doenças ligadas aos aparelhos circulatório e respiratório que a maioria dos pesquisadores tem vindo a destacar, a poluição do ar também está relacionada a atendimentos por outras doenças pré-existentes como a anemia falciforme, onde mostrou um incremento no atendimento em 18,9% devido ao MP, 19%  $NO_2$ , 16,5% CO, 14,4%  $SO_2$  e 9,8%  $O_3$  (Barbosa, 2006).

Indivíduos com diabetes mellitus (tipo dois) têm um risco acrescido de morrerem por doenças cardiovasculares relativamente aos que não têm a doença. Usando modelo linear generalizado de Poisson, estudo indicou um aumento no intervalo interquartil, para média

móvel de dois dias,  $8 \frac{\mu g}{m^3}$  de  $SO_2$  associado em 7% e 20% de internações por DCDV em atendimentos emergenciais, para pacientes sem e com diabetes, respectivamente (Pereira Filho et al., 2008).

Ortiz et al. (2011) mostram o custo da poluição atmosférica para o estado de São Paulo, com gastos que variam de €81,82 para idosos e €137,92 para crianças nas admissões hospitalares por doenças respiratórias e €48,40 para idosos e €90,66 para crianças para serviços de emergência. E para as doenças cardiovasculares, apenas para idosos, com gastos que variam de €53,57 para atendimentos emergenciais e €90,08 para admissões hospitalares.

Num estudo onde foram analisados os poluentes além de  $SO_2$  e  $O_3$ , o  $MP_{2,5}$ , que apresentou associação às internações por DCDV de idosos de mais de 60 anos de idade, residentes em São José dos Campos, três dias após a exposição. Um aumento de  $16 \mu g/m^3$  acarretaria um aumento do risco de hospitalização em 10% (Nascimento, 2011).

Em geral as crianças são mais susceptíveis as doenças ligadas ao aparelho respiratório devido ao maior volume de ar (dobro dos adultos) por elas inalado na respiração (Tadano, 2007).

Segundo Jasinski et al. (2011), internações de crianças dos 0 aos 10 anos na cidade de Cubatão estavam relacionadas ao MP e  $O_3$ , enquanto nos adolescentes a relação era com exposição aguda ao  $O_3$ .

São Paulo, a semelhança de outras metrópoles ao redor do mundo, mostra evidências de associação entre admissões hospitalares e níveis de concentrações de poluentes atmosféricos e variações abruptas em algumas variáveis meteorológicas, sobretudo para crianças e idosos (Nardocci et al., 2013). As internações por AVC, em indivíduos de 50 anos de idade, encontram-se associadas, segundo o estudo de Gavinier & Nascimento (2014), aos níveis de concentração do dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ) em Sorocaba. Importa salientar que os recém-nascidos podem ter o peso reduzido, caso suas mães tenham sido expostas à poluição no último mês da gestação, quantificando-se em um risco de 25% a mais, com um intervalo de confiança de 95% entre 1,00 – 1,56.

Com a notável queda nos valores de natalidade da população Brasileira e aumento da expectativa de vida, um aumento da população idosa, favorece um aumento das doenças crônico-degenerativas não transmissíveis (câncer e DCDV) (Campolina et al., 2013).

De acordo com a pesquisa feita por Tuan et al. (2015), aponta-se CO e  $O_3$  como a causa associada às internações de crianças por pneumonia em São José dos Campos, São Paulo, evidenciando os possíveis ganhos na redução dos níveis das concentrações de CO e  $O_3$ , menos 49 internações e R\$39,000.00.



Usando o método multivariado análise de componentes principais, Gonçalves et al. (2007) encontraram associação significativa entre as doenças cardiovasculares e os poluentes primários  $MP_{10}$  e  $SO_2$ .

Um estudo que envolveu crianças, em idade escolar, de seis regiões distintas de São Paulo, selecionadas em função da intensidade do tráfego rodoviário, indicou maior prevalência de asma e rinite em crianças de escolas localizadas na região central, relativamente as outras crianças, devido ao intenso tráfego (Nicolussi et al., 2014b).

### 1.3.1 Relação entre variáveis Meteorológicas e Saúde

O relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* de 2007, apresenta diversos estudo de ilha de calor/frio em alguns países na América do Norte, Europa e Ásia. Portanto, dias quentes e noites quentes tem se tornado frequentes em algumas regiões do globo, e as ondas de calor estão de forma clara e em curto prazo, associadas as mortes. Dezoito ondas de calor foram reportadas na Índia entre os anos 1980 à 1998, sendo a de 1988 a mais destrutiva, tendo vitimado 1.300 pessoas (Bernstein et al., 2007). Importa sublinhar que as ondas de calor matam mais nos Estados Unidos do que o efeito conjunto dos outros fenômenos meteorológicos, com exceção do tsunami (Golden et al., 2007).

Gonçalves et al. (2007) mostraram haver relação entre altos casos de doenças cardiovasculares e o stress devido ao frio, apontando o inverno como período preferencial para este tipo de doença.

Havendo, portanto, necessidade de melhor compreender o impacto das variáveis ambientais sobre as condições de saúde e bem-estar do homem, principalmente em ambientes urbanos, este trabalho vai cingir-se no estudo do impacto decorrente das variações de poluentes atmosféricos e variáveis meteorológicas, e internações por doenças cardiovasculares em idosos e respiratórias em crianças e idosos, durante dez anos, a partir de 2004 até 2013, no município de São Paulo.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Geral

- Verificar a associação entre variáveis meteorológicas, poluentes atmosféricos e a variabilidade das doenças cardiovasculares e respiratórias para crianças e idosos no município de São Paulo.

### 1.4.2 Específicos

- Identificar as prováveis causas das internações hospitalares no município de São Paulo, entre o período 2004 – 2013, no que diz respeito as doenças cardiovasculares e respiratórias;
- Identificar o período do ano com maior ocorrência nas admissões hospitalares;
- Averiguar qual o período do ano em que os níveis de concentrações dos poluentes estão relacionados aos ingressos hospitalares;
- Caracterizar as relações entre as admissões hospitalares, níveis de poluição e condições atmosféricas.

## **Materiais e Métodos**

### **2.1 Materiais**

A pesquisa incluiu variáveis ambientais (poluentes atmosféricos e variáveis meteorológicas) e dados de internações hospitalares por doenças cardiovasculares e respiratórias nos hospitais localizados no município de São Paulo, entre 01 de janeiro de 2004 à 31 de dezembro de 2013.

#### **2.1.1 Estudo ecológico de séries temporais**

O presente estudo enquadra-se, segundo desenhos de estudos epidemiológicos, em estudos ecológicos. Segundo Morgenstern (1995), o estudo ecológico é um tipo de estudo epidemiológico caracterizado pelo enfoque de um grupo de indivíduos, geralmente definido por uma região geográfica, ou seja, povoado, cidade, estado ou país. Em vista disso, não há informações dos indivíduos parcialmente, não sendo possível dessa forma saber quais as proporções de expostos e doentes, expostos e não doentes, não expostos e doentes, e não expostos e não doentes. Conhecendo-se apenas os totais de expostos e não expostos e doentes e não doentes.

#### **2.1.2 Descrição das variáveis de estudo**

#### **2.1.3 Variáveis de saúde**

As informações sobre internações compreenderam moradores do município de São Paulo, com idades variando entre 0 e 14 anos e de 65 anos em diante. Para tornar a amostra representativa, excluiu-se todos os indivíduos atendidos nas unidades sanitárias da região, que não tivessem domicílio na mesma.

Pela disposição da base de dados disponibilizada pelo DATASUS<sup>1</sup>, onde entre outras informações individuais, contém, idade, sexo, município de residência, data de internação, data de saída, diagnóstico principal, número de autorização de internação hospitalar e o total

---

<sup>1</sup>A base de dados foi extraída do site, <http://www2.datasus.gov.br>

gasto em despesas por paciente. Portanto, desta informação, foi possível selecionar indivíduos que se encontravam na faixa etária 0 – 14 anos e 65 anos em diante, com o código de município 3550308 (São Paulo), data de internação entre o dia 01 de janeiro do ano 2004 até 31 de dezembro de 2013, com o código internacional de doenças (*CID – 10*) correspondentes às doenças cardiovasculares (DCDV) e respiratórias (DRSP).

Na figura 2.1 está indicada a localização dos hospitais municipais e prontos-socorros do município de São Paulo, onde se pode constatar maior aglomeração destes, mais ao norte do município, região onde encontram-se localizadas as estações de medição da qualidade de ar da CETESB, usadas para este estudo.

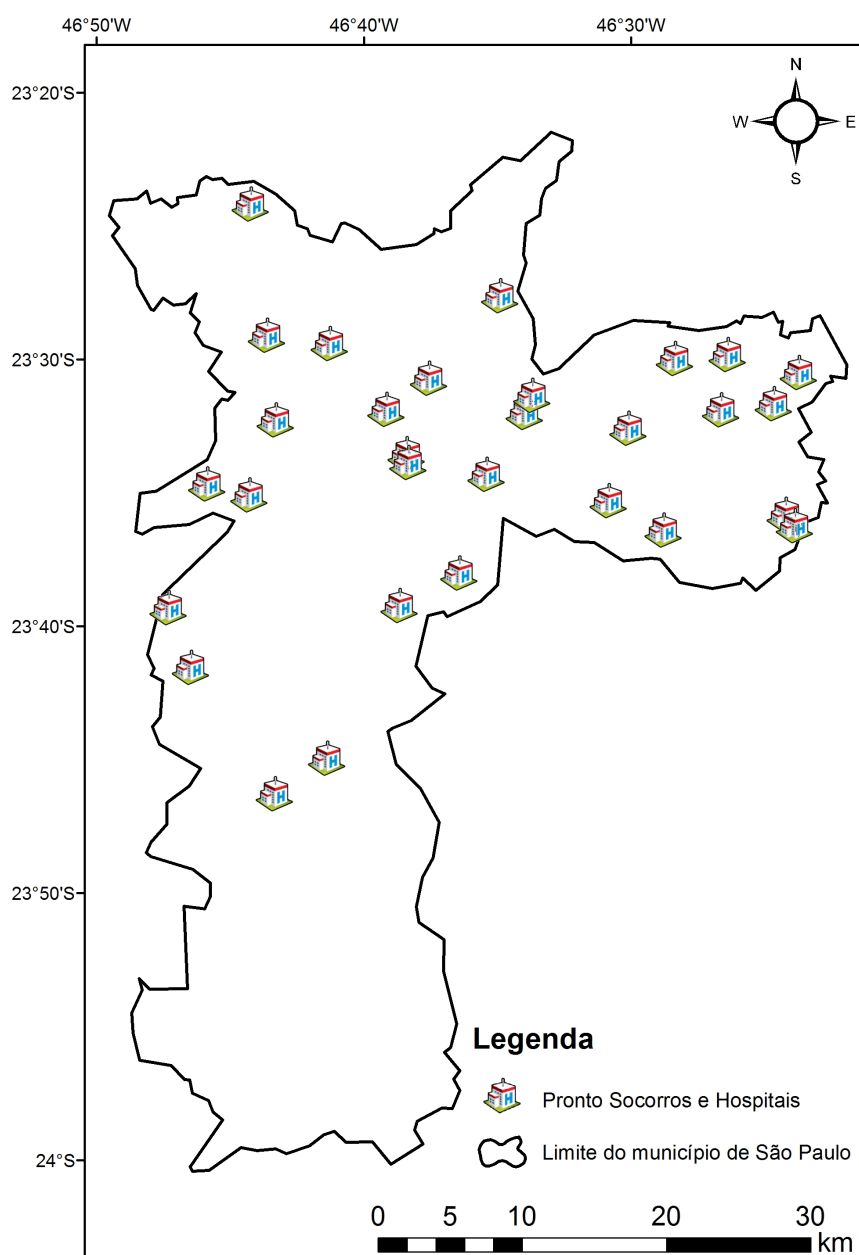


Figura 2.1: Rede hospitalar do município de São Paulo.

Importa sublinhar que os problemas relacionados à poluição do ar envolvem três áreas

distintas, fonte, movimento ou dispersão e recipiente da poluição, que pode ser vegetação, materiais, solo e animais, o que inclui o homem.

Vale salientar que nem todas as doenças dos aparelhos respiratório e circulatório estão diretamente relacionadas ao clima, tempo ou poluição atmosféricas, com isso, destaca-se neste estudo para as DRSP, as doenças respiratórias crônicas, como a asma, doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), influenza e pneumonia, e para as DCDV, como a insuficiência cardíaca, acidente vascular encefálico e embolia pulmonar. As DRSP incluiu todas as doenças que se encontram no intervalo  $J20 - J22$  para crianças e  $J40 - J47$  para idosos, e para as DCDV incluiu doenças que se encaixam no intervalo  $I05 - I52$  apenas para os idosos, sabe-se que a baixa percentagem de crianças que eventualmente possa aparecer neste grupo é resultado de outros fatores, por exemplo, a mal formação congênita (Gouveia et al., 2006).

## 2.2 Caracterização da área de estudo

### 2.2.1 Aspectos geográficos e climáticos de São Paulo

#### 2.2.1.1 Geográficos

A RMSP localiza-se sobre a bacia sedimentar, com compartimento rebaixado do planalto Atlântico, intersectado pelo trópico de capricórnio, tendo uma extensão de aproximadamente  $8000 \text{ km}^2$ , com uma topografia predominantemente de colinas, variando de 650 m à 1200 m. Ao Norte faz fronteira com a serra da cantareira, e apresenta o espigão central de mais de 800 m de altitude ladeado pelos rios Tietê, Pinheiro e Tamanduateí. Segundo IBGE (2016), o município de São Paulo ocupa uma área de  $1521 \text{ km}^2$ , com uma altitude de 860 m acima do nível médio do mar (nmm), nas coordenadas S  $23^{\circ}32.52'$  e W  $46^{\circ}38.07'$ .

Aspecto geográfico (relevo), proximidade com o oceano e a distância a que se encontra do equador são fatores fundamentais na determinação do padrão de circulação atmosférica para a RMSP (Cavalcanti, 2016). Associado a esta singularidade climática, está o comportamento dos constituintes químicos da atmosfera (poluentes atmosféricos), e conseqüentemente, os efeitos decorrentes deste.

#### 2.2.1.2 Climáticos

O estado de São Paulo faz parte da região sudeste do Brasil, tal como os estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro, apresentando a mais alta densidade demográfica e

atividade econômica do país. Segundo IBGE (2016), a população estimada para o município de São Paulo em 2016 foi de 12.038.175 habitantes, o que corresponde a 784.672 habitantes a mais do que em 2010. O volume de automóveis que vem crescendo desde 1980 até então, alcançou em junho de 2016 aproximadamente 7.712.293, onde 69,9% deste eram automóveis, 11,4% motocicletas, 1,6% caminhões e 0,56% ônibus (DENATRAN, 2016).

Estas características tornam o estado bastante sensível às condições climáticas, aliado à sua localização estratégica no intervalo 14° – 15° de latitude Sul, na borda oriental da América do sul, atravessada pelo trópico de capricórnio, deixando uma vasta extensão de terra nos trópicos. E isto se reflete no fluxo de energia durante o ano, distribuição irregular da precipitação no tempo e espaço, elevada evaporação mais ao norte do continente, ocorrência de anticiclones, fazendo com que a região tenha um clima que varia do tropical ao subtropical.

Com escalas variando no tempo e espaço, a RMSP é afetada por sistemas meteorológicos com características tanto tropicais, como subtropicais, nomeadamente, frentes frias, complexos convectivos de meso-escala, linhas de instabilidade, zona de convergência do atlântico sul e massas de ar (frias e quentes) (Quadro et al., 2012).

Durante o ano, observam-se quatro períodos com características meteorológicas distintas, verão, outono, inverno e primavera. Com verões quentes e chuvosos e invernos frios e secos, a maior parte da precipitação ocorre durante os meses mais quentes do ano, ou seja, entre a última quinzena da primavera e a primeira do outono. A RMSP, registra nesse período uma redução nos níveis de alguns poluentes (com exceção de O<sub>3</sub>) através da deposição úmida, pois a atmosfera torna-se mais úmida, e nota-se uma regularidade na queda da precipitação. A remoção destes gases ou partículas também pode ocorrer como resultado do transporte (vento e convecção). Importa sublinhar que a redução de O<sub>3</sub>, também é devida às poucas horas com o céu descoberto de nuvens, como se sabe, a formação deste poluente secundário depende da radiação solar, que apresenta maior incidência na primavera, como constataram Carvalho et al. (2015), em seu estudo sobre a tendência do estado de qualidade do ar na RMSP, como resultado de políticas de controle de emissões de poluentes atmosféricos.

A 21 de março, ainda com a ocorrência isolada de precipitação, a circulação atmosférica começa a mudar, dando indícios da chegada do inverno, onde se constata a redução da temperatura. Esta é a época em que os níveis de todos os poluentes, com exceção do ozônio, começam a subir, devido ao aparecimento de sistemas de altas pressões sobre o continente (alta subtropical da América do sul), impedindo o transporte da umidade do mar através da brisa marítima (Sánchez-Ccoyllo & de Fatima Andrade, 2002). E por volta do dia 22 de setembro, as temperaturas voltam a subir, o que propicia os elevados níveis de poluição, com

maior destaque para o O<sub>3</sub> (Carvalho et al., 2015).

## **2.2.2 Variáveis Ambientais**

### **2.2.2.1 Variáveis meteorológicas**

Além das variáveis de poluição do ar, foram associadas às doenças, variáveis meteorológicas, cujas medições foram feitas na estação do IAG da USP, localizada no Parque estadual das fontes do Ipiranga, zona sul de São Paulo, nas coordenadas S 23°39' (latitude) e W 46°37' (longitude). Foram adquiridos valores médios diários para temperatura do ar e umidade relativa do ar, e o total diário para a precipitação.

A estação meteorológica do IAG encontra-se registrada na Organização Mundial de Meteorologia (OMM) pelo número 83004, e está operacional desde 22 de novembro de 1932. Todos os instrumentos meteorológicos são instalados num abrigo meteorológico, uma estrutura feita de madeira (geralmente pintado a branco), feito com persianas para permitir a livre circulação do ar. As portas desta estrutura ficam voltadas para o sul no Hemisfério sul, e norte no norte, para impedir a incidência direta da radiação solar, o que poderia influenciar nos valores da temperatura do do ar, e todas outras variáveis obtidas a partir dela, caso da umidade relativa do ar que é obtida através da interpolação dos valores da temperatura do ar seco e da diferença desta com a temperatura do termômetro de bulbo úmido.

O abrigo meteorológico é fixado numa estrutura metálica de pouco mais de um metro para que os instrumentos se localizem a uma altura de aproximadamente 1,20 m. E esta estrutura é plantada no interior de uma cerca metálica, com o terreno relvado para facilitar as observações de outras variáveis meteorológicas, tal como, a ocorrência de orvalho, geada, neblina, nevoeiro, etc.

Os parques meteorológicos devem ser instalados nestas condições e distantes de obstáculos que podem obstruir a circulação normal do vento, como edifícios muito altos, áreas com um intenso tráfego automobilístico para preservar as variáveis medidas completas sem, no entanto, estarem sujeitas a variações locais. Portanto, caso haja algum obstáculo próximo ao parque, este deve estar localizado, no mínimo, a uma distância equivalente a dez vezes a sua altura.

#### **2.2.2.1.1 Precipitação**

A precipitação é resultante do produto da condensação do vapor de água na atmosfera cuja queda depende da gravidade. A precipitação compreende desde simples e minúsculas gotas de água (chuvisco) até a chuva de granizo, que ocorre quando uma porção da atmosfera se torna

saturada com vapor de água, processo que desencadeia a condensação (estágio que antecede a precipitação).

Os valores desta variável que serão consideradas no estudo foram obtidos através de um pluviógrafo de Hellmann (Lambrecht, modelo *L – 1507*, Nº 54085). Após a leitura, calculam-se os totais horários e as estimativas da intensidade da precipitação. E este processo é precedido de uma comparação com valores obtidos de outros três pluviômetros (um do tipo Ville de Paris e dois do tipo Paulista), instalados nas proximidades deste, cujas diferenças entre as leituras efetuadas as 07h00, 14h00, 21h00 e 24h00 permitem a obtenção do total da precipitação em cada período.

### 2.2.2.2 Poluentes atmosféricos

Devido aos excessos de dados faltantes, baixo coeficiente de correlação entre as estações que medem um determinado poluente e a localização geográfica destas, foram consideradas oito estações fixas de medição da qualidade do ar da CETESB, como apresentado na figura 2.2.

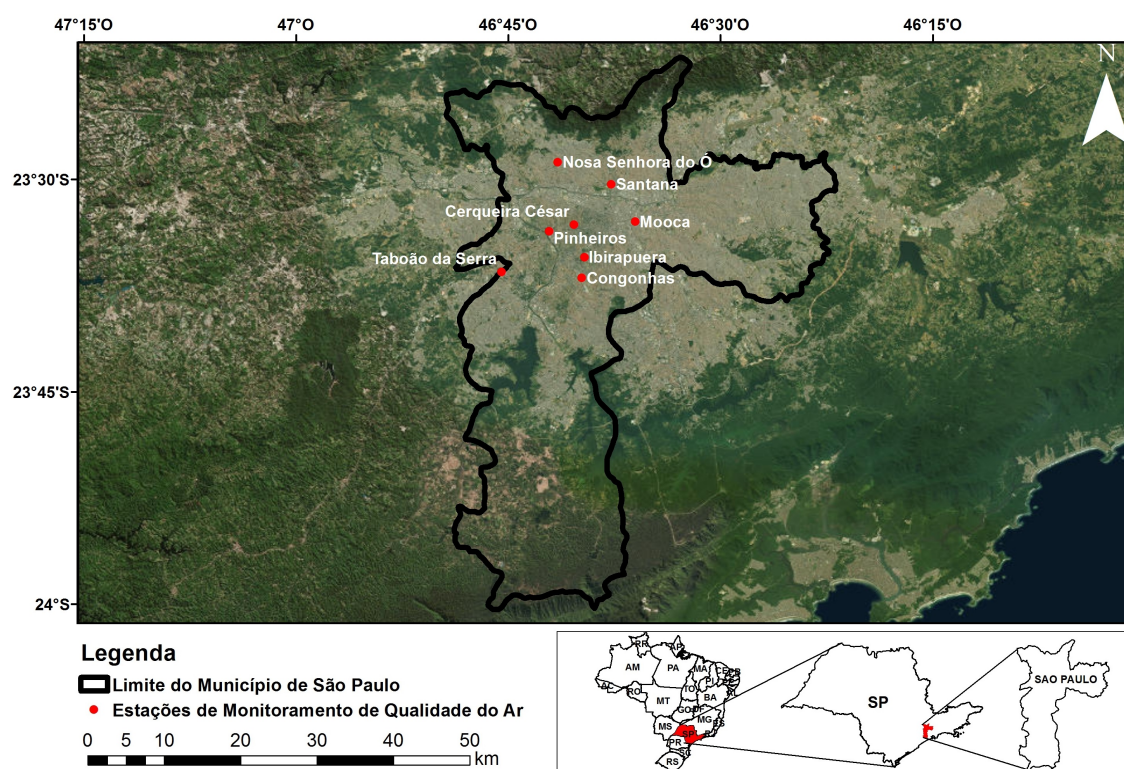


Figura 2.2: Rede telemétrica da CETESB na cidade de São Paulo.

A base de dados referente aos principais poluentes atmosféricos que diretamente afetam a saúde humana ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$  e  $\text{MP}_{10}$ ), compreende medições horárias feitas em várias estações da rede telemétrica da CETESB, na RMSP. Devido ao grande número de dados



faltantes (NA), a CETESB considera para as estações automáticas  $\frac{3}{4}$  (75%) das medidas válidas na hora para o apuramento das médias horárias, e  $\frac{2}{3}$  (60%) das médias horárias válidas no dia para o apuramento diário. Para as estações manuais, leva-se em consideração para a média diária, 22 horas de amostragem no dia.

Portanto, para o atual estudo, dado o longo período, levou-se em consideração apenas as estações que tivessem 85% de dados horários válidos, ou seja, pelo menos 20 horas de dados válidos. E, para o cálculo das medidas diárias das estações que medem cada um dos poluentes em estudo, levou-se em consideração o procedimento usado pela CETESB na determinação dos PQAr, apresentado no relatório de 2013, onde para os poluentes, monóxido de carbono (CO) e ozônio (O<sub>3</sub>) calcula-se a média móvel de 08 horas, material particulado inalável (MP<sub>10</sub>) e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), a média aritmética de 24h e para o dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), considera-se o máximo valor diário, tal como está preconizado no referido relatório, segundo a tabela 1.2, apresentada na secção 1.2 (CETESB-COMPANHIA, 2013).

#### 2.2.2.2.1 Medição das concentrações de cada um dos poluentes

- **CO**

Os valores para este poluente foram registrados em cinco estações, levando-se em consideração a média móvel de 08 horas, e que para a medição tem-se recorrido ao método infravermelho não dispersivo. Este processo consiste na absorção da radiação solar infravermelha pelo gás CO, conservado em uma das duas câmaras de um monitor. Dados que a outra câmara possui apenas um gás transparente, diferente de CO, a incidência dos feixes de luz irá produzir calor nesta câmara, fenômeno que não ocorre na câmara contendo CO, pois este gás diminui a produção de calor absorvendo a radiação.

- **NO<sub>2</sub>**

Para o NO<sub>2</sub>, dado o excesso de valores faltantes nas estações concebidas para a medição deste poluente, apenas uma estação (Pinheiros), observou os requisitos estabelecidos para inclusão ou exclusão das estações nas análises. Para a obtenção das medidas deste poluente, usa-se a quimiluminescência, método aplicado para o O<sub>3</sub>, um oxidante fotoquímico.

- **SO<sub>2</sub>**

O SO<sub>2</sub> é obtido a partir da média aritmética das 24 observações diárias. Para o SO<sub>2</sub>, apenas duas estações foram consideradas (Congonhas e Cerqueira César), medido a partir de um método denominado coulometria.

- **O<sub>3</sub>**

Assim como o CO, O<sub>3</sub> foi obtido a partir da média móvel de 08 horas em quatro estações da RMSP, Santana, Moóca, Ibirapuera e Pinheiros. Para a obtenção das medidas recorre-se a quimiluminescência, técnica baseada na energia liberada (em forma de luz) numa reação exotérmica.

- **MP<sub>10</sub>**

MP<sub>10</sub> teve medições em seis estações, assim como SO<sub>2</sub>, o MP<sub>10</sub> é obtido a partir da média aritmética de 24 horas, cujo método usado para tal foi o monitor de radiação beta, procurando-se avaliar a atenuação desta radiação ao passar pelo material que se pretende medir, retido num filtro.

### 2.2.2.3 Coeficiente de correlação linear de Pearson ( $r$ ) para poluentes atmosféricos

Desenvolvido inicialmente por Karl Pearson, entre os anos 1857 – 1936, o coeficiente mede a intensidade da associação linear entre duas variáveis provenientes de uma série de observações, através da equação 2.1. Portanto, havendo necessidade de estudar a associação entre duas variáveis, recorre-se com frequência ao cálculo do coeficiente de correlação, sobretudo o de Pearson, que relaciona linearmente as variáveis envolvidas. O crescimento de uma pode acarretar o crescimento de outra, ou o inverso, e isto pode ser demonstrado pelo sinal do coeficiente (positivo ou negativo), que varia entre 1 e  $-1$ .

Portanto, valores próximos de 1 representam uma forte correlação entre duas variáveis onde uma cresce linearmente com o crescimento da outra, e para valores próximos de  $-1$  representam uma forte correlação onde uma variável cresce linearmente com o decréscimo da outra, ou vice-versa.

$$r = \frac{cov(x,y)}{s_x s_y} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.1)$$

Onde  $s_x$  e  $s_y$  são os desvios padrões para as variáveis  $x$  e  $y$ , respectivamente.

Para as estações com  $r \geq 0,5$ , aplicou-se a média aritmética entre elas, para em seguida obter-se o valor da concentração do poluente em questão, CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e MP<sub>10</sub>.

## 2.3 Metodologia

A fim de alcançar os objetivos estabelecidos no capítulo I, fez-se o uso da análise de componentes principais e estudo de casos, selecionados em função do perfil das admissões hospitalares.

