

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL  
HENRIQUE LUIS ROESSLER  
FEPAM

Diagnóstico da  
**QUALIDADE DO AR**  
no Rio Grande do Sul  
no período de 2003 a 2012

Rede Estadual de Monitoramento  
Automático da Qualidade do Ar

Rio Grande do Sul  
2014

**FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER**

**GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

Tarso Genro

**SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE**

Neio Lúcio Fraga Pereira

**FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL**

Nilvo Alves da Silva

**DIRETORIA TÉCNICA**

Rafael Volquind

**DEPARTAMENTO DE QUALIDADE, PLANEJAMENTO E INFRAESTRUTURA**

Ana Rosa Bered

**DEPARTAMENTO DE PESQUISA E ANÁLISES LABORATORIAIS**

Andrea Cássia de Melo Machado

**PROGRAMA AR DO SUL**

Márcio D'Avila Vargas

**EQUIPE TÉCNICA DA REDE DE MONITORAMENTO AUTOMÁTICO**

Estevão Segalla

Felipe Norte Pereira

Flávio Wiegand

Márcio D'Avila Vargas

**ELABORAÇÃO TÉCNICA**

Flávio Wiegand

Márcio D'Avila Vargas

**PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO**

Paginaria

F383 Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler.  
Diagnóstico da Qualidade do Ar no Rio Grande do Sul no período  
de 2003 a 2012. – Porto Alegre: FEPAM, 2014.  
91p. : il.

1. Ar. 2. Poluição. 3. Controle da qualidade do ar – Rio Grande do  
Sul. I. Título.

CDU – 628.511(816.5)

# Sumário

GLOSSÁRIO .....	6
LISTA DE FIGURAS .....	8
LISTA DE TABELAS .....	10
1 INTRODUÇÃO .....	11
2 OBJETIVO GERAL .....	13
3 DESCRIÇÃO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL .....	14
3.1 Aspectos geográficos.....	14
3.2 Aspectos climatológicos .....	16
3.3 Dispersão atmosférica.....	20
3.4 Economia do Estado .....	21
3.5 Dados da frota veicular gaúcha .....	24
4 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR .....	28
5 POLUENTES E A QUALIDADE DO AR .....	31
5.1 Poluentes: efeitos na saúde e fontes usuais.....	31
5.1.1 Monóxido de carbono (CO).....	31
5.1.2 Óxidos de nitrogênio (NO <sub>x</sub> ) .....	31
5.1.3 Partículas inaláveis (PI <sub>10</sub> ) .....	32
5.1.4 Dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> ).....	32
5.1.5 Ozônio (O <sub>3</sub> ).....	33
5.2 Índice de qualidade do ar.....	33
6 REDE DE MONITORAMENTO AUTOMÁTICO .....	36
6.1 Histórico .....	36
6.2 Estações de monitoramento da Rede Ar do Sul .....	38
6.2.1 Estação POA/Rodoviária.....	38
6.2.2 Estação POA/Bombeiros .....	39
6.2.3 Estação POA/ESEF .....	39
6.2.4 Estação Canoas/V COMAR .....	39
6.2.5 Estação Sapucaia/SESI.....	39
6.2.6 Estação Triunfo/Pólo .....	39
6.2.7 Estação Caxias do Sul/SENAI .....	40
6.2.8 Estação Móvel – Duas localizações: Rio Grande e Santa Maria.....	40
6.2.9 Estação Gravataí/JT .....	40
6.2.10 Estação Canoas/PU .....	40
6.2.11 Estação Esteio/VE.....	40
6.2.12 Estação Charqueadas/AT.....	41
6.2.13 Estação Triunfo/DEPREC .....	41
6.3 Dados de qualidade do ar .....	43
6.3.1 Representatividade dos dados de qualidade do ar .....	43
6.3.2 Disponibilidade dos dados da rede de qualidade do ar .....	43
7 ANÁLISE DOS DADOS MONITORADOS DE 2003 A 2012 .....	44
7.1 Ozônio (O <sub>3</sub> ) .....	44
7.2 Partículas inaláveis (PI <sub>10</sub> ) .....	51
7.3 Dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> ) .....	62

7.4 Dióxido de nitrogênio (NO <sub>2</sub> ) .....	68
7.5 Monóxido de carbono (CO).....	77
8 CONCLUSÕES .....	86
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	89
10 FONTES CONSULTADAS.....	91

# GLOSSÁRIO

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ : micrograma por metro cúbico

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ : micrograma por metro cúbico

°C: Grau Celsius

AT: Arranca Toco

Cf: Clima subtropical úmido, segundo a classificação climática de Köppen

CNAE: Classificação nacional das atividades econômicas

CO: Monóxido de carbono

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

COVs: Compostos orgânicos voláteis

CPTEC: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

DEPREC: Departamento Estadual de Portos Rios e Canais

DETRAN-RS: Departamento estadual de trânsito do Rio Grande do Sul

DV: Direção do vento

E: Leste

ESEF: Escola Superior de Educação Física da UFRGS

FEPAM: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler

FFE: Fundação de economia e estatística

GM: General Motors do Brasil

GOES-13: Geostationary Operational Environmental Satellite

HC: Hidrocarboneto

hPa: Hectopascal

Iarc: International agency for research on cancer

Indapp-I: Índice de dependência do potencial poluidor da indústria

INMET: Instituto nacional de meteorologia

Inpp-I: Índice de potencial poluidor da indústria

IQAr: Índice de Qualidade do Ar

JT: Jardim Timbaúva

km: quilômetro

L: Local

Log: Logaritmo

m/s: Metro por segundo

m: Metro

mm/h: Milímetros por hora

N-NE: Nor-nordeste

NO: Óxido nítrico

NO<sub>2</sub>: Dióxido de nitrogênio

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

NO<sub>x</sub>: Óxidos de nitrogênio

O<sub>3</sub>: Ozônio

OMS: Organização mundial da saúde

P: Pressão

PCPV: Programa de controle de poluição veicular  
PI: Partículas inaláveis  
PI<sub>10</sub>: Partículas inaláveis com diâmetro menor que 10 micra  
PIB: Produto interno bruto  
POA: Porto Alegre  
ppm: Partes por milhão  
PROAR: Programa Ar do Sul  
PTS: Partículas totais em suspensão  
PU: Parque universitário  
RCHO: Aldeídos  
REFAP: Refinaria Alberto Pasqualini S/A  
RG: Radiação solar global  
RMPA: Região metropolitana de Porto Alegre  
RS: Rio Grande do Sul  
S: Sul  
SC: Santa Catarina  
SE: Sudeste  
SEMA: Secretaria estadual do meio ambiente  
SENAI: Serviço nacional de aprendizagem industrial  
SESI: Serviço social da indústria  
SMAM: Secretaria Municipal do Meio Ambiente  
SO<sub>2</sub>: Dióxido de enxofre  
S-SW: Su-sudoeste  
T: Temperatura  
UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
UR: Umidade relativa do ar  
USEPA: United States Environmental Protection Agency  
UTC: Universal Time Coordinated  
UVA: Radiação ultravioleta-A  
V COMAR: V Comando Aéreo Regional  
VAB: Valor adicional bruto  
VE: Vila Ezequiel  
VV: Velocidade do vento  
W: Oeste  
WHO: World Health Organization  
W-NW: Oes-noroeste  
Z: Zero

# LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Mapa do Macrozoneamento Ambiental do Rio Grande do Sul.....	15
<b>Figura 2:</b> Comportamento anual da pressão atmosférica média mensal em Porto Alegre/RS ....	17
<b>Figura 3:</b> Comportamento anual da precipitação média mensal em Porto Alegre/RS .....	18
<b>Figura 4:</b> Comportamento anual da umidade relativa média mensal em Porto Alegre/RS .....	18
<b>Figura 5:</b> Comportamento anual da temperatura média mensal em Porto Alegre/RS .....	19
<b>Figura 6:</b> Comportamento anual da temperatura máxima média mensal em Porto Alegre/RS ..	19
<b>Figura 7:</b> Comportamento anual da temperatura mínima média mensal em Porto Alegre/RS...	20
<b>Figura 8:</b> Estrutura do VAB do Rio Grande do Sul por setores de atividade 2010 (%) .....	21
<b>Figura 9:</b> Índice de Potencial Poluidor da Indústria, por município .....	24
<b>Figura 10:</b> Distribuição da frota veicular do RS por tipo de combustível, para o ano de 2009....	25
<b>Figura 11:</b> As Macrorregiões do Estado do RS .....	26
<b>Figura 12:</b> Contribuições das emissões veiculares totais, por Macrorregiões do Estado do RS ...	26
<b>Figura 13:</b> Localização das estações POA/Rodoviária, POA/Bombeiros, POA/ESEF, Canoas/V CO- MAR, Canoas/PU, Esteio/VE, Sapucaia/SESI, Gravataí/JT, Triunfo/Pólo, Charqueadas/ AT e Triunfo/DEPREC .....	41
<b>Figura 14:</b> Localização da estação Caxias/SENAI.....	42
<b>Figura 15:</b> Localização da estação Móvel/Rio Grande .....	42
<b>Figura 16:</b> Localização da estação Móvel/Santa Maria.....	42
<b>Figura 17:</b> Concentração média horária anual de ozônio por estação (2003 e 2012).....	45
<b>Figura 18:</b> Simulação, com o modelo Hysplit, da pluma de dispersão de poluentes a partir de Ca- noas, em condições meteorológicas próximas das predominantes .....	46
<b>Figura 19:</b> Concentração média horária mensal de ozônio para todas as estações fixas (2003- 2012) .....	49
<b>Figura 20:</b> Concentração média horária de ozônio por dia da semana para todas as estações fixas (2003-2012) .....	49
<b>Figura 21:</b> Diagrama Skew T-Log P correspondente à radiossondagem do dia 19/11/09 às 12:00 UTC (10:00 L), do Aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre.....	50
<b>Figura 22:</b> Imagem realçada do satélite GOES-10, do dia 19/11/2009 às 15:00 UTC (13:00 L)....	51
<b>Figura 23:</b> Concentração média diária anual de $PI_{10}$ por estação (2003-2012) .....	52
<b>Figura 24:</b> Concentração média diária anual de $PI_{10}$ para todas as estações, por ano de amostra- gem .....	53
<b>Figura 25:</b> Concentração média mensal de $PI_{10}$ para todas as estações fixas (2003-2012) .....	56
<b>Figura 26:</b> Concentração média diária de $PI_{10}$ por dia da semana para todas as estações fixas (2003-2012) .....	56
<b>Figura 27:</b> Imagens do satélite meteorológico GOES-12, banda do infravermelho, todas das 12:00Z: a) 20/08/2003; b) 21/08/2003; c) 22/08/2003; d) 23/08/2003 .....	58
<b>Figura 28:</b> Sondagens das 00:00Z de Porto Alegre: a) dia 21/08/03; b) dia 23/08/03.....	58
<b>Figura 29:</b> Focos de calor (queimadas) detectados pelo satélite/Sensor NOAA-12/AVHRR nas da- tas: a) 19/08/2003; b) 20/08/2003; c) 21/08/2003; d) 22/08/2003 .....	60
<b>Figura 30:</b> Perfil do vento na superfície e na altitude de 700 m (925 hPa) da 00:00Z dos dias: a) 21/08/2003; b) 22/08/2003; c) 23/08/2003 .....	61

<b>Figura 31:</b> Imagem do entardecer do dia 18/10/2011, mostrando o decaimento da luz solar na RMPA, devido às cinzas do vulcão Puyehue.....	62
<b>Figura 32:</b> Concentração média diária anual de SO <sub>2</sub> por estação (2003-2012).....	64
<b>Figura 33:</b> Concentração média diária anual de SO <sub>2</sub> para todas as estações (2003-2012).....	64
<b>Figura 34:</b> Concentração média mensal de SO <sub>2</sub> para todas as estações fixas (2003-2012).....	67
<b>Figura 35:</b> Concentração média diária de SO <sub>2</sub> por dia da semana, para todas as estações fixas (2003-2012).....	67
<b>Figura 36:</b> Concentração média horário anual de NO <sub>2</sub> por estação (2003-2012).....	69
<b>Figura 37:</b> Concentração média horária anual de NO <sub>2</sub> para todas as estações (2003-2012).....	70
<b>Figura 38:</b> Concentração média mensal de NO <sub>2</sub> para todas as estações fixas (2003-2012).....	73
<b>Figura 39:</b> Concentração média diária de NO <sub>2</sub> por dia da semana para todas as estações fixas (2003-2012).....	74
<b>Figura 40:</b> Diagrama Skew T-Log P correspondente à radiossondagem do dia 25/08/2006 às 12:00 UTC (09:00 L), do Aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre.....	75
<b>Figura 41:</b> Diagrama Skew T-Log P correspondente à radiossondagem do dia 5/08/2006 às 12:00 UTC (09:00 L), do Aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre.....	76
<b>Figura 42:</b> Diagrama Skew T-Log P correspondente à radiossondagem do dia 20/06/2007 às 12:00 UTC (09:00 L), do Aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre.....	77
<b>Figura 43:</b> Concentração média horária anual de CO por estação (2003-2012).....	78
<b>Figura 44:</b> Concentração média horária anual de CO para todas as estações (2003-2012).....	79
<b>Figura 45:</b> Concentração média mensal de CO para todas as estações fixas (2003-2012).....	82
<b>Figura 46:</b> Concentração média diária de CO por dia da semana para todas as estações fixas (2003-2012).....	82
<b>Figura 47:</b> Diagrama Skew T-Log P correspondente à radiossondagem do dia 21/08/2012 às 00:00 UTC (21:00 L do dia 20/08), do Aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre.....	83
<b>Figura 48:</b> Imagem realçada do satélite GOES-13, do dia 21/08/2012 às 00:00 UTC (21:00 L do dia 20/08/2012).....	83
<b>Figura 49:</b> Diagrama Skew T-Log P correspondente à radiossondagem do dia 10/05/2012 às 12:00 UTC (09:00 L), do Aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre.....	84
<b>Figura 50:</b> Imagem realçada do satélite GOES-13, do dia 10/05/2012 às 12:00 UTC (09:00 L)....	85

# LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Classificação climática de Köppen para o Rio Grande do Sul .....	16
<b>Tabela 2:</b> INPP-I, Indapp-I e VAB da Indústria, no Rio Grande do Sul (2002 a 2009).....	23
<b>Tabela 3:</b> Lista dos dez municípios com maior Índice de Potencial Poluidor da Indústria (2002 a 2009) .....	23
<b>Tabela 4:</b> Evolução anual da frota veicular do RS por tipo .....	25
<b>Tabela 5:</b> Estimativa das emissões atmosféricas por fontes móveis no RS (2009).....	27
<b>Tabela 6:</b> Padrões de qualidade do ar (resolução CONAMA nº 003/1990).....	29
<b>Tabela 7:</b> Níveis de poluição do ar para episódios críticos (resolução CONAMA nº 003/1990)...	30
<b>Tabela 8:</b> Princípios de medição específicos para cada poluente .....	30
<b>Tabela 9:</b> Relação entre o índice de qualidade do ar e os efeitos sobre a saúde .....	34
<b>Tabela 10:</b> Índices de qualidade e faixas de concentração correspondente por poluente.....	35
<b>Tabela 11:</b> Parâmetros e localização das estações da rede automática de monitoramento da qualidade do ar .....	37
<b>Tabela 12:</b> Critérios de representatividade de dados.....	43
<b>Tabela 13:</b> Concentração média horária anual de ozônio por estação por ano.....	44
<b>Tabela 14:</b> Concentração máxima horária de ozônio, por estação por ano .....	47
<b>Tabela 15:</b> Número de eventos de ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar para ozônio por estação .....	48
<b>Tabela 16:</b> Concentração média diária anual de $PI_{10'}$ por estação por ano .....	51
<b>Tabela 17:</b> Concentração máxima diárias de $PI_{10'}$ por estação e por ano.....	54
<b>Tabela 18:</b> Número de eventos de ultrapassagem do padrão da qualidade do ar para $PI_{10'}$ por estação por ano .....	55
<b>Tabela 19:</b> Concentração média diária anual de $SO_2$ , por estação por ano.....	63
<b>Tabela 20:</b> Concentração máxima diária anual de $SO_2$ , por estação por ano.....	65
<b>Tabela 21:</b> Número de eventos de ultrapassagens do Padrão Secundário de Qualidade do Ar para $SO_2$ , por estação por ano.....	66
<b>Tabela 22:</b> Concentração média horária anual de $NO_2$ por estação por ano .....	69
<b>Tabela 23:</b> Concentração máxima horária de $NO_2$ por estação por ano.....	71
<b>Tabela 24:</b> Número de eventos de ultrapassagens do Padrão Primário de Qualidade do Ar para $NO_2$ , por estação por ano.....	72
<b>Tabela 25:</b> Número de eventos de ultrapassagens do Padrão Secundário de Qualidade do Ar para $NO_2$ , por estação por ano.....	73
<b>Tabela 26:</b> Concentração média horária anual de CO por estação por ano .....	78
<b>Tabela 27:</b> Concentração máxima horária anual de CO por estação por ano .....	79
<b>Tabela 28:</b> Concentração máxima média móvel de oito horas de CO, por estação por ano .....	80
<b>Tabela 29:</b> Número de eventos de ultrapassagens dos padrões de Qualidade do Ar para as médias móveis de oito horas de CO, por estação por ano .....	81

# INTRODUÇÃO

Indústrias, casas e veículos automotores emitem misturas complexas de poluentes do ar, muitos dos quais são prejudiciais à saúde. Além disto, emissões oriundas de vulcões, queimadas e da própria decomposição dos materiais orgânicos no ambiente também contribuem para o aumento de poluentes no ar.

Segundo a Organização Mundial da Saúde, a poluição do ar é atualmente um dos principais problemas ambientais no mundo. Ela aumenta o risco de doenças respiratórias e doença cardíaca nas populações. Exposições a curto prazo, assim como as prolongadas, têm sido associadas aos impactos na saúde. Crianças, idosos e as classes mais pobres são mais suscetíveis. Estima-se que em torno de dois milhões de pessoas - mais da metade deles nos países em desenvolvimento - morrem anualmente devido à poluição do ar (WHO, 2005).

Em todo o mundo existem riscos para a saúde decorrentes da exposição aos poluentes do ar, tanto nas cidades de países desenvolvidos como em desenvolvimento. A poluição atmosférica não se limita às fronteiras tão bem determinadas como acontece com os cursos d'água. Vários estudos sugerem que a poluição atmosférica gerada em um dado local tem efeitos bem distantes de sua origem. Pesquisadores argumentam que as emissões das termelétricas chinesas poderiam contribuir no montante da poluição de Los Angeles. O alcance das emissões depende das características das fontes, orografia e aspectos meteorológicos locais e de escala regional.

Concentrações de poluentes atmosféricos devem ser mensurados pelo monitoramento nos locais que sejam representativos da exposição da população. Os níveis de poluição do ar podem ser mais altos nas proximidades de fontes específicas, tais como estradas, usinas de energia e grandes fontes estacionárias, e a proteção das populações que vivem em tais situações pode exigir medidas especiais para trazer os níveis de poluição para abaixo dos valores de referência.

Historicamente, são reconhecidos vários incidentes relacionados à poluição do ar, tais como o do vale de Meuse na Bélgica (1930), Donora na Pensilvânia (1948) e Londres (1952). Todos esses eventos com alto impacto na saúde humana, culminando na mortalidade e morbidade de milhares de pessoas.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) definiu as diretrizes de qualidade do ar que dizem respeito a quatro poluentes comuns: partículas inaláveis (PI), ozônio ( $O_3$ ), dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ) e dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) (WHO, 2005). Mais recentemente, em outubro de 2013, a OMS divulgou um estudo do Centro Internacional para Pesquisa do Câncer (Iarc), uma agência especializada da OMS, classificando a poluição do ar como cancerígena para os seres humanos. Segundo a Iarc, dados de 2010 indicam que cerca de duzentas e vinte e três mil mortes por câncer de pulmão foram causadas pela poluição do ar. Embora a composição da poluição e os níveis de exposição variem entre diferentes locais, a agência afirma que esta classificação se aplica a todas as regiões do mundo (Iarc, 2013). Portanto, a temática da qua-

lidade do ar é de interesse público, pois se relaciona diretamente ao bem-estar, à qualidade de vida da população e aos gastos públicos com saúde.

O presente trabalho aborda, inicialmente, características do Rio Grande do Sul tais como o contexto geográfico, densidade demográfica, regime climático, economia, distribuição das indústrias e seu potencial poluidor. Também é abordada a frota veicular, características e evolução, além de considerações sobre o inventário de fontes móveis.

As Resoluções do CONAMA nº 005/1989 e nº 003/1990, que explicitam os conceitos de poluente, de padrões de qualidade do ar (primário e secundário) e limites adotados para os poluentes clássicos são brevemente discutidas, assim como o Índice de Qualidade do Ar (IQAr).

Para melhor compreensão do monitoramento realizado, são apresentadas as características e peculiaridades de cada estação de monitoramento, na forma de histórico e metadados das mesmas.

## OBJETIVO GERAL

O objetivo deste relatório é disponibilizar à sociedade gaúcha e ao público em geral os dados gerais do monitoramento automático da qualidade do ar realizado pela FEPAM no período entre 2003 a 2012, incluindo o sistema de monitoramento utilizado, sua abrangência e a influência da meteorologia local na dispersão dos poluentes. Também são objetivos deste relatório fazer um diagnóstico da qualidade do ar no Estado do Rio Grande do Sul ao longo destes anos, tendo como base os principais parâmetros de controle definidos na resolução CONAMA nº 003/1990 e no Código Estadual do Meio Ambiente do Estado.

# DESCRIÇÃO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

## 3.1 Aspectos geográficos

---

Ocupando o extremo meridional do Brasil, o Estado do Rio Grande do Sul delimita-se com o Estado de Santa Catarina a N-NE, República Argentina a W-NW, República do Uruguai a S-SW e seu extremo oriental é banhado pelo Oceano Atlântico. Seus limites geográficos se estendem entre as longitudes  $57^{\circ}36'14''\text{W}$  -  $49^{\circ}42'00''\text{W}$  e as latitudes  $33^{\circ}45'37''\text{S}$  -  $27^{\circ}05'20''\text{S}$ . O Rio Grande do Sul apresenta uma área de 281.748,5 km<sup>2</sup>, que representa 3,3% do território brasileiro (Atlas Eólico: Rio Grande do Sul, 2002).