Tratando-se de uma coleção de observações regulares, feitas sequencialmente no tempo e espaço, a coleção de dados usada para obtenção dos resultados está sujeita a erros como, dados faltantes, “outliers”, etc. Esta é uma característica observada em diversas áreas de estudo, tanto sociais como naturais.

### 2.3.1 Dados faltantes

Como é sabido, é comum o aparecimento de posições sem qualquer valor na matriz de dados usada em análises estatísticas, e por forma a que estes valores inexistentes não afetem a inferência estatística, algumas vezes é necessária a substituição destes por algum valor ao invés de simplesmente ignorá-los. Portanto, com recurso a alguns pacotes do software estatístico R, *zoo* (*zero-ordered observations*) (Zeileis & Grothendieck, 2005), obtiveram-se os valores correspondentes aos dados inexistentes.

Esta função consiste na interpolação dos valores não faltantes para preencher os faltantes usando a função *na.approx* do R, função esta que impõe que os valores faltantes estejam entre os não faltantes, ou seja, esta fórmula não é aplicável para as primeiras e últimas observações nas colunas das matrizes (Carslaw & Ropkins, 2012). Outra característica comum nas observações são os valores discrepantes ou *outliers*, pontos de alta alavancagem e observações influentes, introduzidos na amostra por vários processos, a saber, falha de equipamento, queda de energia, erro do operador, erro de leitura, erro de digitação, etc.

### 2.3.2 Padronização das variáveis

Tratando-se de uma análise multivariada, onde verifica-se a relação entre variáveis com diversas unidades de medida, é necessário torná-las adimensionais através da padronização (ou transformação da curva) para futuras comparações e aplicações de procedimentos estatísticos.

Em vista disso, dada uma curva normal  $N(\mu, \sigma^2)$ , de média  $\mu$  e variância  $\sigma^2$ , padronizam-se os valores observados nessa curva utilizando a fórmula,  $Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$ , onde  $Z$  é a variável padronizada e  $x$ , a variável original.

### 2.3.3 Análise estatística multivariada

Análise multivariada é um método estatístico usado para analisar simultaneamente medidas múltiplas para cada indivíduo (observação), objeto, ou ocorrência de determinado fenômeno, abrangendo deste modo mais de duas variáveis. As características das variáveis e a relação entre estas é que vão definir o tipo de análise estatística a ser usada, podendo ser entre tantas outras, Regressão Linear Simples ou Múltipla, Regressão Logística, Análise Fatorial e Análise Discriminante e Análise de Componentes Principais.

#### 2.3.3.1 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica estatística amplamente usada em ciências atmosféricas para a identificação de padrões nos dados, evidenciando similaridades e diferenças nos mesmos. Popularizada após a publicação do trabalho de Lorenz (1956), que chamou a técnica de *Empirical Orthogonal Functions Analysis* (EOFA), 55 anos após a descoberta da mesma por Karl Pearson (Wilks, 2011).

A técnica consiste na redução da dimensionalidade dos dados, para uma nova base contendo a menor dimensão possível, relativamente à dimensão dos dados originais. E esta redução é feita de tal forma que estas novas variáveis (componentes principais) sejam combinação linear das anteriores e que representem a máxima fração possível da variabilidade contida naquelas variáveis.

Seja  $[X]$  a matriz de dados, K-dimensional com n observações.

$$[X] = \begin{bmatrix} x_1^T \\ x_2^T \\ \vdots \\ x_n^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,k} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n,1} & x_{n,2} & \dots & x_{n,k} \end{bmatrix}$$

Onde  $x_i^T$  é a transposta de um vetor coluna,  $x_i$ .

##### 2.3.3.1.1 Seleção das Componentes Principais

As componentes principais são um caso especial da multiplicação de matrizes e vetores, onde o vetor resultante é um múltiplo do original, esta é a gênese dos autovetores e, por conseguinte, autovalores associados.

Com o objetivo de melhor resumir os dados, deve-se tomar certas decisões por forma a tornar o resumo efetivo, e para tal, algumas sugestões foram propostas:

1. Reter o número de componentes suficientes para uma específica percentagem de variância total, por exemplo, 85%;
2. Reter os componentes cujos autovalores são maiores do que a média dos autovalores,  $\sum_{i=1}^K \frac{\lambda_i}{K}$ . Para matriz de correlação, essa média é um (1);
3. Usar um gráfico scree exibindo os autovalores associados a um componente ou fator em ordem decrescente versus o número do componente ou fator e procurar pela quebra natural entre o maior e menor autovalor, preferencialmente escolhem-se os autovetores (componentes) associados aos primeiros autovalores até último autovalor antes do ponto que começa a tendência da linha reta;
4. Fazer o teste de significância dos maiores componentes, ou seja, os componentes equivalentes aos maiores autovalores.

A  $CP_1$  é a componente que representa a maior variância dos dados, seguido dos restantes ( $CP_2, CP_3, \dots, CP_n$ ), tantos quantos forem necessários, dependendo do comprimento de uma das regras acima apresentadas para a extração do número de componentes, considerados principais e todos ortogonais entre si. Neste trabalho optou-se pelo método apresentado no número 2, proposto por Kaiser (Ledesma & Valero-Mora, 2007).

Considerando a matriz  $[X]$ , apresentada anteriormente, com  $n$  linhas e  $k$  colunas, a  $CP_1$  é representada por,

$$CP_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1k}X_k \quad (2.2)$$

com  $a_{11}^2 + a_{12}^2 + \dots + a_{1k}^2 = 1$ .

$$CP_2 = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2k}X_k \quad (2.3)$$

Com  $a_{21}^2 + a_{22}^2 + \dots + a_{2k}^2 = 1 \mid CP_2 \perp CP_1$ .

$$CP_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{ik}X_k \quad (2.4)$$

Com  $a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \dots + a_{ik}^2 = 1 \mid CP_i \perp CP_{i-1} \perp CP_{i-2} \perp CP_{i-3} \dots \perp CP_1$ .

Os pesos  $a_{nk}$  também conhecidos por *fator loading* são obtidos a partir da matriz de variância-covariância amostral. Supondo que os autovalores estão ordenados de tal forma que  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3 \geq \dots \geq \lambda_i \geq 0$  então,  $\lambda_i$  equivale à  $i$ -ésima componente principal.

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_i = s_{1,1} + s_{2,2} + \dots + s_{n,k} = tr([S]) \quad \text{para } n = k. \quad (2.5)$$

Sendo  $s_{nk}$  a variância de  $X_i$  e  $\lambda_i$  a variância de CPI, a soma das variâncias das componentes principais é igual à soma das variâncias das variáveis originais. Cada um dos  $i$  componentes compartilha com uma percentagem na variância total, proporcional ao seu autovalor, de maneira que:

$$e_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^i} \times 100 \quad (2.6)$$

Na interpretação das componentes principais, é usual saber a correlação das variáveis originais com estas (Jackson, 2005). Portanto, a correlação entre a variável original  $X_i$  e a componente principal  $Y_i$  é calculada através da fórmula 2.7:

$$r_{ij} = \sqrt{a_{ij}^2 \frac{Var Y_j}{s_{ij}}} \quad (2.7)$$

### 2.3.3.1.2 Rotação das Componentes

Para  $k$  componentes retidos, explicando a maior parte da variância total dos dados, pode ser concebido como novo sistema de eixos localizados sobre a nuvem de dados, tal que o primeiro eixo (componente) se localiza no sentido do maior comprimento da nuvem, e o segundo, no sentido do segundo maior comprimento da nuvem, e posicionado perpendicularmente ao anterior, com o ponto de interseção no centroide da nuvem, e com o mesmo critério, os restantes componentes.

A rotação deste novo sistema de eixos é feita sem a perda da relação entre os pontos, com as novas coordenadas, cujo objetivo é maximizar a variâncias destes, conforme preconiza o termo VARIMAX (VARIance MAXimizing) (Ferreira, 2000).

### 2.3.3.1.3 Matriz de covariância

Para uma base de dados contendo mais de duas dimensões, matriz de covariância é uma matriz contendo todos os possíveis valores das covariâncias entre todas as dimensões diferentes, onde cada um dos valores corresponde a medição do quanto uma dimensão varia a partir da média, relativamente a outra. E os valores da diagonal principal são resultado da covariância de uma variável com ela mesma, que é equivalente a variância amostral da mesma. Ao todo uma matriz com  $K$  observações e  $K$  variáveis ( $K$ -dimensional) terá um total de  $\frac{K!}{(K-2)! \times 2}$  diferentes covariâncias (Khan & Farooq, 2012).

$$Cov(x_k, x_l) = s_{k,l} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^n (x_{i,k} - \bar{x}_k)(x_{i,l} - \bar{x}_l) \quad (2.8)$$

A partir da matriz  $[X]$ , e através da fórmula 2.8 constrói-se a matriz de covariância  $[S]$ ,

$$[S] = \begin{bmatrix} s_{1,1} & s_{1,2} & \dots & s_{1,k} \\ s_{2,1} & s_{2,2} & \dots & s_{2,k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_{n,1} & s_{n,2} & \dots & s_{n,k} \end{bmatrix}$$

$$s_{k,l} = cov(Dim_k, Dim_l)$$

Onde  $Dim_k$  é a  $k$ -ésima dimensão e  $Dim_l$  é a  $l$ -ésima dimensão da matriz de covariância.

A matriz de covariância é real e simétrica ( $[S]^T = [S]$ ) relativamente a diagonal principal, resultando em covariâncias abaixo à esquerda desta iguais as covariâncias acima à direita da mesma.

#### 2.3.3.1.4 Autovalores e autovetores associados

Os autovetores só podem ser obtidos de matrizes quadradas, aliás, nem todas as matrizes quadradas têm autovalores; e se uma matriz tiver a dimensão  $K$ , ela terá  $K$  autovetores.

Um autovalor  $\lambda$ , associado a um autovetor de uma matriz  $[X]$ , são um escalar e um vetor não nulo, respetivamente, satisfazendo a equação 2.9.

$$[X]e = \lambda e \leftrightarrow ([X] - \lambda[I])e = 0 \quad (2.9)$$

Onde  $0$  é um vetor nulo e  $[I]$  uma matriz identidade, e para satisfazer a ambiguidade com a mudança nos sinais recomenda-se que se considere um autovetor de comprimento 1. Importa salientar que todos os pares de autovalores, autovetores e os respetivos múltiplos ( $te, \forall t \in \mathbb{Z}$ ) satisfazem equação 2.9 (Wilks, 2011).

Portanto, tanto autovalor como o autovetor a ele associado são obtidos da matriz de covariância, também chamada de matriz de variância-covariância, ou da matriz de correlação. A disposição dos autovalores é de tal forma que sempre vêm aos pares com os autovetores.

### 2.3.4 Estudo de casos

Com o objetivo de verificar a associação entre as internações hospitalares, as variáveis meteorológicas e poluentes atmosféricos, fez-se um estudo de casos, baseado nos casos em que

se registraram uma maior ou menor ocorrência de internações por DCDV e DRSP.

É sabido que o perfil do nível de concentração dos poluentes também está associado às condições do tempo e clima predominantes num determinado local, e que destas depende a qualidade do ar que os seres vivos fazem uso (Sánchez-Ccoyllo et al., 2000). Para tal, fez-se análise sinótica de três dias antes dos máximos/mínimos ( $\pm 5\sigma$ ) de internações hospitalares para acompanhar o deslocamento dos sistemas sinóticos atuantes sobre a América do Sul e que eventualmente acabam afetando o estado de tempo em São Paulo, que é a região de interesse.

Portanto, para a efetivação do estudo de casos, será feito o acompanhamento das condições de tempo em mapas cujos parâmetros foram obtidos do *ERA Interim*, *ECMWF* (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*), com grade de resolução de  $0.75 \times 0.75$ , para o período que vai de 01/01/2004 à 31/12/2013 (Dee et al., 2011).

Os principais campos meteorológicos estudados foram, pressão atmosférica reduzida a nmm, temperatura do ar à 2 m e componentes  $u$  e  $v$  do vento à 10 m. Através das funcionalidades do *GrADS* (*Grid Analysis and Display System*), estes campos foram plotados em mapas para posteriores análises e discussões.

As imagens de satélite das 1200Z, referente aos dias dos casos, foram obtidas do CP-TEC/INPE (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos), no canal infravermelho, do *GOES* (*Geostationary Satellite Server*), para auxiliar na observação da cobertura de nuvens, sistemas frontais e ciclones.

Para consubstanciar os resultados encontrados na análise sinótica, será feita a análise das variáveis normalizadas. Além da morbidade, foram incluídas as variáveis meteorológicas e poluentes atmosféricos que tiverem apresentado maior desvio relativamente à média ( $\mu = 0$ ); estes dados foram obtidos das estações do IAG e CETESB, em São Paulo.

A localização e acompanhamento das trajetórias das frentes frias (FF), alta subtropical do Atlântico sul (ASAS), alta continental (AC) e centros de baixas pressões (ciclones) com o objetivo de estudar possíveis relações com as internações hospitalares será imprescindível, dada a relação existente entre estas variáveis e as internações ou mortes por doenças cardiovasculares e respiratórias (Frumkin et al., 2008).

Ccoyllo (1998) estudou a variação dos níveis dos poluentes com a atuação de certos sistemas sinóticos, tendo concluído que altos níveis destes eram causados pela ASAS, ou alta polar (AP), devido ao vento calmo, baixa umidade do ar e falta de precipitação, como resultado deste padrão sinótico. O contrário acontecia com a passagem de FF, levando a redução dos níveis das concentrações de MP e  $\text{SO}_2$ , devido a queda de precipitação, alta umidade relativa



do ar e ventos fortes (Ccoyllo, 1998).

Os mapas sinóticos correspondem à médias diárias para cada parâmetro considerado no estudo, onde a temperatura foi convertida de K para  $^{\circ}C$ <sup>2</sup> e a pressão atmosférica de Pascal (Pa) em milibar (mb)<sup>3</sup>. Para a velocidade horizontal do vento, fez-se o uso do teorema de Pitágoras (uma aplicação do comprimento Euclidiano) envolvendo as componentes zonal e meridional do vento, segundo a equação 2.10.

$$v^2 = (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.10)$$

---

<sup>2</sup> $t_{(^{\circ}C)} = T - 273,15K$

<sup>3</sup> $P_{(mb)} = \frac{P_{(Pa)}}{100}$

## Resultados e Discussão

### 3.1 Resultados

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos das análises aplicadas, como preconizado no capítulo anterior, ou seja, análise de componentes principais e estudo de casos, começando pela apresentação da estatística básica descritiva da amostra da população.

No concernente ao período de estudo, 01 de janeiro de 2004 à 31 de dezembro de 2013, segundo os registros de dados disponíveis no Sistema Único de Saúde (SUS), houve maior registro de casos de DCDV em idosos (66%), seguido dos casos de DRSP (26%) em crianças e DRSP (7%) em idosos, como é mostrado na figura 3.1.

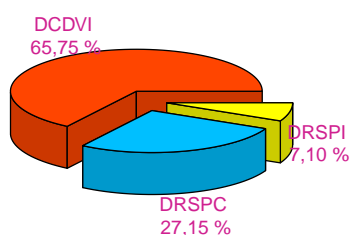


Figura 3.1: Proporção de internações para DRSPC, DRSPI e DCDVI em todo período de estudo.

A figura (3.2) é resultado da média diária da série temporal em função dos dias da semana. Portanto, destes resultados constatou-se que domingo registrou menor número de morbidade hospitalar, seguido de sábado e sexta-feira, enquanto que segunda-feira nota-se maior procura de cuidados médicos, resultando no maior número de internações devido aos problemas de saúde em alusão.

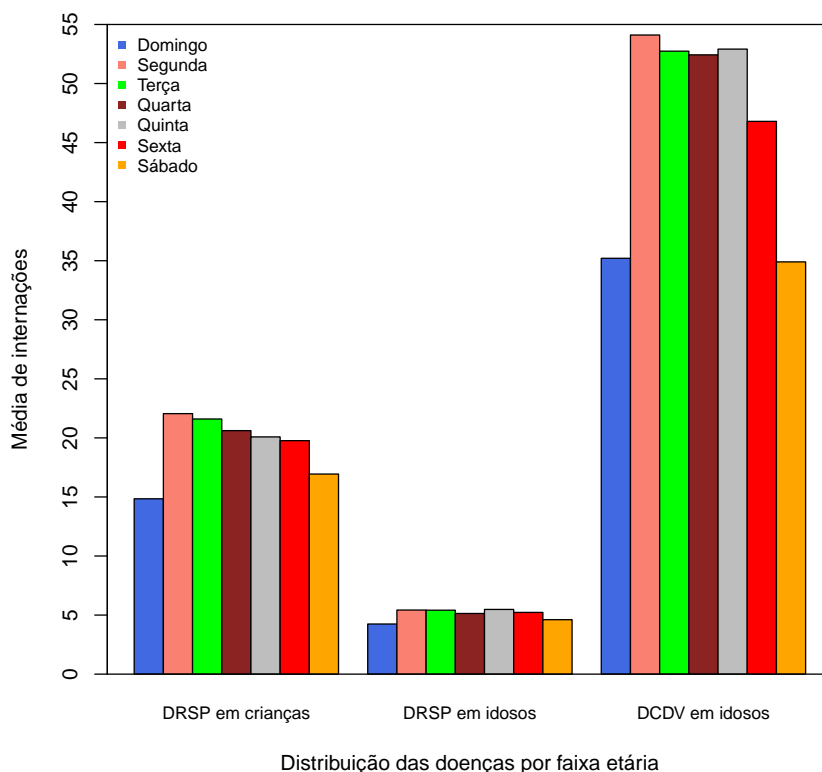


Figura 3.2: Média diária de internações por dias da semana para DRSPC, DRSPI e DCDVI.

Estudos anteriores indicam que uma das prováveis causas para esse comportamento nas internações é a falta de atendimento médico aos finais de semana, período em que as unidades hospitalares apenas atendem casos de urgência, e a diminuição dos transportes públicos, o que acaba comprometendo o deslocamento das pessoas de e para os hospitais.

A figura 3.3 apresenta o comportamento das mesmas variáveis de estudo (DRSPC, DRSPI e DCDVI) por estações do ano, consistindo na média trimestral de cada uma das variáveis em função das estações do ano (verão, outono, inverno e primavera).

Com base na figura 3.3, notam-se os mais baixos valores na internação durante o verão, nos três grupos de doenças, sendo o inverno mais pronunciado para as DCDV em idosos, e primavera para DRSP em crianças. A média trimestral de internação para idosos sofrendo de doenças respiratórias é quase uniforme ao longo do ano, oscilando em torno de 5 internações por estação.

As condições de tempo vigentes no verão favorecem na remoção dos poluentes da atmosfera, sendo esta uma das causas para o baixo ingresso hospitalar nesta época do ano. Verão é caracterizado por frequente queda de precipitação, ocorrência de sistemas de baixas pressões, atmosfera bastante úmida, fatores que ajudam na dispersão e deposição (úmida ou seca) dos poluentes.

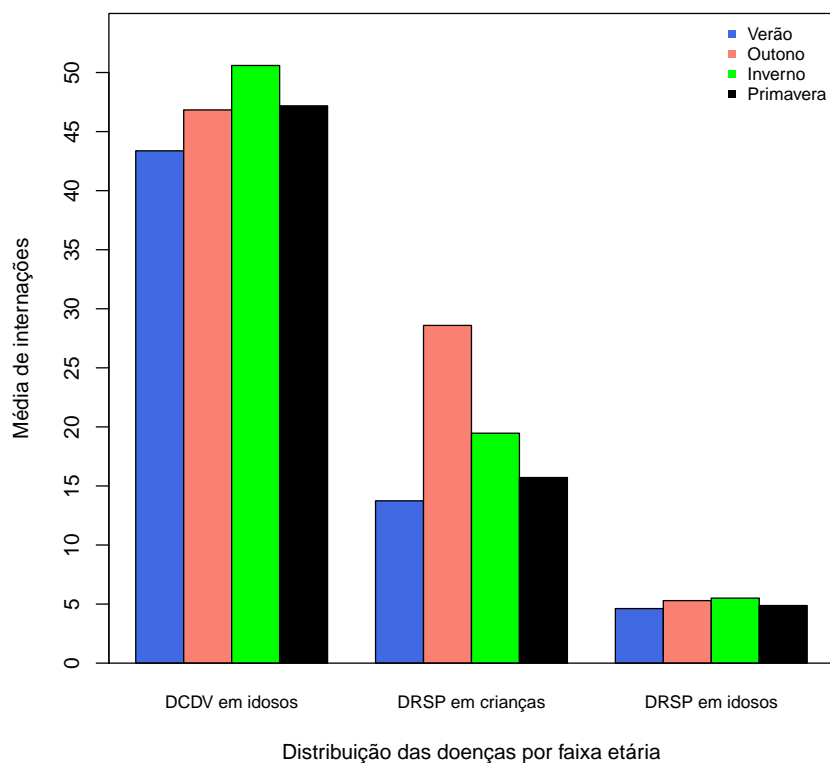


Figura 3.3: Média diária de internações por estações do ano para DRSPC, DRSPI e DCDVI

A quantidade de vapor de água presente na atmosfera é de extrema importância no entendimento da evolução de vários tipos de doenças, sobretudo as que estão ligadas ao aparelho respiratório. A título de exemplo, as doenças relacionadas à umidade relativa do ar, ocorrem com maior frequência no outono.

As condições meteorológicas favoráveis à dispersão dos ácaros são aquelas cujas temperaturas estão associadas a uma umidade relativa de 75%, produzindo a asma alérgica e rinites. Portanto, para condições de pouco vapor de água na atmosfera, digamos 65%, os ácaros não têm facilidades para se dispersarem, e para umidade abaixo dos 45%, eles desaparecem. Mostrando-se deste modo, o papel fundamental que a umidade desempenha na evolução das doenças respiratórias neste período do ano, com registros de maior incidência nas regiões costeiras relativamente ao interior (Carlos García-Legaz & Francisco Valero, 2013).

Em contraste, as alergias causadas por pólen têm uma distribuição espacial, que é mais efetiva no interior que na costa, porque a umidade torna os grãos mais pesados, dificultando desse modo a sua dispersão. Este tipo de alergias também depende do período da polinização das árvores, plantas e arbustos (Carlos García-Legaz & Francisco Valero, 2013).

### 3.1.1 Variação da morbidade ao longo do ano

A figura 3.4 apresenta a variação das internações hospitalares ao longo do ano, por faixa etária e tipo de doença. Observa-se que as DRSP em crianças apresentam uma sazonalidade bem definida, com o outono a registrar os mais altos valores de internações e verão, os mais baixos, tanto em 2004, figura 3.4a, como em 2005, figura 3.4a. Diferentemente das DRSP em crianças, os idosos apresentam pouca variação sazonal, embora apresentem oscilações diurnas dentro da mesma série temporal.

As doenças cardiovasculares apresentaram valores acima das DRSPC e DRSPI, em todo o período de estudo, variando na faixa 20 – 95 internados, em 2004 (figura 3.4a). Os gráficos relativos aos anos 2006 à 2013, encontram-se em apêndice A.

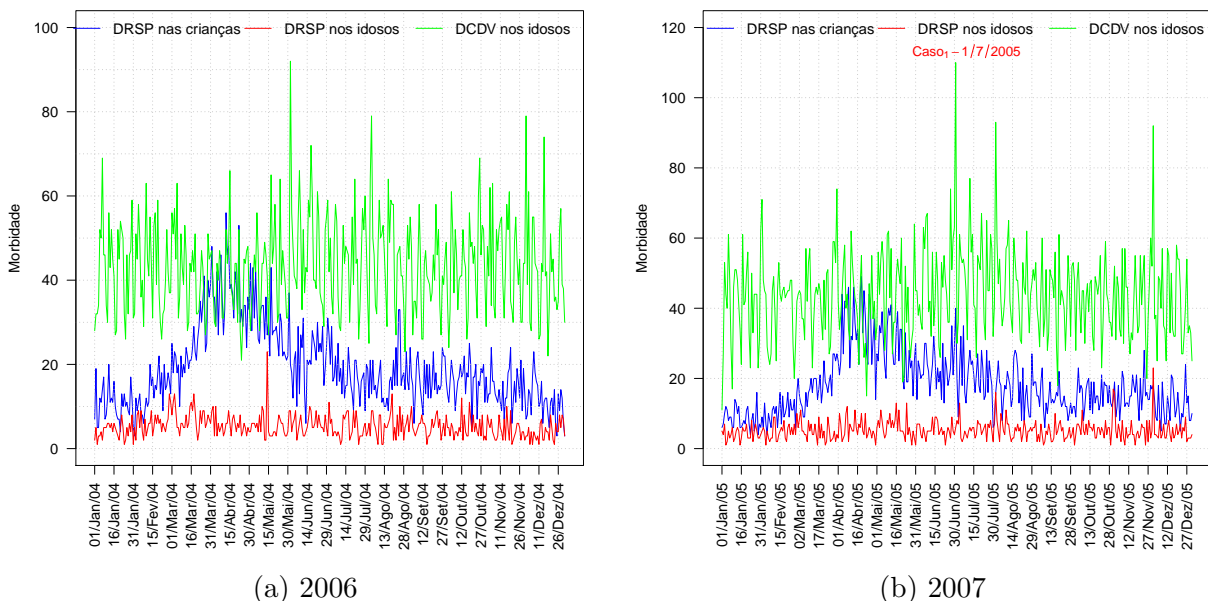


Figura 3.4: Variação da morbidade por DCDVI, DRSPC e DRSPI no município de São Paulo.

## 3.2 Relação entre o perfil das variáveis ambientais e morbidade

As DCDV e DRSP são preferencialmente mais frequentes em determinadas épocas do ano, por influência das condições de ambientais (meteorológicas e poluição do ar), características destes períodos.

São a seguir apresentados gráficos de variação da morbidade e parte das variáveis ambientais, poluentes atmosféricos ou variáveis meteorológicas.

### 3.2.1 Associação entre poluentes atmosféricos e morbidade

A figura 3.5 apresenta a relação entre cada um dos poluentes atmosféricos e a morbidade hospitalar (DCDV e DRSP), em todo período de estudo. Dado o volume de dados da série temporal, calculou-se a média mensal para melhor visualização do comportamento das variáveis ao longo do tempo.

Portanto, as DCDVI e DRSPC apresentaram um máximo no inverno e outono, respectivamente, associado aos poluentes CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e MP<sub>10</sub>. As DCDVI e DRSPC tendem a aumentar, registrando seus maiores valores nos dois últimos anos, 2012 e 2013, apesar da maior parte dos poluentes apresentarem uma redução nas suas concentrações. O SO<sub>2</sub> registrou uma redução acentuada de aproximadamente 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  em 2004 para 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  em 2013, embora tenha apresentado valores inferiores ou superiores a 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nesse intervalo de tempo.

As DRSPI apresentaram seus máximos valores no inverno de 2006 (7,37) e 2007 (7,20), acompanhando as elevadas concentrações de MP<sub>10</sub> (58,09 e 55,98  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e CO (2,35 e 2,27 ppmv), registradas no mesmo período do ano.

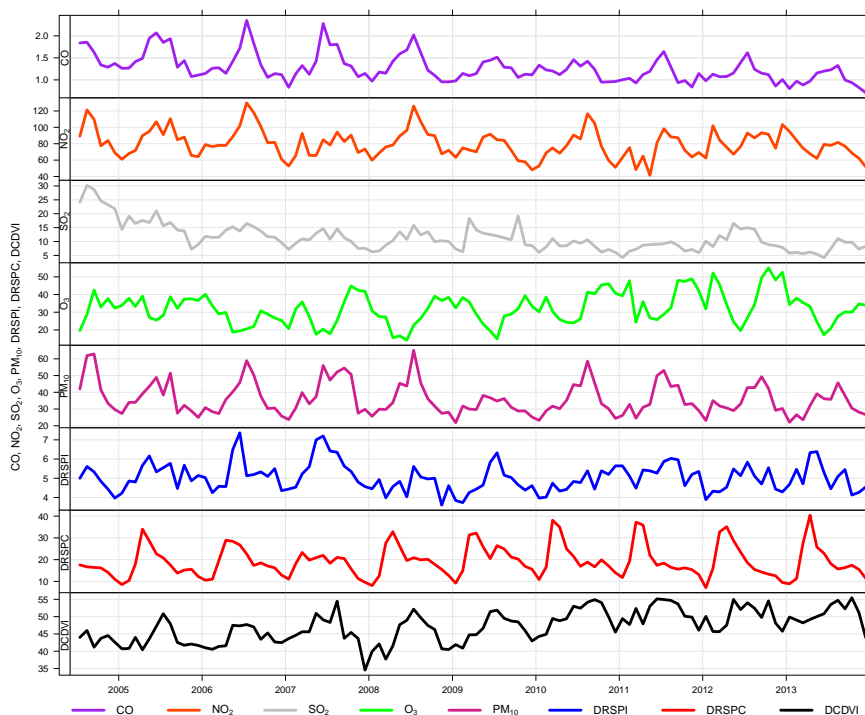


Figura 3.5: Variação das concentrações médias mensais dos poluentes e da morbidade em dez anos.

### 3.2.2 Associação entre variáveis meteorológicas e morbidade

A figura 3.6 apresenta a relação entre o comportamento das médias mensais das variáveis meteorológicas e a morbidade durante o período de estudo. Períodos de pouca precipitação,

como finais de outono e inverno, acompanham maiores internações hospitalares por DRSP, como mostrados na figura 3.6. Além da variável Prec estão igualmente relacionados os picos da morbidade, a umidade relativa e a temperatura do ar, não sendo necessariamente o máximo do ano. E os picos da variável DCDV, também acompanham os mínimos de Prec e da temperatura do ar, indicando o efeito do frio no ingresso hospitalar por este tipo de problema de saúde.

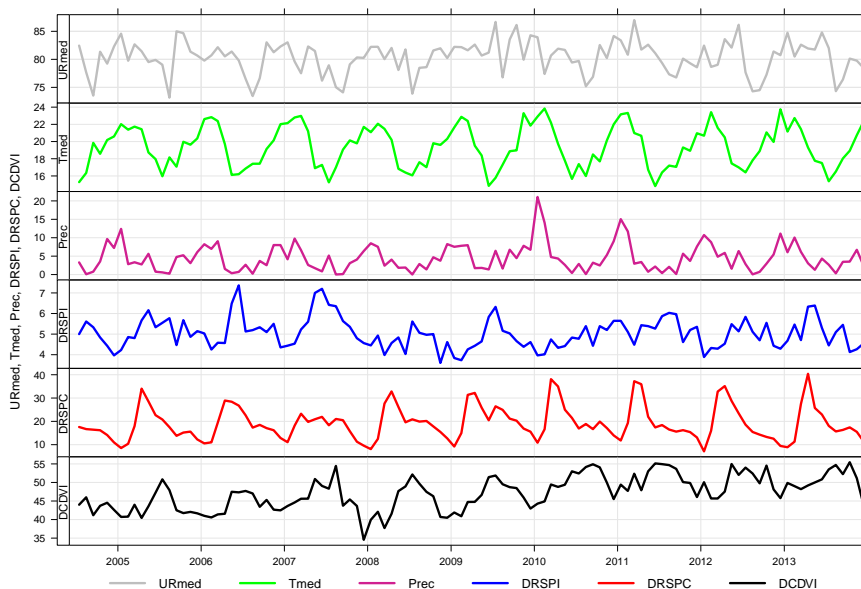


Figura 3.6: Variação das médias mensais das variáveis meteorológicas e da morbidade em dez anos.

### 3.3 Caracterização do perfil dos Poluentes Atmosféricos

Nesta secção são apresentadas as variações dos níveis das concentrações dos poluentes, tanto primários (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e MP<sub>10</sub>) como secundários (O<sub>3</sub>), ao longo do período de estudo. Será feita igualmente uma sistematização dos máximos destes poluentes, que eventualmente terão ultrapassado os padrões de qualidade do ar fixados para os mesmos, segundo a tabela 1.2 apresentada na secção 1.2.

Esta representação é feita em função das estações envolvidas na medição de cada um dos poluentes. Portanto, todos os PQA referem-se ao relatório mais recente da CETESB, até a data da composição do presente texto, 2013.

Um aspeto não menos importante a ser considerado quando se estuda o comportamento da variação das concentrações dos poluentes é o papel das condições atmosféricas nessa variação e em alguns casos, como MP, é importante saber a composição química dessas partículas, pois, esta é que dará o nível de perigo que ela pode oferecer a saúde do homem.

Andrade et al. (2012) estudaram a emissão veicular do  $MP_{2,5}$  em seis estados Brasileiros, sendo um deles, São Paulo; e constataram que os veículos contribuem com 40% para a massa da concentração de  $MP_{2,5}$ , e a queima de diesel foi a principal fonte de *black carbon* (*BC*). CETESB-COMPANHIA (2009), citado por Andrade et al. (2012) faz referência à contribuição das fontes móveis, com um total de 85%, na emissão de CO, COV e  $NO_x$ , associado à elevada frota veicular.

### 3.3.1 Variação das concentrações de CO

As figuras 3.7 mostra as variações dos níveis das concentrações do poluente CO para as estações de Congonhas (6), Cerqueira César (0), Taboão da Serra (13) e Pinheiro (3), incluindo o PQAr, estabelecido em 9 ppmv. Nota-se uma variação sazonal nos níveis de concentração deste poluente primário em 2006, figura 3.7a e 2007, 3.7b, onde o padrão é ultrapassado entre finais do outono e inverno, sendo a ultrapassagem de 2007 a mais acentuada, relativamente aos primeiros três anos. A figura referente aos dois primeiros anos, 2004 e 2005, encontram-se em apêndice B, e os anos 2008 – 2013, não estão representados neste grupo devido aos baixos níveis das concentrações apresentados para estes anos.

Observa-se ainda da figura 3.7 que com exceção de Congonhas, todas as estações registraram ultrapassagem, pelo menos uma vez. Registraram-se pelas estações de Congonhas, Taboão da Serra e Pinheiros um total de 22 ultrapassagens ao padrão de 9 ppmv, nos primeiros quatro anos do período de estudo. Os máximos não ultrapassaram os 11 ppmv em todos os 22 casos.

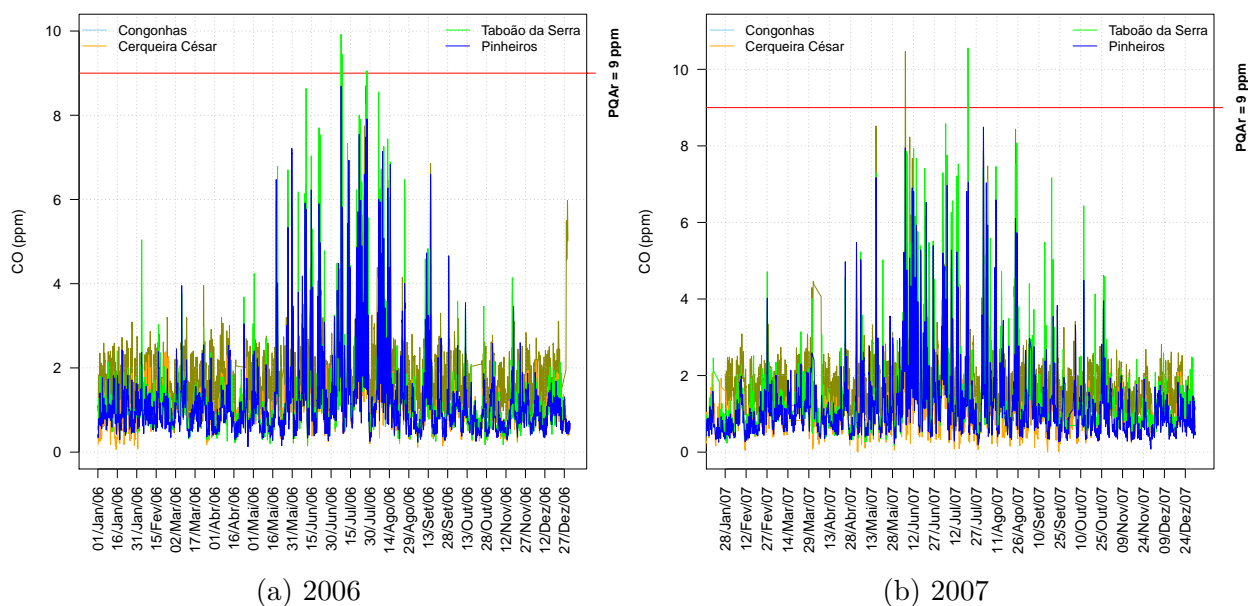


Figura 3.7: Variação dos níveis das concentrações de CO.



### 3.3.2 Variação das concentrações de NO<sub>2</sub>

Para NO<sub>2</sub>, onde apenas a estação de Pinheiro fez parte, registrou-se ultrapassagem do limite fixado pela CETESB, no dia 27/10/2010, em  $267,5 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$ . É importante lembrar que este poluente é um dos precursores de O<sub>3</sub>, portanto, maior produção de NO<sub>2</sub> na atmosfera pode acarretar aumento dos níveis de O<sub>3</sub>. Sendo um dos poluentes regulados, e cuja maior fonte antropogênica é a emissão veicular, esforços têm sido feitos para reduzir a emissão deste poluente, o que pode ter influenciado os níveis de emissão apresentados.

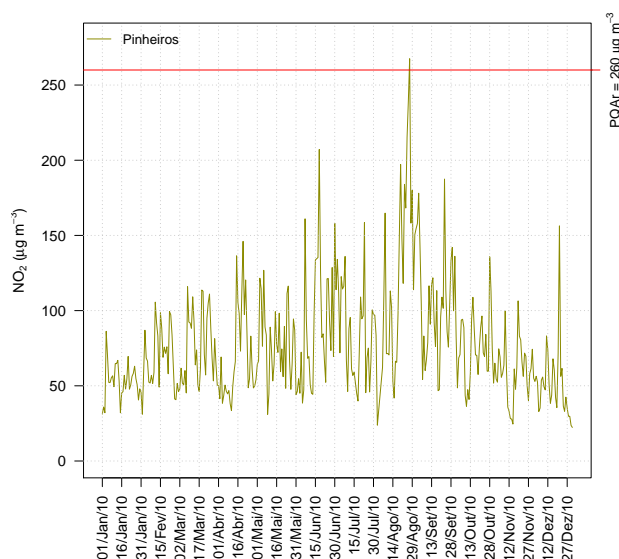


Figura 3.8: Variação dos níveis das concentrações de NO<sub>2</sub>.

### 3.3.3 Variação das concentrações de O<sub>3</sub>

O O<sub>3</sub> não é emitido diretamente para a atmosfera, assim sendo, ele depende de uma série de fatores para ser gerado. A radiação solar é um importante catalisador deste processo, onde fazem parte COV(s), NO<sub>x</sub> e CO, resultantes de emissões veiculares, industriais e solventes químicos.

Embora seja prejudicial na baixa troposfera, o O<sub>3</sub> desempenha um papel de extrema importância na alta estratosfera, impedindo que os raios ultravioletas atinjam a superfície terrestre. Entre setembro e novembro são registradas as máximas concentrações, devido ao maior número de horas com o céu descoberto de nuvens (Carvalho et al., 2015).

A figura 3.9 apresenta as mais acentuadas variações dos níveis de concentrações deste poluente para os anos 2004, figura 3.9a e 2005, figura 3.9b. A máxima concentração registrada para os dez anos foi de  $201 \mu\text{g m}^{-3}$ , ocorrida em 2005 (figura 3.9b). As figuras correspondentes ao resto dos anos, podem ser vistas em apêndice B.

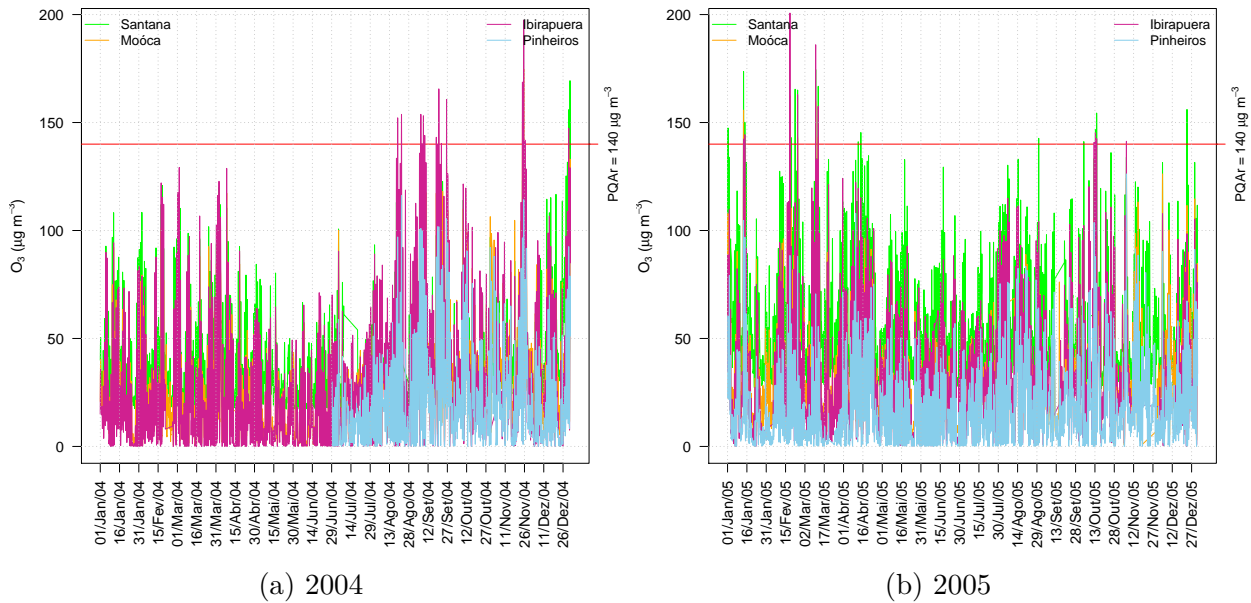


Figura 3.9: Variação dos níveis das concentrações de  $O_3$ .

Este poluente registrou o maior número de ultrapassagens, em todos os anos de estudo, para todas as estações envolvidas. A tabela 3.1 apresenta o número de ultrapassagens por ano e estação, onde se observa que Ibirapuera é a estação com maior número de ultrapassagens (419), seguida de Santana, 178. O número total de violações diárias ao PQAr em dez anos para este poluente, foi de 777.

Tabela 3.1: Número de ultrapassagens para  $O_3$  durante o período de estudo.

Estação	Violações do PQAr para $O_3$										
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Total
Ibirapuera	43	29	5	26	0	16	60	101	118	21	419
Moóca	8	16	11	13	6	9	7	3	64	0	137
Pinheiros	0	0	0	0	0	4	3	19	17	0	43
Santana	9	51	4	49	9	10	9	6	27	4	178
Total	60	96	20	88	15	39	79	129	226	25	777

### 3.3.4 Variação horária das concentrações de $O_3$ por dias da semana

O ozônio atinge concentrações máximas entre as 14h00 e 15h00, resultante da máxima incidência da radiação solar, horas antes deste máximo (Massambani & Andrade, 1994).

A figura 3.10 mostra o comportamento da variação das concentrações de  $O_3$ , entre 2004 – 2013, ao longo dos dias semanais, com máximas concentrações a serem registradas após as 14h00. Outro perfil encontrado nesta representação é a máxima concentração vista no final de semana, sendo a de sábado a mais alta da semana, seguida a do domingo e segunda feira. Carvalho et al. (2015), analisando dados horários por dias da semana (1996 – 2009), para todos

poluentes primários e  $O_3$ , notaram o mesmo comportamento na variação semanal do  $O_3$ , e JUNIOR (2009) concluiu que o perfil observado, com máximos valores na estação de Ibirapuera, deveu-se ao fraco tráfego rodoviário no final de semana, sobretudo para veículos movidos a *diesel*, por estes estarem diretamente relacionados às emissões de óxidos de nitrogênio, usado tanto na produção como no consumo deste poluente.

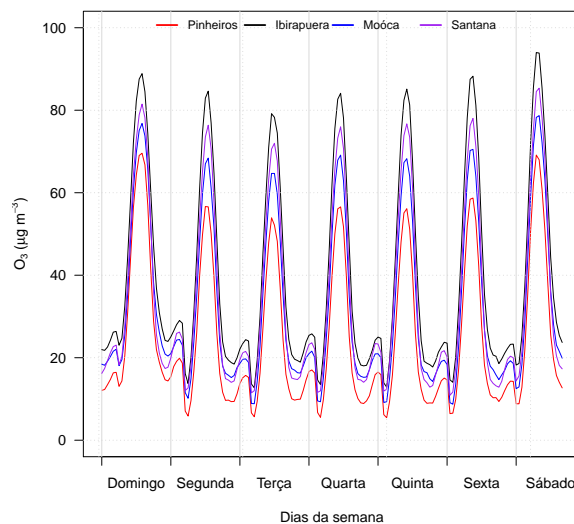


Figura 3.10: Variação dos níveis das concentrações horárias de  $O_3$  por dias da semana.

### 3.3.5 Variação das concentrações de $MP_{10}$

A figura 3.11 mostra as variações dos níveis de concentrações do poluente atmosférico  $MP_{10}$ , para as estações de Santana, Moóca, Ibirapuera, Congonha e Cerqueira César para os anos 2004, 3.11a, e 2010, 3.11b, destacando-se ultrapassagens do padrão de qualidade do ar nas estações de Congonhas, Ibirapuera e Cerqueira César, provavelmente devido ao tráfego rodoviário. Também houve ultrapassagens nos anos 2005, 2007, 2011 e 2012, como se pode observar da figura B.4, no apêndice B.

Foram registradas 36 ultrapassagens do PQAr da CETESB ( $120 \frac{\mu g}{m^3}$ ), com maior valor para Ibirapuera (8), em 2010, seguido de Moóca e Nossa Senhora de Ó, em 2004, ambas com 6 ocorrências.

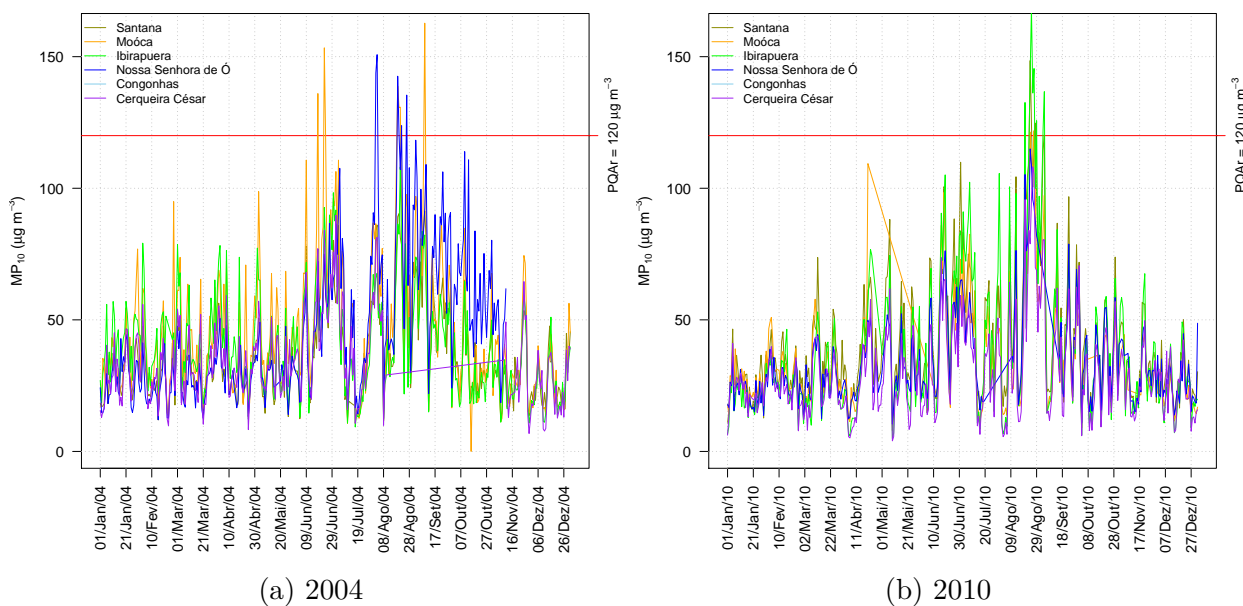


Figura 3.11: Variação dos níveis das concentrações de  $MP_{10}$ .

### 3.3.6 Resultados das correlações entre as estações de qualidade do ar

Nesta secção estão representados os resultados das correlações entre as estações que medem cada um dos cinco poluentes considerados neste estudo. Assim, para  $CO$ , todas as estações que medem este poluente apresentaram  $r \geq 0,5$ , como se pode deprender da tabela 3.2.

Tabela 3.2: Correlação entre as estações que medem o poluente  $CO$ .

Estações	Ibirapuera	Congonhas	Cerqueira César	Tab. da Serra	Pinheiro
Ibirapuera	1				
Congonhas	0,63	1			
Cerqueira César	0,71	0,55	1		
Taboão da Serra	0,71	0,58	0,72	1	
Pinheiro	0,78	0,63	0,76	0,84	1

Para o poluente  $NO_2$ , na tabela 3.3, das três estações selecionadas inicialmente, Ibirapuera, Congonhas e Cerqueira César, apenas a de Pinheiros teve um valor igual ou superior a 0,5, com as demais, Congonhas e Cerqueira César, tiveram  $r = 0,49$ , sendo deste modo, não significativo, de acordo com o critério estabelecido.

Tabela 3.3: Correlação entre as estações que medem o poluente  $NO_2$ .

Estacoes	Congonhas	Cerqueira César	Pinheiros
Congonhas	1,0		
Cerqueira César	0,49	1,0	
Pinheiros	0,54	0,61	1,0

E para o  $\text{SO}_2$ , não se verificou uma correlação aceitável segundo as condições impostas a princípio, portanto, selecionou-se uma das duas estações (Congonhas e Cerqueira César), ao que se optou pela estação de Congonhas. A correlação entre as duas estações foi de 0,36.

Aplicando o mesmo procedimento para o  $\text{O}_3$ , foi excluída a estação de Santana por ter baixo valor na correlação, e, portanto, levando-se em consideração as restantes três estações, Moóca, Ibirapuera e Pinheiros, segundo ilustrado na tabela 3.4.

Tabela 3.4: Correlação entre as estações que medem o poluente  $\text{O}_3$ .

Estações	Santana	Mooca	Ibirapuera	Pinheiro
Santana	1			
Mooca	0.59	1		
Ibirapuera	0.52	0.54	1	
Pinheiros	0.46	0.60	0.80	1

A tabela 3.5 ilustra a correlação entre as estações que medem  $\text{MP}_{10}$ , sendo este o poluente que apresentou melhores resultados nas correlações entre as estações de Santana, Moóca, Ibirapuera, Nossa Senhora de Ó, Congonhas e Cerqueira César, o que possibilitou a inclusão de todas elas no cálculo da sua média espacial.

Tabela 3.5: Correlação entre as estações que medem o poluente  $\text{MP}_{10}$ .

Estações	Santana	Moóca	Ibirapuera	Nossa Sra. Ó	Congonhas	C. César
Santana	1					
Moóca	0,63	1				
Ibirapuera	0,82	0,72	1			
Nossa Senhora de Ó	0,68	0,55	0,67	1		
Congonhas	0,58	0,55	0,62	0,58	1	
Cerqueira César	0,63	0,54	0,66	0,51	0,51	1

### 3.4 Análise de Componentes Principais para DRSP e DCDV

Análise de Componentes Principais (ACP) foi aplicada para verificar a associação entre as variáveis ambientais (poluentes atmosféricos e variáveis meteorológicas), morbidades cardiovasculares e respiratórias, em crianças (0 – 14 anos de idade) e idosos (de 65 anos de idade em diante).

Nos próximos parágrafos serão apresentados os resultados da ACP, feita em três etapas, sendo a primeira sem qualquer suavização da série de dados, segunda em função das estações do ano e terceira, com média móvel de dois, três e quatro dias de atraso ou defasagem (*lag*). Os *loadings* das componentes principais iguais ou superiores a 0,30 ( $\text{CP} \geq 0,3$ ) para as morbidades

estão destacados, e estão igualmente destacados os *loadings* de todas as variáveis ambientais iguais ou superiores a 0,50 ( $CP \geq 0,5$ ). Em todos os casos foi aplicada a rotação de variância maximizada, VARIMAX.

A última coluna em cada uma das tabelas corresponde a comunalidade ( $h^2$ ), que é o resultado da soma dos quadrados dos pesos das componentes principais retidas após a ACP, e esta estima a parte da variabilidade explicada pelo modelo para cada variável. A comunalidade nas componentes principais é equivalente ao coeficiente de determinação ( $R^2$ ) na análise de regressão, que estima quão bem a variável dependente é modelada pelas variáveis independentes, e este valor também varia de 0 à 1, e quanto mais próximo de 1 estiver, melhor a explicação.

A tabela 3.6 mostra os fatores obtidos sem média móvel, durante todo período de estudo, 2004 – 2013. Pode-se constatar a retenção de três fatores, obtidos segundo o critério do valor do autovalor ( $\lambda$ ), ou seja, componentes associadas aos autovalores menores que um foram descartadas. Com uma variância explicada total de 67,20%, cabendo ao fator 1, 32,13%, fator 2, 20,69% e o terceiro fator, 14,38%. No fator 1, a morbidade por doenças cardiovasculares nos idosos (DCDVI) encontra-se positivamente associada (0,37), embora não significativamente aos poluentes CO, MP<sub>10</sub> e à variável meteorológica UR<sub>med</sub>, que apresentaram pesos positivos e altos.

Nos dois fatores seguintes, fator 2 e fator 3, a morbidade não se apresenta associada à qualquer variável, porém, no fator 2, o O<sub>3</sub> e T<sub>med</sub> apresentam-se com pesos altos e positivos e a UR<sub>med</sub> com peso negativo. Portanto, altas temperaturas associadas a baixa umidade relativa do ar acarretam a formação do ozônio.

Tabela 3.6: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI em todo o período.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	<b>0,89</b>	-0,06	0,07	0,79
DCDVI	<b>0,37</b>	-0,24	-0,04	0,19
MP <sub>10</sub>	<b>0,87</b>	0,17	-0,23	0,83
NO <sub>2</sub>	<b>0,84</b>	0,19	-0,02	0,75
O <sub>3</sub>	-0,10	<b>0,84</b>	-0,17	0,75
Prec	-0,04	-0,06	<b>0,90</b>	0,82
SO <sub>2</sub>	<b>0,50</b>	-0,24	-0,41	0,48
T <sub>med</sub>	0,06	<b>0,78</b>	0,34	0,73
UR <sub>med</sub>	<b>-0,50</b>	<b>-0,60</b>	0,32	0,71
Variância Explicada	32,13	20,69	14,38	67,20 %

A tabela 3.7 destaca a morbidade por DRSP para crianças, durante os dez anos. Com uma variância explicada total de 67,13%, a morbidade aparece negativamente ( $-0,36$ ) associada

ao  $O_3$  (0,84),  $T_{med}$  (0,75) e  $UR_{med}$  (-0,51) no fator 2. O fator 1 e 3, com 32,57% e 14,28% de variância explicada, respectivamente, não destacam a representatividade da morbidade, contudo, o fator 1 apresenta a relação entre parte dos poluentes CO e  $MP_{10}$ , e a variável meteorológica  $UR_{med}$ . Pela comunalidade observa-se a explicação de apenas 20% da variabilidade das doenças respiratórias nas crianças.

Tabela 3.7: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPC em todo período.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	<b>0,88</b>	-0,17	0,10	0,82
DRSPC	0,24	<b>-0,36</b>	-0,09	0,20
$MP_{10}$	<b>0,89</b>	0,05	-0,22	0,84
$NO_2$	<b>0,85</b>	0,10	-0,02	0,74
$O_3$	0,00	<b>0,84</b>	-0,23	0,76
Prec	-0,06	0,01	<b>0,91</b>	0,83
$SO_2$	0,48	-0,33	-0,37	0,48
$T_{med}$	0,16	<b>0,75</b>	0,29	0,68
$UR_{med}$	<b>-0,57</b>	<b>-0,51</b>	0,35	0,71
Variância Explicada	32,57	20,28	14,28	67,13 %

A tabela 3.8 apresentou uma variância explicada total de 66,51%, onde a morbidade não aparece associada à nenhuma outra variável nos três fatores retidos. No fator 1 (32,05%), estão destacados os pesos positivos para todos os poluentes primários e peso negativo para a variável meteorológica  $UR_{med}$  (-0,50). No fator 2, com 20,60% de variância explicada, destacam-se pesos altos e positivos para  $O_3$  e  $T_{med}$  e peso negativo para  $UR_{med}$ . Portanto, altas temperaturas favorecem a formação do ozônio.