Na região norte do Estado situa-se o Planalto Meridional, formado por rochas basálticas decorrentes de um grande derrame de lavas ocorrido na era Mesozoica. Sua extremidade a oeste expressa o resultado do trabalho da erosão diferencial, sendo denominada de *Cuesta do Haedo*. A nordeste encontram-se as maiores altitudes do Planalto, chegando a alcançar 1.398 m no Monte Negro em São José dos Ausentes. Suas bordas correspondem à chamada Serra Geral. Ao centro do Estado está a Depressão Central que é formada de rochas sedimentares, dando origem a um extenso corredor que liga o oeste ao leste, através de terrenos de baixa altitude. Ao sul localiza-se o Escudo Sul-rio-grandense, com rochas ígneas do período Pré-Cambriano e, por isto mesmo, muito desgastadas pela erosão, com altitude não ultrapassando os 600 m. A Planície Costeira teve sua formação do período Quaternário da era Cenozoica, a mais recente da formação da terra. Corresponde a uma faixa arenosa de 622 km com grande ocorrência de lagoas e lagunas, entre as quais se destacam a Laguna dos Patos e Lagoa Mirim. O processo de formação desta região tem caráter evolutivo, estando em constante mutação, como decorrência da sedimentação marinha e flúvio-lacustre. A Figura 1 ilustra o mapa do macrozoneamento ambiental do Rio Grande do Sul.

A vegetação é diversificada com importantes áreas remanescentes da Mata Atlântica e a existência de campos que caracterizam a Campanha Gaúcha e as terras altas do Planalto Meridional. A hidrografia do Rio Grande do Sul pode ser classificada em três regiões: Região Hidrográfica da Bacia do Rio Uruguai, cujas águas drenam para o rio Uruguai, Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba, cujas águas drenam para o rio Guaíba e Região Hidrográfica das Bacias do Litoral, cujas águas drenam ou para a Laguna dos Patos e Lagoa Mirim ou direto para o Oceano Atlântico. Os principais rios do Estado são Uruguai, Ijuí, Jacuí, Guaíba, Caí, Taquari, Ibicuí, Pelotas, Camaquã e Sinos.

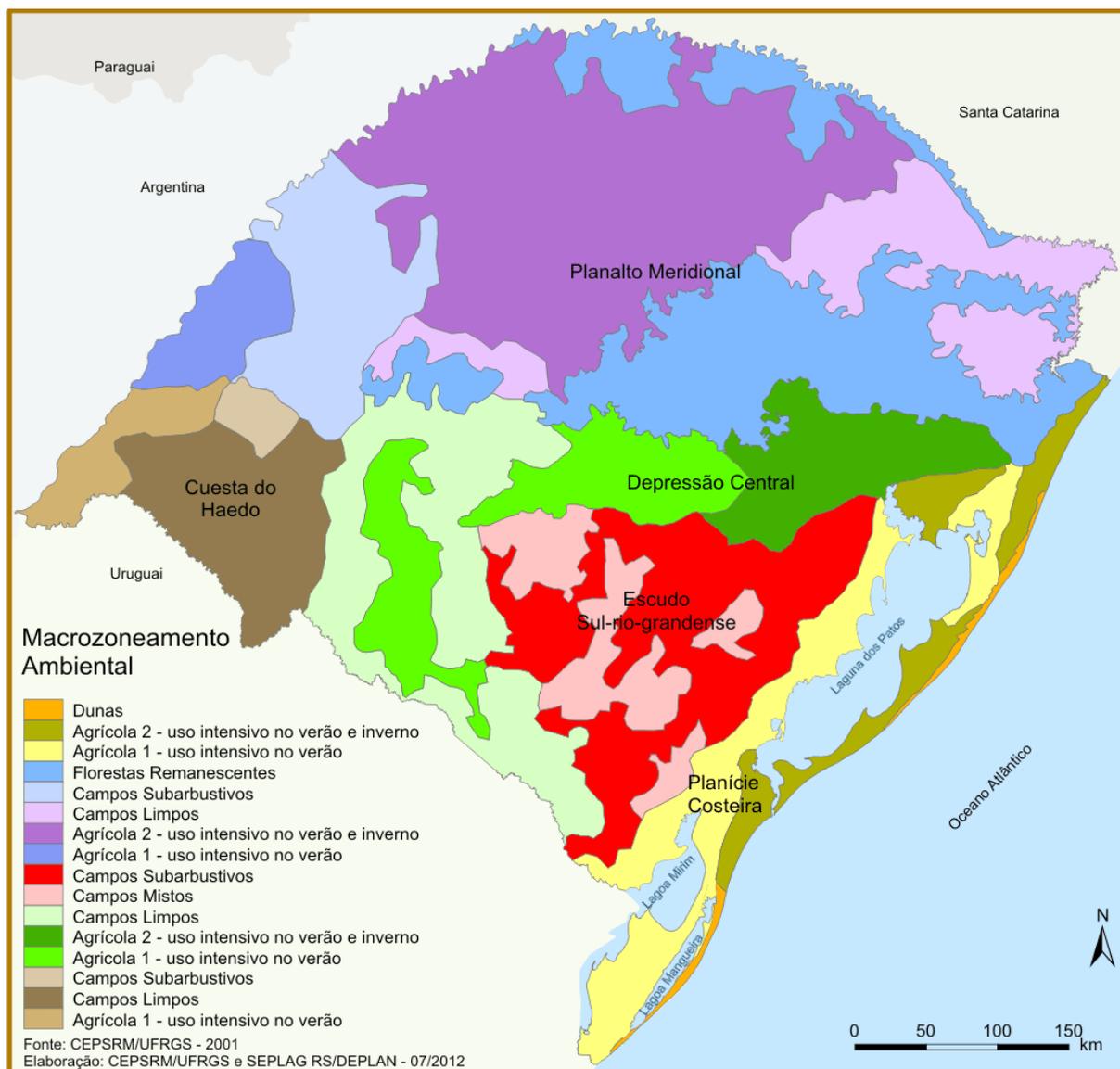


Figura 1: Mapa do Macrozoneamento Ambiental do Rio Grande do Sul.  
Fonte: Secretaria de Planejamento, Gestão e Participação Cidadã.

De acordo com dados de 2010 (FEE, 2011), o Rio Grande do Sul conta com uma população urbana e rural de 9.102.241 (85,1%) e 1.593.291 (14,1%) habitantes, respectivamente. Da população total do Estado, 36,5% estava, em 2010, concentrada em dez municípios. Porto Alegre era o maior deles, com população de 1.410,0 mil habitantes, resultado de um crescimento de apenas 3,6% (49,3 mil pessoas a mais) em relação a 2000. Dentre os dez, também Pelotas (1,4%) e Novo Hamburgo (1,2%) cresceram abaixo da média estadual, que foi de 5,0%. Em termos relativos, os que mais cresceram foram Gravataí (9,9%), São Leopoldo (10,7%) e principalmente Caxias do Sul (20,8%). A cidade da Serra chegou a 435,5 mil habitantes em 2010, um aumento de 75,1 mil habitantes em relação a 2000. Seu expressivo crescimento populacional está relacionado ao principal movimento de migração ocorrido entre 2000 e 2010 dentro do Rio Grande do Sul, com o forte deslocamento de pessoas da metade oeste em direção à metade leste do Estado, associado ao seu desempenho econômico que, ao longo do período, foi superior à média do Estado.

## 3.2 Aspectos climatológicos

O Rio Grande do Sul tem seu território totalmente incluído na Zona Subtropical do Sul, que é limitada pelos paralelos 25°00'S e 35°00'S (Strahler, 1977).

Segundo a classificação climática de Köppen, o Estado é caracterizado pelo tipo climático Cf (subtropical úmido), apresentando os subtipos Cfa e Cfb, de acordo com as variações térmicas (Tabela 1), devido a diferenças topográficas (Danni, 1987). O subtipo Cfa abrange maior extensão territorial, ocupando áreas com altitudes inferiores a 500 m.

**Tabela 1: Classificação climática de Köppen para o Rio Grande do Sul.**

Classificação Climática do Rio Grande do Sul	
C	Clima mesotérmico (subtropical e temperado), temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e superior a -3 °C, ao menos um mês com média superior a 10 °C.
f	Sempre úmido (mês menos chuvoso com precipitação superior a 60 mm).
a	Verões quentes (mês mais quente com média igual ou superior a 22 °C).
b	Verões brandos (mês mais quente com média inferior a 22 °C).

Fonte: Adaptado de Danni, 1987.

Geralmente, mais de 70 frentes frias por ano atingem o Rio Grande do Sul (CPTEC/INPE), variando de quatro a sete frentes por mês. A maior incidência encontra-se entre os meses de julho e novembro.

Dentre os sistemas sinóticos considerados, podemos citar os sistemas de bloqueio, que provocam uma paralisação no deslocamento dos sistemas sinóticos, proporcionando períodos de seca ou estiagem em algumas regiões, e inundações em outras. Portanto, os efeitos causados por estes sistemas dependem da sua posição relativa a estes bloqueios. Os 'veranicos' são causados por este tipo de sistema, com um máximo de ocorrência durante o outono (Krusche *et al.*, 2002).

Os anos de ocorrência do fenômeno El Niño - Oscilação Sul (ENOS) tendem a ser mais chuvosos no Rio Grande do Sul, principalmente na primavera (Rao e Hada, 1990). Já as geadas ocorrem mais durante os anos de predominância do fenômeno La Niña (Silveira *et al.*, 1999).

A ocorrência de ciclones extratropicais que se formam ou migram pelo litoral sul do Brasil e Uruguai afeta o campo do vento na região, sendo que a maior frequência e os fenômenos mais intensos ocorrem no inverno.

Durante o inverno as massas de ar polar encontram maior facilidade para migrarem sobre esta região, causando quedas de temperatura, geadas e até neve nos pontos mais elevados do Estado. Isto faz com que o campo da pressão apresente um acréscimo nestes meses

(Figura 2), enquanto que as temperaturas caem. Durante o verão as massas de ar tropicais influenciam mais, o que faz com que as temperaturas aumentem e o campo da pressão seja menor. Nas meias-estações encontramos uma mescla, em que ora uma, ora outra massa de ar predomina.

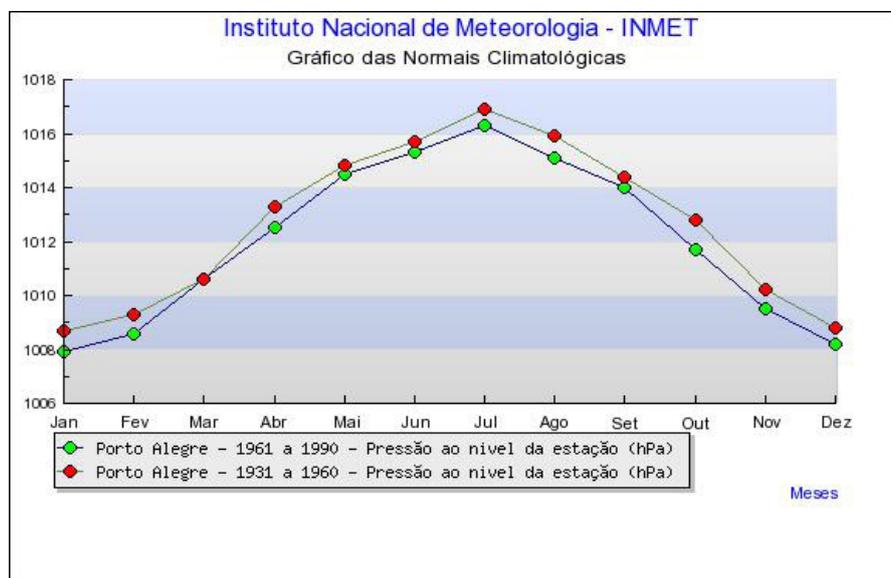


Figura 2: Comportamento anual da pressão atmosférica média mensal em Porto Alegre/RS.  
Fonte: INMET

A precipitação é relativamente bem distribuída o ano todo, apresentando os maiores valores entre junho e outubro (Figura 3). Esta característica se deve à maior influência da entrada de frentes frias durante o inverno e princípio da primavera, o que indica que a maior parte das precipitações no inverno estão associadas a sistemas frontais. Durante o verão, devido à maior influência das massas de ar tropicais, as precipitações estão mais associadas a fenômenos convectivos, devido ao aquecimento da superfície e também da umidade disponível nessas massas de ar. No outono ocorrem as menores precipitações, sinalizando a menor presença da massa de ar tropical e ainda à pouca atividade das frentes frias que conseguem chegar ao Estado. É bastante clara a alta variabilidade da precipitação ao longo do ano, conforme a Figura 3, que apresenta duas séries climatológicas (30 anos), de 1931-1960 e 1961-1990.

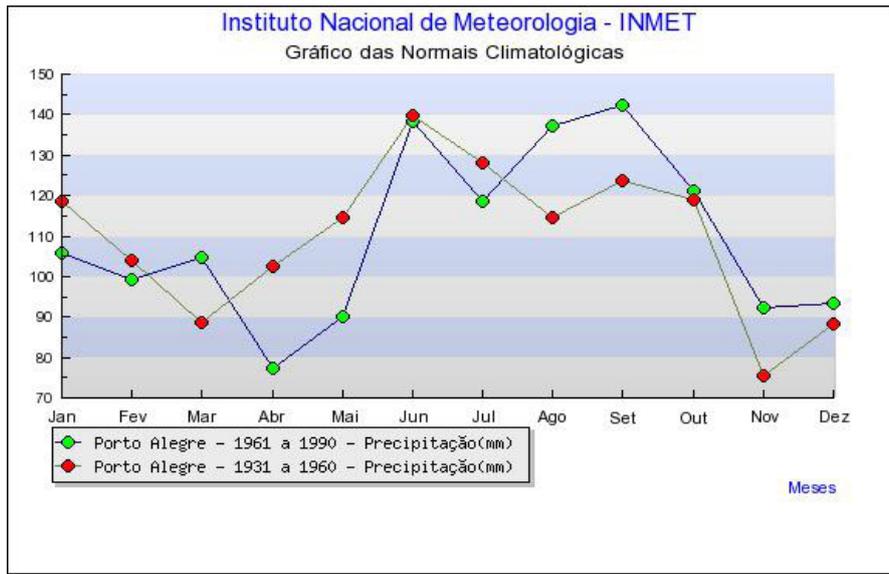


Figura 3: Comportamento anual da precipitação média mensal em Porto Alegre/RS.

Fonte: INMET.

A umidade relativa média mensal varia pouco durante o ano, apresentando valores maiores durante os meses de inverno, em torno de 83%, e valores menores durante o verão, em torno de 68% (Figura 4). Tendo em vista que a umidade relativa depende da temperatura, ela tem um comportamento bastante coerente com o da temperatura média.

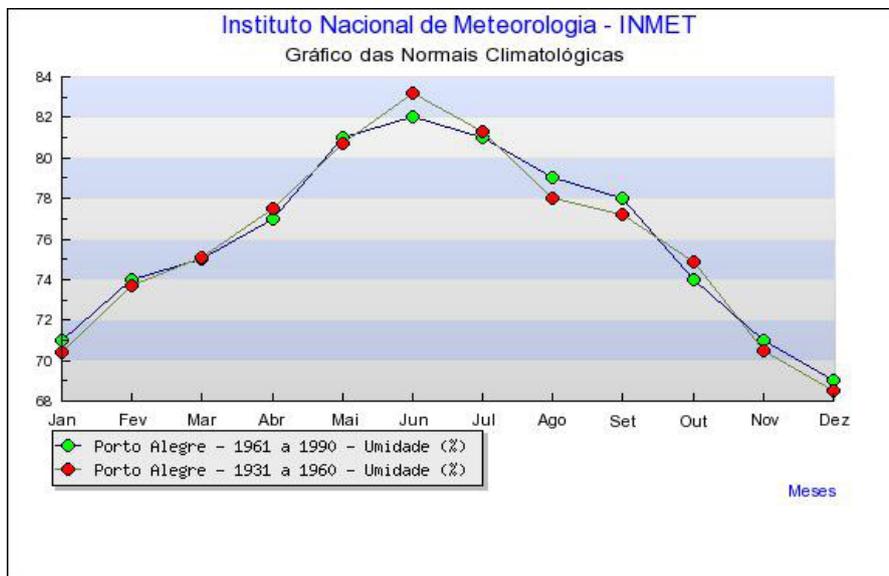


Figura 4: Comportamento anual da umidade relativa média mensal em Porto Alegre/RS.

Fonte: INMET.

As temperaturas média, máxima e mínima possuem comportamento similar, os valores mais baixos são encontrados nos meses de junho e julho, e os maiores valores nos meses de janeiro e fevereiro (Figuras 5, 6 e 7). As variáveis de temperatura definem mais claramente a maior influência das massas de ar polares durante o inverno e tropicais durante o verão. Fica

também bastante demarcada a regularidade destes fenômenos, haja vista a pouca variabilidade encontrada.

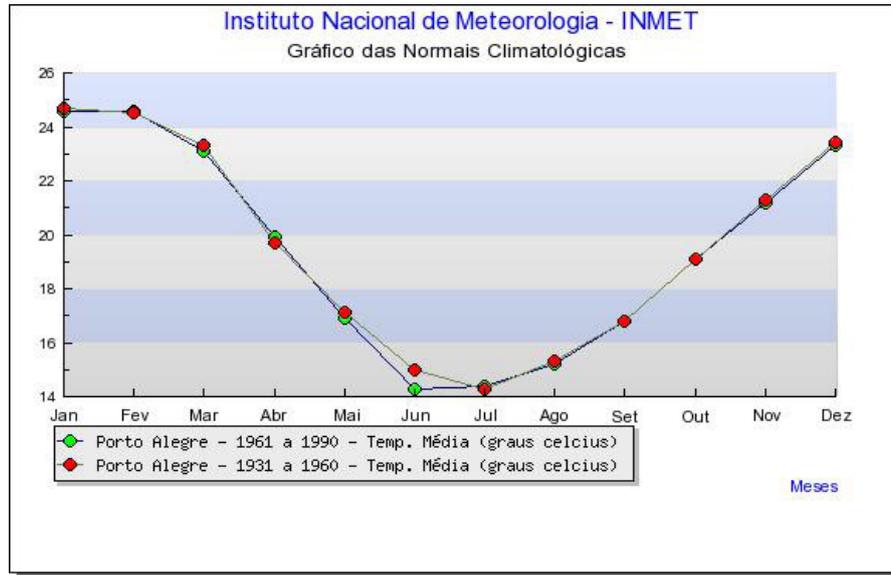


Figura 5: Comportamento anual da temperatura média mensal em Porto Alegre/RS.  
Fonte: INMET.

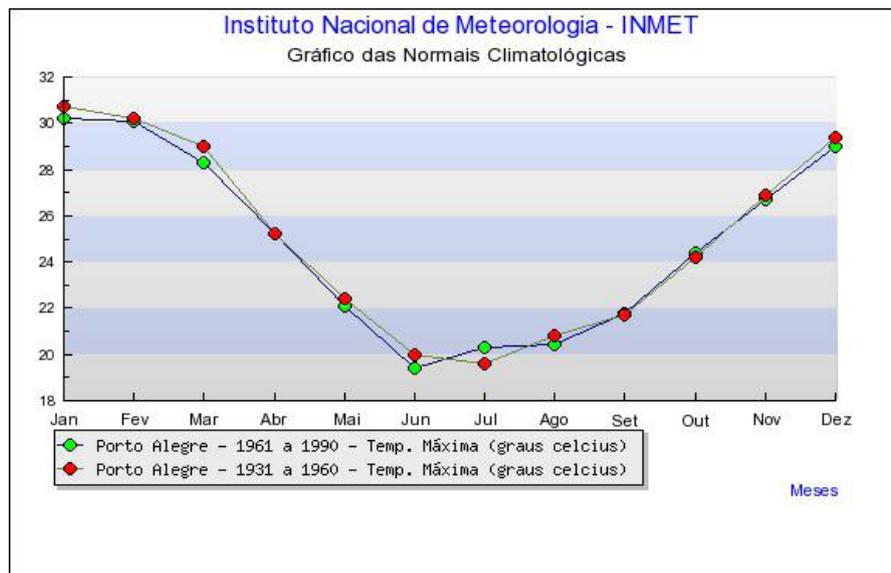


Figura 6 - Comportamento anual da temperatura máxima média mensal em Porto Alegre/RS.  
Fonte: INMET.

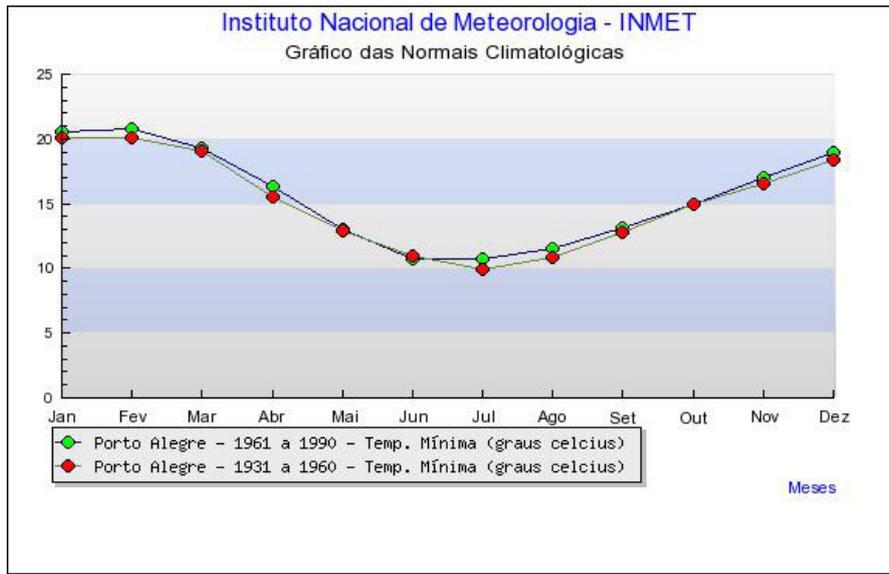


Figura 7: Comportamento anual da temperatura mínima média mensal em Porto Alegre/RS.  
Fonte: INMET.