Tabela 3.8: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPI em todo período.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	<b>0,90</b>	-0,06	0,12	0,83
DRSPI	0,26	-0,08	-0,11	0,09
$MP_{10}$	<b>0,88</b>	0,19	-0,18	0,84
$NO_2$	<b>0,83</b>	0,22	0,03	0,73
$O_3$	-0,12	<b>0,84</b>	-0,17	0,75
Prec	-0,08	-0,07	<b>0,90</b>	0,83
$SO_2$	<b>0,54</b>	-0,25	-0,37	0,49
$T_{med}$	0,03	<b>0,78</b>	0,35	0,72
$UR_{med}$	<b>-0,50</b>	<b>-0,62</b>	0,29	0,71
Variância Explicada	32,07	20,61	13,87	66,55 %

### 3.4.1 Análise de componentes principais por estações do ano

Devido ao comportamento sazonal de algumas variáveis envolvidas no estudo, fez-se a ACP para cada uma das estações do ano, ou seja, a análise compreendeu quatro períodos, verão,

outono, inverno e primavera. Sabe-se que algumas estações são preferencialmente favoráveis ou ao aumento ou à redução destas variáveis, como é o caso de  $O_3$ , que apresenta valores altos durante a primavera e verão, cujos resultados da ACP encontram-se em apêndice C.

### 3.4.1.1 Análise de Componentes Principais para Outono

A estação de outono consistiu na análise dos fatores apresentados nas tabelas 3.9, 3.10 e 3.11. A tabela 3.9 apresenta para o fator 2, com 17,19% de variância explicada, a DCDVI associada negativamente ( $-0,42$ ) ao  $O_3$  ( $0,80$ ) e a  $T_{med}$  ( $0,78$ ). Nos outros dois fatores, estão destacados os poluentes primários com a  $UR_{med}$  no fator 1 (32,66%), e apenas a precipitação no fator 3 (14,39%). Nesta tabela são explicados 64,24% da variância total.

Na tabela 3.10, o fator 2 destaca a DRSPC associada positiva e significativamente ( $0,67$ ) ao  $O_3$  e a  $T_{med}$ , evidenciando a relação positiva que estas variáveis têm, ou seja, o aumento da temperatura acarreta a subida dos níveis de concentração do ozônio, e o aumento destas duas variáveis está associado ao aumento das internações por doenças respiratórias em crianças. Neste fator são explicados 18,73% da variância, e a comunalidade referente a DRSPC nesta tabela é de 0,46, superior ao fator anterior em 0,20. O fator 3, com 14,85% de variância explicada, destaca a influência das variáveis meteorológicas no comportamento do ozônio, podendo notar-se a redução do  $O_3$  com a ocorrência da precipitação.

As DRSPI apresentam-se positivamente associadas ( $0,36$ ) no fator 1 da tabela 3.11, com 31,74% de variância explicada, tanto à poluição, como à meteorologia ( $UR_{med}$ ). Neste fator está evidente a variação da morbidade respiratória em idosos em função do aumento dos níveis da poluição no município. Para os dois últimos fatores, o fator 2, com 17,72% de variância explicada, apresenta a dependência entre  $O_3$  e a temperatura média, e no fator 3 apenas a precipitação vem destacada com peso alto e positivo, sem qualquer associação.

Tabela 3.9: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI no outono.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	<b>0,89</b>	-0,09	0,11	0,80
DCDVI	0,28	<b>-0,42</b>	-0,11	0,26
MP <sub>10</sub>	<b>0,89</b>	0,03	-0,14	0,81
NO <sub>2</sub>	<b>0,81</b>	0,11	0,00	0,67
O <sub>3</sub>	-0,04	<b>0,80</b>	-0,34	0,76
Prec	-0,04	0,04	<b>0,90</b>	0,81
SO <sub>2</sub>	0,49	-0,15	-0,27	0,33
T <sub>med</sub>	0,27	<b>0,78</b>	0,18	0,72
UR <sub>med</sub>	<b>-0,56</b>	-0,28	0,48	0,62
Variância Explicada	32,66	17,19	14,39	64,24 %



Tabela 3.10: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPC no outono.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	<b>0,90</b>	-0,05	0,12	0,83
DRSPC	0,03	<b>0,67</b>	0,11	0,46
MP <sub>10</sub>	<b>0,89</b>	0,06	-0,14	0,81
NO <sub>2</sub>	<b>0,79</b>	0,22	0,01	0,67
O <sub>3</sub>	-0,11	<b>0,67</b>	<b>-0,50</b>	0,71
Prec	-0,08	0,13	<b>0,85</b>	0,75
SO <sub>2</sub>	<b>0,52</b>	-0,05	-0,17	0,30
T <sub>med</sub>	0,17	<b>0,82</b>	0,04	0,71
UR <sub>med</sub>	<b>-0,55</b>	-0,19	<b>0,54</b>	0,63
Variância Explicada	31,66	18,73	14,85	65,24 %

Tabela 3.11: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPI no outono.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	<b>0,90</b>	-0,01	0,07	0,82
DRSPI	<b>0,36</b>	-0,15	-0,01	0,15
MP <sub>10</sub>	<b>0,87</b>	0,15	-0,16	0,81
NO <sub>2</sub>	<b>0,77</b>	0,24	-0,01	0,65
O <sub>3</sub>	-0,15	<b>0,81</b>	-0,29	0,77
Prec	-0,03	0,01	<b>0,90</b>	0,81
SO <sub>2</sub>	<b>0,50</b>	-0,09	-0,30	0,35
T <sub>med</sub>	0,16	<b>0,82</b>	0,23	0,76
UR <sub>med</sub>	<b>-0,51</b>	-0,38	0,47	0,62
Variância Explicada	31,74	17,72	14,32	63,79 %

### 3.4.1.2 Análise de Componentes Principais para Inverno

O inverno é o período em que os níveis de poluição são altos, devido às condições atmosféricas favoráveis para tal, tempo seco e frequente ocorrência de inversão térmica devido aos sistemas de altas pressões (Carvalho et al., 2015). E com este padrão sinótico, espera-se um excesso nos ingressos hospitalares de crianças e idosos.

A tabela 3.12 apresenta resultados da ACP para a variável DCDVI, com apenas 23% da sua variabilidade explicada pelos três fatores retidos. A DCDVI aparece no fator 2 (18,41%) positivamente (0,47) associada ao SO<sub>2</sub> (0,63) e ao O<sub>3</sub> (-0,56), destacando a influência positiva do dióxido de enxofre nas hospitalizações diárias.

O fator 1 apresenta 35,64% da variância explicada, com as variáveis meteorológicas associadas aos poluentes primários, e no terceiro fator, destaca-se a redução da poluição por ozônio como resultado da queda de precipitação.

O fator 3 destaca a relação inversa entre níveis de poluição e ocorrência de precipitação, ou seja, quanto maior a queda de precipitação, menores os níveis deste poluente, e consequentemente melhora a qualidade do ar.

A tabela 3.14, com 69,79% de variância explicada, apresenta a morbidade por doenças respiratórias em crianças positiva e significativamente (0,59) associada à Prec (0,64) e ao O<sub>3</sub> (-0,61) no fator 3 (14,77%). Para o primeiro fator (27,79%), pesos positivos para as variáveis MP<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e T<sub>med</sub> e peso negativo para UR<sub>med</sub>, portanto, em condições de pouco vapor de água e altas temperaturas espera-se um aumento nas concentrações dos poluentes. O segundo fator, 27,42% de variância explicada destaca todos os poluentes primários.

Na tabela 3.13 apresenta os resultados da ACP para a variável DRSPI, com um total de 68,68% de variância explicada. A DRSPI apresentou uma variabilidade de 7% nos três fatores, 32% mais baixa que a DRSPC no mesmo período do ano (tabela 3.14).

Devido às condições atmosféricas desfavoráveis a dispersão dos poluentes, o inverno é apontado pelos pesquisadores epidemiológicos como sendo o período do ano de pico na frequência das mortes por doenças cardíacas (Horowitz, 2002).

Para o inverno nota-se maior impacto da poluição por SO<sub>2</sub> na morbidade por doenças cardiovasculares em idosos (tabela 3.12), e provavelmente as baixas temperaturas induziram o ingresso hospitalar por doenças respiratórias em crianças (tabela 3.14), embora o O<sub>3</sub> tenha apresentado peso negativo, que em parte deveu-se à ocorrência da precipitação.

Tabela 3.12: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI no inverno.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	0,71	0,54	0,09	0,80
DCDVI	0,01	0,47	0,02	0,23
MP <sub>10</sub>	0,80	0,38	-0,24	0,84
NO <sub>2</sub>	0,73	0,45	-0,11	0,75
O <sub>3</sub>	0,39	-0,56	-0,53	0,75
Prec	-0,06	-0,11	0,89	0,80
SO <sub>2</sub>	0,21	0,63	-0,35	0,56
T <sub>med</sub>	0,84	-0,25	0,02	0,77
UR <sub>med</sub>	-0,79	0,09	0,32	0,73
Variância Explicada	35,64	18,41	15,16	69,22 %

Tabela 3.13: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPI no inverno.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	0,40	0,72	0,33	0,78
DRSPC	0,08	0,19	0,59	0,39
MP <sub>10</sub>	0,58	0,71	0,02	0,84
NO <sub>2</sub>	0,51	0,67	0,15	0,73
O <sub>3</sub>	0,59	-0,13	-0,61	0,73
Prec	-0,08	-0,42	0,64	0,59
SO <sub>2</sub>	-0,11	0,82	-0,10	0,69
T <sub>med</sub>	0,88	0,08	0,11	0,79
UR <sub>med</sub>	-0,79	-0,30	0,19	0,75
Variância Explicada	27,79	27,42	14,77	69,97 %

Tabela 3.14: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPC no inverno.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	0,81	0,35	0,23	0,83
DRSPI	0,26	0,02	-0,06	0,07
MP <sub>10</sub>	0,73	0,54	-0,10	0,84
NO <sub>2</sub>	0,71	0,47	0,02	0,73
O <sub>3</sub>	-0,24	0,62	-0,55	0,74
Prec	-0,24	-0,06	0,85	0,79
SO <sub>2</sub>	0,76	-0,14	-0,25	0,66
T <sub>med</sub>	0,15	0,86	0,08	0,77
UR <sub>med</sub>	-0,30	-0,77	0,24	0,75
Variância Explicada	28,50	26,60	13,57	68,68 %

### 3.4.2 Análise de Componentes Principais usando *Lag 3*

Levando em consideração a média móvel de 3 dias de atraso, as tabelas 3.15, 3.16 e 3.17 apresentaram os resultados da ACP após a rotação VARIMAX, para as morbidades DCDVI, DRSPC e DRSPI.

Para as doenças cardiovasculares em idosos (DCDVI), a tabela 3.15 apresenta 69,40% da explicação da variância total dos dados, distribuída em 33,35% para o fator 1, 20,24%, fator 2 e 15,81% fator 3. A morbidade por DCDVI apresentasse no fator 1, positivamente (0,40) associada aos poluentes primários e negativamente à UR<sub>med</sub> (-0,55). É notável a influência da umidade relativa do ar no perfil dos poluentes CO, MP<sub>10</sub> e NO<sub>2</sub>, e destes nas internações por doenças cardiovasculares.

Para o fator 2, destaca-se a alta temperatura, associada à baixa umidade relativa do ar nos níveis de ozônio. Nos últimos dois fatores, 2 e 3, a morbidade não vem associada às variáveis ambientais em estudo.

Para as doenças do aparelho respiratório, tabela 3.16, onde faz-se referência as crianças de até 14 anos de idade, as DRSPC estão negativamente (-0,41) associadas ao O<sub>3</sub> (0,87) e à T<sub>med</sub> (0,72) no fator 2, com 20,25% de variância explicada. Tal como na tabela 3.15, apenas 21% da variabilidade das DRSPC foi explicada pelos 3 fatores apresentados.

A tabela 3.17, que apresenta o resultado da análise para DRSPI, apenas destaca a relação das variáveis ambientais entre si, não evidenciando qualquer relação destas com as doenças (DRSPI).

Em apêndice C encontram-se os resultados da análise de componentes principais para os *lags* de 2 e 4 dias de atraso.

Tabela 3.15: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI usando *lag* 3.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	<b>0,90</b>	-0,09	0,01	0,83
DCDVI	<b>0,40</b>	-0,23	0,02	0,21
MP <sub>10</sub>	<b>0,86</b>	0,17	-0,32	0,87
NO <sub>2</sub>	<b>0,86</b>	0,21	-0,09	0,79
O <sub>3</sub>	-0,09	<b>0,88</b>	-0,11	0,79
Prec	-0,10	-0,03	<b>0,91</b>	0,84
SO <sub>2</sub>	0,49	-0,21	-0,39	0,44
T <sub>med</sub>	0,01	<b>0,74</b>	0,44	0,75
UR <sub>med</sub>	<b>-0,55</b>	<b>-0,56</b>	0,35	0,74
Variância Explicada	33,35	20,24	15,81	69,40 %

Tabela 3.16: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPC usando *lag* 3.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	<b>0,89</b>	-0,24	0,11	0,86
DRSPC	0,19	<b>-0,41</b>	-0,06	0,21
MP <sub>10</sub>	<b>0,90</b>	0,01	-0,26	0,87
NO <sub>2</sub>	<b>0,88</b>	0,08	-0,04	0,78
O <sub>3</sub>	0,07	<b>0,87</b>	-0,17	0,79
Prec	-0,16	0,06	<b>0,91</b>	0,85
SO <sub>2</sub>	<b>0,50</b>	-0,33	-0,29	0,44
T <sub>med</sub>	0,12	<b>0,72</b>	0,40	0,70
UR <sub>med</sub>	<b>-0,65</b>	-0,45	0,35	0,74
Variância Explicada	34,63	20,25	14,52	69,40 %

Tabela 3.17: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPI usando *lag* 3.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	<b>0,92</b>	-0,07	0,02	0,86
DRSPI	0,28	-0,11	0,03	0,09
MP <sub>10</sub>	<b>0,85</b>	0,19	-0,33	0,87
NO <sub>2</sub>	<b>0,84</b>	0,25	-0,12	0,77
O <sub>3</sub>	-0,11	<b>0,87</b>	-0,13	0,79
Prec	-0,09	-0,02	<b>0,92</b>	0,85
SO <sub>2</sub>	<b>0,53</b>	-0,23	-0,36	0,46
T <sub>med</sub>	-0,01	<b>0,75</b>	0,43	0,75
UR <sub>med</sub>	<b>-0,52</b>	<b>-0,58</b>	0,38	0,74
Variância Explicada	32,45	20,30	15,89	68,64 %

Em suma, a análise de componentes principais apresentou para todo o período todos os poluentes primários com pesos altos e positivos no fator 1, variáveis meteorológicas no segundo fator (associadas ao O<sub>3</sub>) e por vezes no terceiro fator. 0,67 foi o peso mais elevado obtido para as morbidades em todas as análises de componentes principais, e este é o peso referente as DRSPC, no outono, na tabela 3.14, onde pode igualmente ser observada a maior comunalidade (0,46).

Em geral a morbidade aparece associada à todos ou à parte dos poluentes primários no fator 1, e quando mostra-se associada no fator 2, tem sido ao  $O_3$  e à algumas das variáveis meteorológicas. As épocas do ano com maior incidência de casos de DCDV e DRSP é outono, seguido de inverno e primavera. No outono as DRSP (tabelas 3.14 e 3.13) aparecem, sem significância, associadas positivamente aos poluentes primários, enquanto que as DCDV em idosos (tabela 3.12), vêm associadas positivamente ao  $SO_2$  e negativamente ao  $O_3$ .

### 3.5 Estudo de Casos

Os casos foram selecionados a partir das variáveis DRSPI e DCDVI padronizadas, consistindo na extração dos dias com interações localizadas à  $\pm 5\sigma$  da média ( $\mu = 0$ ), como mostrado na figura 3.12. Estudos antigos (Braun, 2003) indicaram ótimos resultados da ACP quando se considera um *lag* de 3 dias de atraso, em vista disso, será feito um acompanhamento do estado sinótico, três dias antes do dia do caso, que como é sabido, as condições meteorológicas, além de afetarem a saúde humana, afetam a qualidade do ar.

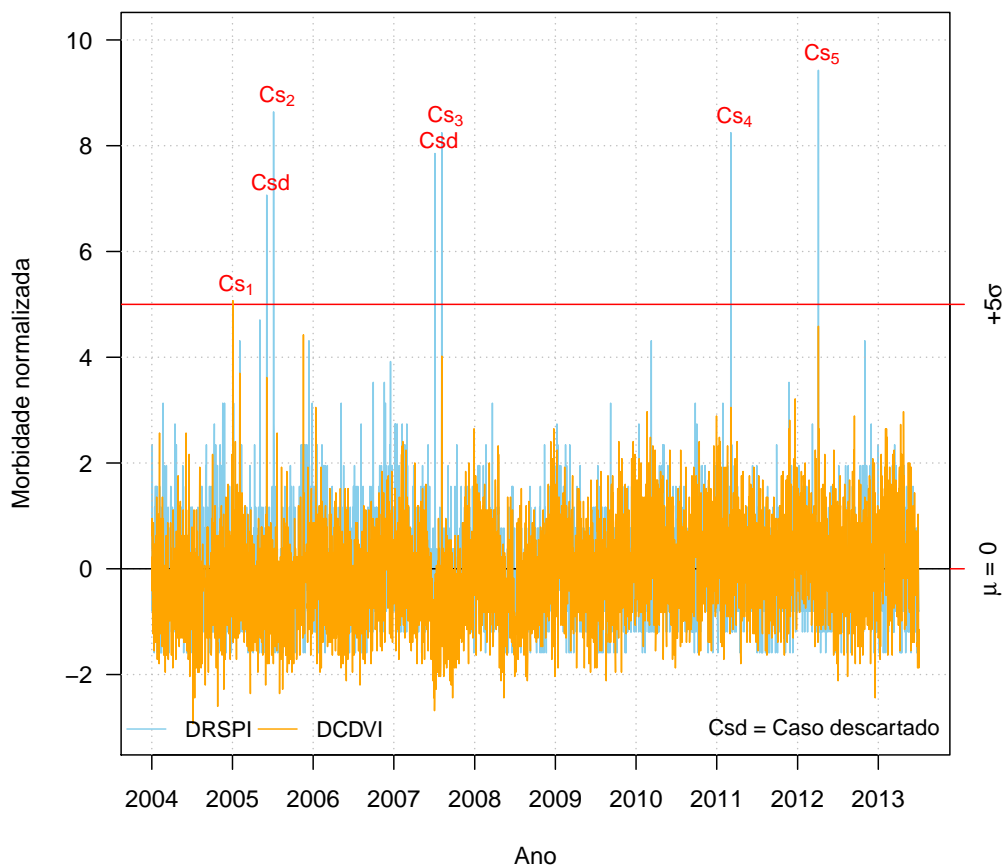


Figura 3.12: Morbidade normalizada para identificação dos casos.

Como ilustra a figura 3.12, acima, serão considerados cinco casos, selecionados em função da magnitude destes, ou seja, casos com maiores desvios padrões em cada estação do ano, como será detalhado nas seções a seguir. Os cinco casos ocorreram nos dias 01/07/2005, 01/12/2005, 01/01/2008, 01/09/2011, 01/10/2012, sendo o de 2012 ( $Cs_5$ ), o que apresentou maior desvio relativamente à média, com 29 internações por DRSP em idosos. Os casos descartados ( $Csd$ ) são os que apresentaram menor desvio dentro do grupo para o mesmo período do ano.

Através dos dados de reanálise de *ERA Interim*, foram plotados campos de temperatura (para a região de São Paulo e o oceano atlântico) a dois metros da superfície, magnitude do vento a dez metros da superfície e a pressão atmosférica reduzida ao nível médio do mar. Todos os campos que estão sendo levados em consideração são resultado de uma média diária das quatro horas sinóticas (00Z, 06Z, 12Z e 18Z), hora universal (*UTC* ou *GMT*).

Importa lembrar que a circulação da atmosfera também está diretamente relacionada à variação dos níveis de poluição no estado de São Paulo, podendo tanto contribuir na sua formação assim como na sua dispersão (transporte e deposição seca e úmida) (Massambani & Andrade, 1994).

### 3.5.1 Análise Sinótica para o evento do dia 01/07/2005

Na figura 3.13, estão representadas as médias diárias dos campos de pressão, vento e temperatura do ar para os dias 28, 29 e 30 de junho de 2005. Na figura 3.13a, está representado o estado da atmosfera em São Paulo para o dia 28/06/2005, onde pode ser observada uma frente fria (FF) associada ao ciclone de 995 hPa, com núcleo em 48W de longitude. A temperatura variou entre 16 e 18°C no município de São Paulo, e de 14 – 22°C em todo o estado; o vento predominante era de nordeste (NE), influenciado em parte pela ASAS (1020 hPa), tendo se verificado o mesmo padrão no dia seguinte, figura 3.13b, apenas com um deslocamento da ASAS e do sistema frontal para leste (E). No dia 30, figura 3.13c, observa-se a formação de um anticiclone pós-frontal, a sul de São Paulo, advectando ar frio para o continente (São Paulo). Observa-se igualmente um ligeiro aumento da temperatura sobre o município de São Paulo, em aproximadamente 5°C, passando a variar entre 21 – 24°C.

Após a passagem da FF, o anticiclone que o sucede transporta uma massa de ar frio para São Paulo, favorecendo a queda de temperatura, e conseqüentemente, o aumento nos casos de DCDVI para os dias subsequentes. Esta configuração acaba inibindo a dispersão dos poluentes atmosféricos, afetando desta forma tanto os idosos como as crianças que sofrem de DRSP, dias após o evento.

A estação do IAG registrou neste dia 18,1°C de temperatura média e 0,0 mm de precipitação e 81% de umidade relativa média do ar.

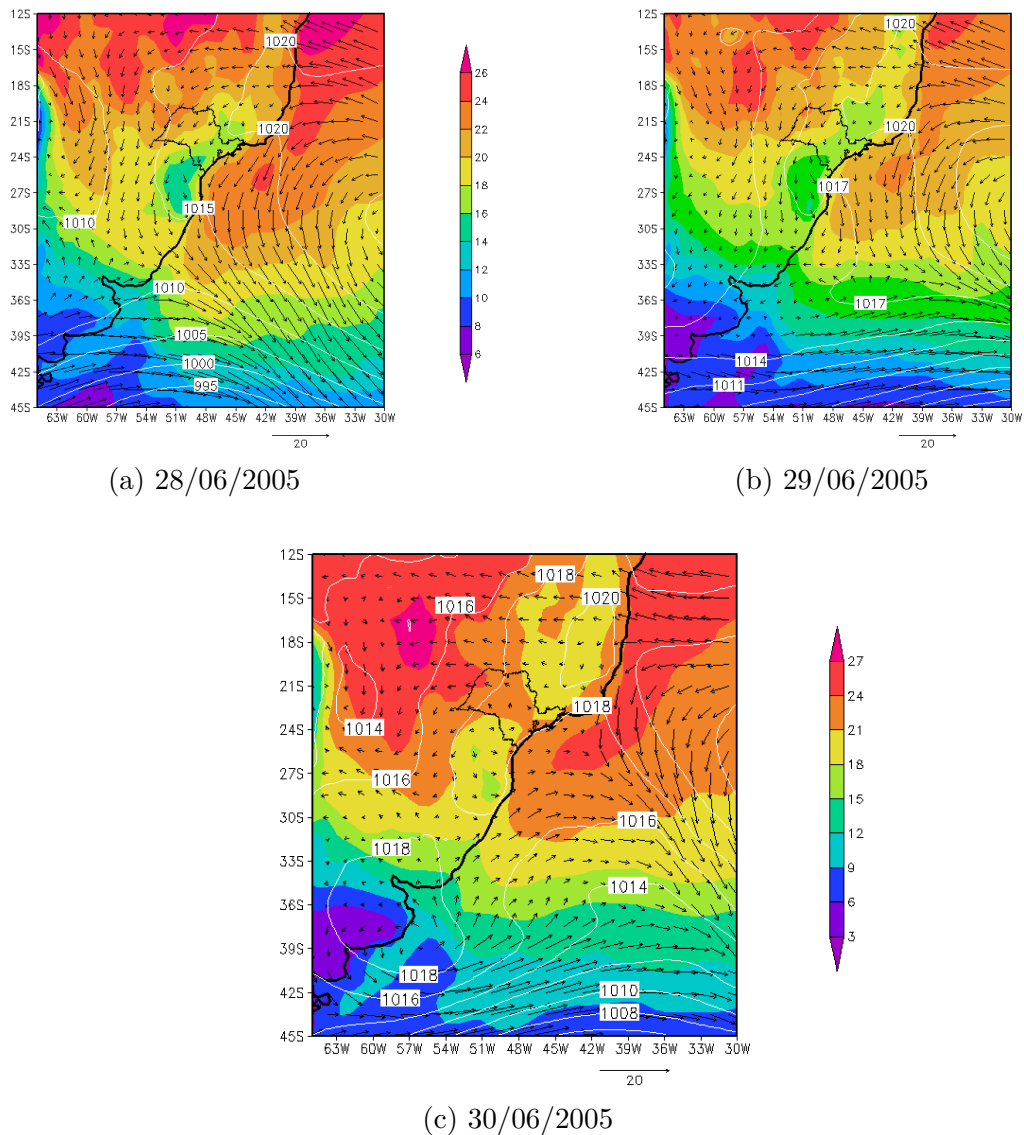


Figura 3.13: Campos de pressão (hPa) ao nmm, vento ( $m/s$ ) à 10 m e temperatura ( $^{\circ}C$ ) à 2 m.

A figura 3.14 mostra uma banda de nebulosidade de formato estratiforme a Sul (S) e cumuliforme a norte (N) de São Paulo. Sobre São Paulo o céu encontrava-se limpo, e segundo CLIMANÁLISE (2005b), a primeira FF do mês ingressou através do Rio Grande do Sul, a 03/07, fazendo-se sentir tanto no interior como no litoral das regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil (CLIMANÁLISE, 2005b).

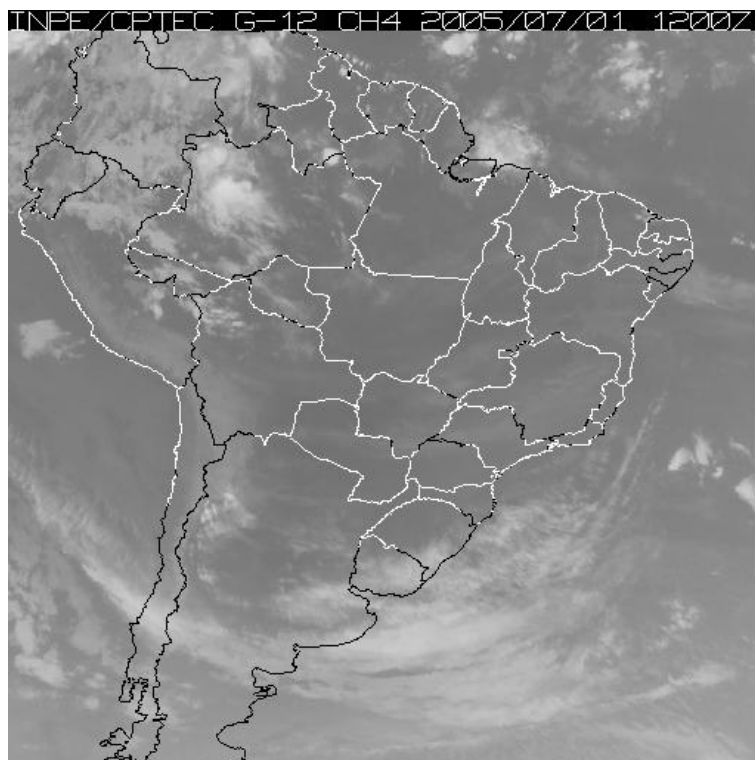


Figura 3.14: Imagem de satélite do dia 01/07/2005, as 1200Z.

Na figura 3.15 está representado o comportamento da morbidade e de parte das variáveis ambientais normalizadas, durante sete dias, três antes e três depois do dia do caso, ocorrido à 01 de julho de 2005. As variáveis apresentadas ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{MP}_{10}$  e  $\text{CO}$ ) são as que apresentaram maior variação de um dia para outro, procedimento usado para os casos subsequentes.

O dia 01/07/2005 foi marcado por um desvio positivo para  $\text{DCDVI}$  ( $+8,19\sigma$ ) e  $\text{DRSPI}$  ( $+0,34\sigma$ ), provavelmente em consequência das condições ambientais observadas neste dia e/ou de três dias anteriores a este, portanto, dia 28/06/2005. No dia 28/06/2005 destacam-se desvios positivos para a variável  $\text{CO}$  e  $\text{MP}_{10}$  e negativo para  $\text{SO}_2$ . Com exceção de  $\text{SO}_2$ , todas as variáveis ambientais estiveram acima da média ( $\mu = 0$ ) em todos os sete dias. Com isso, pode-se atribuir o incremento das internações hospitalares nesse dia, aos níveis elevados de poluição do ar apresentados dias antes dos ingressos hospitalares por  $\text{DCDVI}$ , 28 – 30 de junho, causados pela subsidência do ar no sistema de alta pressão, o que impediu a mistura vertical das massas de ar.

O  $\text{CO}$  apresentou-se com desvios positivos e altos durante toda semana, tendo no dia 28/06/2005, estado a pouco mais de  $+3,5\sigma$  da média. O segundo poluente que pode ter influenciado na morbidade é o  $\text{MP}_{10}$ , que também apresentou-se acima da média durante os sete dias, tendo apresentado, à semelhança do  $\text{O}_3$ , valores baixos no dia do caso.

Os valores das concentrações registradas pela CETESB no dia 28 para  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{MP}_{10}$  foram de 3,15 ppmv,  $8,65 \mu\text{gm}^{-3}$  e  $62,48 \mu\text{gm}^{-3}$ , respectivamente, tendo precedido a internação



de 110 idosos sofrendo de problemas cardiovasculares no dia 01/07.

As variáveis meteorológicas consideradas, tanto para o presente caso, como para os demais, foram coletados na estação meteorológica do IAG, localizada na Água Funda, para auxiliar os achados nos mapas sinóticos, cujos dados são de reanálise, como já se fez referência.

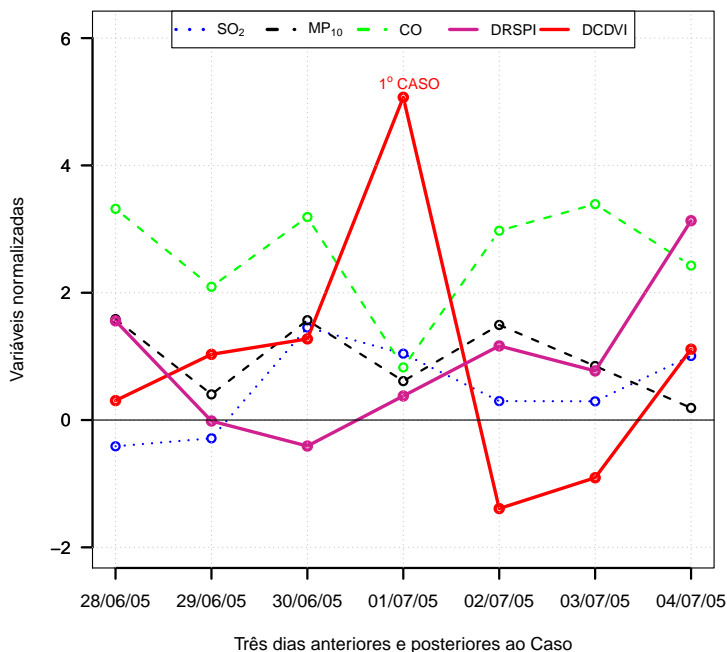


Figura 3.15: Comportamento das variáveis normalizadas para o caso do dia 01/07/2005.

### 3.5.2 Análise Sinótica para o evento do dia 01/12/2005

Para o segundo caso, ocorrido à 01/12/2005, com 23 idosos internados por DRSP e 92 por DCDVI, levou-se em consideração os dias 28, 29 e 30 de novembro, portanto, três dias antes, como mostra a figura 3.16. Nota-se da primeira figura, 3.16a, a predominância de vento de nordeste (NE) e leste (E), provavelmente resultante do cavado a sudeste (SE) de São Paulo, com temperaturas variando de 20 – 22°C neste município. Pode ser observado à sul (S) do estado de São Paulo, uma FF associada ao ciclone de 998 hPa.

A figura 3.16b, para o dia 29, mostra o deslocamento tanto da FF, como da ASAS para E, influenciando a circulação do ar (NE). As temperaturas registraram um ligeiro aumento relativamente ao dia anterior, 22 – 24°C. No dia 30, figura 3.16c, a atmosfera continua apresentando um ligeiro aquecimento (24 – 27°C), sobre o município, embora a maior parte do estado apresente temperaturas inferiores a esta, 21 – 24°C. A direção do vento predominante é norte (N), devido a circulação ciclônica (1004 hPa) a oeste (W) e anticiclônica (1020 hPa) a E do estado de São Paulo. O deslocamento de uma massa de ar quente e úmida, favoreceu

o aumento da temperatura do ar de  $18,7^{\circ}\text{C}$  no dia 28/11 para  $22,7^{\circ}\text{C}$  no dia 01/12, segundo a estação meteorológica do IAG.

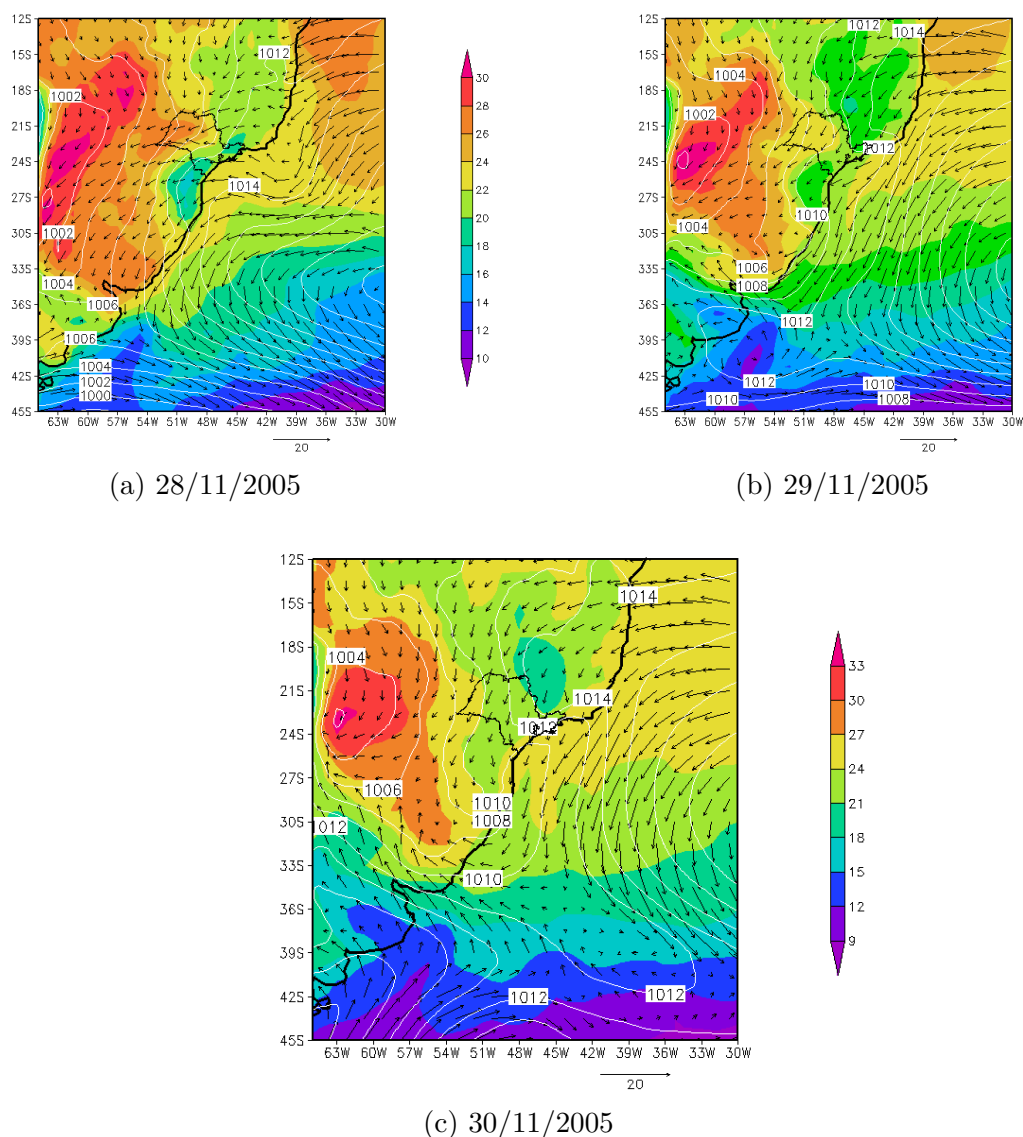


Figura 3.16: Campos de pressão (hPa) ao nmm, vento ( $m/s$ ) à 10 m e temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) à 2 m.

A imagem de satélite do dia 01/12/2005, figura 3.17 apresenta a cobertura de nuvens sobre São Paulo, com nuvens de desenvolvimento vertical nas regiões norte e centro-oeste do Brasil, com ingresso da primeira FF no dia 04/12 (CLIMANÁLISE, 2005a). Segundo (CLIMANÁLISE, 2005a), houve ingresso de cinco massas de ar frio em dezembro, cuja primeira ocorreu entre os dias 01 e 03, tendo entrado no Brasil a partir do Rio Grande do Sul.

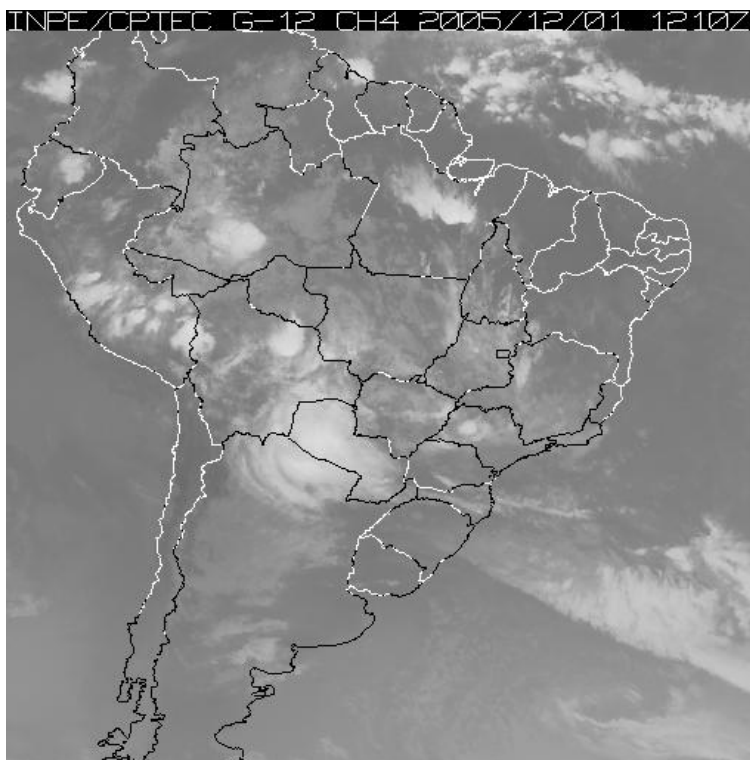


Figura 3.17: Imagem de satélite do dia 01/12/2005, as 1210Z.

A figura 3.18 apresenta a variação das variáveis normalizadas para o segundo caso, que teve lugar no dia 01/12/2005, onde as internações por DRSPI apresentaram um desvio de  $+7,07\sigma$  da média ( $\mu = 0$ ), correspondente a 23 internações de idosos no referido dia. Três dias antes do caso, 28/11, todas as variáveis ambientais apresentaram desvios negativos, tendo no dia seguinte aumentado para mais de  $+1\sigma$ , com  $93,67 \mu g m^{-3}$  para  $NO_2$ ,  $44,41 \mu g/m^3$  para  $MP_{10}$ , 82% de  $UR_{med}$ ,  $22,2^\circ C$  de  $T_{med}$  e 3,7 mm de Prec. Portanto, o perfil apresentado pelos poluentes atmosféricos neste dia pode ter sido a causa do massivo ingresso hospitalar por DRSP e DCDV em idosos no dia 01/12, aliás, a temperatura do ar também apresentou um incremento até o dia do caso, em consequência da entrada da massa de ar quente.

Nos três dias seguintes ao caso, nota-se uma redução acentuada nos ingressos, associada à redução de quase todas variáveis ambientais, provavelmente ocasionado pela passagem da FF.

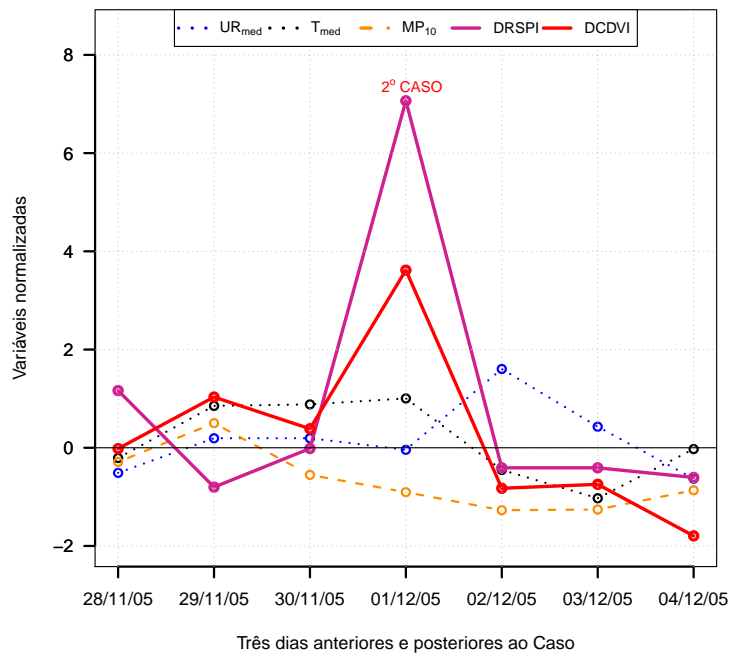
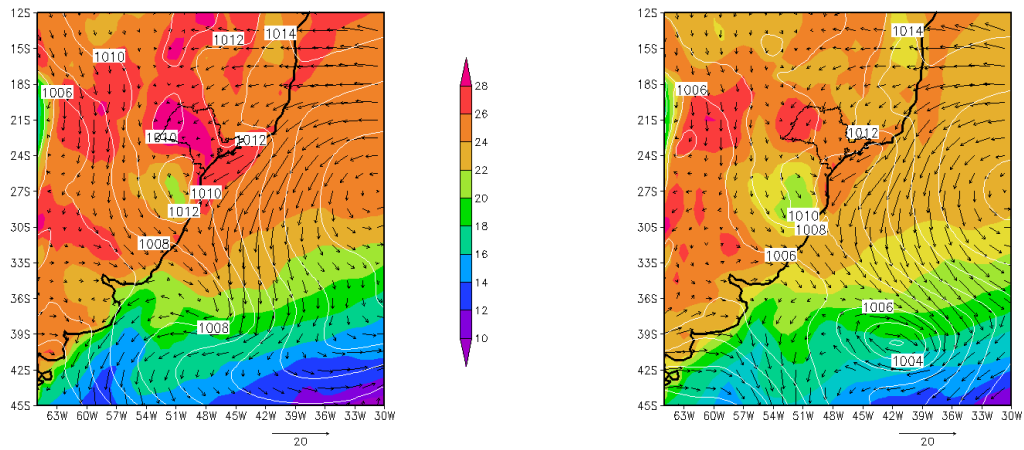


Figura 3.18: Comportamento das variáveis normalizadas para o caso do dia 01/12/2005

### 3.5.3 Análise Sinótica para o evento do dia 01/01/2008

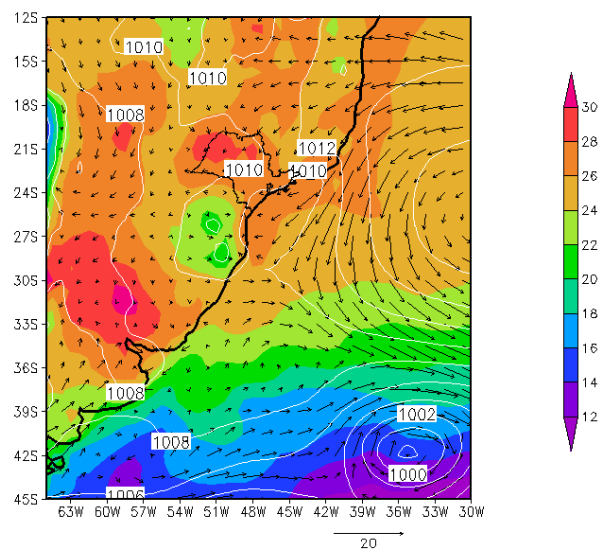
Para o caso do dia 01/01/2008, figura 3.19, nota-se para o dia 29/12 (figura 3.19a), temperaturas altas, superiores a  $26^{\circ}\text{C}$ , na maior parte do estado, devido ao sistema de baixa pressão (1010 hPa), localizado a noroeste (NW) de São Paulo, com vento a apresentar-se com a direção NE. Para o dia seguinte, 30/12/2007, figura 3.19b, é notável a formação de um ciclone de núcleo 1002 hPa, localizado nas coordenadas 41W/39S, associada à uma FF. A temperatura permaneceu com valores acima de  $26^{\circ}\text{C}$ .

Para o terceiro dia, observam-se os mesmos sistemas sinóticos, localizados mais a E, relativamente ao dia anterior, com o ciclone mais profundo 998 hPa, segundo a figura 3.19c. Sobre o continente está localizado um ciclone de 1010 hPa, resultante do aquecimento do ar,  $26 - 30^{\circ}\text{C}$ .



(a) 29/12/2007

(b) 30/12/2007



(c) 31/12/2007

Figura 3.19: Campos de pressão (hPa) ao nmm, vento ( $m/s$ ) à 10 m e temperatura ( $^{\circ}C$ ) à 2 m.

Na figura 3.20, imagem de satélite da América do Sul, para o dia do caso, onde segundo CLIMANÁLISE (2008), houve neste mês registro de cinco sistemas frontais, tendo a primeira FF atuado na região sul, deslocando-se no dia 04/08 entre as cidades Rio Grande do Sul e Porto Alegre.

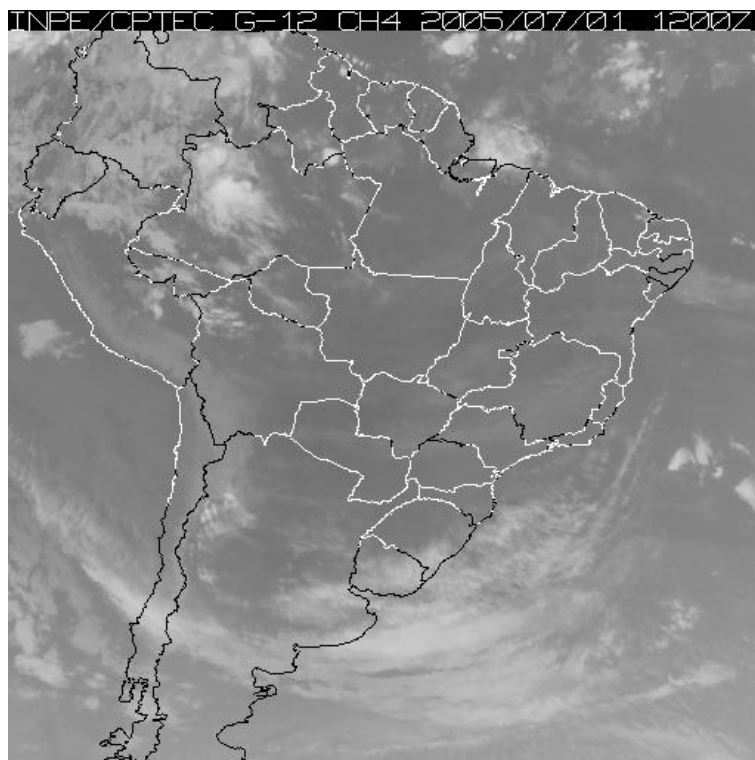


Figura 3.20: Imagem de satélite do dia 01/01/2008, as 1200Z.

O terceiro caso foi marcado, como se pode depreender da figura 3.21, pela internação de 25 ( $+7,85\sigma$ ) idosos, sofrendo de DRSP, provavelmente devido ao desvio positivo do  $O_3$  nos primeiros quatro dias, variando entre  $62,17 - 75,74 \frac{\mu g}{m^3}$ . A umidade relativa do ar e a morbidade por DCDVI estiveram próximo da média durante os sete dias de estudo. Nos últimos três dias a variável DRSPI também se encontrava próximo de zero (0).

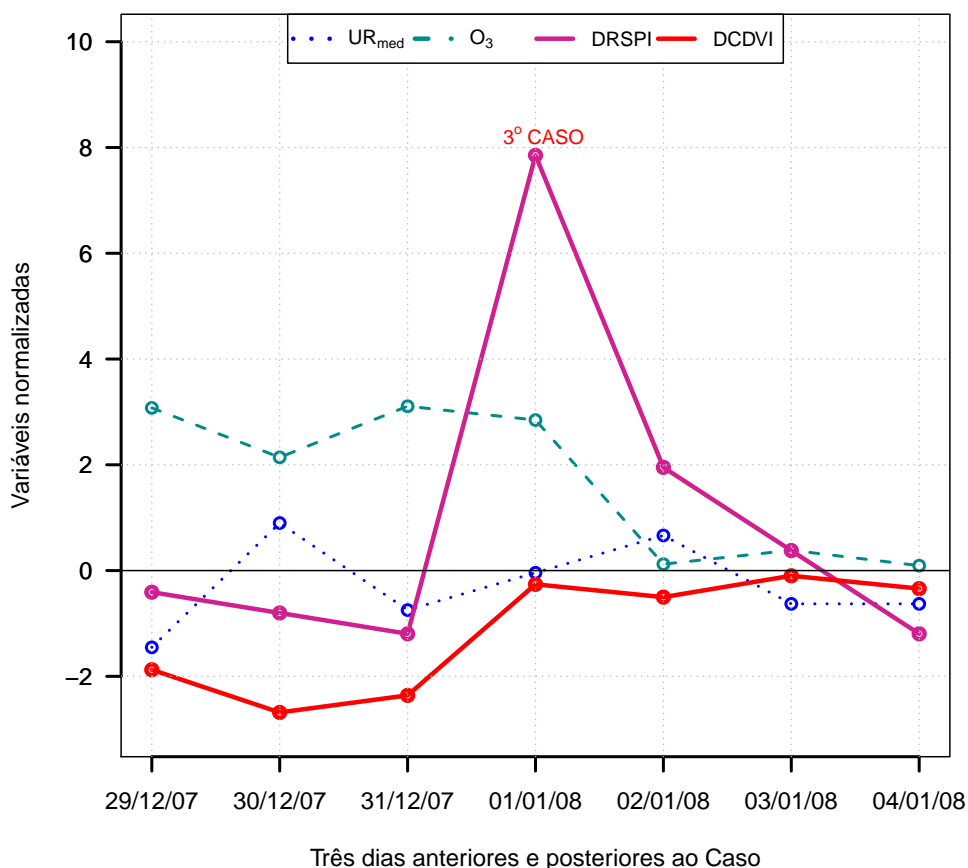


Figura 3.21: Comportamento das variáveis normalizadas para o caso do dia 01/01/2008.

As figuras correspondentes aos dois últimos casos, podem ser consultados em apêndice D, E e F.

### 3.6 Discussão

Dada à relação de dependência entre as condições ambientais e o bem-estar, algumas doenças são mais frequentes em certos períodos do ano, em detrimento de outros. Em termos quantitativos, os idosos são os que mais sofrem de problemas cardiovasculares, e as crianças lideram a lista dos problemas respiratórios. Este é o grupo mais afetado devido à degradação do sistema termorregulador para os idosos e estágio inicial na composição do mesmo para as crianças, sendo atribuído à malformações congênicas a baixa percentagem no número de internações por DCDV em crianças (Gouveia et al., 2006).

A baixa percentagem do grupo de pessoas de idade média que não se faz referência no estudo, apenas acaba sofrendo por falta de observância das advertências das instituições responsáveis pela gestão da qualidade do ar no estado (CETESB), país (CONAMA) e mundo

(OMS), e a existência de doenças tanto respiratórias como cardiovasculares preexistentes.

Makdisse et al. (2008) mostraram que doentes com diabetes mellitus tinham mais chances de desenvolverem problemas cardiopulmonares (20%) e os sem a doença apresentavam apenas 7% de chances devido ao efeito do  $\text{SO}_2$  na atmosfera. O estudo analisou dados diários de poluentes e morbidade por doenças cardiovasculares no estado de São Paulo.

Para o município de São Paulo, durante o período de estudo, chegou-se à conclusão de que o outono, seguido de inverno são as épocas do ano com maior índice de morbidade respiratória (DRSP), sobretudo em crianças, e inverno é a época de maior incidência para as doenças cardiovasculares em idosos (DCDVI). Este comportamento sazonal das doenças é atribuído às condições atmosféricas, que acaba definindo o perfil dos outros intervenientes nesse processo (poluentes atmosféricos).

Importa lembrar que abril coincide com a estação de outono, período do ano com pouca precipitação, baixas temperaturas, e ocorrência de sistemas de alta pressão, condições meteorológicas que propiciam o aumento dos níveis de poluição, afetando deste modo a saúde respiratória da população.

Em anos anteriores ao período de estudo, era frequente uma queda acentuada de temperatura a partir do mês de maio, acompanhada de aumentos nos casos de morbidade cardiovascular, mas de uns anos para cá, o mês de abril passou a ser mais frio. Em 2009, a diferença de temperatura entre abril e maio foi de  $1^\circ\text{C}$ , e em 2010 e 2013 esta diferença subiu para 1,5%, sendo maior ainda quando comparado à março ( $2,5^\circ\text{C}$  e  $2^\circ\text{C}$ , respectivamente) (Goncalves & Coelho, 2010).

Inúmeros estudos apontam condições atmosféricas e ingresso hospitalar ou mortes decorrentes destas, em determinados períodos do dia, mês ou ano apresentando uma taxa acrescida de casos. Allen & Sheridan (2014) estudaram a relação entre altos índices de mortalidade e condições meteorológicas do inverno em cinco estados americanos, tendo atribuído este aumento às altas temperaturas, baixa pressão atmosférica e alta probabilidade na queda de precipitação.

O ozônio é um poluente difícil de controlar, pois para a sua formação, depende além de condições atmosféricas apropriadas (intensa radiação solar), de outros constituintes químicos, como óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), compostos orgânicos voláteis (COVs) e oxigênio ( $\text{O}_2$ ); assim, o aumento dos precursores deste poluente na atmosfera, tendem a aumentá-lo (Sánchez-Ccoyllo et al., 2006).

Nota-se uma tendência de aumento nos níveis de concentração de  $\text{O}_3$ , embora alguns dos seus precursores ( $\text{NO}_2$ ) indiquem uma redução. Segundo a tabela 3.1, secção 3.3.3, 2008



apresentou o menor número de violações (15), e 2012 a mais alta ultrapassagem na década (226), onde a estação de Ibirapuera lidera o grupo das estações com 419 ultrapassagens, seguida de Santana com 178 e Moóca com 137. As ultrapassagens ocorreram entre as estações de primavera e verão, períodos com registo de maior incidência de radiação solar ao longo do ano.

Importa sublinhar que este poluente, a semelhança de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ),  $\text{CH}_4$ , BC, vapor de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e outros, também contribui no aumento da temperatura próximo à superfície terrestre, através da inibição da dispersão da radiação de onda longa, emitida pela terra, para a atmosfera. Esta é a contribuição destes constituintes químicos no aquecimento global, que segundo cientistas, várias outras doenças surgirão a medida que a temperatura aumentar (Epstein, 2000).