### 3.3 Dispersão atmosférica

A concentração de poluentes atmosféricos primários depende principalmente dos seguintes aspectos: emissão, dispersão e deposição (seca e úmida). Sendo assim, as regiões mais expostas às altas concentrações de poluentes são a Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), região de Rio Grande e região de Caxias do Sul, pela industrialização e pela quantidade de veículos automotores. Em segundo plano encontram-se as regiões ligadas aos municípios populosos do interior do Estado (Santa Maria, Passo Fundo, etc.), devido principalmente à quantidade de veículos, e aos municípios com grandes empreendimentos potencialmente emissores de poluentes (Candiota, Triunfo, Charqueadas, Santa Cruz do Sul, etc).

Em geral, os sistemas de bloqueio atmosférico que impedem a propagação dos sistemas sinóticos podem acarretar períodos de baixa dispersão de poluentes, principalmente no inverno, pois os sistemas frontais são impedidos de chegar até as latitudes inferiores a 30-35°. Normalmente, nestes eventos, um centro de alta pressão coloca-se sobre ou próximo ao Rio Grande do Sul, impedindo a formação de nuvens e precipitação, com ocorrência de ventos fracos e inversão térmica próxima à superfície. Todos estes fatores agrupados contribuem, dia após dia, para que a concentração de poluentes atmosféricos vá aumentando em um processo acumulativo, podendo chegar a valores críticos.

Cada região possui uma característica de dispersão de poluentes que é determinado pelas condições geográficas (localização, relevo, continentalidade, uso do solo, etc.) e pela climatologia. Estas características conferem uma espécie de ‘assinatura’ de dispersão para cada local, e a análise da qualidade do ar deve levar em consideração estes fatores.

A RMPA situa-se a aproximadamente 90 km do Oceano Atlântico, a norte da Laguna dos Patos, ao sul da Serra do Mar e inserida em uma região chamada Depressão Central, mes-

clando as baixas altitudes com os morros situados nos setores sul e sudeste do município de Porto Alegre. Estes fatores induzem circulações atmosféricas de mesoescala e locais (brisa marítima/terrestre, lacustre/terrestre, vale/montanha, 'ilha de calor urbana', etc.). A circulação resultante faz com que o vento predominante seja de sudeste, secundada pelo vento de noroeste. Pode-se dizer que a RMPA possui boa dispersão de poluentes atmosféricos devido às circulações envolvidas.

A região de Caxias do Sul possui características bastante distintas, pois é uma região com relevo íngreme, associada a várias linhas de montanhas e vales, que induzem brisas de vale/montanha em microescala, podendo estas circulações facilitar ou dificultar a dispersão de poluentes. Por ser uma região de terreno complexo e com poucas estações meteorológicas, é necessário um estudo mais aprofundado, a fim de caracterizar os aspectos de dispersão de poluentes nesta região.

### 3.4 Economia do Estado

Em termos gerais, o Produto Interno Bruto (PIB) do Estado que em 2002 era de cerca de cento e cinco bilhões de reais, quase triplicou no ano de 2012 (FEE, 2012). É a quarta economia do Brasil pelo tamanho do PIB, participando com cerca de 6,7% do PIB nacional. A maior parte dos municípios que apresentaram maior PIB em 2010 são predominantemente industriais, com destaque para Porto Alegre, Canoas, Caxias do Sul, Rio Grande, Gravataí, Triunfo, Novo Hamburgo, Santa Cruz do Sul, Pelotas e Passo Fundo. Juntos, estes dez municípios respondem por 45,6% do PIB do Estado (Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, <http://www1.seplag.rs.gov.br>).

O valor adicional bruto (VAB) do Rio Grande do Sul em 2010 tem forte participação do setor de serviços, mas a agropecuária e a indústria de transformação começam a ter destaques nos últimos anos. A Figura 8 mostra o VAB destes setores.

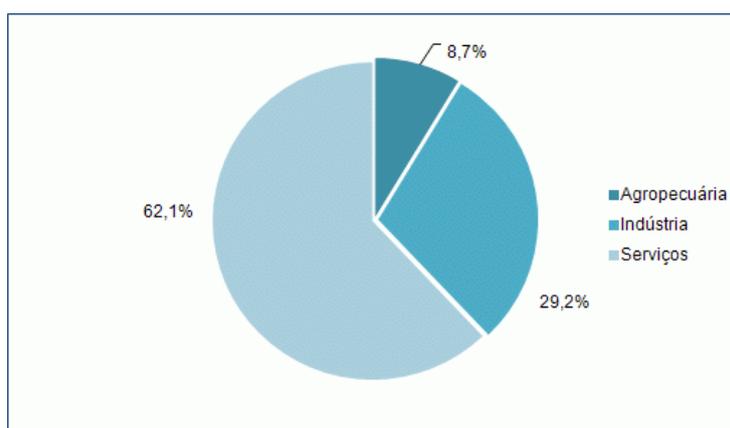


Figura 8: Estrutura do VAB do Rio Grande do Sul por setores de atividade 2010 (%).  
Fonte: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul

A indústria, responsável por 29,2% do VAB estadual, é bem diversificada e se desenvolveu a partir das agroindústrias e de outros segmentos ligados ao setor primário. Destacam-se as indústrias de transformação, alimentos, petroquímicas, máquinas, automobilísticas, implementos agrícolas, fertilizantes e de calçados. De forma geral, as indústrias de produtos alimentícios, química, metalurgia, vestuário, papel, têxtil, borracha, automotivo e petróleo ficam localizadas nos municípios da RMPA. Na região da Serra Gaúcha, principalmente em Caxias do Sul, ficam indústrias ligadas ao metal-mecânico e na região de Pelotas e Rio Grande, indústrias de construção naval e fertilizantes. Destaca-se, ainda, o Pólo Petroquímico em Triunfo, as indústrias do setor coureiro-calçadista do Vale dos Sinos, as termoelétricas em Charqueadas e Candiota e a indústria fumageira em Santa Cruz do Sul e Venâncio Aires.

Embora a agropecuária represente apenas 8,7% do VAB gaúcho, é por meio dela que derivam vários segmentos da indústria e dos serviços. O Rio Grande do Sul possui um dos maiores rebanhos bovinos do país, localizado na parte oeste e sul do Estado, cujo sistema ainda é de produção extensiva, tendo o campo nativo como base da alimentação dos animais. O Estado ainda é um dos maiores produtores de grãos, com destaque para a soja, arroz, milho e trigo.

A Fundação de Economia e Estatística do Estado do Rio Grande do Sul periodicamente publica estudos do potencial poluidor de cada município, baseada em indicadores das atividades industriais de transformação e extrativas. A metodologia classifica as atividades econômicas pelo seu potencial poluidor e pelas saídas contábeis fiscais dos municípios. Para qualificar a Classificação Nacional das Atividades Econômicas (CNAE) foi adotada a classificação de potencial poluidor utilizadas pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental no enquadramento dos empreendimentos para fins de licenciamento ambiental.

Os indicadores do potencial poluidor das atividades industriais no Rio Grande do Sul abrangem o Índice de Potencial Poluidor da Indústria (Inpp-I), o Índice de Dependência do Potencial Poluidor da Indústria (Indapp-I) e os percentuais do VAB industrial por nível de potencial poluidor (alto, médio e baixo).

Para a breve análise aqui apresentada, é possível observar que, em termos de distribuição interna entre atividades de alto, médio e baixo potencial poluidor, houve flutuações no período, porém, com uma tendência de aumento das atividades de alto potencial poluidor ao longo do tempo. Em 2002, o VAB da indústria gaúcha correspondente a atividades de alto potencial poluidor era de 68,1%, e em 2008 passaram a constituir 74,8% do VAB do Estado, caindo em 2009 para 73,2% (Tabela 2).

Quanto ao Índice de Potencial Poluidor da Indústria, Inpp-I, constata-se uma variação de 88,2870 em 2002, passando a 89,6970 em 2003 e chegando a 96,1575 em 2004. A partir daí houve um declínio deste índice, que se apresentou em 2005 com 91,0006 e em 2006 com 89,3198. Salienta-se que a queda do Inpp-I em 2005 e em 2006 se dá em função do decréscimo da produção da indústria de transformação e extrativa.

**Tabela 2: INPP-I, Indapp-I e VAB da Indústria, no Rio Grande do Sul (2002 a 2009).**

ANO	INPP-I	PARTICIPAÇÃO INPP-I DO ESTADO SOBRE ESTADO (%)	INDAPP-I	VAB DA INDÚSTRIA POR POTENCIAL POLUIDOR (%)		
				Alto	Médio	Baixo
2002	88,2870	-	0,8252	68,1	28,9	3,0
2003	89,6970	1,6	0,8379	70,3	27,0	2,7
2004	96,1575	8,9	0,8327	69,4	27,7	2,9
2005	91,0006	3,1	0,8391	71,0	25,8	3,2
2006	89,3198	1,2	0,8487	72,9	24,0	3,1
2007	94,6163	7,2	0,8522	73,4	23,7	2,9
2008	97,8580	10,8	0,8598	74,8	22,4	2,8
2009	87,7393	-0,6	0,8507	73,2	23,8	3,0

FONTE: FEE/CIE/NISA

Ao se examinar o Inpp-I entre 2002 e 2009 destacam-se os dez municípios que apresentaram maior volume de produção combinado com alto risco, considerados os mais críticos. Salieta-se o fato de permanecerem quase sempre os mesmos municípios nessa lista. Houve, entretanto, alterações de posição entre alguns municípios, para os oito anos examinados, conforme a Tabela 3 a seguir.

**Tabela 3: Lista dos dez municípios com maior Índice de Potencial Poluidor da Indústria (2002 a 2009).**

2002		2003		2004		2005	
MUNICÍPIO	INPP-I	MUNICÍPIO	INPP-I	MUNICÍPIO	INPP-I	MUNICÍPIO	INPP-I
Triunfo	8,7688	Triunfo	9,5467	Triunfo	11,0477	Triunfo	10,6772
Canoas	8,4319	Canoas	8,9323	Canoas	8,9352	Canoas	9,5154
Caxias do Sul	7,2334	Caxias do Sul	7,4251	Caxias do Sul	8,8860	Caxias do Sul	8,9559
Porto Alegre	5,9433	Porto Alegre	5,7574	Porto Alegre	5,6604	Porto Alegre	5,3994
Gravataí	4,3146	Rio Grande	4,5840	Gravataí	4,6584	Gravataí	4,8085
Rio Grande	3,6108	Gravataí	4,0385	Rio Grande	4,3649	Santa Cruz do Sul	2,4194
Novo Hamburgo	2,5922	Santa Cruz do Sul	2,3754	Santa Cruz do Sul	2,5796	Rio Grande	2,3785
Santa Cruz do Sul	2,3982	Novo Hamburgo	2,3163	Novo Hamburgo	2,2192	Novo Hamburgo	2,1122
Bento Gonçalves	1,8688	Bento Gonçalves	1,6965	Sapucaia do Sul	1,8783	Bento Gonçalves	1,8139
Sapucaia do Sul	1,6442	Sapucaia do Sul	1,6722	Bento Gonçalves	1,8021	Sapucaia do Sul	1,7884

2006		2007		2008		2009	
MUNICÍPIO	INPP-I	MUNICÍPIO	INPP-I	MUNICÍPIO	INPP-I	MUNICÍPIO	INPP-I
Triunfo	10,6146	Triunfo	10,3682	Canoas	14,1212	Canoas	13,1238
Canoas	9,1351	Canoas	10,2941	Triunfo	10,9299	Triunfo	8,5163
Caxias do Sul	8,8142	Caxias do Sul	9,5840	Caxias do Sul	10,2563	Caxias do Sul	8,5138
Porto Alegre	5,2053	Gravataí	6,5178	Gravataí	6,0898	Gravataí	5,8698
Gravataí	4,9627	Porto Alegre	5,2470	Porto Alegre	5,5671	Porto Alegre	4,6679
Rio Grande	3,0269	Rio Grande	4,0538	Rio Grande	4,8309	Rio Grande	3,7264
Santa Cruz do Sul	2,0663	Guaíba	2,0134	Santa Cruz do Sul	2,2341	Santa Cruz do Sul	2,6317
Novo Hamburgo	2,0108	Santa Cruz do Sul	1,9876	Guaíba	1,7994	Guaíba	1,9578
Guaíba	1,9133	Bento Gonçalves	1,9174	São Leopoldo	1,6669	Bento Gonçalves	1,5065
Bento Gonçalves	1,7845	Novo Hamburgo	1,8792	Novo Hamburgo	1,6580	São Leopoldo	1,3820

FONTE: FEE/CIE/NISA

Fonte: Adaptado de FEE.

Como se observa na Tabela 3, Triunfo estava no topo do *ranking* com Canoas e Caxias do Sul na seqüência, desde 2002 até 2007. Em 2008, Canoas passou a frente de Triunfo, mantendo essa posição em 2009, inclusive aumentando sua diferença em relação aos demais

municípios da lista. Porto Alegre ocupou a 4ª posição no *ranking* até 2006, mas a partir de 2007 essa posição passou a ser de Gravataí.

A Figura 9 ilustra a participação dos municípios gaúchos no Inpp-I para o ano de 2009. É observado que a concentração territorial do risco relativo ao potencial poluidor industrial ocorre principalmente em municípios da RMPA e em Caxias do Sul, correspondente às áreas mais densamente povoadas e industrializadas do Estado. Em segundo plano aparecem os municípios de Santa Cruz do Sul e Rio Grande.

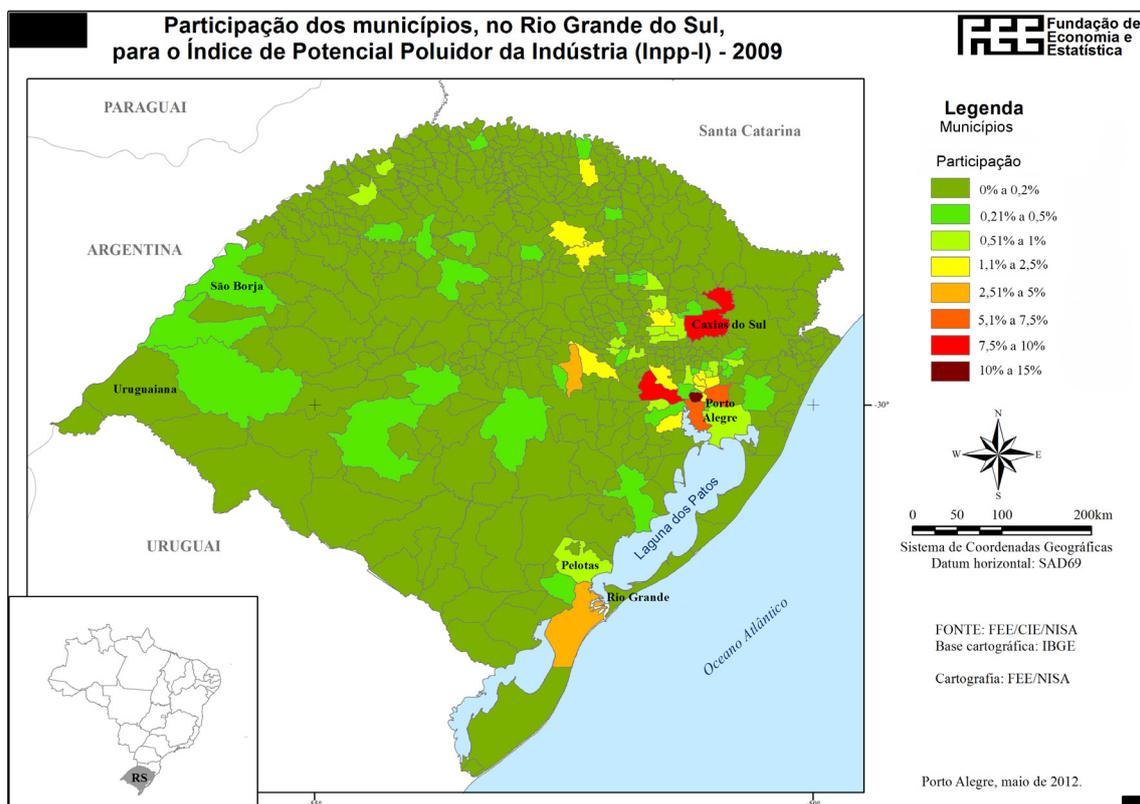


Figura 9: Índice de Potencial Poluidor da Indústria, por município.  
Fonte: FEE.

### 3.5 Dados da frota veicular gaúcha

Dados do DETRAN-RS indicam que, em geral, a frota tem crescido a uma média acima de 6,9% ao ano. A Tabela 4 contém o número de veículos por tipo no período de 2007 a 2014. Isto se reflete na frota como um todo e nos veículos à gasolina e à diesel, que juntos constituem quase 90% do montante total.

**Tabela 4: Evolução anual da frota veicular do RS por tipo.**

Tipo de Veículo	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Automóvel	2.409.653	2.559.453	2.726.795	2.898.284	3.086.934	3.305.134	3.522.607	3.538.553
Motocicleta, Motoneta e Ciclomotor	727.725	813.776	875.494	929.824	986.762	1.033.842	1.069.708	1.072.793
Caminhão	193.318	201.533	209.640	221.179	233.363	243.366	256.447	257.349
Reboque	129.984	138.889	147.151	157.643	169.490	181.801	196.601	197.781
Ônibus e Microônibus	39.996	40.419	42.164	44.521	47.641	50.219	52.923	53.107
Trator	3.400	3.858	4.300	5.113	5.869	6.498	6.880	6.893
Outros	1.972	4.496	4.557	4.709	4.946	5.226	5.473	5.492
Utilitário, Caminhoneta, Camioneta	349.167	376.126	407.545	448.341	496.926	550.216	611.255	616.160
<b>Total</b>	<b>3.855.215</b>	<b>4.138.550</b>	<b>4.417.646</b>	<b>4.709.614</b>	<b>5.031.931</b>	<b>5.376.302</b>	<b>5.721.904</b>	<b>5.748.128</b>

Fonte: DETRAN-RS.

Fica evidenciado que a principal categoria é constituída pelos automóveis e, portanto, são os maiores contribuintes da poluição veicular.

A Figura 10 ilustra a distribuição da frota veicular do Estado do Rio Grande do Sul por tipo de combustível, para o ano de 2009. É possível observar que a participação dos veículos *flex* (que podem utilizar álcool e gasolina) ainda era baixa, com pouco mais de 12% do total, valor que deve ter aumentado bastante até 2012, tendo em vista que nos últimos anos as principais montadoras de veículos do país passaram a fabricar automóveis quase que somente com o sistema *flex*. Mesmo assim, as contribuições de emissão por tipo de veículo não devem ter se modificado consideravelmente, pois a grande maioria dos proprietários de automóveis utiliza gasolina, devido aos preços do álcool hidratado no Estado, que desestimulam o seu uso.

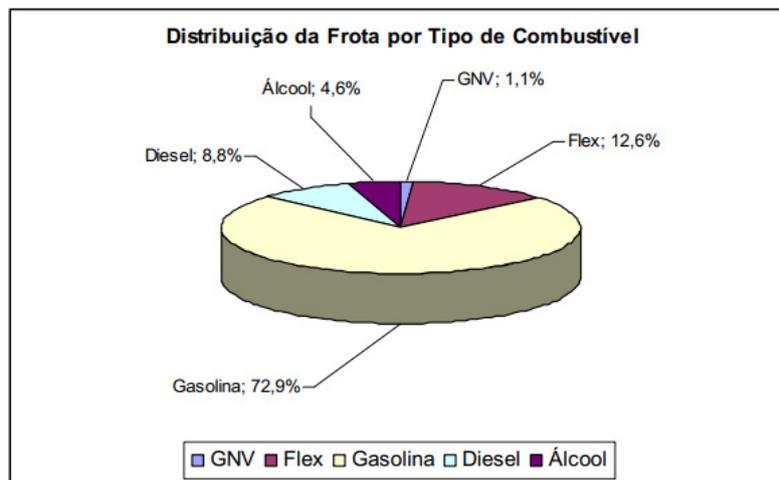


Figura 10: Distribuição da frota veicular do RS por tipo de combustível, para o ano de 2009.

Fonte: Primeiro Inventário de Emissões Atmosféricas das Fontes Móveis do Estado do Rio Grande do Sul – Ano Base 2009.

O 1º Inventário de Emissões Atmosféricas das Fontes Móveis do Estado do Rio Grande do Sul – Ano Base 2009 elaborou as estimativas de emissões de poluentes atmosféricos considerando as macrorregiões que foram idealizadas pelo Programa de Controle de Poluição Veicular – PCPV, conforme ilustrado na Figura 11.

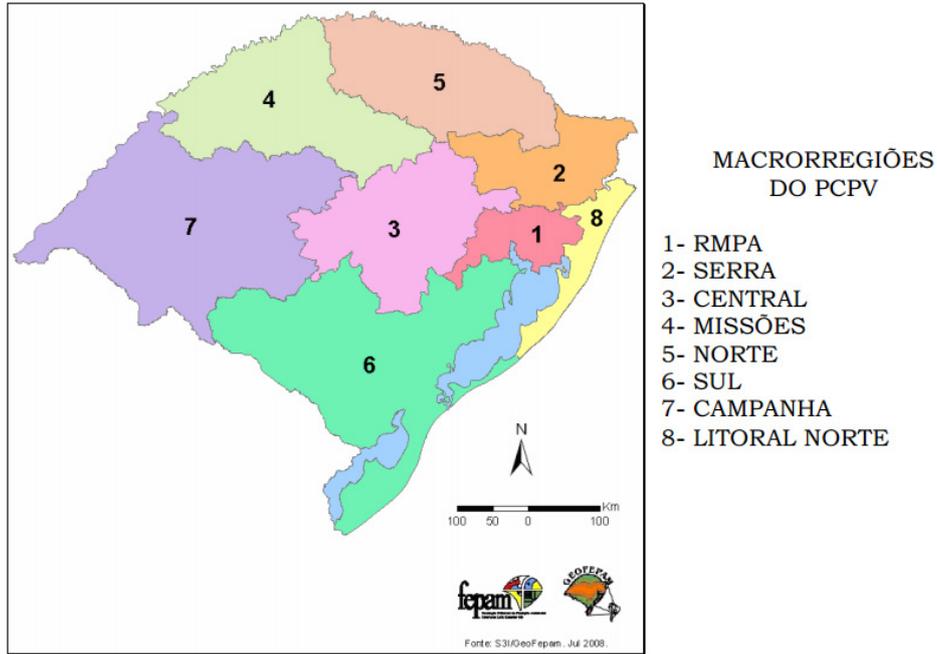


Figura 11: As Macrorregiões do Estado do RS.

Fonte: Primeiro Inventário de Emissões Atmosféricas das Fontes Móveis do Estado do Rio Grande do Sul – Ano Base 2009.

De acordo com o referido inventário, a RMPA é responsável por 40% das emissões veiculares do Estado, seguida pela Macrorregião da Serra, com 12% das emissões veiculares totais, conforme a Figura 12.

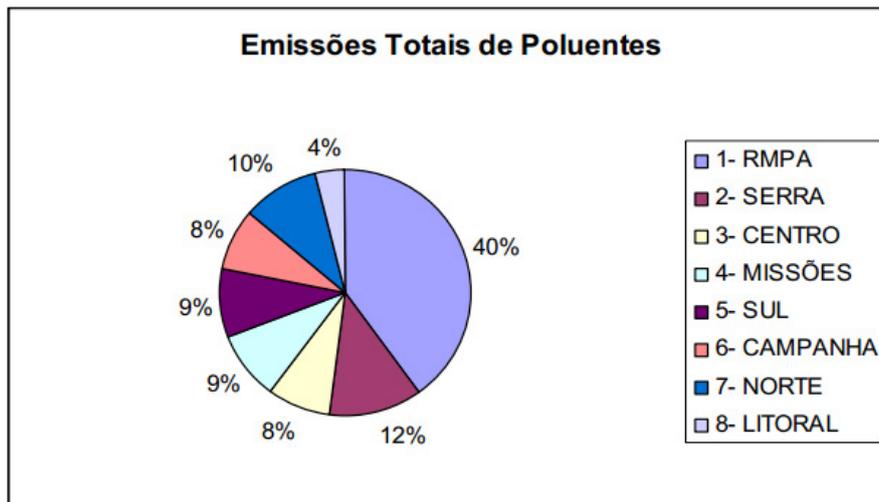


Figura 12: Contribuições das emissões veiculares totais, por Macrorregiões do Estado do RS.

Fonte: Primeiro Inventário de Emissões Atmosféricas das Fontes Móveis do Estado do Rio Grande do Sul – Ano Base 2009.

A Tabela 5 contém os valores estimados para a emissão de poluentes atmosféricos por fontes móveis, por tipo de combustível e por tipo de poluente. É possível observar que os veículos à gasolina são os maiores responsáveis pelas emissões de monóxido de carbono (CO) e hidrocarboneto (HC), enquanto que os veículos diesel são os principais responsáveis

pelas emissões de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e partículas inaláveis (PI), pois apesar da frota de veículos diesel ser inferior a 10% do total da frota do Estado, estes contribuem com mais de 30% das emissões totais de PI. Os aldeídos (RCHO) são emitidos por veículos à gasolina devido à mistura de álcool anidro a este combustível na proporção de 24%.

**Tabela 5: Estimativa das emissões atmosféricas por fontes móveis no RS (2009).**

EMISSIONES ESTADO (1000ton/ano)					
	NO <sub>x</sub>	CO	HC	RCHO	MP
GASOLINA	14,80	283,81	19,11	0,21	1,62
GASOLINA (motos)*	5,15	86,47	10,40	0,40	*
ÁLCOOL	7,59	54,03	2,03	*	*
DIESEL	36,84	6,52	2,09		0,78
TOTAL	64,38	430,83	33,63	0,61	2,40

\* Motos são consideradas em separado devido ao seu perfil diferenciado de autonomia e consumo de combustível, e maior contribuição na emissão de poluentes atmosféricos.

Fonte: 1º Inventário de Emissões Atmosféricas das Fontes Móveis do Estado do Rio Grande do Sul – Ano Base 2009.

Sabe-se que, de forma geral, o desgaste dos pneus contribui para as emissões de PI tanto quanto a queima de combustíveis, mas este não está sendo considerado na tabela acima e nem fez parte do relatório de fontes móveis consultado.

## PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

A resolução CONAMA nº 005/1989 estabelece os seguintes conceitos associados à qualidade do ar:

Padrão de qualidade do ar: são as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora, à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Poluente atmosférico: qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

I. Impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II. Inconveniente ao bem-estar público;

III. Danoso aos materiais, à fauna e flora;

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

Já a resolução CONAMA nº 003/1990 apresenta outros importantes conceitos tais como os de padrão primário e secundário, episódios críticos e níveis de atenção, alerta e emergência, conforme apresentado a seguir:

a) padrões primários de qualidade do ar: são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população;

b) padrões secundários de qualidade do ar: concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Os padrões de qualidade do ar estabelecido para o território nacional, segundo a resolução CONAMA nº 003/1990, são mostrados na Tabela 6.

**Tabela 6: Padrões de qualidade do ar (resolução CONAMA nº 003/1990)**

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PADRÃO SECUNDÁRIO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Partículas totais em suspensão	24 h <sup>1</sup>	240	150
	Média geométrica anual	80	60
Partículas inaláveis	24 h <sup>1</sup>	150	150
	Média aritmética anual	50	50
Fumaça	24 h <sup>1</sup>	150	100
	Média aritmética anual	60	40
Dióxido de enxofre	24 h <sup>1</sup>	365	100
	Média aritmética anual	80	40
Dióxido de nitrogênio	1 h	320	190
	Média aritmética anual	100	100
Monóxido de carbono	1 h <sup>1</sup>	35 ppm	35 ppm
	8 h <sup>1</sup>	9 ppm	9 ppm
Ozônio	1 h <sup>1</sup>	160	160

Não deve ser ultrapassado mais de uma vez ao ano.  
 Fonte: Adaptado da resolução CONAMA nº 003/1990.

Os artigos 145 a 153 do capítulo III do Código Estadual do Meio Ambiente (RS - Lei nº 11520 de 03/08/2000) tratam “Da Utilização e Conservação do Ar”. Fica explícito no artigo 153:

“As fontes emissoras de poluentes atmosféricos, em seu conjunto, localizadas em área de Distrito Industrial, classificada como Classe III, deverão lançar seus poluentes em quantidades e condições tais que:

I - não ocasionem concentrações, ao nível do solo, superiores aos padrões primários de qualidade do ar, dentro dos limites geográficos do Distrito Industrial;

II - não ocasionem concentrações, ao nível do solo, superiores aos padrões secundários de qualidade do ar, fora dos limites geográficos do Distrito Industrial.

Assim, nas áreas classe I e II bem como nas áreas classe III, fora dos limites industriais, devem ser atendidos os padrões secundários de emissão.”

c) Episódios críticos de poluição do ar: ocorrência de altas concentrações de poluentes em curto período de tempo resultante de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão.

d) Níveis de atenção, alerta e emergência: níveis de concentração elevados, crescentes nesta mesma ordem, dos poluentes abordados nesta resolução. Estes níveis são estabelecidos quando se prevê a manutenção das emissões bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão nas 24 horas subseqüentes às ocorrências constatadas. A Tabela 7

apresenta os limites de concentração para cada poluente para classificar os eventos críticos de poluição.

**Tabela 7: Níveis de poluição do ar para episódios críticos (resolução CONAMA nº 003/1990)**

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	ATENÇÃO (mg/m <sup>3</sup> )	ALERTA (mg/m <sup>3</sup> )	EMERGÊNCIA (mg/m <sup>3</sup> )
Partículas totais em suspensão	24 h	375	625	875
Partículas inaláveis	24 h	250	420	500
Fumaça	24 h	250	420	500
Dióxido de enxofre	24 h	800	1600	2100
Dióxido de nitrogênio	1 h	1130	2260	3000
SO <sub>2</sub> x PTS (µg/m <sup>3</sup> x µg/m <sup>3</sup> )	24 h	65000	261000	393000
Monóxido de carbono	8 h	15 ppm	30 ppm	40 ppm
Ozônio	1 h	400	800	1000

Fonte: Adaptado da resolução CONAMA nº 003/1990.

A resolução CONAMA nº 003/1990 também define que os equipamentos de medição das estações devem operar de acordo com a metodologia descrita na Tabela 8. Entretanto, a metodologia utilizada na determinação de alguns destes poluentes nos amostradores automáticos da Rede Ar do Sul que compõe este relatório contemplam técnicas mais avançadas, avaliadas como equivalentes e aprovadas pelo órgão ambiental, conforme consta na Tabela 8.

**Tabela 8: Princípios de medição específicos para cada poluente.**

POLUENTE	MÉTODO DE MEDIÇÃO	
	CONAMA nº 003/1990	Rede Ar do Sul
Partículas Inaláveis - PI <sub>10</sub>	Separação inercial/filtração ou equivalente	Radiação Beta
Dióxido de Enxofre – SO <sub>2</sub>	Pararonsilina ou equivalente	Fluorescência Ultravioleta
Monóxido de Carbono - CO	Infravermelho não-dispersivo ou equivalente	Infravermelho não-dispersivo
Óxidos de Nitrogênio - NOx	Quimioluminescência ou equivalente	Quimiluminescência
Ozônio – O <sub>3</sub>	Quimioluminescência ou equivalente	Fotometria Ultravioleta

Fonte: Elaborado pelo autor.

# POLUENTES E A QUALIDADE DO AR

## 5.1 Poluentes: efeitos na saúde e fontes usuais

---

### 5.1.1 Monóxido de carbono (CO)

O monóxido de carbono é um gás incolor e inodoro resultante de processos que envolvem a combustão incompleta. Em áreas urbanas, os veículos automotores são as principais fontes de emissão de CO, apresentando altas concentrações em situações de tráfego intenso e congestionado.

O CO entra na corrente sanguínea através dos pulmões e liga-se quimicamente à hemoglobina, a substância sanguínea que leva oxigênio para as células, gerando a carboxihemoglobina, o que reduz a quantidade de oxigênio que chega aos órgãos e tecidos do corpo.

Pessoas com doenças cardiovasculares correm maior risco quando expostas ao CO. Em indivíduos saudáveis, a exposição a altas concentrações de CO pode afetar principalmente o nível de consciência e a visão.

### 5.1.2 Óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>)

Óxidos de nitrogênio é a denominação genérica de uma família de compostos, entre os quais se destacam o óxido nítrico (NO), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e o dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>). Este último é regulamentado pela legislação brasileira (resolução CONAMA nº 003/1990) não só por sua toxicidade peculiar, mas também, por ser esta a forma mais abundante encontrada na atmosfera, decorrente de ações antropogênicas. As principais fontes de NO<sub>x</sub>, envolvendo processos de combustão, são os veículos automotores, usinas termelétricas e outras fontes industriais, comerciais e residenciais. Fontes naturais como processos biológicos no solo e relâmpagos também podem gerar NO<sub>x</sub>.

A esta família de compostos é atribuída uma ampla variedade de impactos na saúde e no ambiente:

- a) são precursores na formação de ozônio. Crianças, pessoas com doenças pulmonares e pessoas que executam atividades externas são suscetíveis a efeitos adversos, tais como dano no tecido pulmonar e redução de sua função;
- b) penetra no sistema respiratório, podendo dar origem às nitrosaminas, algumas das quais podem ser carcinogênicas;
- c) contribuem para a formação de chuva ácida;
- d) contribuem com a sobrecarga de nutrientes (eutrofização), deteriorando a qualidade das águas;
- e) partículas de nitrato e  $\text{NO}_2$  bloqueiam a transmissão da luz, reduzindo a visibilidade em áreas urbanas e em parques;
- f) no ar, reagem com compostos orgânicos ou mesmo ozônio, formando uma ampla variedade de produtos tóxicos, alguns dos quais podem causar mutações biológicas.

### 5.1.3 Partículas inaláveis ( $\text{PI}_{10}$ )

São partículas sólidas ou líquidas, suspensas no ar, com diâmetro aerodinâmico inferior ou igual a 10  $\mu\text{m}$ . As partículas inaláveis podem atingir as vias respiratórias, transportando os gases adsorvidos em sua superfície até o pulmão, prejudicando as trocas gasosas. As fontes antropogênicas de material particulado abrangem processos de combustão (indústrias e veículos automotores), processos industriais, queimadas, poeira de rua, etc. As fontes naturais de material particulado são o pólen, aerossol marinho, partículas do solo em suspensão, cinzas vulcânicas e queimadas geradas por raios.

### 5.1.4 Dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ )

O  $\text{SO}_2$  é um gás incolor que se dissolve prontamente na água presente na atmosfera para formar ácidos sulfurosos, sendo um dos responsáveis pela chuva ácida. Grande parte do  $\text{SO}_2$  na atmosfera é convertida a sulfato (aerossol ácido), o qual é removido através de processos de deposição seca ou úmida.

Dióxido de enxofre e/ou aerossóis contendo sulfatos, em altas concentrações, causam dificuldades respiratórias temporárias. Exposições mais prolongadas causam doenças respiratórias e agravam doenças pré-existentes do coração.

O  $\text{SO}_2$  também pode reagir com outros compostos químicos presentes no ar para formar aerossóis de sulfato, os quais constituem as partículas finas que causam a redução da visibilidade na atmosfera. Quando estas são respiradas acumulam-se nos pulmões, sendo

associadas ao aumento de sintomas respiratórios e doenças que dificultam a respiração e causam morte prematura.

A queima de combustíveis fósseis, principalmente pelos setores industrial, de geração de energia (termoelétrica) e de transporte são as principais fontes antropogênicas. Entre as fontes naturais se destacam os vulcões e os aerossóis marinhos.

### 5.1.5 Ozônio ( $O_3$ )

Comparado aos poluentes anteriormente discutidos, este é o mais complexo e difícil de controlar. O  $O_3$  não é emitido diretamente, mas forma-se na baixa atmosfera através de reações fotoquímicas (catalisadas pelos raios ultravioletas do sol) entre oxigênio, óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e compostos orgânicos voláteis (COVs). Os picos de ozônio tipicamente ocorrem em períodos de calor, elevada radiação solar e tempo seco.

O  $O_3$  é um oxidante muito forte, citotóxico (tóxico às células) e que, mesmo em baixas concentrações, pode atingir o pulmão, irritar os olhos, nariz e garganta, causar envelhecimento precoce da pele, náusea, dor de cabeça, tosse, diminuição da resistência orgânica, infecções e agravamento de doenças respiratórias. Além disso, o  $O_3$  também afeta os demais ecossistemas, prejudica as plantas e tem ação corrosiva sobre os materiais. Também é o principal constituinte do *smog* fotoquímico causando problemas de visibilidade.

As fontes de COVs são numerosas e difusas, mas decorrem principalmente de processos e operações envolvendo o petróleo e seus derivados. As fontes de  $NO_x$  já foram mencionadas anteriormente. Os  $NO_x$ , COVs e mesmo  $O_3$  podem ser transportados por centenas de quilômetros, impactando regiões bem distantes de suas origens.

## 5.2 Índice de qualidade do ar

---

O índice de qualidade do ar (IQAr) é uma ferramenta matemática utilizada para qualificar o ar, sendo dividida na FEPAM nas seguintes categorias: “Boa”, “Regular”, “Inadequada”, “Má”, “Péssima” e “Crítica”. Para facilitar a divulgação ao público adotou-se para a qualidade do ar, na mesma ordem mencionada anteriormente, uma escala de cores correspondente: verde, amarelo laranja, vermelho, roxo e preto. A significância da qualidade do ar para saúde é apresentada na Tabela 9.

**Tabela 9: Relação entre o índice de qualidade do ar e os efeitos sobre a saúde.**

QUALIDADE	ÍNDICE	EFEITOS PRINCIPAIS NA SAÚDE
Boa	0-50	Efeitos desprezíveis
Regular	51-100	Pessoas com doenças respiratórias e/ou cardíacas podem apresentar sintomas como dor no peito, tosse seca e cansaço
Inadequada	101-199	Pessoas com doenças respiratórias ou cardíacas, idosos e crianças têm os sintomas agravados. População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, dor no peito, nariz e garganta, tosse seca e cansaço
Má	200-299	Aumento dos sintomas respiratórios em crianças e pessoas com doenças pulmonares, como asma. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral
Péssima	300-399	Agravamento significativo dos sintomas cardiovasculares e respiratórios, como tosse, cansaço, falta de ar e respiração ofegante na população em geral. Risco de mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias e cardiovasculares. Risco de agravos à gestação
Crítica	400 ou maior	Sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas com doenças cardiovasculares e respiratórias

Fonte: FEPAM.

A rede de monitoramento automático da FEPAM contempla a medida dos principais poluentes constantes na resolução do CONAMA nº 003/1990: partículas inaláveis inferiores a 10 micra ( $PI_{10}$ ), dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ) e ozônio ( $O_3$ ). A fumaça e partículas totais em suspensão também são poluentes listados na mesma resolução, mas não são parâmetros medidos pela rede automática da FEPAM. A rede manual da FEPAM, não abordada no presente relatório, conta com alguns analisadores de partículas totais em suspensão.

Cada concentração de poluente medido corresponde a um índice de qualidade do ar, sendo que o valor mais elevado prevalece sobre os demais para classificação do ar e identificação do poluente mais crítico. Assim, cada faixa de índice corresponde a uma faixa de concentração que varia de um poluente para outro. A Tabela 10 apresenta as faixas de equivalências de concentrações e índices de qualidade respectivos para os poluentes monitorados pela rede automática.

**Tabela 10: Índices de qualidade e faixas de concentração correspondente por poluente.**

Qualidade	Índice	PI10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	S02 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NO2 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	CO (ppm)	O3 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
 <b>Boa</b>	0-50	0-50	0-80	0-100	0-4,5	0-80
 <b>Regular</b>	51-100	51-150	81-365	101-320	4,6-9,0	81-160
 <b>Inadequada</b>	101-199	151-249	366-799	321-1129	9,1-14,9	161-399
 <b>Má</b>	200-299	250-419	800-1599	1130-2259	15,0-29,9	400-799
 <b>Péssima</b>	300-399	420-499	1600-2099	2260-2999	30,0-39,9	800-999
 <b>Crítica</b>	400 ou maior	$\geq 500$	$\geq 2100$	$\geq 3000$	$\geq 40$	$\geq 1000$

As classificações “boa” e “regular” atendem aos padrões de qualidade do ar  
 Fonte: FEPAM.

# REDE DE MONITORAMENTO AUTOMÁTICO

## 6.1 Histórico

---

A rede de monitoramento automático da qualidade do ar SEMA/FEPAM, denominada Rede Ar do Sul, foi adquirida via projeto Pró-Guaíba em 1997, tendo iniciado oficialmente sua operação em dezembro de 2001 com sete estações de monitoramento fixas e uma móvel. Algumas das estações de monitoramento contemplam, além dos analisadores automáticos contínuos, sensores meteorológicos de superfície, contando com sensores de velocidade e direção do vento, temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, radiação solar global e ultravioleta-A.

Uma central de aquisição, processamento e fornecimento dos dados localizada na sede da FEPAM recebe as informações das estações e gerencia toda a Rede, elaborando relatórios periódicos da qualidade do ar que são disponibilizados, diariamente, na sua página da Internet. Na Tabela 11 estão listados os municípios de localização das estações, a nomenclatura da estação, os pontos georreferenciados de localização, os parâmetros monitorados e sensores meteorológicos.

Ressalta-se que as estações da Rede Ar do Sul oriundas do projeto Pró-Guaíba, no decorrer dos anos, vem enfrentando problemas de funcionamento em decorrência da falta de aporte de recursos necessários para sua efetiva operação (manutenção, instrumentação, peças de reposição, gases de calibração, etc.). Desta forma, os dados gerados pela rede ao longo dos anos foram diminuindo, sendo que, em dezembro de 2010, quase todos os equipamentos destas estações ficaram inoperantes.

Contudo, novas estações de monitoramento automáticas da qualidade do ar de propriedade de grandes empresas foram sendo incorporadas à Rede Ar do Sul, por força de condicionantes em seus licenciamentos ambientais. Com isso, pode-se manter o monitoramento, mas a continuidade dos dados gerados em cada local ficou prejudicada, o que irá se refletir na análise dos dados proposto neste relatório, conforme será discutido posteriormente.