Para os resultados das análises de componentes principais (ACP), importa realçar que analisando a série inteira de dados, o fator 1 reteve com pesos altos e positivos todos os poluentes primários ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{MP}_{10}$ ) e a variável  $\text{UR}_{med}$ , em alguns casos associados à morbidade, embora não significativamente. Para o fator 2, aparecem com pesos altos o  $\text{O}_3$ , e parte das variáveis meteorológicas ( $\text{UR}_{med}$  e  $\text{T}_{med}$ ). Nesta análise a DRSPC apresenta-se negativamente associada ( $-0,36$ ) ao  $\text{O}_3$  (0,84),  $\text{UR}_{med}$  (0,75) e  $\text{T}_{med}$  (0,51), evidenciando o papel das variáveis meteorológicas no impacto da poluição na saúde respiratória em crianças.

No outono é destacada a associação positiva e significativa (0,67) das doenças respiratórias em crianças com o ozônio (0,67) e temperatura do ar média (0,82). E para idosos, as doenças respiratórias estão associadas positivamente (0,36) aos poluentes primários e a  $\text{T}_{med}$  ( $-0,51$ ), e as doenças cardiovasculares encontram-se negativamente associadas ( $-0,42$ ) ao  $\text{O}_3$  (0,80) e  $\text{T}_{med}$  (0,78).

Para inverno, os pesos das doenças se evidenciam a partir do fator 2, onde as DCDVI vêm positivamente associadas (0,47) ao  $\text{CO}$  (0,54),  $\text{O}_3$  ( $-0,56$ ) e  $\text{SO}_2$  (0,63). No fator 3, as DRSPC associam-se positivamente (0,59) ao  $\text{O}_3$  ( $-0,61$ ) e a  $\text{Prec}$  (0,64).

Considerando as suavizações de dois a quatro dias de atraso, nota-se para *lag* de 3 dias que a DCDVI aparece positivamente associada (0,40) ao  $\text{CO}$  (0,89),  $\text{MP}_{10}$  (0,90),  $\text{NO}_2$  (0,88) e  $\text{UR}_{med}$  ( $-0,55$ ) no fator 1. As DRSPC vêm, no fator 2, associadas negativamente ( $-0,41$ ) ao  $\text{O}_3$  (0,87) e  $\text{T}_{med}$  (0,72).

Para o período que engloba os casos em estudo, pode-se avançar que as variáveis apresentadas nos mapas estão de alguma forma, relacionadas entre si, e estas com os excessos nas internações, podendo a variação de cada uma destas ter afetado na saúde dos munícipes.

O caso do dia 01/07/2005 foi marcado pela passagem de uma FF, três dias antes, o que

causou a queda de temperatura neste dia, chegando a 18,1°C, segundo a estação meteorológica do IAG. O anticiclone que se encontrava na sua retaguarda, pode ter elevado os níveis de poluição por CO e MP<sub>10</sub>, e conseqüentemente os ingressos hospitalares por DCDV em idosos no dia 01/07.

Para o caso do dia 01/12/2005, a meteorologia pode ter influenciado mais do que a poluição, pois, as baixas temperaturas, registradas no dia 28/11, pela estação do IAG (18,7°C), associadas a ASAS, mantiveram-se acima da média até o dia do caso, quando em seguida, com a sua descida de 22,7°C, até 16,0°C, no dia 03/12, a morbidade manteve-se com desvios negativos até o dia 04/12.

O terceiro caso pode ser atribuído à poluição por O<sub>3</sub>, registrada no dia 29/12, cuja concentração foi de 62,17  $\frac{\mu g}{m^3}$  (+3,08 $\sigma$ ), associado à alta temperatura média do ar (25,1°C).

Além de provocar a constrição dos capilares da pele e das vias respiratórias, a variação acentuada da pressão atmosférica pode igualmente manifestar-se de várias outras formas. Por exemplo, um sistema de baixa pressão (inferior 1013,25 hPa) pode acarretar a redução da taxa de batimentos cardíacos e aumentar o volume da respiração, onde num ambiente poluído a pessoa acaba inalando mais partículas ou gases do que deveria em condições normais. Ativa o sistema nervoso compreensivo, aumentando deste modo o tempo de reação cognitiva, pois suprime o humor do indivíduo, desabilitando-o para trabalhar. E em situações de um sistema de alta pressão (superior a 1013,25 hPa), espera-se uma redução no número de leucócitos, sobretudo de neutrófilos, sendo estes considerados os índices da mudança do estado geral do sistema nervoso autônomo, ou seja, induz-se a ativação do sistema nervoso parassimpático (Sharafi et al., 2013).

O impacto da temperatura é dependente da quantidade de vapor de água presente na atmosfera, ou seja, quanto maior umidade relativa do ar, maior o efeito da variação de temperatura na saúde humana (Sharafi et al., 2013).

## Conclusão e Recomendações

### 4.1 Conclusão

Segundo os objetivos propostos no primeiro capítulo, pretendia-se, de uma maneira geral, verificar o impacto das variáveis ambientais (poluentes atmosféricos e variáveis meteorológicas) na variabilidade das internações hospitalares no município de São Paulo. Em vista disso, pode-se inferir o seguinte:

#### 4.1.1 Perfil da morbidade por faixa etária e épocas do ano

Verificou-se que ao longo do período de estudo, houve maior número de idosos internados por doenças cardiovasculares (65,76%), seguido de crianças e idosos sofrendo de problemas respiratórios, 27,15% e 7,09%, respectivamente.

Durante a semana, segunda-feira continua sendo o dia com maior número de ingresso hospitalar, e domingo, seguido de sábado com os menores números. Segundo a figura 3.2, as internações tendem a decrescer gradualmente de 2ª-feira à domingo.

Ao longo do ano, o inverno apresenta maior valor de internamentos para as DCDVI, seguido de outono e primavera. Para as DRSPC, o período de maior susceptibilidade é o outono, seguido de inverno e primavera. A variação anual das internações por DRSP em idosos é pouco acentuada, podendo ser observados extremos ocasionalmente, provavelmente causados por episódios de poluição ou algum sistema meteorológico.

Extremos nas DCDVI coincidem com extremos na  $T_{med}$ , mostrando o impacto do frio nas doenças do aparelho circulatório, como foi mostrado na figura 3.6, no capítulo anterior. Nota-se que as maiores internações por DCDVI ocorrem nos dias de registros das mais baixas temperaturas do ar. Para as DRSP, os extremos (máximos) acompanham os mínimos da variável Prec, com alguns dias de defasagem.

Embora tenda a reduzir seus níveis de concentração, o  $SO_2$  e  $NO_2$  podem estar relacionados, aos casos de doenças respiratórias, tanto em crianças (DRSPC), como em idosos (DRSPI)

no município de São Paulo. Casos de DCDVI estão possivelmente associados aos níveis de poluição por  $MP_{10}$  e CO.

### 4.1.2 Perfil da Poluição Atmosférica

O CO apresentou violações do PQAr (9 ppmv) nos primeiros quatro anos de estudo, com maior frequência para a estação de Taboão da Serra (13), seguido de Congonhas (6). A estação de Cerqueira César não teve valor acima do PQAr em todo período de estudo, e das que registraram ultrapassagens, nenhuma passou dos 11 ppmv.

O ozônio foi o poluente que mais ultrapassagens registrou (777), cabendo a estação de Ibirapuera 419, Moóca 137, Pinheiros 43 e Santana 178. Ao longo da semana, a estação de Ibirapuera continua sendo a que mais altas concentrações apresentou, com o máximo valor registrado aos sábados, como mostrado na figura 3.10, nas secções anteriores. Primavera é o período mais adequado para a ocorrência de episódios de poluição por  $O_3$ , principalmente por causa da alta incidência da radiação solar.

O  $MP_{10}$  registrou ultrapassagens em seis dos dez anos de estudo, sobretudo no inverno, e com maior frequência na estação de Ibirapuera, com 8 ultrapassagens.

De acordo com o perfil dos poluentes atmosféricos durante os dez anos de estudo, constatou-se alguma melhoria nos níveis de poluição no estado de São Paulo, comparativamente aos anos anteriores, resultado este que pode ser atribuído, em parte, ao esforço empreendido pela CETESB e CONAMA na aplicação do PROCONVE.

De lembrar que o  $SO_2$  não registrou qualquer ultrapassagem, e suas concentrações encontravam-se muito a quem do PQAr ( $60 \mu g/m^3$ ), provavelmente tenha sido fruto da redução da concentração do S no combustível, que desde 2013, encontra-se em 10%.

É importante destacar que em termos de ultrapassagens, 2012 registrou o maior número com 226 dias com níveis de poluição por ozônio acima de  $140 \frac{\mu g}{m^3}$ , seguido de 2011, com 129 dias. Esta pode, provavelmente, ter sido a razão para a tendência crescente dos casos de morbidade ao longo dos anos, com altos valores a ser registrados em 2012 e 2013, principalmente para as DCDVI e DRSPC.

### 4.1.3 Análise de Componentes Principais

- Da análise de componentes principais, pode-se concluir que para todo o período de estudo tanto a morbidade respiratória quanto a cardiovascular apresentaram pesos não significativos no fator 1, embora associadas positivamente aos poluentes primários neste

fator, e por vezes, negativamente associada ao  $O_3$  e às variáveis meteorológicas, nos fatores 2 e 3;

- Da análise feita por estações do ano, constatou-se que o outono foi o período que apresentou maior peso para DRSPC (0,67), associada ao  $O_3$  (0,67) e a  $T_{med}$  (0,82). Outono e inverno, foram as épocas do ano que apresentaram maior comunalidade para a morbidade por DRSPC, com  $h^2 = 0,46$  e  $h^2 = 0,40$ , respectivamente. Aliado à estabilidade atmosférica, estas épocas do ano, apresentam-se com características favoráveis ao aumento de níveis de poluição, causado pelos ventos calmos, inversões térmicas, escassez na ocorrência de precipitação e subsidência, característicos dos sistemas de alta pressão.
- No verão, os poluentes primários não apresentaram pesos tão altos quanto apresentaram em outras épocas do ano, e parte destas variáveis se destacaram no fator 1, outra no fator 2. No fator 1, o  $O_3$  vem associado ao  $MP_{10}$ ,  $T_{med}$  e  $UR_{med}$ , como mostram as tabelas C.4, C.5 e C.6, em apêndice C. Este comportamento dos poluentes nesta época do ano deve-se às condições sinóticas, que consistem na frequente ocorrência de sistemas de baixa pressão, instabilidade atmosférica e queda de precipitação;
- A variável Prec aparece constantemente isolada, com peso alto e positivo, no fator 3, quando vem associada, tem sido negativamente com  $O_3$  e positivamente com  $UR_{med}$  e DRSPC;
- Levando em consideração as suavizações, *lag* 2 – 4 dias de atraso, constatou-se que *lag* de 2 e 3 dias, foram as defasagens que melhores resultados apresentaram, relativamente ao *lag* de 4 dias;

#### 4.1.4 Estudo de Casos

- Para os casos selecionados, destacam-se mais condições de tempo associadas a passagens de frentes (pré e pós-frontal), com quedas de temperatura e aumento de umidade relativa do ar;
- As pessoas sofrendo de problemas respiratórios são as que mais sentem os efeitos do tempo antes e após a passagem de uma frente fria. Os anticiclones que sucedem as FF, são responsáveis pelo transporte do ar frio e conseqüente queda de temperatura, fenômeno que acaba afetando idosos sofrendo de doenças cardiovasculares.

- Alguns casos atribuídos a poluição atmosférica, têm alguma relação às condições de tempo, como é o terceiro caso, onde aponta-se altas concentrações de ozônio associadas à altas temperaturas.
- Associações com condições de tempo pós-frontais são relevantes pelas características da massa de ar (anticiclone subtropical) a elas relacionadas; tanto para o tempo de residência dos poluentes como para a saúde respiratória, com destaque para o ozônio;
- Sistemas de pressão, tanto altas como baixas, localizadas sobre o continente têm um impacto muito forte sobre a morbidade hospitalar. Outra característica dos sistemas sinóticos que exerce uma forte influências no perfil das internações são as frentes frias com dominância de alta subtropical.

## 4.2 Recomendações

Para trabalhos futuros, recomendam-se os seguintes itens para dar continuidade ou aprimorar a pesquisa:

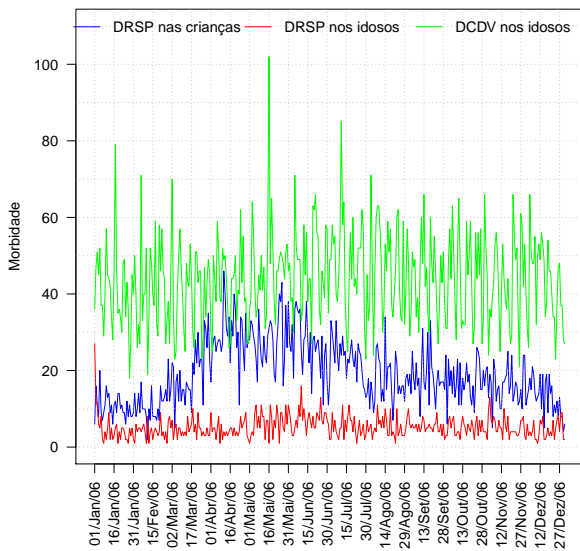
- Verificar a variação inter-anual das variáveis;
- Usar modelos lineares generalizados para melhorar a acurácia na explicação das variáveis ambientais sobre o comportamento do perfil das internações hospitalares;
- A partir de modelos estatísticos lineares, estudar o impacto financeiro da poluição, clima e do tempo sobre o município de São Paulo;
- Incluir mais variáveis meteorológicas no estudo de casos por forma a destacar melhor as causas dos mesmos, por exemplo, verificar condições atmosféricas em altitude para melhor inferir o estado em superfície (cobertura total de nuvens, umidade relativa do ar, etc.);
- Priorizar períodos de maior destaque nas literaturas, estações de outono e inverno por serem períodos que apresentam maior número de ingresso hospitalares, em consequência dos altos níveis de poluentes atmosféricos e baixas temperaturas; e primavera pelas altas concentrações de  $O_3$ ;
- Verificar outras possíveis interações entre as variáveis de estudo, como, condições socioeconômicas, tabagismo, medicamentos, sexo, raça, nível de escolaridade, e outras doenças;

- Elaborar propostas de monitoramento de qualidade do ar em países como Moçambique, para futuros estudos;
- Efetuar estudo semelhante para regiões com poucos e/ou nenhum estudo realizado, sobretudo alguns países africanos, como Moçambique, onde o parque automóvel vem crescendo a cada dia que passa;
- Efetuar um estudo retrospectivo e validar os resultados.

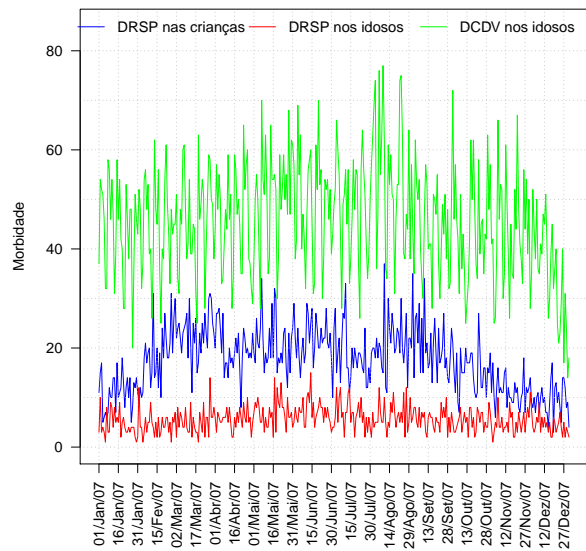
# APÊNDICES



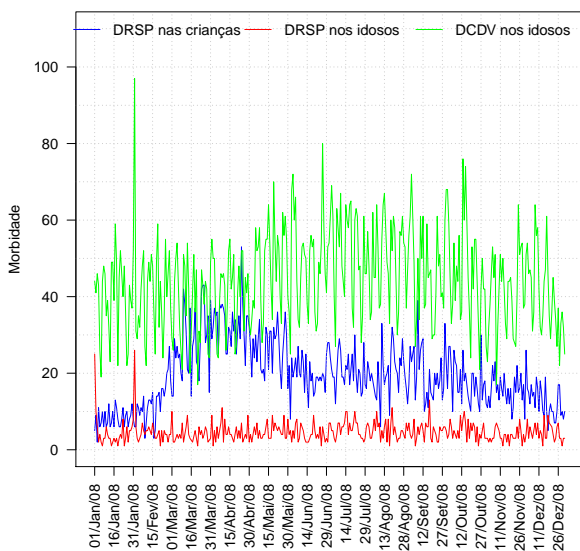
# APÊNDICE – A: Variação da morbidade hospitalar para DCDV em idosos e DRSP em crianças e idosos



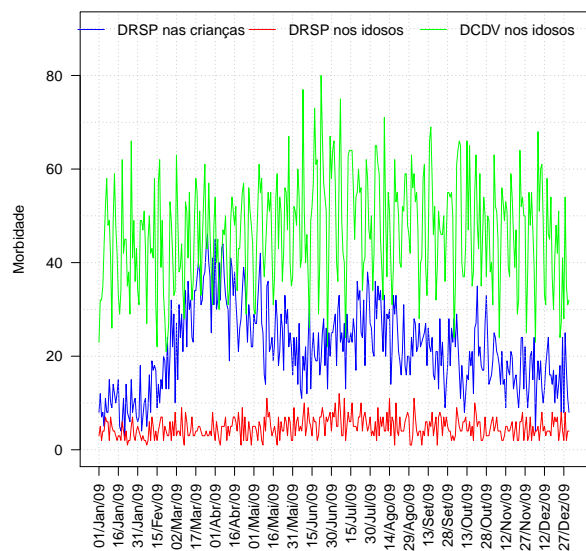
(a) 2006



(b) 2007

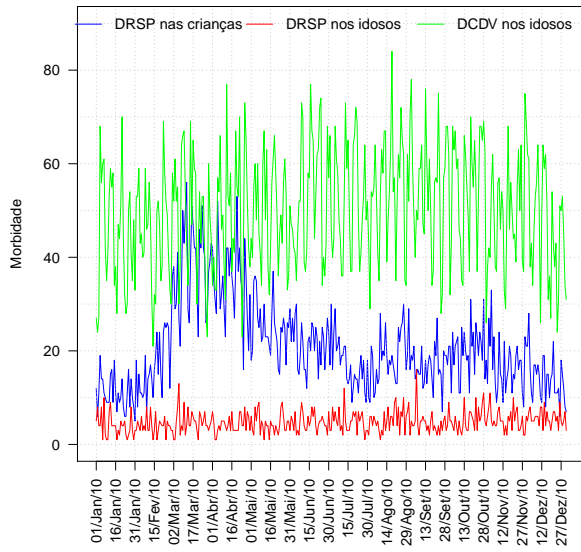


(c) 2008

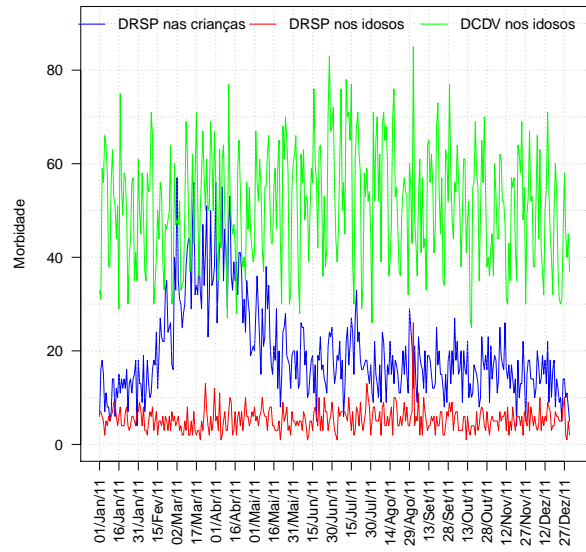


(d) 2009

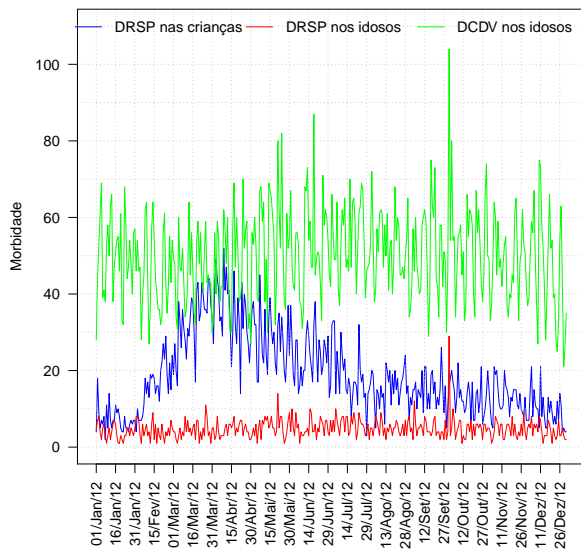
Figura A.1: Variação da morbidade por DCDVI, DRSPC e DRSPI no município de São Paulo.



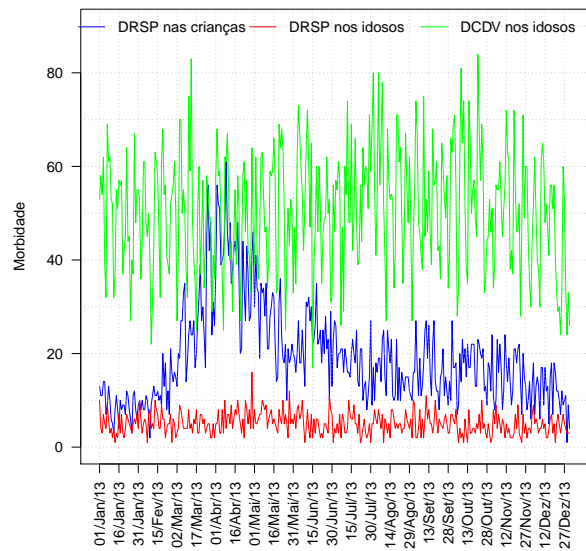
(a) 2010



(b) 2011



(c) 2012



(d) 2013

Figura A.2: Variação da morbidade por DCDVI, DRSPC e DRSPI no município de São Paulo.

# APÊNDICE – B: Ultrapassagens do PQAr

## B.1 CO

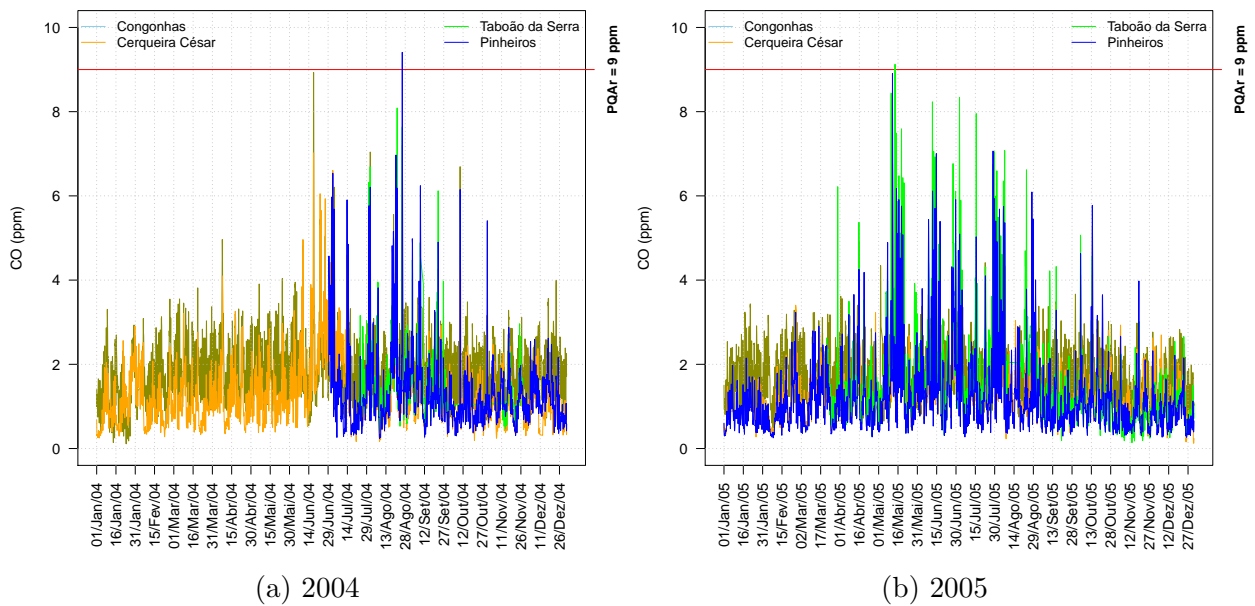
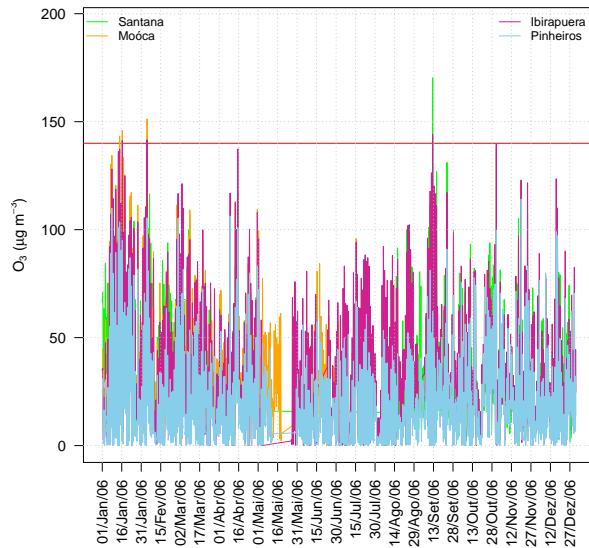
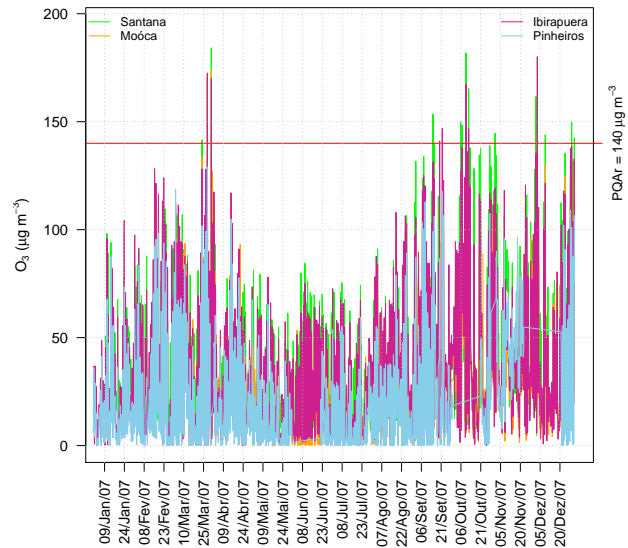


Figura B.1: Variação dos níveis das concentrações de CO.