**Tabela 11: Parâmetros e localização das estações da rede automática de monitoramento da qualidade do ar.**

Município	Estação	Coord. (UTM)	Parâmetros monitorados	
			Poluentes	Meteorológicos
Porto Alegre	Rodoviária/Centro	478827 6678554	PI <sub>10'</sub> , SO <sub>2'</sub> , CO, O <sub>3'</sub> , NO <sub>x</sub>	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV
	Bombeiros/Santa Cecília	480422 6676697	PI <sub>10'</sub> , SO <sub>2'</sub> , CO, O <sub>3'</sub> , NO <sub>x</sub>	---
	ESEF/Jardim Botânico	482509 6675821	PI <sub>10'</sub> , SO <sub>2'</sub> , CO, O <sub>3'</sub> , NO <sub>x</sub>	---
Canoas	V COMAR	482455 6688924	PI <sub>10'</sub> , SO <sub>2'</sub> , O <sub>3</sub>	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV
	Parque Universitário <sup>1</sup>	486058 6694064	PI <sub>10'</sub> , SO <sub>2'</sub> , CO, O <sub>3'</sub> , NO <sub>x</sub>	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV
Sapucaia do Sul	SESI	484616 6701358	PI <sub>10'</sub> , SO <sub>2'</sub> , CO, O <sub>3'</sub> , NO <sub>x</sub>	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV
Triunfo	Pólo Petroquímico	459947 6701010	PI <sub>10'</sub> , SO <sub>2'</sub> , CO, O <sub>3'</sub> , NO <sub>x</sub>	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV
	DEPREC <sup>2</sup>	433124 6687563	SO <sub>2'</sub> , NO <sub>x</sub>	---
Caxias do Sul	SENAI	481255 6775703	PI <sub>10'</sub> , O <sub>3'</sub> , SO <sub>2</sub>	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV
Esteio	Vila Ezequiel <sup>1</sup>	482740 6696808	PI <sub>10'</sub> , SO <sub>2'</sub> , CO, O <sub>3'</sub> , NO <sub>x</sub>	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV
Gravataí	Jardim Timbaúva <sup>3</sup>	501200 6689656	PI <sub>10'</sub> , SO <sub>2'</sub> , CO, O <sub>3'</sub> , NO <sub>x</sub>	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV
Charqueadas	Arranca Toco <sup>2</sup>	439121 6686119	PI <sub>10'</sub> , SO <sub>2'</sub> , CO, O <sub>3'</sub> , NO <sub>x</sub>	---
Rio Grande	Móvel <sup>4</sup>	397042 6453736	PI <sub>10'</sub> , SO <sub>2'</sub> , CO, O <sub>3'</sub> , NO <sub>x</sub>	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV
Santa Maria	Móvel <sup>5</sup>	227253 6711425	PI <sub>10'</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub>	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV

1 - Estações de propriedade, mantidas e operadas pela Refinaria Alberto Pasqualini (REFAP);

2 - Estações de propriedade, mantidas e operadas pela Tractebel Energia;

3 - Estação doada pela General Motors do Brasil (GM) à FEPAM, sendo mantida pela GM e operada pela FEPAM;

4 - No período de Jan/03 a Dez/03;

5 - No período de Jan/04 a Dez/06.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

## 6.2 Estações de monitoramento da Rede Ar do Sul

---

Cada estação de monitoramento tem a capacidade de medir as concentrações dos poluentes atmosféricos e dados meteorológicos (as que possuem sensores meteorológicos) para a caracterização da qualidade do ar e meteorológica de seu entorno. As características do entorno de cada estação definem a região ou área de sua representatividade, relacionadas com as principais fontes de emissão envolvidas.

Os pontos de monitoramento onde estão localizadas as estações da rede automática podem ser agrupados segundo a influência do tipo de fonte predominante: veicular ou industrial. Não significa que a influência é exclusiva de uma ou de outra origem, o objetivo é apenas destacar a contribuição de poluição dominante.

As estações Charqueadas/AT e Triunfo/DEPREC não possuem série de dados suficiente para suas caracterizações, mas pelas características de seu entorno pode-se inferir que possuem pequena influência veicular e maior influência industrial.

A estação móvel esteve instalada em dois locais diferentes: o primeiro (Rio Grande) apresentou influência industrial predominante do setor de fertilizantes e alguma importância também do setor petroquímico (refinaria); e no segundo (Santa Maria), a influência é marcadamente veicular.

Em ordem decrescente de influência veicular, as estações fixas podem ser assim listadas: POA/Rodoviária, POA/Bombeiros, Esteio/VE, Canoas/V COMAR, Sapucaia/SESI, POA/ESEF, Canoas/PU e Caxias/SENAI. As estações Triunfo/Pólo e Gravataí/JT praticamente não apresentam influência veicular.

No que tange à contribuição de poluição de origem industrial se destacam, por ordem de influência, as estações fixas: Esteio/VE, Canoas/PU, Triunfo/Pólo, Sapucaia/SESI, Gravataí/JT e Caxias/SENAI. As estações POA/Rodoviária, POA/Bombeiros e POA/ESEF apresentam pouca influência industrial.

Desta maneira, são apresentados a seguir os locais onde estão instaladas as estações de monitoramento e as características de seu entorno.

### 6.2.1 Estação POA/Rodoviária

Está situada junto à rodoviária de Porto Alegre, apresentando influência urbana, principalmente de fontes móveis, com intenso tráfego de automóveis e ônibus a menos de 20 m da estação (Figura 13).

## 6.2.2 Estação POA/Bombeiros

Está situada junto à via de intenso tráfego de automóveis e ônibus, a cerca de 10 m da via, apresentando influência preponderantemente urbana (Figura 13).

## 6.2.3 Estação POA/ESEF

Está localizada na Faculdade de Educação Física da UFRGS, em uma área de bosques, apresentando influência urbana devido à ocupação para moradias, e a 200 m de distância à jusante do vento predominante em relação à via de grande tráfego de automóveis (Figura 13).

## 6.2.4 Estação Canoas/V COMAR

Está localizada junto a Vila Militar do Quartel General do V Comando Aéreo Regional, apresenta influência urbana, devido à ocupação por moradias em seu entorno, e veicular, por se localizar a aproximadamente 400 m à jusante do vento predominante em relação à via de tráfego intenso de caminhões, ônibus e automóveis. Também pode ser atribuída influência industrial, pois no setor norte do município há o parque industrial que conta com a Refinaria Alberto Pasqualini (REFAP) e outras indústrias (Figura 13).

## 6.2.5 Estação Sapucaia/SESI

Está localizada na sede do SESI e está sob influência industrial em seu entorno, inclusive com a Gerdau (siderúrgica), além de ocupação do entorno para moradias, e veicular por estar a aproximadamente 900 m à montante do vento predominante em relação à via de intenso tráfego de caminhões, ônibus e automóveis (Figura 13).

## 6.2.6 Estação Triunfo/Pólo

Localizada em área de bosques, junto ao Pólo Petroquímico do Sul, com influência industrial devido à presença da Braskem (petroquímica) e outras (Figura 13).

## 6.2.7 Estação Caxias do Sul/SENAI

Localizada em bairro residencial, mas com a presença de muitas indústrias de pequeno porte em seu entorno, apresentando influência industrial e urbana (Figura 14).

## 6.2.8 Estação Móvel – Duas localizações: Rio Grande e Santa Maria

Rio Grande: localizada próxima (200 m) à Refinaria de Petróleo Rio-grandense S/A, e também sob influência das indústrias de fertilizante (entre 2-3 km), e próximo a áreas de ocupação por moradias e centro administrativo da cidade. Apresenta influência industrial, urbana e de trânsito de veículos (Figura 15).

Santa Maria: localizada junto à importante entroncamento de duas vias importantes da cidade de Santa Maria e junto à ocupação de área para moradia, esta estação esteve sob influência urbana e veicular, principalmente devido ao intenso tráfego de automóveis e ônibus (Figura 16).

## 6.2.9 Estação Gravataí/JT

Estação localizada junto ao bairro residencial Jardim Timbaúva, na periferia da cidade, com pouco trânsito de veículos, a aproximadamente 7 km à jusante do vento predominante (SE) em relação à General Motors do Brasil (GM), além de outras empresas em distâncias menores. Apresenta influência industrial e urbana (Figura 13).

## 6.2.10 Estação Canoas/PU

Estação pertencente à REFAP, localizada a 2 km à montante do vento predominante (SE) em relação a esta, além de outras indústrias. Em seu entorno existe ainda a ocupação urbana para moradia. Sofre influência industrial e em segundo plano, urbana (Figura 13).

## 6.2.11 Estação Esteio/VE

Estação também pertencente à REFAP, localizada a 1,5 km à jusante do vento predominante em relação a esta, além de outras indústrias. Em seu entorno existe ainda influência de via de intenso tráfego (rodovia BR-116) de caminhões, ônibus e automóveis, e a ocupação

urbana para moradia. Sofre influência industrial e veicular, e em menor grau, urbana (Figura 13).

## 6.2.12 Estação Charqueadas/AT

Estação pertencente à Tractebel Energia, instalada a cerca de 700 m à jusante do vento predominante (E), em relação à usina de energia pertencente a esta, e dentro do perímetro urbano de Charqueadas, próximo ao centro. Apresenta influência industrial e em segundo plano, urbana. Deve ser considerado também que o município de Charqueadas localiza-se à jusante do vento predominante (cerca de 40 km) em relação à RMPA, e sofre influência da pluma de poluentes atmosféricos emitidos pela mesma (Figura 13).

## 6.2.13 Estação Triunfo/DEPREC

Estação também pertencente à Tractebel Energia, instalada a cerca de 7 km à jusante do vento predominante (E) em relação à usina de energia pertencente a esta, em área de bosque. Apresenta influência industrial. Deve ser considerado também que o município de Triunfo localiza-se à jusante do vento predominante (cerca de 40 km) em relação à RMPA, e sofre influência da pluma de poluentes atmosféricos emitidos pela mesma (Figura 13).

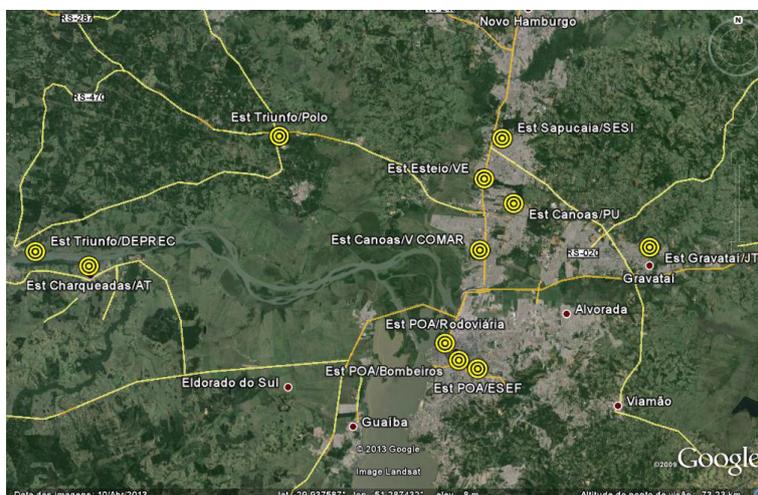


Figura 13: Localização das estações POA/Rodoviária, POA/Bombeiros, POA/ESEF, Canoas/V COMAR, Canoas/PU, Esteio/VE, Sapucaia/SESI, Gravataí/JT, Triunfo/Pólo, Charqueadas/AT e Triunfo/DEPREC.

Fonte: Adaptado do Google Earth.

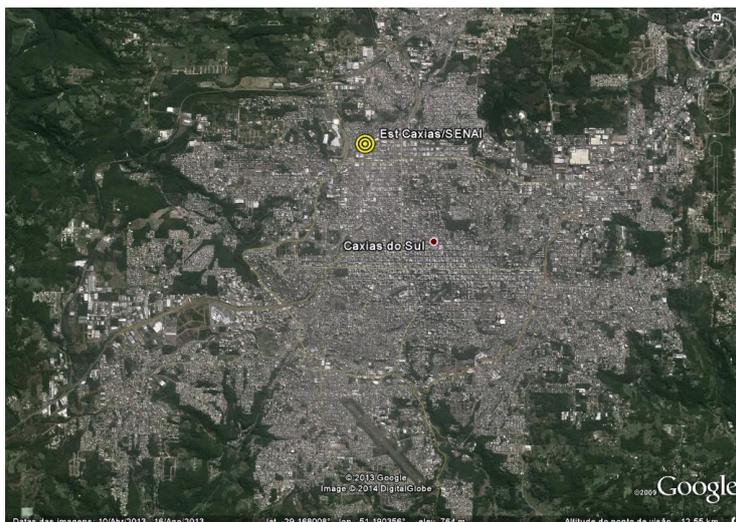


Figura 14: Localização da estação Caxias/SENAI.  
 Fonte: Adaptado do Google Earth.

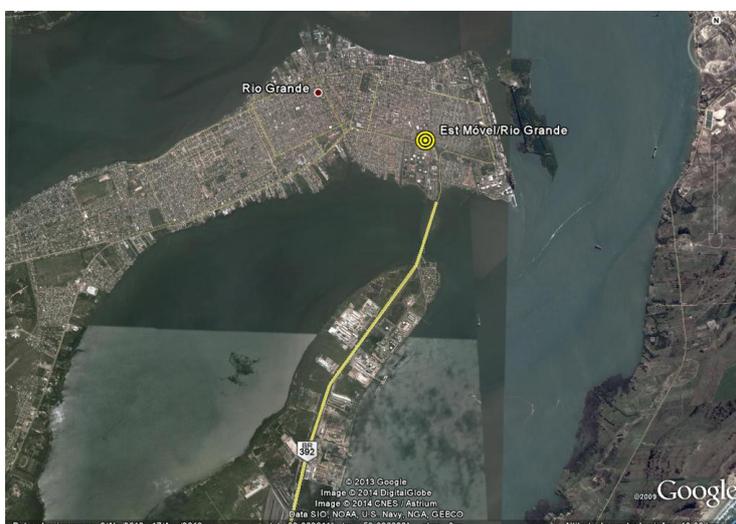


Figura 15: Localização da estação Móvel/Rio Grande.  
 Fonte: Adaptado do Google Earth.

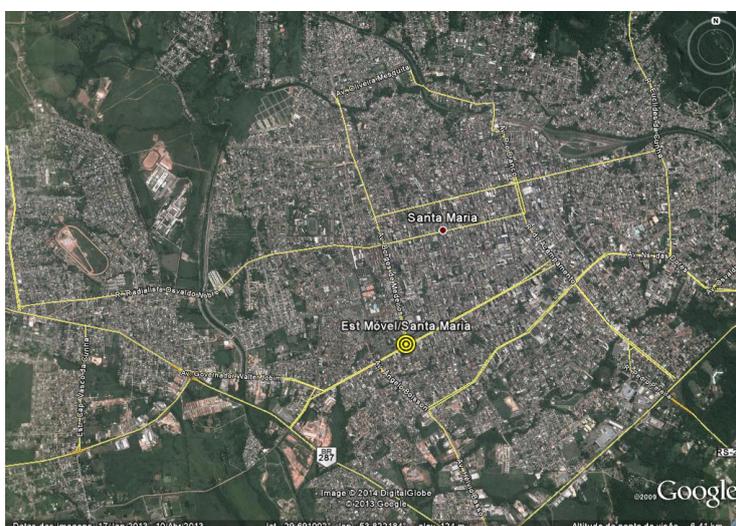


Figura 16: Localização da estação Móvel/Santa Maria.  
 Fonte: Adaptado do Google Earth.

## 6.3 Dados de qualidade do ar

### 6.3.1 Representatividade dos dados de qualidade do ar

O estabelecimento de critérios de representatividade de dados é de extrema importância em todos os sistemas de monitoramento. Os resultados obtidos em redes automáticas de monitoramento podem conter lacunas no banco de dados gerados, que poderão ser devidas a diversos fatores desde falhas operacionais, problemas de manutenção dos equipamentos, *softwares*, comunicação, energia, etc. Portanto, a adoção e sistematização destes critérios garantem a confiabilidade dos referidos resultados.

Os critérios de representatividade de dados empregados para elaboração deste relatório são apresentados na Tabela 12, para o cálculo da média anual.

**Tabela 12: Critérios de representatividade de dados.**

MÉDIA	REDE AUTOMÁTICA
Horária	3/4 das medidas válidas na hora
Diária	2/3 das médias horárias válidas no dia
Anual	1/2 das médias válidas no ano

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 6.3.2 Disponibilidade dos dados da rede de qualidade do ar

O Boletim de Qualidade do Ar das estações automáticas de monitoramento é divulgado diariamente no *site* da FEPAM (<http://www.fepam.rs.gov.br/>). Considera-se na análise para cada poluente para a geração do índice os seguintes critérios:

- SO<sub>2</sub> – médias aritméticas de 24 horas;
- PI<sub>10</sub> – médias aritméticas de 24 horas;
- NO<sub>2</sub> – máxima diária de 1 hora;
- O<sub>3</sub> – máxima diária de 1 hora;
- CO – máxima média móvel de 8 horas diária.

# ANÁLISE DOS DADOS MONITORADOS DE 2003 A 2012

Para o cálculo das médias das concentrações de cada poluente, os dados obtidos abaixo do limite de detecção foram considerados para efeito de cálculo como a metade do limite de detecção do respectivo analisador.

Nas tabelas, as células sem dados indicam ausência do analisador na estação ou que o mesmo não forneceu nenhum dado válido no período ou que o analisador esteve fora de operação no referido período por problemas técnicos.

## 7.1 Ozônio (O<sub>3</sub>)

A Tabela 13 mostra os dados de concentração de ozônio de 2003 a 2012 por estação e a média aritmética horária anual, para todas as estações da Rede Ar do Sul. Os dados em vermelho na tabela indicam que o valor médio calculado para o ano não atendeu o critério de representatividade anual (>50% de dados), mas foram mantidos somente para avaliação de tendência.

**Tabela 13: Concentração média horária anual de ozônio por estação por ano.**

O <sub>3</sub> - MÉDIA HORÁRIA ANUAL – µg/m <sup>3</sup>										
ESTAÇÃO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
POA/Rodoviária	4,0	3,1	4,2	13,3	13,6	14,3	12,2	8,9		
POA/ESEF	18,0	16,6	20,6	16,8	21,9	18,8	20,1	19,6		
POA/Bombeiros	17,6	13,3	10,6	17,5	13,6	14,6	13,3	8,8		
Canoas/V COMAR	5,4	15,7	24,8	22,4	25,6	26,2	21,7	16,8		
Canoas/PU		19,6	18,2	31,6	25,1	30,2	31,6	27,6	25,5	29,0
Esteio/VE		21,5	13,8	24,6	28,5	20,9	22,6	22,9	23,3	22,1
Sapucaia/SESI	21,7	13,4	10,3	19,0	22,1	19,5	18,0	11,8		
Caxias/SENAI				42,4	31					
Triunfo/Polo	26,2	24,6	23,7	27,4	24,6	22,8	11,0			
Triunfo/DEPREC										
Móvel/Santa Maria		15,4	14,2	12,9						
Móvel/Rio Grande	32,0									
Gravataí/JT								19,3	21,6	21,2
Charqueadas/AT								50,4		46,5
MÉDIA GERAL*	19,9	14,6	15,6	20,6	21,9	20,9	18,8	19,8	24,4	32,5

\* Valores em vermelho não incluídos na Média Geral

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que, entre os períodos de 2003-2005 e 2006-2008, houve um aumento nas concentrações de ozônio troposférico na ordem de 30%, que podem ser explicadas pelo aumento da frota veicular e da atividade industrial, como por exemplo a expansão da produção da REFAP (2005-2006), no município de Canoas. Em 2009 a média horária anual total diminuiu principalmente devido à diminuição em mais de 50% da concentração média anual de ozônio na estação Triunfo/Pólo em relação aos anteriores. Este comportamento provavelmente pode ser explicado pela inoperância desta estação nos meses de novembro (parcialmente) e dezembro, período em que são observadas concentrações de ozônio mais elevadas. Também, a uma diminuição no ritmo de produção do Pólo Petroquímico, como é possível observar na Tabela 3 que mostra a diminuição do INPP-I para o município de Triunfo em 2009 em relação aos anos anteriores, contribuiu para tal comportamento. A partir de 2010 as estações de monitoramento automático da FEPAM apresentaram problemas de manutenção, prejudicando a representatividade de dados. Apenas as estações de monitoramento de empresas se mantiveram operando normalmente e apresentam dados representativos. As estações Canoas/PU e Esteio/VE não apresentaram mudanças significativas em relação aos anos anteriores, enquanto que a partir de 2011 a estação de monitoramento Charqueadas/AT foi inserida na Rede Ar do Sul, apresentando valores similares às maiores concentrações médias de todo o período amostrado. O aumento das concentrações médias horárias a partir de 2011 pode ser explicado pela ausência de dados coletados pelas estações que, historicamente, apresentam menores concentrações de ozônio, o que “deslocou” as médias para cima.

A Figura 17 ilustra o comportamento da média horária anual das concentrações de ozônio para o período de 2003-2012. É possível observar com mais detalhes o comportamento dos dados monitorados, concordando com a análise do parágrafo anterior. Observa-se o aumento do nível base das concentrações médias horárias anuais entre os anos de 2005 e 2006, e destaca-se que as maiores médias anuais de ozônio passaram a ocorrer na estação de Charqueadas/AT.

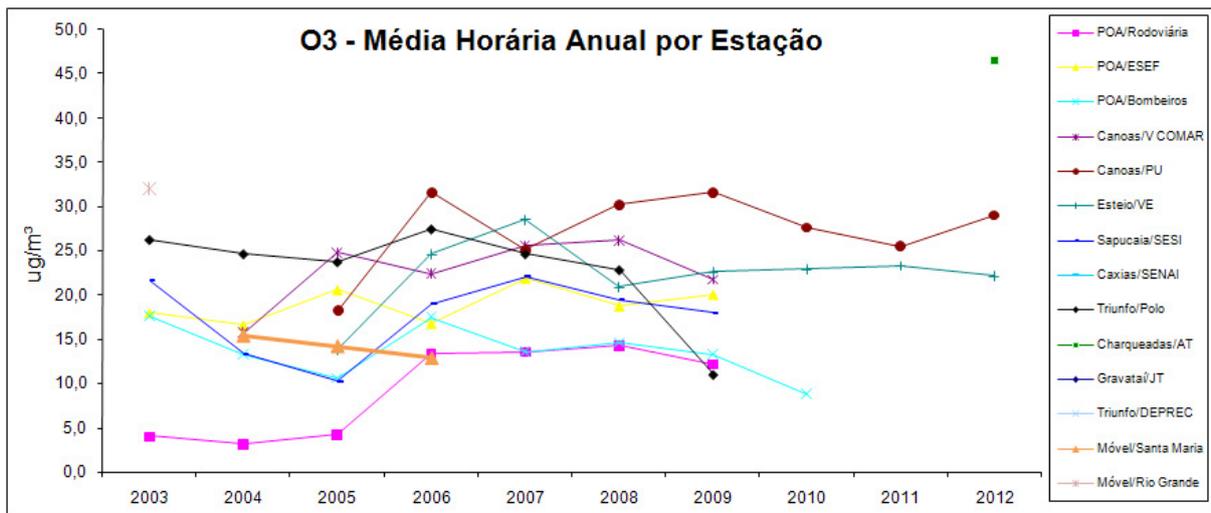


Figura 17: Concentração média horária anual de ozônio por estação (2003 e 2012).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando que o ozônio é um poluente secundário, cujos precursores podem ter origem a dezenas de quilômetros do seu local de sua formação, é possível que as elevadas concentrações registradas em Charqueadas/AT se devam às emissões locais destes precursores e também por emissões originadas na RMPA, Vale dos Sinos e Pólo Petroquímico.