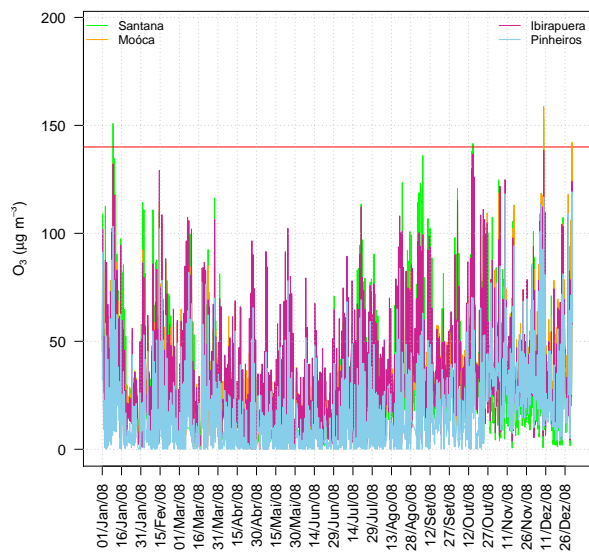
## B.2 O<sub>3</sub>



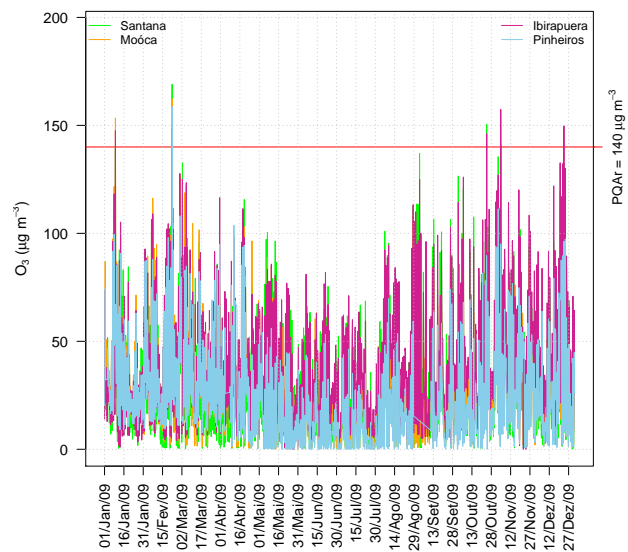
(a) 2006



(b) 2007

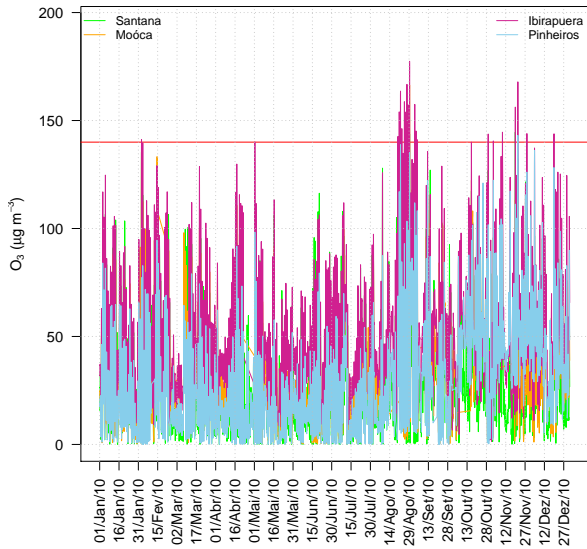


(c) 2008

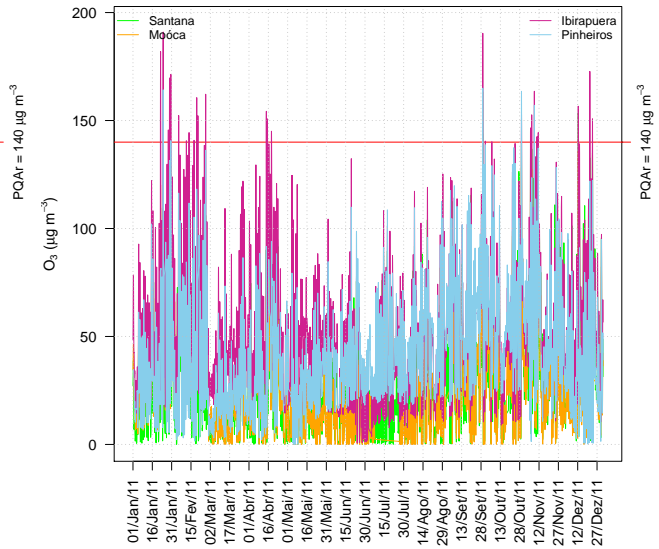


(d) 2009

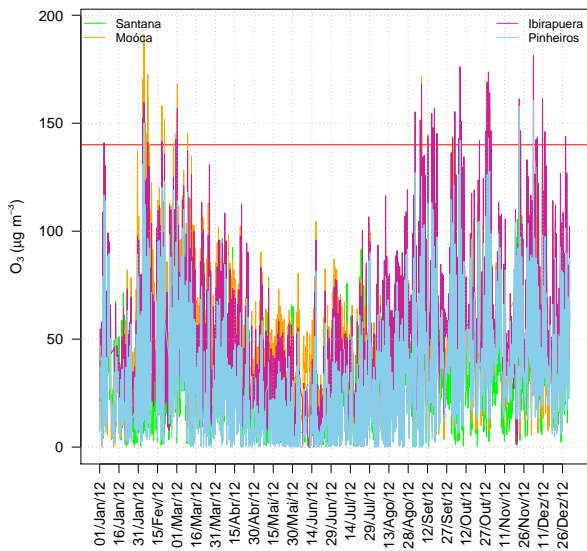
Figura B.2: Variação dos níveis das concentrações de O<sub>3</sub>.



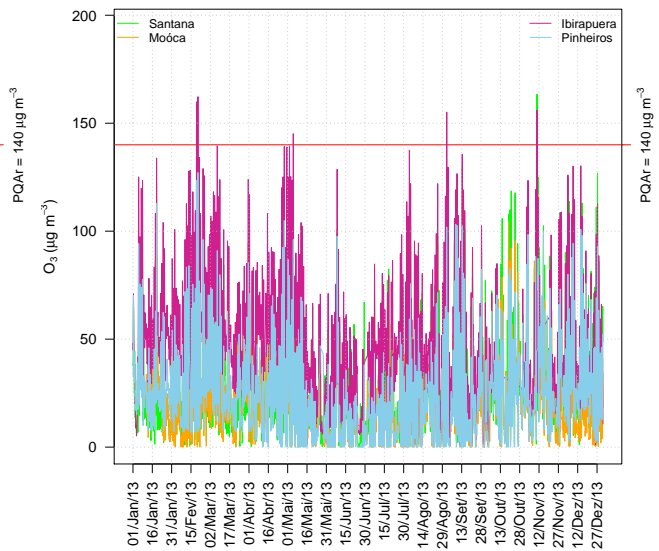
(a) 2010



(b) 2011



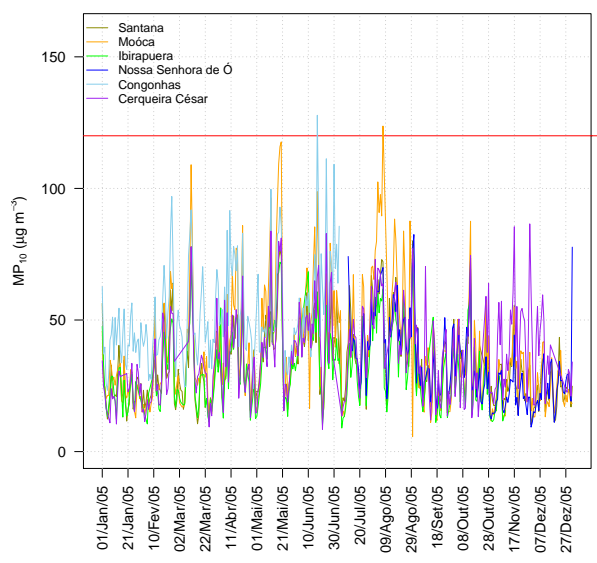
(c) 2012



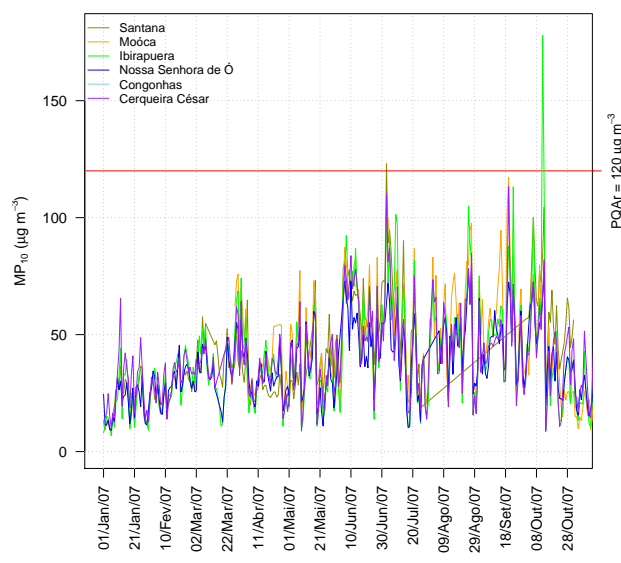
(d) 2013

Figura B.3: Variação dos níveis das concentrações de  $O_3$ .

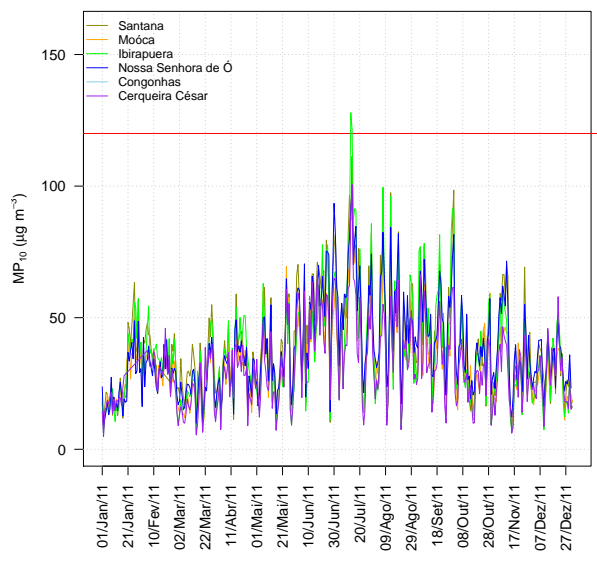
## B.3 MP<sub>10</sub>



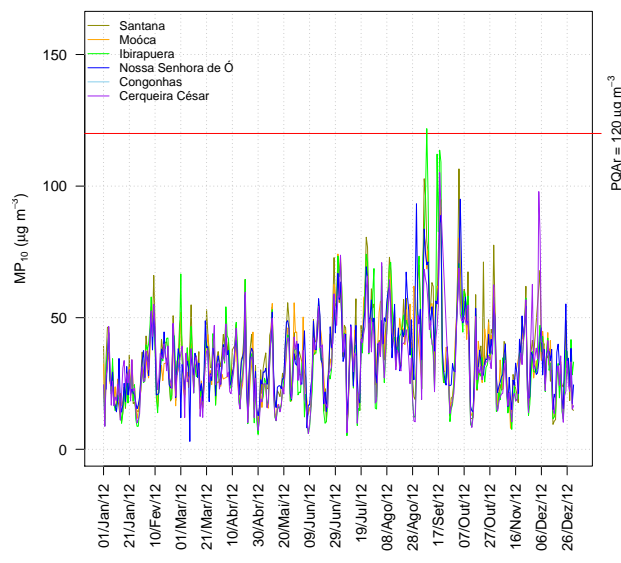
(a) 2005



(b) 2007



(c) 2011



(d) 2012

Figura B.4: Variação dos níveis das concentrações de MP<sub>10</sub>.

## APÊNDICE – C: ACP por estações do ano e usando *Lag* de 2 e 4 dias

### C.1 ACP para a Primavera

Tabela C.1: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI na primavera.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	<b>0,90</b>	-0,07	-0,01	0,82
DCDVI	0,27	0,01	0,01	0,07
MP <sub>10</sub>	<b>0,69</b>	0,46	-0,27	0,77
NO <sub>2</sub>	<b>0,81</b>	0,30	-0,03	0,75
O <sub>3</sub>	-0,02	<b>0,87</b>	0,09	0,77
Prec	0,24	-0,41	<b>0,70</b>	0,72
SO <sub>2</sub>	0,30	-0,23	<b>-0,76</b>	0,72
T <sub>med</sub>	<b>0,54</b>	<b>0,51</b>	0,42	0,72
UR <sub>med</sub>	-0,32	<b>-0,79</b>	0,14	0,74
Variância Explicada	28,41	24,11	14,91	67,43 %

Tabela C.2: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI na primavera.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	0,27	<b>0,82</b>	0,25	0,81
DRSPC	-0,09	<b>0,41</b>	-0,05	0,18
MP <sub>10</sub>	<b>0,66</b>	<b>0,55</b>	-0,16	0,77
NO <sub>2</sub>	<b>0,57</b>	<b>0,63</b>	0,12	0,74
O <sub>3</sub>	<b>0,81</b>	-0,31	-0,09	0,76
Prec	-0,22	0,12	<b>0,81</b>	0,72
SO <sub>2</sub>	-0,16	<b>0,55</b>	<b>-0,59</b>	0,67
T <sub>med</sub>	<b>0,70</b>	0,20	0,44	0,72
UR <sub>med</sub>	<b>-0,83</b>	-0,08	0,20	0,74
Variância Explicada	30,57	22,33	14,92	67,82 %

Tabela C.3: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI na primavera.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	<b>0,90</b>	-0,18	0,09	0,85
DRSPI	0,13	0,06	-0,04	0,02
MP <sub>10</sub>	<b>0,76</b>	0,37	-0,21	0,76
NO <sub>2</sub>	<b>0,83</b>	0,22	0,04	0,74
O <sub>3</sub>	0,07	<b>0,87</b>	0,04	0,77
Prec	0,13	-0,39	<b>0,75</b>	0,72
SO <sub>2</sub>	0,35	-0,31	<b>-0,71</b>	0,72
T <sub>med</sub>	<b>0,55</b>	0,47	0,45	0,72
UR <sub>med</sub>	-0,41	<b>-0,74</b>	0,14	0,74
Variância Explicada	30,16	22,13	14,83	67,11 %



## C.2 ACP para o Verão

Tabela C.4: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI no verão.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	0,14	<b>0,81</b>	0,08	0,69
DCDVI	-0,14	<b>0,48</b>	-0,11	0,26
MP <sub>10</sub>	<b>0,59</b>	<b>0,55</b>	-0,29	0,74
NO <sub>2</sub>	0,46	<b>0,66</b>	0,09	0,66
O <sub>3</sub>	<b>0,81</b>	-0,05	-0,07	0,67
Prec	-0,25	0,20	<b>0,76</b>	0,68
SO <sub>2</sub>	-0,14	0,41	<b>-0,74</b>	0,74
T <sub>med</sub>	<b>0,83</b>	0,18	0,21	0,77
UR <sub>med</sub>	<b>-0,81</b>	0,00	0,27	0,72
Variância Explicada	29,81	20,85	15,17	65,83 %

Tabela C.5: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI no verão.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	0,00	<b>0,86</b>	0,08	0,75
DRSPC	0,01	0,26	0,29	0,15
MP <sub>10</sub>	<b>0,52</b>	<b>0,59</b>	0,38	0,76
NO <sub>2</sub>	0,39	<b>0,69</b>	-0,01	0,63
O <sub>3</sub>	<b>0,82</b>	0,05	0,01	0,67
Prec	-0,33	0,32	<b>-0,70</b>	0,70
SO <sub>2</sub>	-0,15	0,27	<b>0,79</b>	0,72
T <sub>med</sub>	<b>0,78</b>	0,33	-0,20	0,76
UR <sub>med</sub>	<b>-0,83</b>	-0,04	-0,22	0,74
Variância Explicada	28,03	21,38	15,99	65,40 %

Tabela C.6: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI no verão.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	-0,02	<b>0,86</b>	0,15	0,77
DRSPI	0,04	0,08	0,15	0,03
MP <sub>10</sub>	<b>0,50</b>	<b>0,57</b>	0,43	0,76
NO <sub>2</sub>	0,38	<b>0,69</b>	0,06	0,63
O <sub>3</sub>	<b>0,81</b>	0,06	0,06	0,66
Prec	-0,32	0,36	<b>-0,68</b>	0,69
SO <sub>2</sub>	-0,18	0,23	<b>0,83</b>	0,78
T <sub>med</sub>	<b>0,79</b>	0,34	-0,17	0,77
UR <sub>med</sub>	<b>-0,82</b>	-0,04	-0,24	0,74
Variância Explicada	27,65	20,76	16,35	64,77 %

### C.3 ACP para *Lag* de 2 dias

Tabela C.7: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI usando *lag* 2.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	<b>0,90</b>	-0,06	0,03	0,81
DCDVI	<b>0,42</b>	-0,24	0,00	0,23
MP <sub>10</sub>	<b>0,86</b>	0,19	-0,29	0,85
NO <sub>2</sub>	<b>0,85</b>	0,22	-0,07	0,78
O <sub>3</sub>	-0,10	<b>0,87</b>	-0,14	0,78
Prec	-0,07	-0,06	<b>0,91</b>	0,83
SO <sub>2</sub>	0,49	-0,22	-0,42	0,46
T <sub>med</sub>	0,04	<b>0,76</b>	0,41	0,75
UR <sub>med</sub>	<b>-0,52</b>	<b>-0,59</b>	0,33	0,73
Variância Explicada	33,05	20,70	15,36	69,12 %

Tabela C.8: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPC usando *lag* 2.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	<b>0,89</b>	-0,22	0,10	0,84
DRSPC	0,22	<b>-0,40</b>	-0,06	0,21
MP <sub>10</sub>	<b>0,89</b>	0,03	-0,25	0,86
NO <sub>2</sub>	<b>0,87</b>	0,08	-0,03	0,77
O <sub>3</sub>	0,05	<b>0,87</b>	-0,19	0,79
Prec	-0,12	0,02	<b>0,91</b>	0,84
SO <sub>2</sub>	0,48	-0,32	-0,35	0,46
T <sub>med</sub>	0,16	<b>0,73</b>	0,38	0,70
UR <sub>med</sub>	<b>-0,63</b>	-0,48	0,33	0,73
Variância Explicada	33,99	20,32	14,61	68,93 %

Tabela C.9: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPI usando *lag* 2.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	<b>0,92</b>	-0,06	0,07	0,85
DRSPI	0,29	-0,09	-0,02	0,09
MP <sub>10</sub>	<b>0,86</b>	0,20	-0,26	0,86
NO <sub>2</sub>	<b>0,84</b>	0,25	-0,05	0,76
O <sub>3</sub>	-0,12	<b>0,86</b>	-0,16	0,79
Prec	-0,09	-0,05	<b>0,91</b>	0,84
SO <sub>2</sub>	<b>0,53</b>	-0,23	-0,38	0,47
T <sub>med</sub>	0,01	<b>0,76</b>	0,40	0,75
UR <sub>med</sub>	<b>-0,51</b>	<b>-0,60</b>	0,33	0,73
Variância Explicada	32,59	20,68	14,96	68,23 %

## C.4 ACP para *Lag* de 4 dias

Tabela C.10: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DCDVI usando *lag* 4.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	<b>0,92</b>	-0,13	0,09	0,87
DCDVI	0,27	-0,12	-0,15	0,11
MP <sub>10</sub>	<b>0,88</b>	0,16	-0,28	0,87
NO <sub>2</sub>	<b>0,86</b>	0,21	-0,06	0,79
O <sub>3</sub>	-0,07	<b>0,89</b>	-0,11	0,81
Prec	-0,18	-0,02	<b>0,91</b>	0,86
SO <sub>2</sub>	<b>0,56</b>	-0,23	-0,24	0,42
T <sub>med</sub>	-0,05	<b>0,74</b>	0,47	0,77
UR <sub>med</sub>	<b>-0,57</b>	<b>-0,56</b>	0,34	0,75
Variância Explicada	34,51	20,04	14,97	69,52 %

Tabela C.11: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPC usando *lag* 4.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	<b>0,90</b>	-0,23	0,12	0,87
DRSPC	0,14	<b>-0,40</b>	-0,11	0,19
MP <sub>10</sub>	<b>0,89</b>	-0,01	-0,29	0,87
NO <sub>2</sub>	<b>0,88</b>	0,09	-0,08	0,79
O <sub>3</sub>	0,05	<b>0,86</b>	-0,27	0,81
Prec	-0,17	0,17	<b>0,90</b>	0,87
SO <sub>2</sub>	<b>0,53</b>	-0,33	-0,20	0,43
T <sub>med</sub>	0,05	<b>0,77</b>	0,33	0,70
UR <sub>med</sub>	<b>-0,64</b>	-0,42	0,42	0,76
Variância Explicada	34,53	20,66	14,70	69,89 %

Tabela C.12: Pesos das CP após a rotação VARIMAX para DRSPI usando *lag* 4.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
CO	<b>0,92</b>	-0,13	0,09	0,88
DRSPI	0,19	-0,09	-0,10	0,05
MP <sub>10</sub>	<b>0,88</b>	0,16	-0,28	0,87
NO <sub>2</sub>	<b>0,86</b>	0,22	-0,05	0,78
O <sub>3</sub>	-0,07	<b>0,89</b>	-0,11	0,81
Prec	-0,18	-0,03	<b>0,91</b>	0,86
SO <sub>2</sub>	<b>0,57</b>	-0,23	-0,25	0,44
T <sub>med</sub>	-0,06	<b>0,74</b>	0,47	0,77
UR <sub>med</sub>	<b>-0,57</b>	<b>-0,56</b>	0,33	0,75
Variância Explicada	34,20	20,01	14,88	69,09 %

## APÊNDICE – D: Estudo de Casos

### D.1 Condição Sinótica para o caso de 01/09/2011

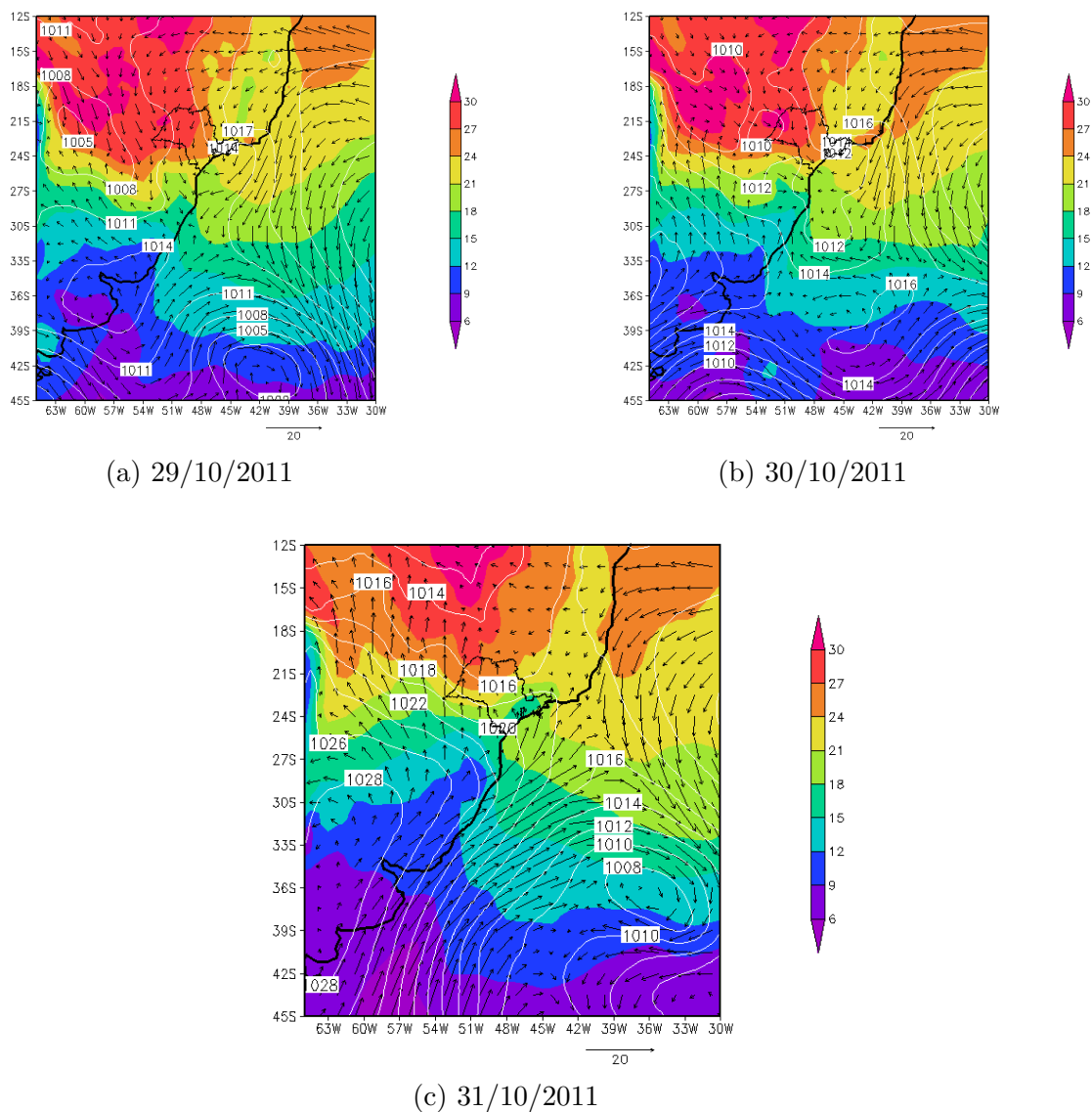


Figura D.1: Campos de pressão (hPa) ao nmm, vento ( $m/s$ ) à 10 m e temperatura ( $^{\circ}C$ ) à 2 m.

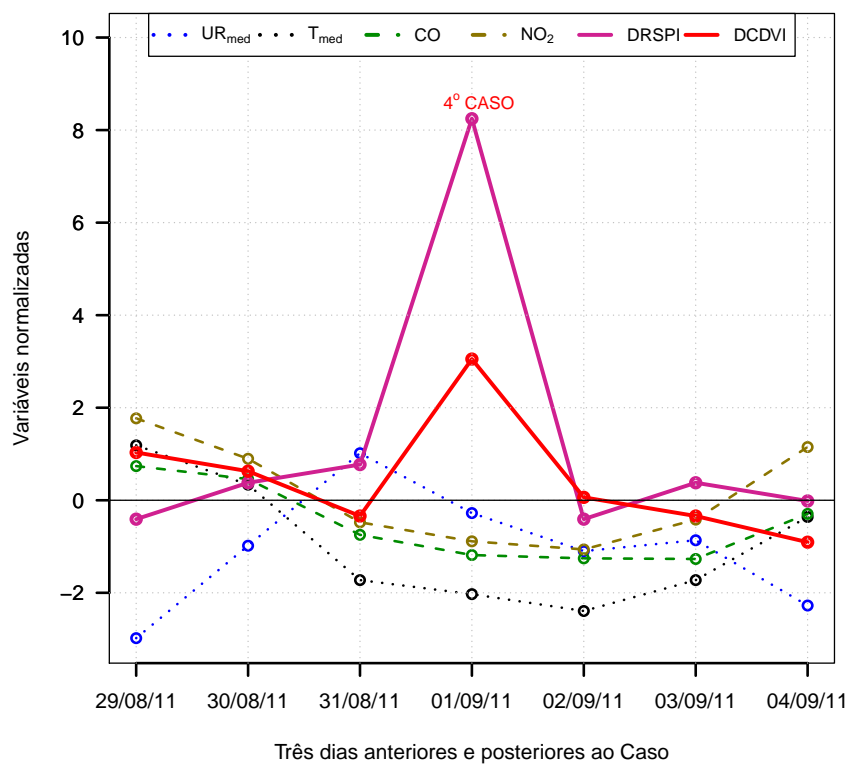
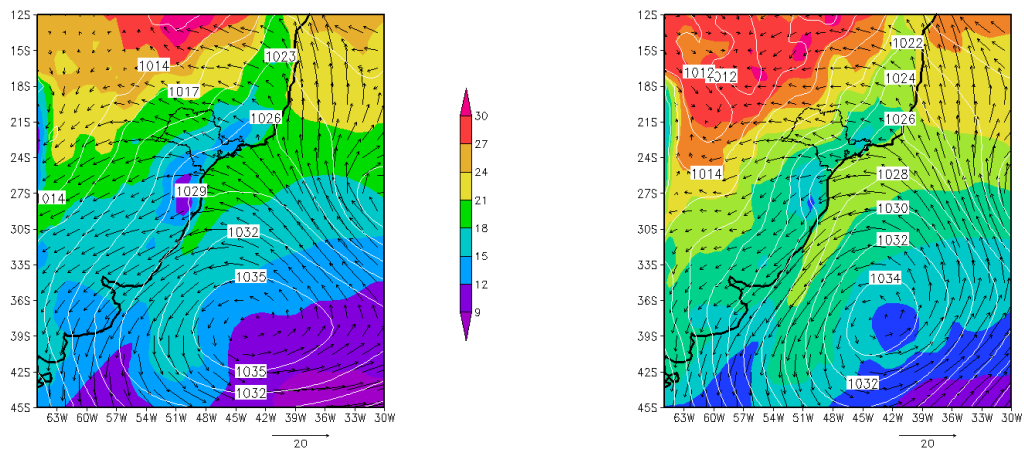


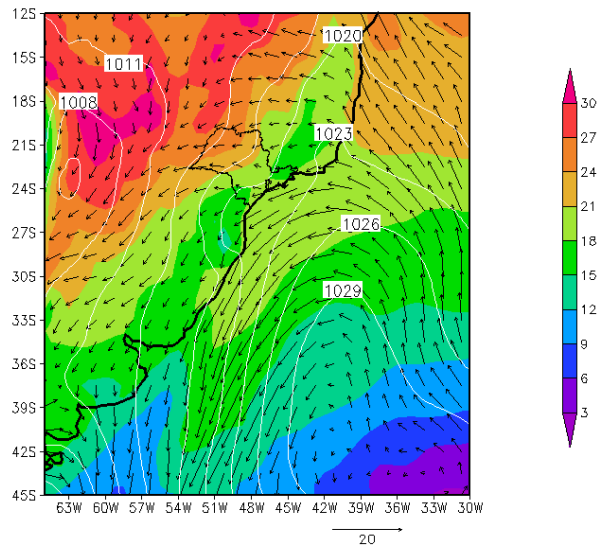
Figura D.2: Comportamento das variáveis normalizadas para o caso do dia 01/09/2011.