Para melhor visualização do comportamento da pluma de dispersão de poluentes atmosféricos na RMPA, foi utilizado o modelo Hysplit (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model), que é um sistema completo para calcular trajetórias de parcelas ar para simulações complexas de dispersão e deposição de poluentes. O desenvolvimento inicial do Hysplit foi o resultado de um esforço conjunto entre NOAA e do Serviço de Meteorologia da Austrália. Atualizações recentes incluem aprimoramentos oferecidos por um número de diferentes contribuidores. Algumas das novas funcionalidades incluem melhorias contínuas para a interface gráfica do usuário e a opção de incluir módulos para transformações químicas. A dispersão de um poluente é calculada por *puffs* ou por partículas.

Foi realizada uma simulação de dispersão de poluentes, utilizando o Hysplit, para a RMPA, para um dia com condições atmosféricas que se aproximam das predominantes, utilizando como poluente um elemento traço não reativo, desconsiderando deposição seca ou úmida, cujo ponto de emissão está em Canoas. Esta simulação busca identificar a pluma de dispersão de poluentes emitidos na RMPA, conforme é ilustrado na Figura 18.

É possível observar na Figura 18 que a pluma é direcionada para o setor oeste do principal eixo urbano/industrial da RMPA (ao longo da rodovia BR-116), atingindo o município de Charqueadas, onde está localizada a estação Charqueadas/AT. Durante o processo de transporte na atmosfera, os precursores do ozônio, principalmente os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), diluem-se no ar atmosférico e, na presença de radiação solar, reagem com outros poluentes e oxigênio, formando o ozônio.

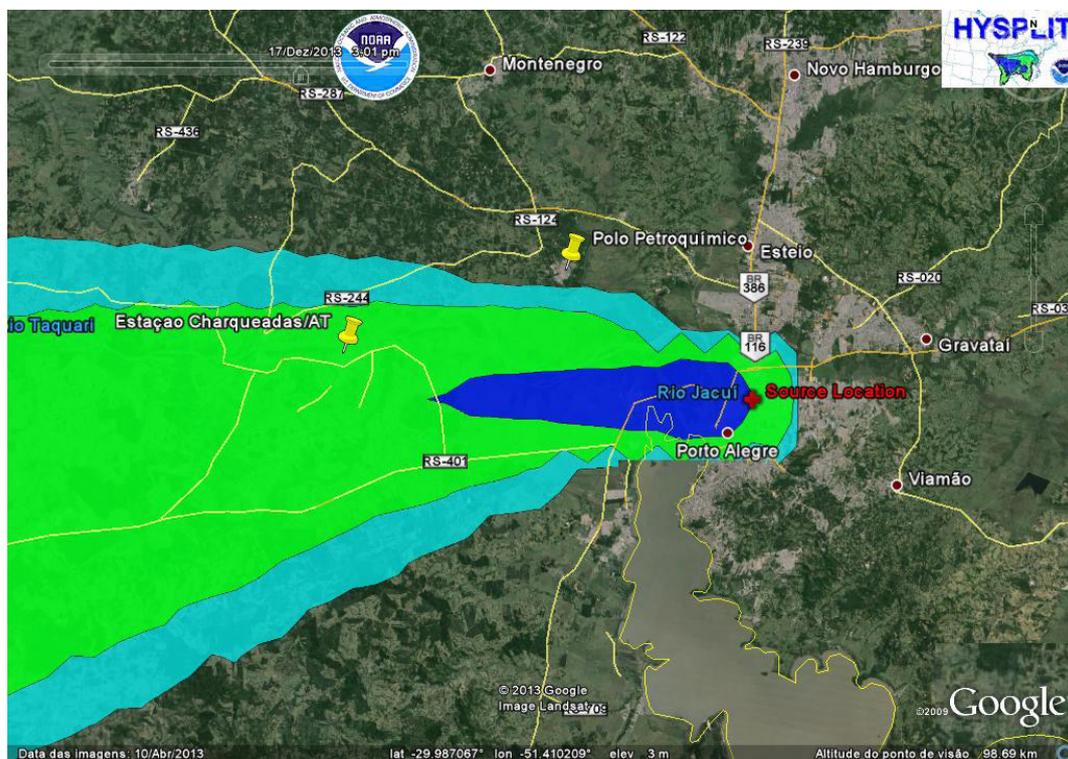


Figura 18: Simulação, com o modelo Hysplit, da pluma de dispersão de poluentes a partir de Canoas, em condições meteorológicas próximas das predominantes.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Se forem inseridos mais pontos de emissões (Pólo Petroquímico e outros municípios industrializados da RMPA), fica mais evidente que a região de Charqueadas é atingida pela pluma predominante de dispersão de poluentes originadas destas regiões, além das plumas de dispersão de fontes locais. Esta pode ser a explicação para os episódios de altas concentrações de ozônio na região de Charqueadas.

A máxima média horária anual de ozônio para cada uma das estações é apresentada na Tabela 14. Verifica-se que as concentrações médias horárias mais elevadas de ozônio não são registradas nas estações de Porto Alegre. As estações Canoas/V COMAR, Canoas/PU e Esteio/VE mostram os maiores registros de concentração elevada de ozônio troposférico, seguidos pelas estações Sapucaia/SESI e Triunfo/Pólo. Observa-se que o nível base de concentração de ozônio nestas estações aumentou a partir de 2006, sendo que o maior valor absoluto foi registrado pela estação Canoas/PU, em 2009, de 426,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . A estação Charqueadas/AT apresentou registros com boa representatividade somente em 2012, e também apresentou altos valores de concentrações de ozônio, sendo que o maior deles foi em 2012, com 188,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Tabela 14: Concentração máxima horária de ozônio, por estação por ano.**

O3 - Concentração Máxima Horária Anual - $\mu\text{g}/\text{m}^3$										
ESTAÇÃO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
POA/Rodoviária	50,1	41,9	43,6	95,4	136,2	112,0	94,4	71,9		
POA/ESEF	113,3	94,0	162,6	109,5	143,3	98,5	114,6	90,8		
POA/Bombeiros	101,5	73,8	70,0	109,9	88,1	85,7	75,0	64,1		
Canoas/V COMAR	55,5	134,2	137,5	141,3	193,6	220,0	158,1	72,3		
Canoas/PU		65,6	145,7	168,0	194,0	187,9	426,4	160,0	142,3	155,9
Esteio/VE		74,2	124,0	162,9	195,3	147,6	147,7	170,5	157,4	149,6
Sapucaia/SESI	146,8	97,5	96,7	149,8	171,8	154,6	123,7	55,7		
Caxias/SENAI				124,6	123,4					
Triunfo/Polo	124,2	120,3	133,4	167,7	148,2	173,6	84,5			
Triunfo/DEPREC										
Móvel/Santa Maria		122,9	77,5	74,2						
Móvel/Rio Grande	78,0									
Gravatá/JT							87,7		125,2	109,9
Charqueadas/AT									159,4	188,9

OBS.: padrão 1º e 2º de qualidade do ar: 160  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , horário, não deve ser excedida mais de uma vez por ano

Fonte: Elaborado pelo autor.

A resolução CONAMA nº 003/1990 estabelece que o padrão de qualidade do ar, tanto o primário quanto o secundário, para ozônio é de 160  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (média horária) e que o mesmo não deve ser ultrapassado mais de uma vez por ano. A Tabela 15 mostra o número de eventos anuais em que houve ultrapassagem dos padrões de qualidade do ar por estação.

**Tabela 15: Número de eventos de ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar para ozônio por estação.**

O3 – Número de ultrapassagens do Padrão de Qualidade do Ar (média horária)*										
ESTAÇÃO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
POA/Rodoviária										
POA/ESEF		1								
POA/Bombeiros						3				
Canoas/V COMAR					1					
Canoas/PU				2	2	5	7			
Esteio/VE				2	7			2		
Sapucaia/SESI					1					
Caxias/SENAI										
Triunfo/Polo						1				
Triunfo/DEPREC										
Móvel/Santa Maria										
Móvel/Rio Grande										
Gravatai/JT										
Charqueadas/AT										3

\* 160 µg/m<sup>3</sup>, horário, não deve ser excedida mais de uma vez por ano (padrão 1º e 2º)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verifica-se que entre 2006 e 2009, houve um aumento do número de eventos de ultrapassagem dos padrões de qualidade do ar para ozônio, com destaque para a estação de Esteio/VE em 2007 e para a estação de Canoas/PU em 2009, com sete ultrapassagens do padrão cada uma. Novamente é necessário lembrar que a REFAP passou por um processo de ampliação em sua produção, que começou a partir de 2005, e que pode ter colaborado para o aumento nas concentrações de ozônio troposférico devido ao provável aumento na emissão de seus poluentes precursores. Em 2011 e 2012, não houve ultrapassagens de padrões para ozônio nestas duas estações, que podem ser reflexos de mudanças e aperfeiçoamentos operacionais das indústrias da região e dos controles veiculares, com conseqüente diminuição da emissão dos precursores, principalmente os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>).

Observa-se, contudo, que em três oportunidades houve concentrações médias horárias de ozônio que ultrapassaram o padrão de qualidade do ar na estação de Charqueadas/AT em 2012, fato relevante e que deve ser acompanhado nos anos seguintes, pois, como já foi explanado, o município de Charqueadas encontra-se à jusante do escoamento atmosférico predominante em relação à RMPA, sendo atingido freqüentemente pela pluma de dispersão de poluentes atmosféricos emitidos nesta região.

Em relação à distribuição do poluente ozônio ao longo dos meses do ano, a Figura 19 mostra o comportamento da média horária mensal deste poluente, considerando os dados de todas as estações fixas durante os dez anos. Claramente se observa que nos meses de inverno a concentração de ozônio é menor, decorrente da menor incidência de radiação solar do período.

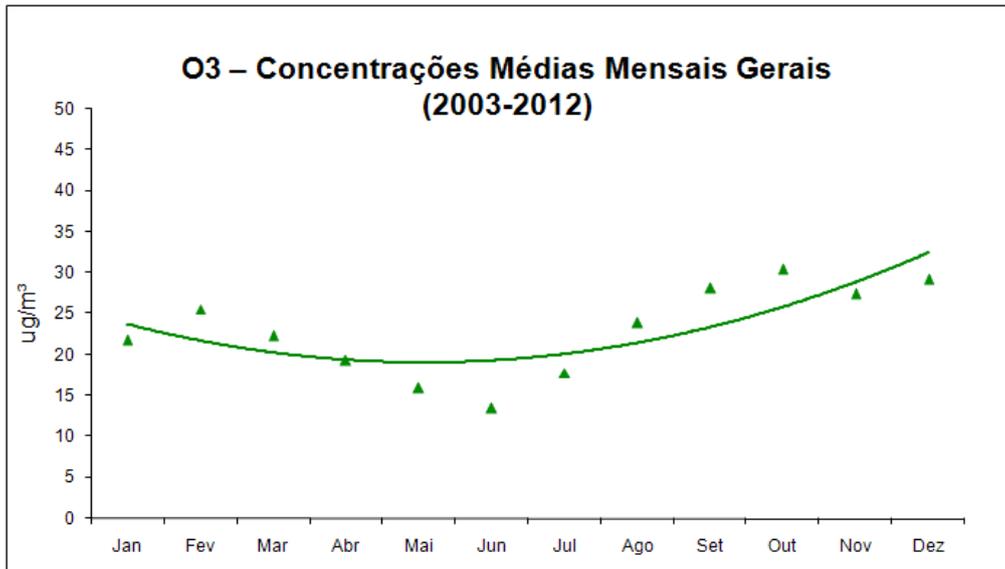


Figura 19: Concentração média horária mensal de ozônio para todas as estações fixas (2003-2012).  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em termos de concentração de ozônio nos dias da semana, a Figura 20 ilustra a média horária diária do poluente, considerando os dados de todas as estações fixas durante os dez anos. Observa-se que há tendência de ocorrerem maiores concentrações médias horárias de ozônio aos finais de semana, diferentemente do que ocorre com os poluentes primários, que usualmente se concentram nos dias úteis da semana, como será visto no decorrer deste relatório. Provavelmente este comportamento decorre do fato de que aos finais de semana há menor geração dos óxidos de nitrogênios e dos compostos orgânicos voláteis, que são compostos precursores da formação do ozônio troposférico. Além disto, a menor geração de monóxido de nitrogênio, composto oriundo do tráfego de veículos a diesel e certas indústrias específicas e que usualmente reage com o ozônio formando dióxido de nitrogênio, faz com que haja redução do consumo do ozônio presente no ambiente, favorecendo que sua concentração na atmosfera seja intensificada.

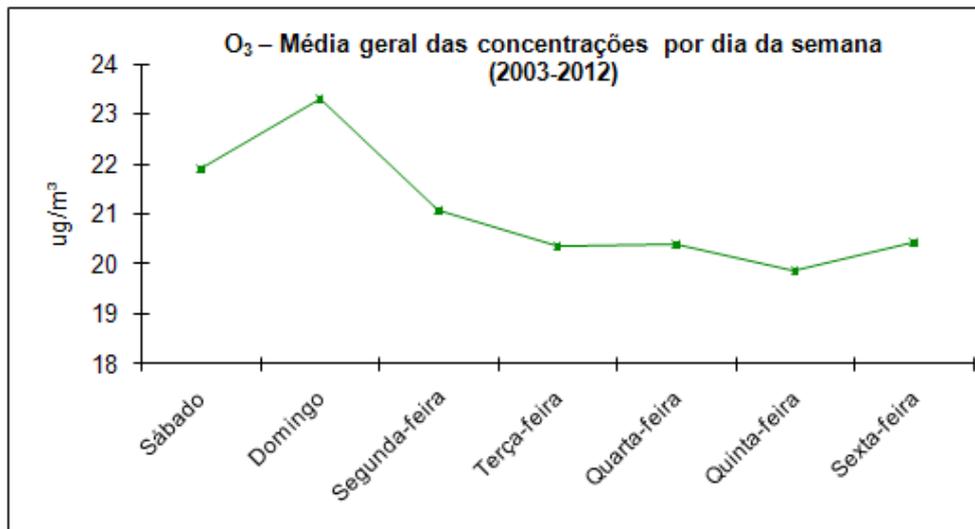


Figura 20: Concentração média horária de ozônio por dia da semana para todas as estações fixas (2003-2012).  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em termos de episódios críticos de poluição do ar, entre 2003 e 2012, foi registrado um único evento em que a qualidade do ar atingiu o nível de “ATENÇÃO”, segundo resolução CONAMA nº 003/1990, classificando a qualidade do ar como “Má” pelo IQAr. Foi no dia 19/11/09 na estação Canoas/PU, cuja concentração de ozônio na atmosfera chegou ao pico de  $426 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , às 12 h. Conforme consta nos registros de avaliação, a causa estaria atrelada muito provavelmente à elevada incidência de raios (tempestade) que ocorreram naquela ocasião. A madrugada e começo da manhã apresentaram ventos muito fracos, por vezes calmo, e a radiossondagem realizada no Aeroporto Salgado Filho, às 12:00 UTC (10:00 Local (L)), apresentou uma forte inversão térmica junto à superfície (Figura 21). Este conjunto de fatores favoreceu o aumento das concentrações de poluentes atmosféricos junto à superfície, entre eles, os precursores do ozônio.

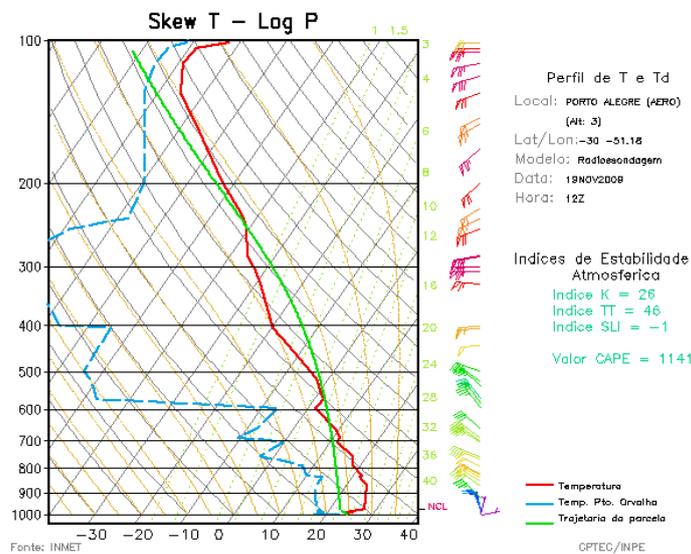


Figura 21: Diagrama Skew T-Log P correspondente à radiossondagem do dia 19/11/09 às 12:00 UTC (10:00 L), do Aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre.

Fonte: CPTEC

Apesar de a atmosfera se apresentar estável junto à superfície naquele dia, uma perturbação em altos níveis (acima de 300 hPa) provocou a bifurcação da corrente de jato, com conseqüente desestabilização nos níveis mais baixos, com a ocorrência de convecção profunda, formação de nuvens cumulonimbus acompanhadas de relâmpagos e trovoadas. A ocorrência de raios e relâmpagos favoreceu a formação de ozônio troposférico, e a chuva só chegou 4 horas mais tarde. A Figura 22 corresponde à imagem realçada do satélite GOES-10, do dia 19/11/2009 às 15:00 UTC (13:00 L), uma hora após o registro da média horária máxima registrada, de  $426,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , na estação de monitoramento Canoas/PU. A área na cor rosa corresponde aos topos de nuvens mais altos, que coincidem com a área núcleo da tempestade, mas já são esperados raios e relâmpagos nas áreas em azul claro e escuro.

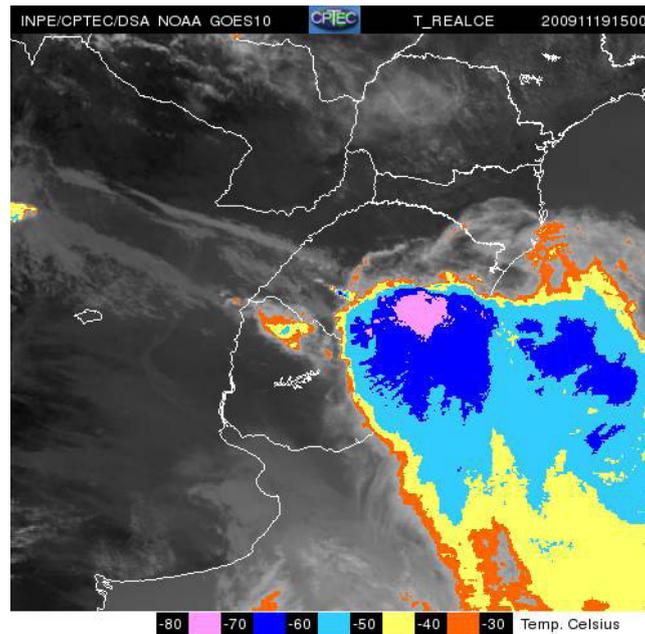


Figura 22: Imagem realçada do satélite GOES-10, do dia 19/11/2009 às 15:00 UTC (13:00 L).  
Fonte: CPTEC.

## 7.2 Partículas inaláveis ( $PI_{10}$ )

A Tabela 16 apresenta a média diária anual de Partículas Inaláveis com diâmetro aerodinâmico inferiores a 10 micra. Dados da tabela em vermelho indicam que o valor médio calculado para o ano não atende o critério de representatividade anual, mas foram considerados somente para avaliação de tendência.

**Tabela 16: Concentração média diária anual de  $PI_{10}$ , por estação por ano.**

PI10 – MÉDIA DIÁRIA ANUAL – $\mu\text{g}/\text{m}^3$										
ESTAÇÃO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
POA/Rodoviária	35,0	44,4	49,5	42,0	44,7					
POA/ESEF	18,5	27,4	22,1	23,0	18,0					
POA/Bombeiros	25,4	20,1	23,1	16,1	24,0					
Canoas/V COMAR	22,7	17,3	18,0							
Canoas/PU		8,5	12,2	44,1	38,6	35,3	33,6	38,9	34,7	36,9
Esteio/VE		10,4	23,1	19,5	24,9	23,8	23,9	23,2	26,3	27,1
Sapucaia/SESI	25,7	28,7	29,7	31,9						51,8
Caxias/SENAI	32,3	28,9	24,6	28,1						
Triunfo/Polo	16,1	12,9	13,9	9,6						
Triunfo/DEPREC										
Móvel/Santa Maria		39,5	31,5	34,2						
Móvel/Rio Grande	19,2									
Gravatá/JT										
Charqueadas/AT									27,9	33,9
MÉDIA GERAL*	25,2	27,4	26,0	28,1	24,9	29,6	28,8	31,1	30,5	35,4

\* Valores em vermelho não incluídos na Média Geral

Fonte: Elaborado pelo autor.

Primeiramente, observa-se que os equipamentos de monitoramento deste poluente instalados nas estações da FEPAM (POA/Rodoviária, POA/ESEF, POA/Bombeiros, Canoas/V COMAR, Sapucaia/SESI, Caxias/SENAI e Triunfo/Pólo) começaram a enfrentar problemas de manutenção a partir de 2006, sendo que nenhuma destas estações apresentou registros com representatividade a partir do ano seguinte. Apenas as estações mantidas e operadas pela REFAP, Canoas/PU e Esteio/VE, mantiveram leituras com representatividade. A estação Charqueadas/AT, operada e mantida pela Tractebel Energia, iniciou sua operação na Rede Ar do Sul a partir de 2011, mas somente em 2012 seus dados foram classificados como representativos.