## D.2 Condição Sinótica para o caso de 01/10/2012



(a) 28/09/2012

(b) 29/09/2012



(c) 30/09/2012

Figura D.3: Campos de pressão (hPa) ao nmm, vento ( $m/s$ ) à 10 m e temperatura ( $^{\circ}C$ ) à 2 m.

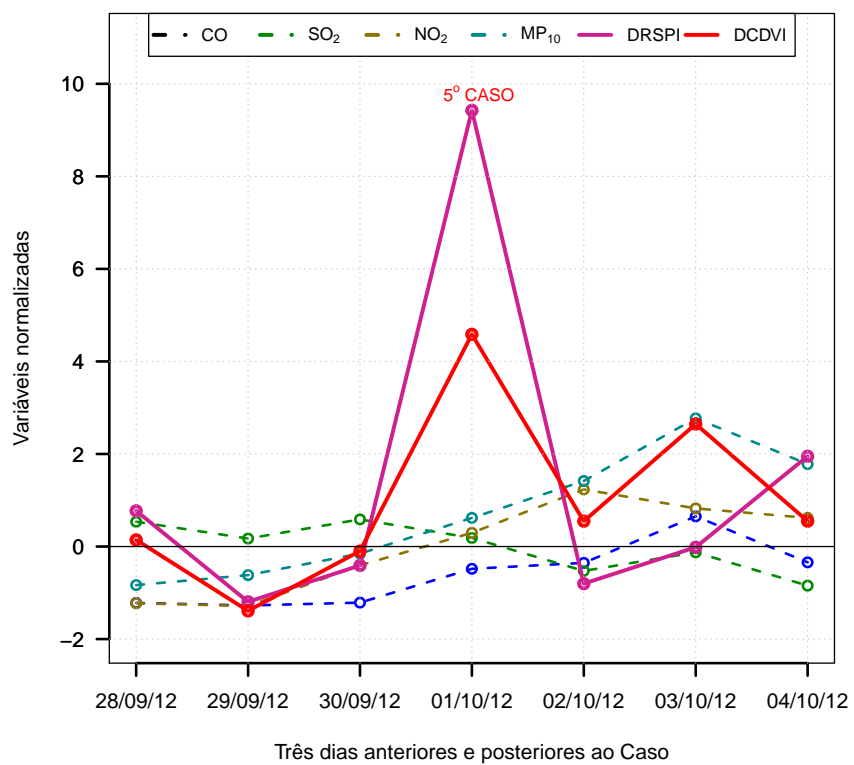


Figura D.4: Comportamento das variáveis normalizadas para o caso do dia 01/10/2012.

# ANEXOS



## ANEXO – A: Imagen de satélite para o caso de 01/09/2011

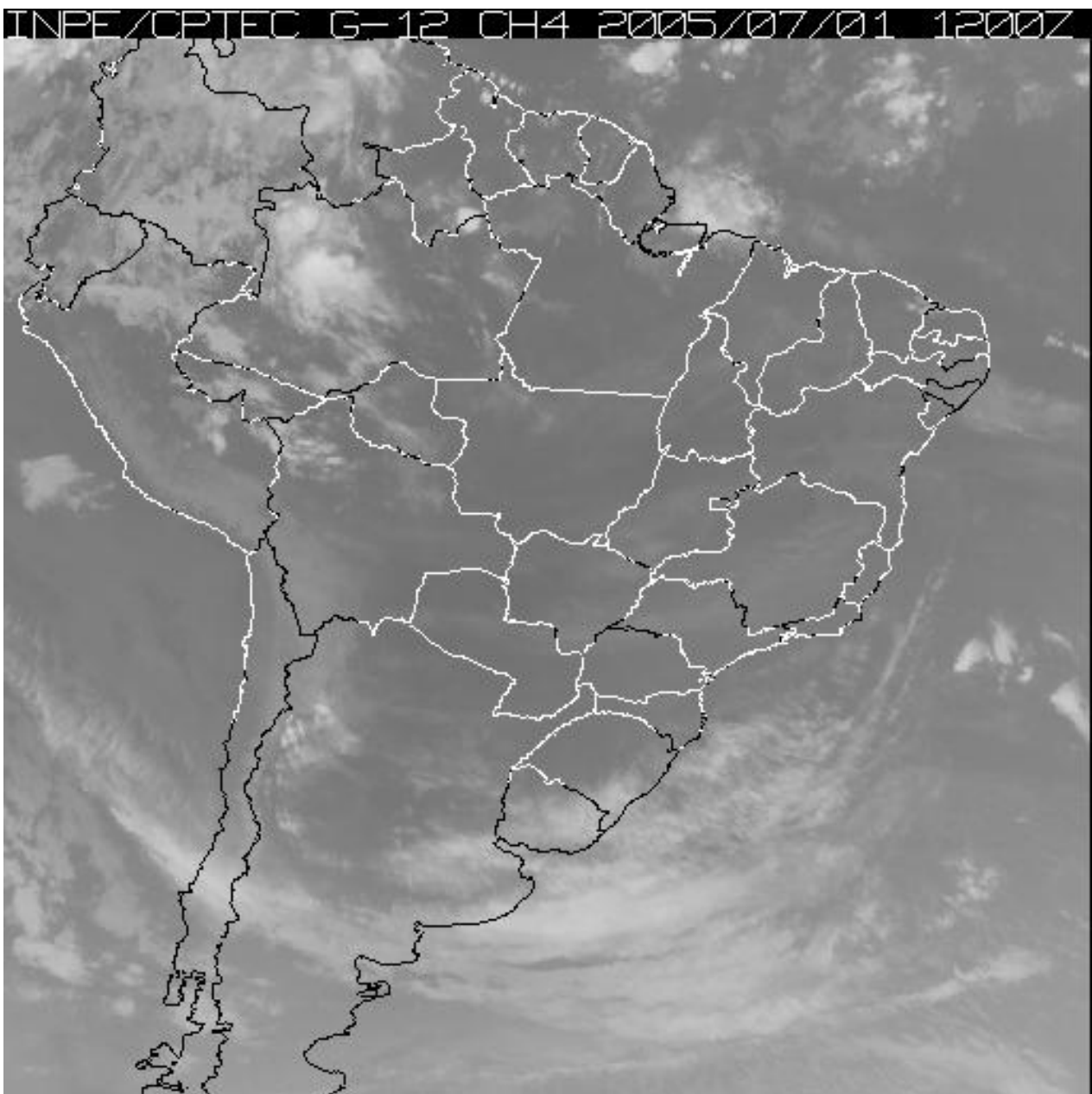


Figura E.1: Imagem de satélite do dia 01/09/2011, as 1200Z.

## ANEXO – B: Imagen de satélite para o caso de 01/10/2012

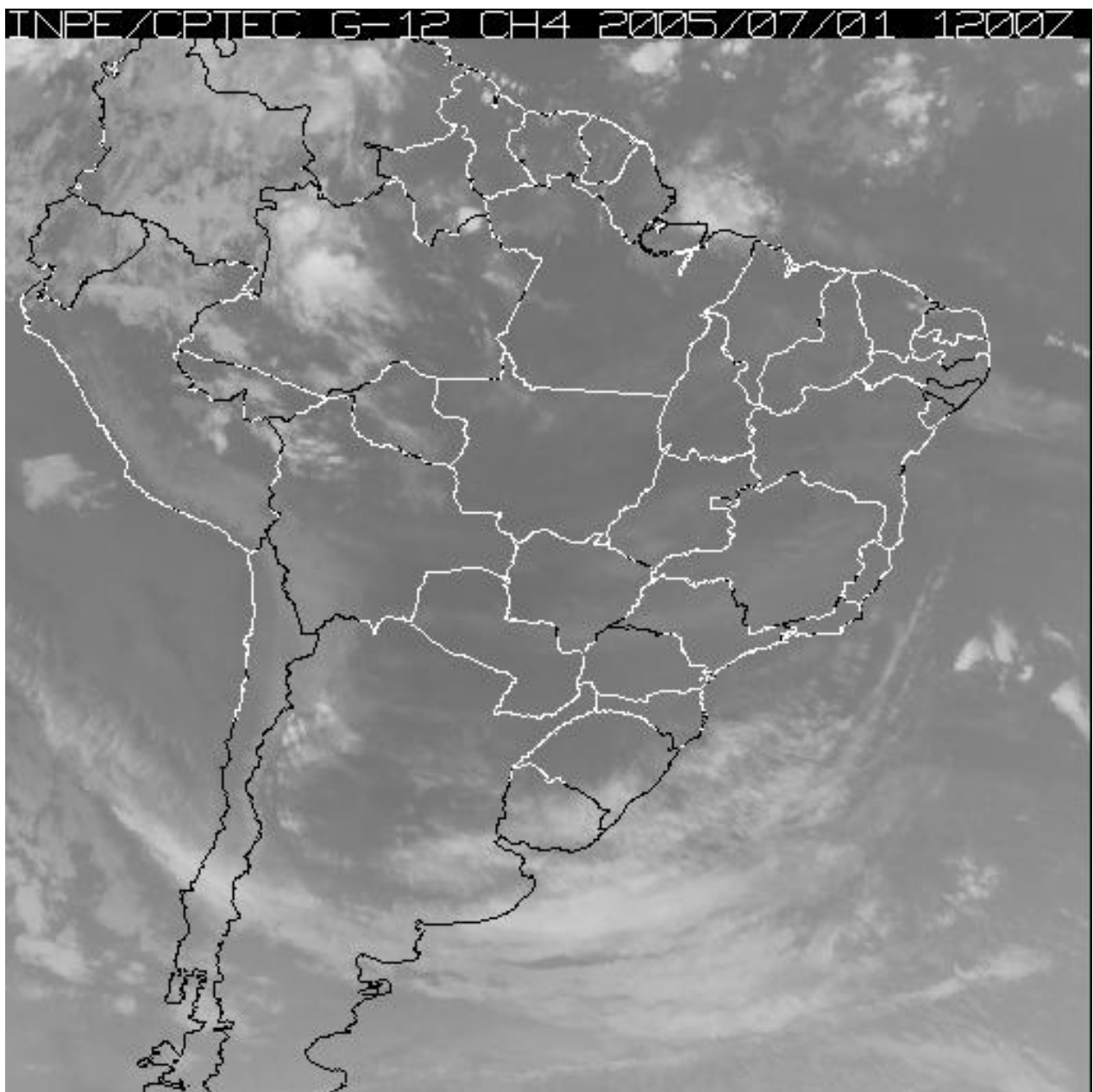


Figura F.1: Imagem de satélite do dia 01/10/2012, as 1200Z.

## Bibliografia

- Allen, M. J. & Sheridan, S. C. (2014). High-mortality days during the winter season: comparing meteorological conditions across 5 us cities. *International journal of biometeorology*, 58(2), 217–225.
- Andrade, M. d. F., de Miranda, R. M., Fornaro, A., Kerr, A., Oyama, B., de Andre, P. A., & Saldiva, P. (2012). Vehicle emissions and pm<sub>2.5</sub> mass concentrations in six brazilian cities. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 5(1), 79–88.
- Barbosa, S. M. d. M. (2006). *Estudo da influência de fatores ambientais sobre o desencadeamento de crise alérgica em crianças e adolescentes portadores de anemia falciforme na cidade de São Paulo*. PhD thesis, Universidade de São Paulo.
- BENATTI, J. (1990). *Conama–Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 013*. Technical report, de 06/12/1990. Dispõe sobre a área circundante, num raio de 10 (dez) quilômetros, das Unidades de Conservação. Brasília.
- Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R., & Davidson, O. (2007). Climate change 2007: synthesis report. summary for policymakers. In *Climate change 2007: synthesis report. Summary for policymakers*. IPCC.
- Boelter, K. J. & Davidson, J. H. (1997). Ozone generation by indoor, electrostatic air cleaners. *Aerosol Science and Technology*, 27(6), 689–708.
- Braga, A. (1998). Quantificação dos efeitos da poluição do ar sobre a saúde da população pediátrica da cidade de São Paulo e proposta de monitoração de São Paulo e proposta de monitoração. *São Paulo: Faculdade de Medicina da USP*.
- Braga, A., Pereira, L. A. A., Böhm, G. M., & Saldiva, P. (2001). Poluição atmosférica e saúde humana. *Revista USP*, (51), 58–71.

- Braun, S. (2003). *Influências Meteorológicas nas Doenças Cardiovasculares na Cidade de São Paulo*. PhD thesis, Universidade de São Paulo.
- Burton, I., Ebi, K. L., & McGregor, G. (2009). Biometeorology for adaptation to climate variability and change. In *Biometeorology for Adaptation to Climate Variability and Change* (pp. 1–5). Springer.
- Campolina, A. G., Adami, F., Santos, J. L. F., & Lebrão, M. L. (2013). The health transition and changes in healthy life expectancy in the elderly population: possible impacts of chronic disease prevention. *Cadernos de saúde pública*, 29(6), 1217–1229.
- Carlos García-Legaz, M. & Francisco Valero, R. (2013). *Adverse weather in Spain*.
- Carslaw, D. C. & Ropkins, K. (2012). Openair—an r package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software*, 27, 52–61.
- Carvalho, V. S. B., Freitas, E. D., Martins, L. D., Martins, J. A., Mazzoli, C. R., & de Fátima Andrade, M. (2015). Air quality status and trends over the metropolitan area of sao paulo, brazil as a result of emission control policies. *Environmental Science & Policy*, 47, 68–79.
- Cavalcanti, I. F. (2016). *Tempo e clima no Brasil*. Oficina de textos.
- Ccoyllo, Ó. R. S. (1998). *Interação entre os poluentes atmosféricos ea circulação local na cidade de São Paulo*. PhD thesis.
- Cendon, S., Pereira, L. A., Braga, A. L., Conceição, G., Cury Junior, A., Romaldini, H., Lopes, A. C., & Saldiva, P. H. (2006). Air pollution effects on myocardial infarction. *Revista de saude publica*, 40(3), 414–419.
- Cesar, A. C. G., Nascimento, L. F. C., & de Carvalho Jr, J. A. (2013). Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças. *Revista de Saúde Pública*, 47(6), 1209–1212.
- CETESB-COMPANHIA, D. T. D. S. (1993). Companhia ambiental do estado de são paulo. (1993) disponível em:< <http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em 29-09-2014.
- CETESB-COMPANHIA, D. T. D. S. (2003). Companhia ambiental do estado de são paulo. (2003) disponível em:< <http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em 01-06-2014.

- CETESB-COMPANHIA, D. T. D. S. (2009). Companhia ambiental do estado de são paulo. (2009) disponível em:< <http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. *Acesso em 01-06-2016*.
- CETESB-COMPANHIA, D. T. D. S. (2012). Companhia ambiental do estado de são paulo. (2012) disponível em:< <http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. *Acesso em 17-10-2014*, 10.
- CETESB-COMPANHIA, D. T. D. S. (2013). Companhia ambiental do estado de são paulo. (2013) disponível em:< <http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. *Acesso em 03-12-2015*.
- Chor, D. & Menezes, P. R. (2011). Saúde no brasil 4 doenças crônicas não transmissíveis no brasil: carga e desafios atuais. *Veja*, 6736(11), 60135–9.
- CLIMANÁLISE (2005a). Boletim de monitoramento e análise climática, de dezembro de 2005. disponível em:< <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>>. *Acesso em Outubro-2016*, 20(12).
- CLIMANÁLISE (2005b). Boletim de monitoramento e análise climática, de julho de 2005. disponível em:< <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>>. *Acesso em Outubro-2016*, 20(7).
- CLIMANÁLISE (2008). Boletim de monitoramento e análise climática, de janeiro de 2008. disponível em:< <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>>. *Acesso em Outubro-2016*, 23(1).
- Conde, F. C. (2001). *Uma análise de componentes principais de efeitos ambientais sobre a morbidade de doenças respiratórias em São Paulo*. PhD thesis.
- Dee, D., Uppala, S., Simmons, A., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M., Balsamo, G., Bauer, P., et al. (2011). The era-interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the royal meteorological society*, 137(656), 553–597.
- DENATRAN (2016). Departamento nacional de trânsito. disponível em:< <http://www.detran.sp.gov.br>. *Acesso em 22-07-2016*.
- Dockery, D. W. & Pope, C. A. (1994). Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annual review of public health*, 15(1), 107–132.
- Epstein, P. R. (2000). Is global warming harmful to health? *Scientific American*, 283(2), 50–57.

- Ferreira, A. M. d. C. & Cardoso, M. (2014). Indoor air quality and health in schools. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 40(3), 259–268.
- Ferreira, A. M. P. J. (2000). Dados geoquímicos de base de sedimentos fluviais de amostragem de baixa densidade de portugal continental: Estudo de factores de variação regional. *Dados Geoquímicos de Base de Sedimentos Fluviais de Amostragem de Baixa Densidade de Portugal Continental: Estudo de Factores de Variação Regional*.
- Folk, G. (1997). The relationship between environmental physiology and biometeorology. *International Journal of Biometeorology*, 40(1), 41–41.
- Frumkin, H., Hess, J., Luber, G., Malilay, J., & McGeehin, M. (2008). Climate change: the public health response. *American Journal of Public Health*, 98(3), 435–445.
- Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., Tobias, A., Tong, S., Rocklöv, J., Forsberg, B., et al. (2015). Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *The Lancet*, 386(9991), 369–375.
- Gavinier, S. & Nascimento, L. F. C. (2014). Air pollutants and hospital admissions due to stroke. *Revista Ambiente & Água*, 9(3), 390–401.
- Giroto, E., de Andrade, S. M., Cabrera, M. A. S., & das Graças Ridão, E. (2009). Prevalência de fatores de risco para doenças cardiovasculares em hipertensos cadastrados em unidade de saúde da família-[doi: 10.4025/actascihealthsci.v31i1.4492](https://doi.org/10.4025/actascihealthsci.v31i1.4492). *Acta Scientiarum. Health Sciences*, 31(1), 77–82.
- Golden, J. S., Carlson, J., Kaloush, K. E., & Phelan, P. (2007). A comparative study of the thermal and radiative impacts of photovoltaic canopies on pavement surface temperatures. *Solar Energy*, 81(7), 872–883.
- Gonçalves, F. L., Braun, S., Dias, P. L. S., & Sharovsky, R. (2007). Influences of the weather and air pollutants on cardiovascular disease in the metropolitan area of sao paulo. *Environmental research*, 104(2), 275–281.
- Goncalves, F. L. T. & Coelho, M. d. S. Z. S. (2010). Variação da morbidade de doenças respiratórias em função da variação da temperatura entre os meses de abril e maio em são paulo. *Ciência e Natura*, 32(1), 13.

- Gouveia, N., Freitas, C. U. d., Martins, L. C., & Marcilio, I. O. (2006). Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no município de são paulo, brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, 22(12), 2669–2677.
- Hamra, G. B., Guha, N., Cohen, A., Laden, F., Raaschou-Nielsen, O., Samet, J. M., Vineis, P., Forastiere, F., Saldiva, P., Yorifuji, T., et al. (2014). Outdoor particulate matter exposure and lung cancer: a systematic review and meta-analysis.
- Hinds, W. C. (1982). Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles. *New York, Wiley-Interscience, 1982. 442 p.*, 1.
- Horowitz, S. (2002). Indoor environmental health threats: prevention and detoxification. *Alternative & Complementary Therapies*, 8(6), 363–369.
- IBGE (2016). Instituto brasileiro de geografia e cadastro. disponível em:< <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=355030&search=sao-paulo|sao-paulo/>>. Acesso em 02-12-2016.
- Iwasawa, S., Nakano, M., Tsuboi, T., Kochi, T., Tanaka, S., Katsunuma, T., Morikawa, A., & Omae, K. (2015). Effects of sulfur dioxide on the respiratory system of miyakejima child residents 6 years after returning to the island. *International archives of occupational and environmental health*, 88(8), 1111–1118.
- Jackson, J. E. (2005). *A user's guide to principal components*, volume 587. John Wiley & Sons.
- Jasinski, R., Pereira, L. A. A., & Braga, A. L. F. (2011). Poluição atmosférica e internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes em cubatão, são paulo, brasil, entre 1997 e 2004. *Cad Saúde Pública*, 27, 2242–52.
- JUNIOR, R. S. D. S. (2009). *Sensibilidade na estimativa da concentração de poluentes fotoquímicos com a aplicação de diferentes parametrizações de Camada Limite Planetária utilizando o modelo de Qualidade do Ar WRF/Chem*. PhD thesis, Universidade de São Paulo.
- Khan, A. & Farooq, H. (2012). Principal component analysis-linear discriminant analysis feature extractor for pattern recognition. *arXiv preprint arXiv:1204.1177*.

- Laden, F., Neas, L. M., Dockery, D. W., & Schwartz, J. (2000). Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six us cities. *Environmental health perspectives*, 108(10), 941.
- Ledesma, R. D. & Valero-Mora, P. (2007). Determining the number of factors to retain in efa: An easy-to-use computer program for carrying out parallel analysis. *Practical assessment, research & evaluation*, 12(2), 1–11.
- Lorenz, E. N. (1956). Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction.
- Makdisse, M., Pereira, A. d. C., Brasil, D. d. P., Borges, J. L., Machado-Coelho, G. L. L., Krieger, J. E., Nascimento Neto, R. M., & Chagas, A. C. P. (2008). Prevalence and risk factors associated with peripheral arterial disease in the hearts of brazil project. *Arquivos brasileiros de cardiologia*, 91(6), 402–414.
- Martinelli, N., Olivieri, O., & Girelli, D. (2013). Air particulate matter and cardiovascular disease: a narrative review. *European journal of internal medicine*, 24(4), 295–302.
- Martins, M., Fatigati, F., Vespoli, T., Martins, L., Pereira, L., Martins, M., Saldiva, P., & Braga, A. (2004). Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health effects in elderly people: an analysis of six regions in sao paulo, brazil. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 58(1), 41–46.
- Massambani, O. & Andrade, F. (1994). Seasonal behavior of tropospheric ozone in the são paulo (brazil) metropolitan area. *Atmospheric Environment*, 28(19), 3165–3169.
- MMA (1989). Resolução do conama 3, de 28 de junho de 1990. (1990) disponível em:< <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>. *Acesso em Março-2012*.
- Morgenstern, H. (1995). Ecologic studies in epidemiology: concepts, principles, and methods. *Annual review of public health*, 16(1), 61–81.
- Nardocci, A. C., Freitas, C. U. d., LEON, A. C. M. P. d., Junger, W. L., GOUVEIA, N. d. C., et al. (2013). Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: estudo de séries temporais em cubatão, são paulo, brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, 29(9), 1867–1876.
- Nascimento, L. (2011). Air pollution and cardiovascular hospital admissions in a medium-sized city in são paulo state, brazil. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 44(7), 720–724.



- Nedel, A. S., Gonçalves, F. L. T., Junior, C. M., & Cardoso, M. R. A. (2015). Climatology of the human thermal comfort on são paulo metropolitan area, brazil: Indoors and outdoors. *Revista Brasileira de Geofísica*, 33(2).
- Nemery, B., Hoet, P. H., & Nemmar, A. (2001). The meuse valley fog of 1930: an air pollution disaster. *The Lancet*, 357(9257), 704–708.
- Nicolussi, F. H., dos Santos, A. P. M., da Silva André, S. C., Veiga, T. B., & Takayanagui, A. M. M. (2014a). Poluição do ar e doenças respiratórias alérgicas em escolares. *Revista de Saúde Pública*, 48(2), 326–330.
- Nicolussi, F. H., Santos, A. P. M. d., André, S. C. d. S., Veiga, T. B., & Takayanagui, A. M. M. (2014b). Air pollution and respiratory allergic diseases in schoolchildren. *Revista de saude publica*, 48(2), 326–330.
- Ortiz, R. A., Hunt, A., da Motta, R. S., & MacKnight, V. (2011). Morbidity costs associated with ambient air pollution exposure in sao paulo, brazil. *Atmospheric Pollution Research*, 2(4), 520–529.
- Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., & Foley, J. A. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438(7066), 310–317.
- Patz, J. A., Engelberg, D., & Last, J. (2000). The effects of changing weather on public health. *Annual review of public health*, 21(1), 271–307.
- Pereira Filho, M., Pereira, L., Arbex, F. F., Arbex, M., Conceição, G., Santos, U., Lopes, A. C., Saldiva, P. H. N., Braga, A., & Cendon, S. (2008). Effect of air pollution on diabetes and cardiovascular diseases in são paulo, brazil. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 41(6), 526–532.
- Pinheiro, S. d. L. L. d. A., Saldiva, P. H. N., Schwartz, J., Zanobetti, A., et al. (2014). Efeitos isolados e sinérgicos do mp10 e da temperatura média na mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias. *Revista de Saúde Pública*, 48(6), 881–888.
- Pryor, W. A. & Lightsey, J. W. (1981). Mechanisms of nitrogen dioxide reactions: initiation of lipid peroxidation and the production of nitrous acid. *Science*, 214(4519), 435–437.
- Quadro, M. d., Silva Dias, M., Herdies, D. L., & Goncalves, L. d. (2012). Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da zcas através da nova geração de reanálises. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27(2), 152–162.

- Sánchez-Ccoyllo, O. & de Fatima Andrade, M. (2002). The influence of meteorological conditions on the behavior of pollutants concentrations in são paulo, brazil. *Environmental Pollution*, 116(2), 257–263.
- Sánchez-Ccoyllo, O. R., Silva Dias, P., & Freitas, S. R. (2000). Previsão operacional de transportes de poluentes atmosféricos utilizando a modelagem numérica: estudo de caso para outubro de 1998. In *Congresso Brasileiro de Meteorologia* (pp. 2936–2912).
- Sánchez-Ccoyllo, O. R., Ynoue, R. Y., Martins, L. D., & de Fátima Andrade, M. (2006). Impacts of ozone precursor limitation and meteorological variables on ozone concentration in sao paulo, brazil. *Atmospheric Environment*, 40, 552–562.
- Schwartz, J. & Neas, L. M. (2000). Fine particles are more strongly associated than coarse particles with acute respiratory health effects in schoolchildren. *Epidemiology*, 11(1), 6–10.
- Sharafi, R., Gorlov, D. S., & Gorgo, Y. P. (2013). The influences of meteorological factors on the health and functional state of human. *Health*, 2013.
- Souza, A. G. d. (2012). *Distribuição espacial da mortalidade por acidente cerebral vascular e fatores socioeconômicos nos distritos da cidade de São Paulo, Brasil*. PhD thesis, Universidade de São Paulo.
- Tadano, Y. (2007). Análise do impacto de pm10 na saúde populacional: estudo de caso em araucária, pr.
- Taner, S., Pekey, B., & Pekey, H. (2013). Fine particulate matter in the indoor air of barbecue restaurants: elemental compositions, sources and health risks. *Science of the total environment*, 454, 79–87.
- Tromp, S. W. et al. (1980). *Biometeorology-the impact of the weather and climate on humans and their environment (animals and plants)*. Heyden & Son Ltd.
- Tuan, T. S., Venâncio, T. S., & Nascimento, L. F. C. (2015). Air pollutants and hospitalization due to pneumonia among children. an ecological time series study. *Sao Paulo Medical Journal*, 133(5), 408–413.
- Wallace, J. M. & Hobbs, P. V. (2006). *Atmospheric science: an introductory survey*, volume 92. Academic press.

- Wang, X. Y., Barnett, A. G., Hu, W., & Tong, S. (2009). Temperature variation and emergency hospital admissions for stroke in brisbane, australia, 1996–2005. *International journal of biometeorology*, 53(6), 535–541.
- WHO (2006). *Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide*. World Health Organization.
- WHO et al. (2014). Public health, environmental and social determinants of health. *Geneva*. [www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/en](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en).
- Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences*, volume 100. Academic press.
- Zeileis, A. & Grothendieck, G. (2005). zoo: S3 infrastructure for regular and irregular time series. *Journal of Statistical Software*, 14(6), 1–27.