Quanto às concentrações registradas, as estações da FEPAM não apresentaram variações consideráveis nas concentrações médias diárias anuais no período de 2003-2006. A estação Canoas/PU apresentou valor inferior somente no ano de 2005, com média diária anual inferior a  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . A partir dos anos seguintes manteve um patamar médio próximo de 35 a  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Como a série de dados para estas estações iniciou exatamente em 2005, não se pode afirmar que ela aumentou a partir dos anos seguintes ou se naquele ano as concentrações medidas foram anormalmente mais baixas. Informações extras das estações de monitoramento (metadados) mostram que, a partir de 2006, houve um processo de urbanização no entorno da estação Canoas/PU, inicialmente com atividades inerentes à construção civil, com a construção de núcleos residenciais, e posteriormente com a ocupação destes núcleos. Considerando estas informações, podemos inferir que houve um aumento nas concentrações médias diárias anuais a partir de 2005, principalmente nos registros da estação Canoas/PU. A estação Charqueadas/AT apresentou concentração média diária anual em 2012 de  $33,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , compatível com a registrada na estação Canoas/PU.

A Figura 23 ilustra o comportamento da média diária anual das concentrações de  $\text{PI}_{10}$  por estação de monitoramento. É possível observar que as estações Canoas/PU, Esteio/VE e Charqueadas/AT mantêm o mesmo patamar de concentrações médias diárias anuais de  $\text{PI}_{10}$ . Além disso, também fica bem evidenciada a elevação das concentrações na estação Canoas/PU de 2005 para 2006, e a manutenção deste patamar nos anos seguintes.

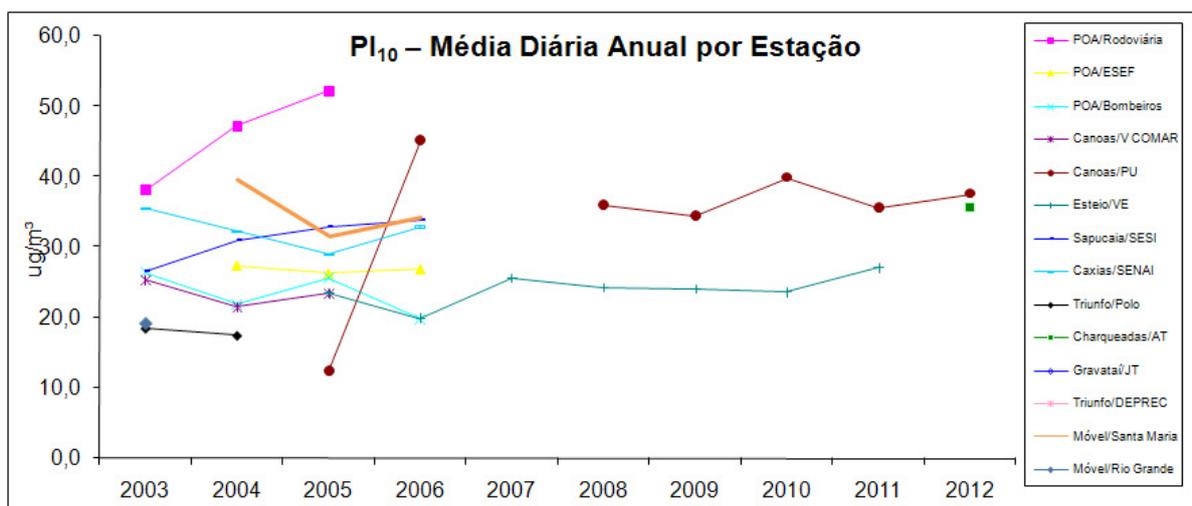


Figura 23: Concentração média diária anual de  $\text{PI}_{10}$  por estação (2003-2012).

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 24 ilustra a média diária anual das concentrações de  $PI_{10}$ , considerando todas as estações de monitoramento, para o período 2003-2012. É possível observar que, até o ano de 2009, os valores ficaram abaixo de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , e a partir de 2010 este valor foi extrapolado, mostrando uma tendência de elevação até o ano de 2012. É necessário um pouco de cuidado ao interpretar estas informações, pois houve redução significativa do número de estações de monitoramento após 2006, o que pode fazer com que a média geral seja ‘puxada’ para cima em relação aos anos anteriores que continham dados de mais estações com valores médios “baixos”. Em 2012 foi agregada à Rede Ar do Sul a estação Charqueadas/AT que, como já foi informado, apresenta patamares de concentrações médias similares à estação Canoas/PU, mantendo a média geral no mesmo patamar.

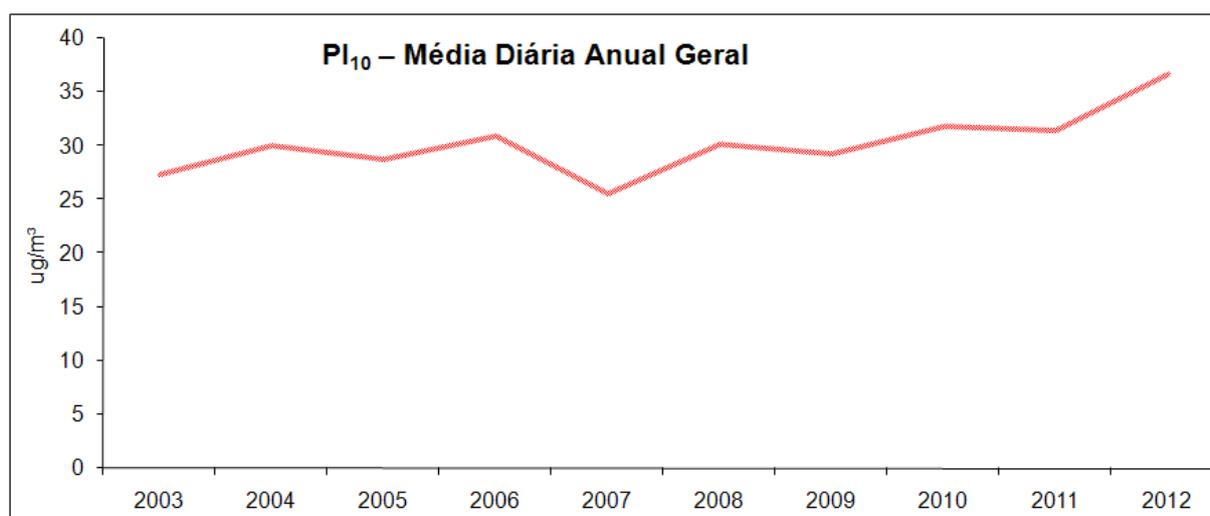


Figura 24: Concentração média diária anual de  $PI_{10}$  para todas as estações, por ano de amostragem.  
Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 17 apresenta as máximas concentrações médias diárias do poluente  $PI_{10}$ , por estação e por ano de amostragem. É possível verificar que as estações POA/Rodoviária, POA/ESEF, POA/Bombeiros, Canoas/V COMAR, Sapucaia/SESI, Caxias/SENAI e Triunfo/Pólo apresentam certa regularidade no decorrer dos anos (2003-2006), com variações possivelmente relacionadas a eventos meteorológicos. As estações Canoas/PU e Esteio/VE apresentam maior variação da concentração média diária máxima, possivelmente devido ao processo de urbanização de seu entorno (principalmente na primeira), e também por variações das emissões atmosféricas, além das condições meteorológicas ocorridas. Os anos que apresentaram maiores concentrações foram 2006 e 2011.

**Tabela 17: Concentração máxima diárias de  $PI_{10}$ , por estação e por ano.**

PI10 – Concentração Máxima Diária Anual- $\mu\text{g}/\text{m}^3$										
ESTAÇÃO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
POA/Rodoviária	171,9	182,6	171,9	94,9	120,8					
POA/ESEF	31,7	93,8	120,8	85,2	40,6					
POA/Bombeiros	111,5	69,4	81,4	81,7	37,7					
Canoas/V COMAR	96,7	67,8	62,3							
Canoas/PU		41,1	67,7	251,9	155,3	155,2	132,4	135,5	285,6	109,9
Esteio/VE		38,1	82,5	140,6	83,0	178,0	78,9	77,8	243,8	89,3
Sapucaia/SESI	84,2	87,7	94,6	92,1						101,9
Caxias/SENAI	113,3	92,7	86,6	101,8						
Triunfo/Polo	54,2	53,8	59,5	44,3						
Triunfo/DEPREC										
Móvel/Santa Maria		119,8	94,6	147,2						
Móvel/Rio Grande	50,3									
Gravataí/JT										
Charqueadas/AT									58,8	91,3

OBS.: padrão 1º e 2º de qualidade do ar: 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , diário, não deve ser excedida mais de uma vez por ano

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os padrões de qualidade do ar para  $PI_{10}$ , tanto o primário quanto o secundário, são de 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (média diária), que não deve ser ultrapassada mais de uma vez por ano, e de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (média anual).

Conforme se observa na Tabela 16, não houve ultrapassagem do padrão de qualidade anual de  $PI_{10}$  em nenhuma das estações de monitoramento.

A Tabela 18 mostra o número de eventos em que houve ultrapassagem dos padrões de qualidade do ar para as médias diárias, por estação e por ano. É importante salientar que este padrão de qualidade não deve ser ultrapassado mais do que uma vez ao ano, mas foi sistematicamente ultrapassado na estação POA/Rodoviária (nos anos em que esta estação esteve operando, 2003-2005), e também na estação Canoas/PU, nos anos de 2006 e 2011.

Ressalta-se que, a partir de 2005, todos os monitores de  $PI_{10}$  instalados nas estações da FEPAM, inclusive o da estação POA/Rodoviária, passaram a apresentar problemas e foram desativados. Por este motivo, é possível concluir que poderiam ser registrados outros episódios semelhantes, mas que não o foram por falta de monitoramento.

**Tabela 18: Número de eventos de ultrapassagem do padrão da qualidade do ar para  $PI_{10}$ , por estação por ano.**

PI10 – Número de ultrapassagens do Padrão de Qualidade do Ar (média diária)*										
ESTAÇÃO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
POA/Rodoviária	2	3	4							
POA/ESEF										
POA/Bombeiros										
Canoas/V COMAR										
Canoas/PU				5	1	1			2	
Esteio/VE						1			1	
Sapucaia/SESI										
Caxias/SENAI										
Triunfo/Polo										
Triunfo/DEPREC										
Móvel/Santa Maria										
Móvel/Rio Grande										
Gravataí/JT										
Charqueadas/AT										

\* 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , diário, não deve ser excedida mais de uma vez por ano (padrão 1º e 2º)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi também realizada a análise das médias mensais para o poluente  $PI_{10}$ , considerando todas as estações fixas de monitoramento, para todo o período monitorado. O resultado desta análise é ilustrado na Figura 25, onde é possível observar que há uma tendência de que ocorram maiores concentrações nos meses de inverno, possivelmente devido ao comportamento das variáveis climáticas e também pelas maiores emissões neste período. São nos meses de outono e inverno que ocorrem a maior parte dos casos de inversão térmica junto à superfície, acompanhada de ventos calmos, fazendo com que a camada de mistura seja mais rasa, dificultando a diluição do material particulado no ar atmosférico. As emissões neste período também são maiores, devido à maior utilização de sistemas de aquecimento nos ambientes domésticos e de trabalho, muitas vezes utilizando lenha como fonte de energia. Também é observado maior trânsito de veículos no inverno. Por outro lado, a partir da primavera, as temperaturas aumentam, há menor incidência de massa de ar polar, a camada de mistura tende a estar mais alta e o vento também assume sua maior média do ano; todos estes fatores favorecem a dispersão do material particulado suspenso na atmosfera.

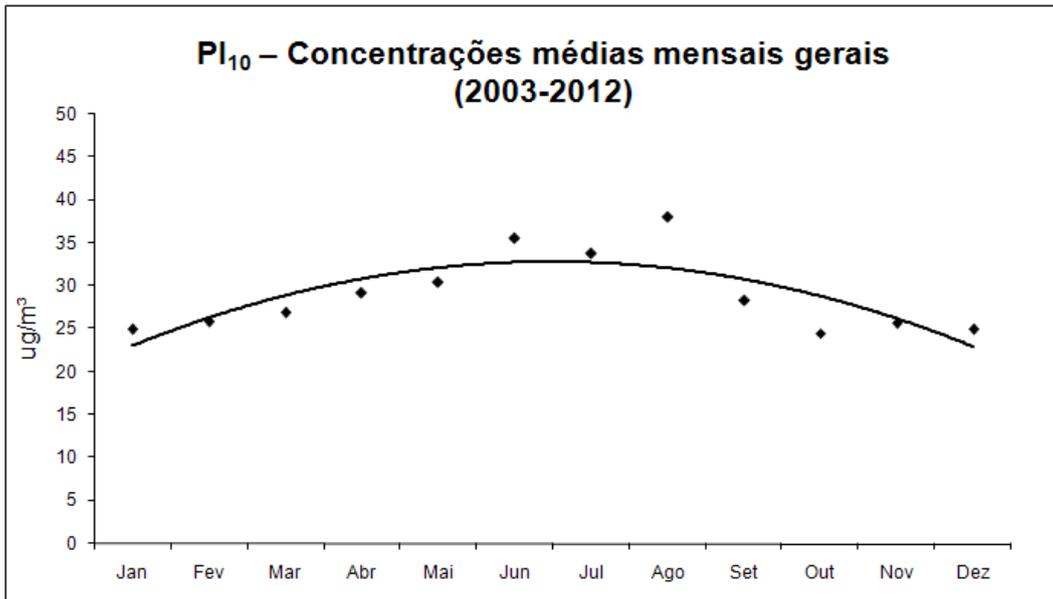


Figura 25: Concentração média mensal de PI<sub>10</sub> para todas as estações fixas (2003-2012).  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Também foi realizada a análise da concentração média de PI<sub>10</sub> por dia da semana, considerando todas as estações fixas, para o período 2003-2012. O resultado é ilustrado na Figura 26. É possível observar que, por ser um poluente primário, o PI<sub>10</sub> está diretamente relacionado às fontes de emissão, sendo que nos fins de semana as concentrações são menores (devido às menores emissões) e, durante a semana, acumula-se na atmosfera, apresentando um aumento nas concentrações entre segunda-feira e sexta-feira.

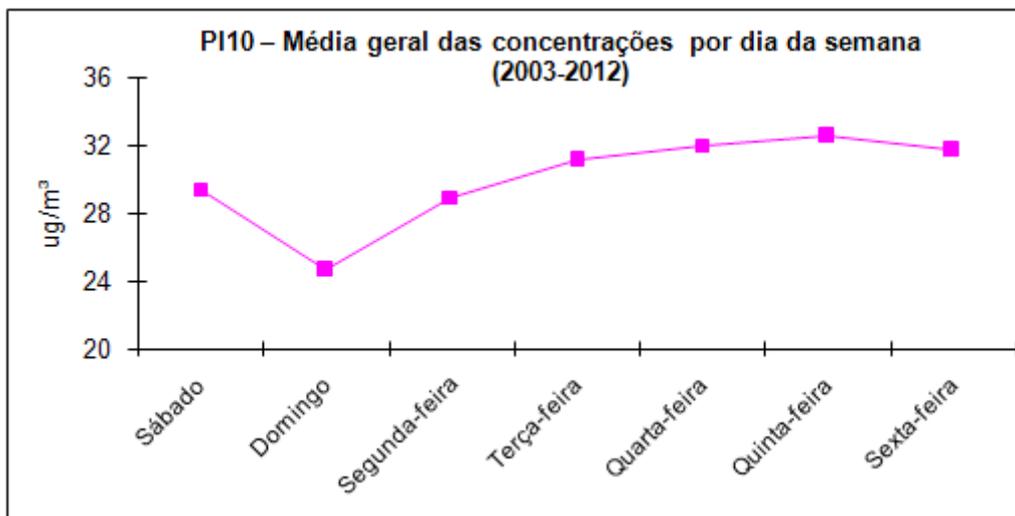


Figura 26: Concentração média diária de PI<sub>10</sub> por dia da semana para todas as estações fixas (2003-2012).  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram realizadas análises de eventos no período amostrado onde a concentração média diária de PI<sub>10</sub> foi consideravelmente elevada. Picos de concentração foram registrados entre os dias 20 e 22/08/2003 (quando ocorreram máximas concentrações naquele ano em várias estações de monitoramento), nos dias 08 e 09/02/2006 na estação Canoas/PU, com con-

concentrações de  $232,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $251,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, sendo esta última, inclusive, atingindo o Nível de Atenção ( $> 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), conforme resolução CONAMA nº 003/1990, o que representa um índice de qualidade do ar classificado como “MÁ”; e no dia 18/10/2011 nas estações Canoas/PU e Esteio/VE, com  $285,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $243,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, onde também se observou concentração de  $\text{PI}_{10}$  na estação Canoas/PU em Nível de Atenção (qualidade do ar “MÁ”). Este último evento de qualidade do ar “MÁ” foi acompanhado pelo PROAR, que emitiu comunicado via *site* da SEMA, alertando a população sobre os riscos à saúde e quais precauções adotar devido ao episódio, principalmente para aqueles grupos de risco como crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas.

No ano de 2003 as máximas médias diárias do poluente  $\text{PI}_{10}$  foram constadas entre 20 a 22 de agosto, período de inverno, quando já é esperado um aumento nas concentrações. Pode-se dizer que este episódio de altas concentrações ocorreu em todo o Estado, pois praticamente todas as estações de monitoramento da qualidade do ar da FEPAM registraram aumento nas concentrações médias de  $\text{PI}_{10}$ ; as exceções foram as estações Móvel/Rio Grande e POA/Bombeiros. A primeira, por estar desativada na data, e a segunda, porque o monitor de partículas inaláveis estava inoperante neste período. Este fenômeno foi tão intenso (foram registrados dois casos de índice de qualidade do ar ‘Inadequado’, na estação POA/Rodoviária), e em uma região tão extensa, que não pode ser explicado somente por fenômenos locais, mas sim de grande escala.

Dois fatores podem ter contribuído para a ocorrência deste evento: a baixa dispersão atmosférica e a alta emissão de poluentes na atmosfera. Estes fatores teriam agido de forma sinérgica, agravando a situação da qualidade do ar neste período.

A dispersão de poluentes atmosféricas esteve desfavorável neste período por uma série de motivos:

- O período foi precedido de uma seqüência de vários dias sem precipitação;
- Ocorrência de forte inversão térmica próxima à superfície;
- Atuação de um sistema de bloqueio (alta pressão) sobre a Região Sul do Brasil, proporcionando baixa umidade, temperaturas altas para esta época do ano, pouca nebulosidade e ventos fracos (médias 1,0; 0,7 e 1,8 m/s nos dias 20, 21 e 22, respectivamente, registrados na Estação do 8º Distrito de Meteorologia em Porto Alegre).

A ação de uma massa de ar seco proporcionou a não ocorrência de precipitações significativas por mais de dez dias no Estado. Como a chuva é um dos principais meios de remoção de poluentes atmosféricos, o resultado foi o acúmulo destes poluentes com o passar dos dias. As imagens de satélite (Figura 27) mostram a massa de ar seco atuando no sul do Brasil e uma frente fria, de atividade fraca, aproximar-se lentamente do Estado. A ação desta mesma massa de ar proporcionou ventos fracos durante este período, e que somente no último dia houve ocorrência de ventos acima de 3 m/s, propiciando melhor dispersão atmosférica e diminuição das concentrações de  $\text{PI}_{10}$  neste dia.

A inversão térmica é ilustrada na sondagem do dia 21/08 e 23/08 (Figura 28), ambas das 00:00Z (21:00 L dos dias 20/08 e 22/08, respectivamente). No dia 21, a inversão térmica mostrava-se bastante forte, desde a superfície até a altitude de aproximadamente 925 hPa ( $\sim 700$  m), prejudicando a dispersão atmosférica, enquanto que, no dia 23, esta inversão já se encontra mais fraca e mais alta; sua base encontrava-se em 925 hPa e o topo em 850 hPa ( $\sim 3000$  m), o que favoreceu a dispersão de poluentes atmosféricos.

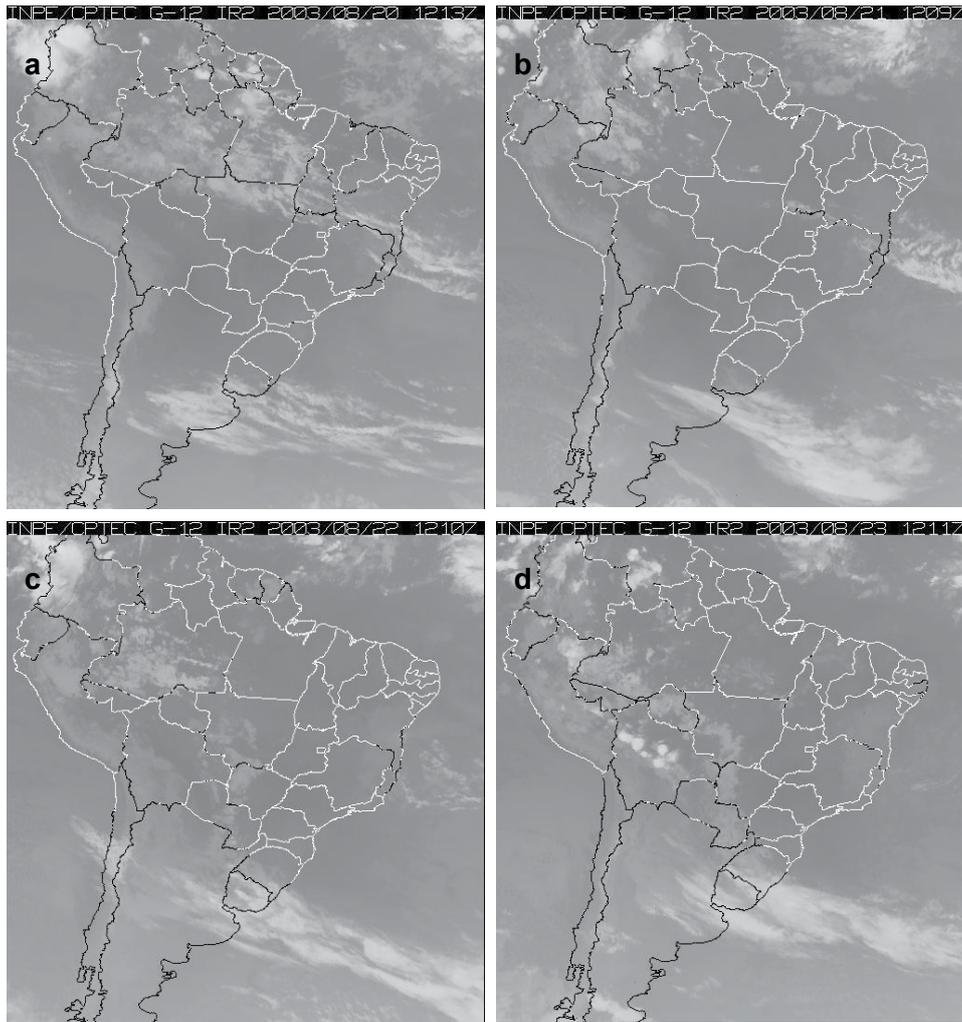


Figura 27: Imagens do satélite meteorológico GOES-12, banda do infravermelho, todas das 12:00Z: a) 20/08/2003; b) 21/08/2003; c) 22/08/2003; d) 23/08/2003.  
Fonte: CPTEC/INPE.

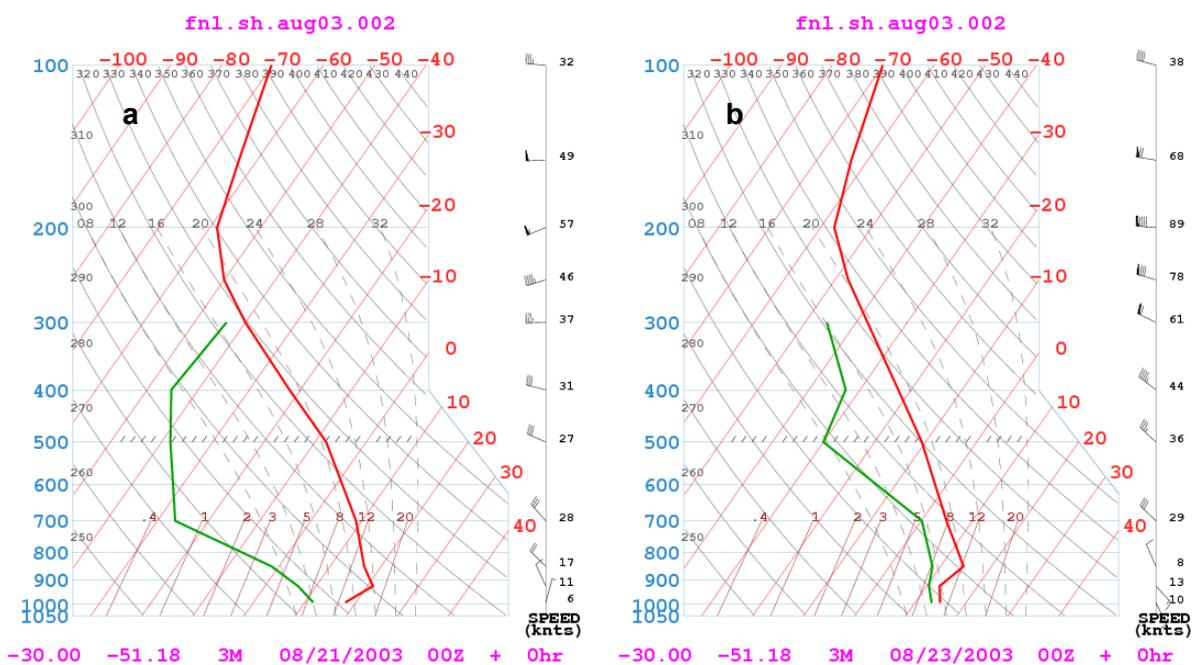


Figura 28: Sondagens das 00:00Z de Porto Alegre: a) dia 21/08/03; b) dia 23/08/03.  
Fonte: NOAA.

Aditivamente à questão da dispersão atmosférica, um outro fator que pode ter contribuído para a magnitude deste evento foi a emissão de poluentes atmosféricos. Não pode ser afirmado que houve aumento da contribuição urbanas e/ou industriais, pois as atividades da indústria não sofreram nenhum sobressalto, e o trânsito veicular também foi estimado como normal, portanto, emissões veiculares dentro do esperado. Mas pode ter havido acréscimo de emissão de material particulado na atividade agrícola. Então, a análise da equipe de trabalho do PROAR voltou-se para a região rural, pois agosto é um período em que ocorrem muitas queimadas na região sul do Brasil, nordeste da Argentina e Paraguai. Queimadas são fontes de poluentes atmosféricos, principalmente material particulado e, a despeito de existir legislação para controle desta prática no campo, foram registradas várias queimadas nestes dias, inclusive no Rio Grande do Sul, onde esta prática é proibida (Lei 9.519/92, art. 28).

A Figura 29 ilustra a evolução das grandes queimadas registradas pelo satélite NOAA-12, entre os dias 19 e 22/08/2003. Nestes dias, só no Rio Grande do Sul foram registradas 2, 18, 28 e 2 queimadas, respectivamente. A análise do campo do vento nos níveis da superfície e na altitude de aproximadamente 700 m (Figura 30), que correspondia ao topo da camada de inversão térmica, indica que o vento nesta camada nos dias 21 e 22/08 era de norte a noroeste e que, pelo menos as queimadas do RS e SC podem ter contribuído para o aumento da concentração de material particulado na atmosfera da RMPA. No dia 23/08, além das queimadas terem diminuído abruptamente, a circulação nesta camada mudou devido à aproximação de uma frente fria, com ventos mais fortes e de sudeste, favorecendo a dispersão dos poluentes atmosféricos.

Esta análise conjunta entre emissão e dispersão de poluentes atmosféricos indica claramente que houve um efeito sinérgico entre ambas, o que resultou no pior evento de qualidade do ar registrado neste ano.

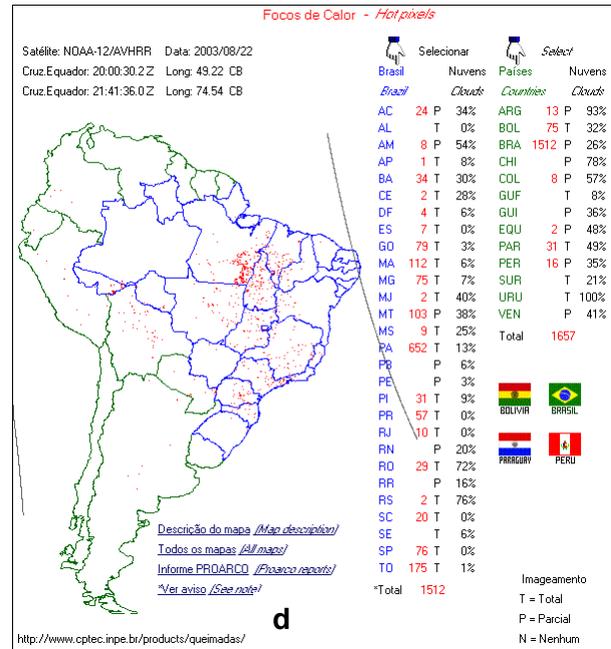
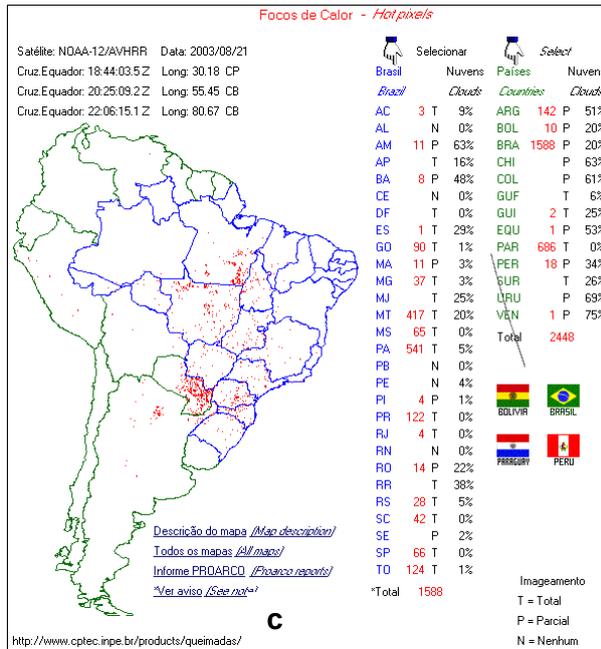
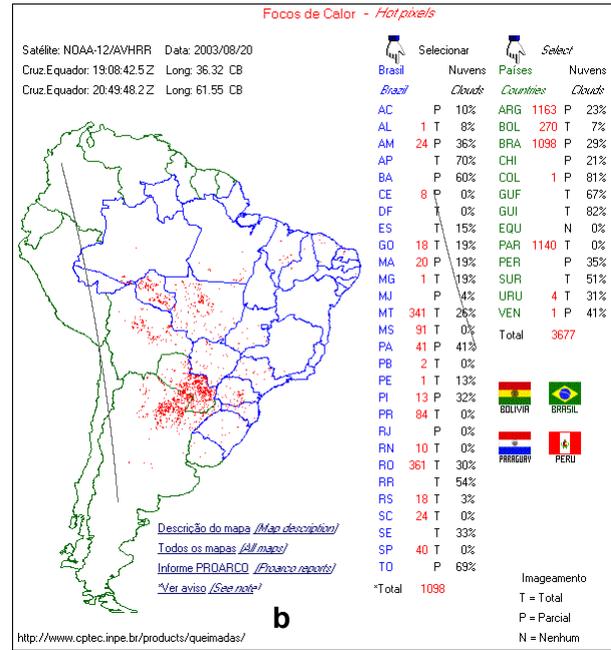
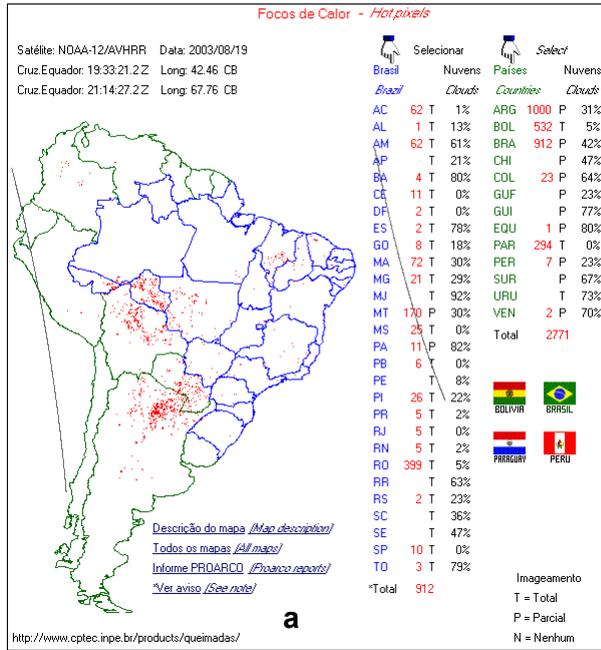
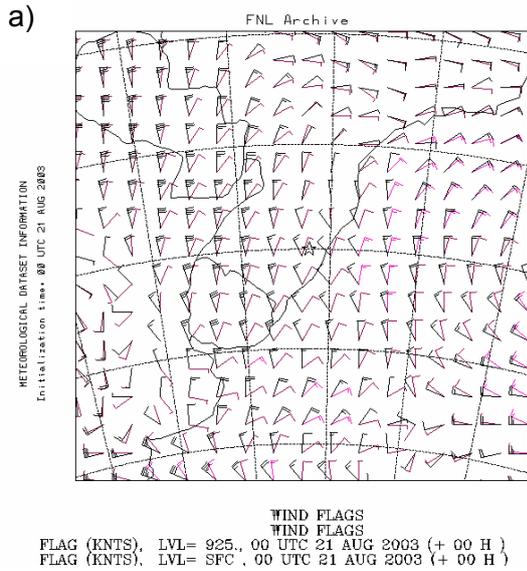
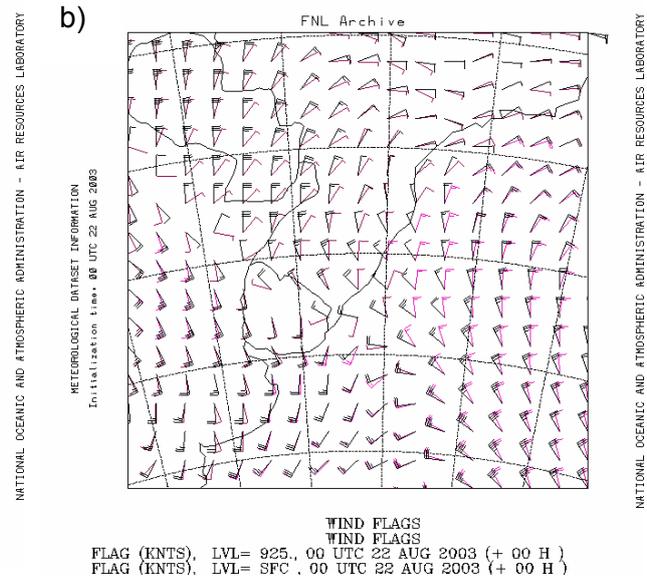


Figura 29: Focos de calor (queimadas) detectados pelo satélite/Sensor NOAA-12/AVHRR nas datas: a) 19/08/2003; b) 20/08/2003; c) 21/08/2003; d) 22/08/2003.  
 Fonte: INPE.

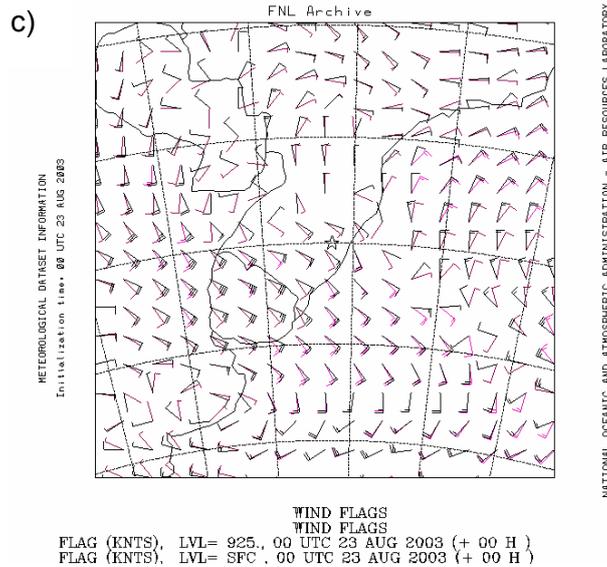
NORR Air Resources Laboratory  
 This product was produced by an Internet user on the NORR Air Resources Laboratory's web site. See the disclaimer for further information (<http://www.arl.noaa.gov/ready/disclaim.html>).



NORR Air Resources Laboratory  
 This product was produced by an Internet user on the NORR Air Resources Laboratory's web site. See the disclaimer for further information (<http://www.arl.noaa.gov/ready/disclaim.html>).



NORR Air Resources Laboratory  
 This product was produced by an Internet user on the NORR Air Resources Laboratory's web site. See the disclaimer for further information (<http://www.arl.noaa.gov/ready/disclaim.html>).



Obs: *Flags* em vermelho representam ventos em superfície e em preto no nível de 700 m.

Figura 30: Perfil do vento na superfície e na altitude de 700 m (925 hPa) da 00:00Z dos dias: a) 21/08/2003; b) 22/08/2003; c) 23/08/2003.

Fonte: NOAA.

Outro episódio que mereceu destaque ocorreu nos dias 08 e 09/02/2006, dois dias normais de verão, com temperaturas altas, ventos fracos e umidade relativa baixa. Nenhuma estação de monitoramento da qualidade do ar da RMPA apresentou aumento considerável nas concentrações de  $PI_{10}$  nestes dias, apenas a estação Canoas/PU. A principal causa para os picos de concentrações de  $PI_{10}$  nestes dois dias consecutivos nesta estação foi o conjunto de atividades exercidas em seu entorno. Como já foi dito anteriormente, o entorno desta estação era predominantemente de paisagem rural, com poucas casas nos arredores. Nestes dois dias houve uma queimada da vegetação predominante no entorno (campo), acompa-

nhada da terraplanagem realizada nas proximidades, à montante do vento predominante (e que ocorreu naqueles dias). Sendo assim, foi um evento localizado, não caracterizando problemas ambientais de grande porte. Cessada a queimada e passados os primeiros dias em que a superfície do solo foi revirada, as concentrações tenderam a seguir o comportamento normal.

O dia 18/10/2011 apresentou picos de concentração em praticamente boa parte do RS, principalmente a região centro/sul e leste do Estado, devido às cinzas do vulcão Puyehue, localizado na Cordilheira dos Andes, no sul do Chile. As emissões associadas a este vulcão foram enormes, conforme noticiado na época, e correntes de ar superior fizeram com que a pluma de dispersão chegasse até os Estados do RS e SC. A Figura 31 ilustra o entardecer em Porto Alegre do dia 18/10/2011, sendo possível observar o decaimento da luz solar devido às partículas em suspensão. Este evento só foi registrado por estas duas estações de monitoramento da qualidade do ar porque eram as únicas a operar neste dia. Caso outras estações de monitoramento estivessem em operação certamente também iriam registrar o fenômeno.

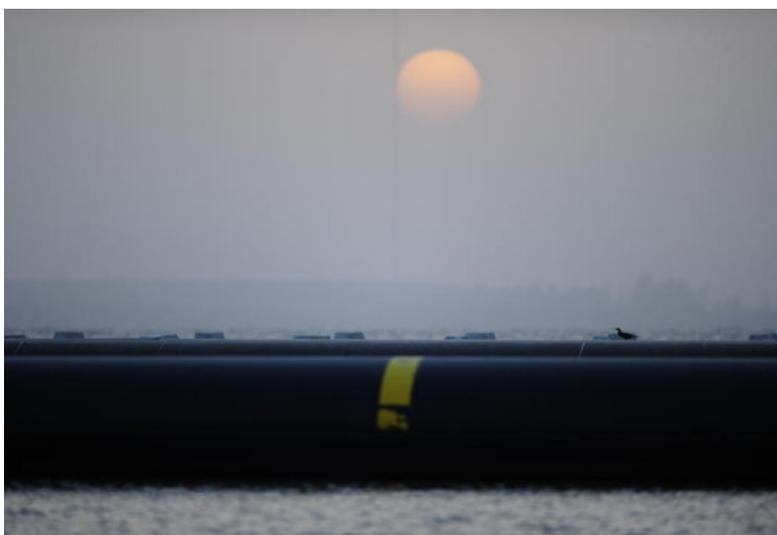


Figura 31: Imagem do entardecer do dia 18/10/2011, mostrando o decaimento da luz solar na RMPA, devido às cinzas do vulcão Puyehue.

Fonte: (<http://zerohora.clicrbs.com.br/rs/geral/noticia/2011/10/particulas-de-vulcao-chileno-encobrem-ceu-da-regiao-metropolitana-3529292.html>)

## 7.3 Dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>)

---

A Tabela 19 apresenta as médias diárias anuais para o poluente SO<sub>2</sub> no período de 2003-2012. Dados em vermelho indicam que o valor médio calculado para o ano não atende o critério de representatividade anual, mas foram considerados somente para avaliação de tendência.

É possível observar na Tabela 19 que as estações Canoas/PU, Esteio/VE, Charqueadas/AT e Triunfo/DEPREC (estas duas últimas sem dados que atendam os critérios de representa-

tividade), que estão instaladas junto a grandes empreendimentos industriais, apresentam as maiores concentrações médias diárias anuais. Este comportamento revela que as emissões deste poluente a partir de fontes móveis já deixaram de ser preocupação, devido à grande melhora na qualidade dos combustíveis fósseis (gasolina e diesel) e também pela utilização de álcool como combustível veicular. Observa-se também que a maioria dos analisadores de SO<sub>2</sub> das estações da FEPAM estiveram operando até 2008-2009.

A Tabela 19 também mostra que a média anual geral (para todas as estações) não apresenta variações consideráveis no período amostrado.

**Tabela 19: Concentração média diária anual de SO<sub>2</sub>, por estação por ano.**

SO <sub>2</sub> – MÉDIA DIÁRIA ANUAL - µg/m <sup>3</sup>										
ESTAÇÃO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
POA/Rodoviária	1,7	1,7	3,4	0,7	0,8	1,0				
POA/ESEF										
POA/Bombeiros	7,2	4,7	4,3							
Canoas/V COMAR	2,0		1,6	2,4	0,7	1,2	1,2			
Canoas/PU		1,4	3,2	5,1	4,5	8,3	2,1	1,8	2,7	2,0
Esteio/VE			6,2	13,2	32,5	13,5	5,2	5,6	4,3	5,8
Sapucaia/SESI	2,0	1,7	5,0	2,5	2,3	2,8	2,4			
Caxias/SENAI	1,5			1,9	2,1	2,3	2,0			
Triunfo/Polo	0,7		1,1	2,0	2,3	2,2	1,5			
Triunfo/DEPREC									10,6	10,1
Móvel/Santa Maria		4,7	3,0							
Móvel/Rio Grande	3,7									
Gravataí/JT								0,6	0,8	0,7
Charqueadas/AT									14,6	14,9
MÉDIA GERAL*	2,7	3,2	4,0	4,0	7,4	5,0	2,6	3,7	3,5	3,9

\* Valores em vermelho não incluídos na Média Geral

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 32 ilustra o comportamento da concentração média diária anual do poluente SO<sub>2</sub> registrado nas estações de monitoramento, por ano de amostragem, contendo somente registros que atenderam aos critérios de representatividade. É evidenciado o comportamento dos registros realizados na estação Esteio/VE que se mantiveram sempre acima das demais estações, com pico máximo no ano de 2007, com concentração diária anual acima de 30 µg/m<sup>3</sup>, caindo para patamares próximos às demais estações nos anos seguintes. Este comportamento pode estar relacionado com o período de expansão das atividades da RE-FAP, voltando a cair nos anos seguintes devido, provavelmente, às ações mitigadoras de controle realizadas por essa empresa.

A Figura 33 ilustra o comportamento anual das concentrações médias diárias anuais, considerando todas as estações de monitoramento, em todo o período de amostragem. É possível observar que houve um aumento destas concentrações médias no ano de 2007, devido aos valores registrados na estação Esteio/VE e que, a partir de 2008, as concentrações voltaram ao patamar original.

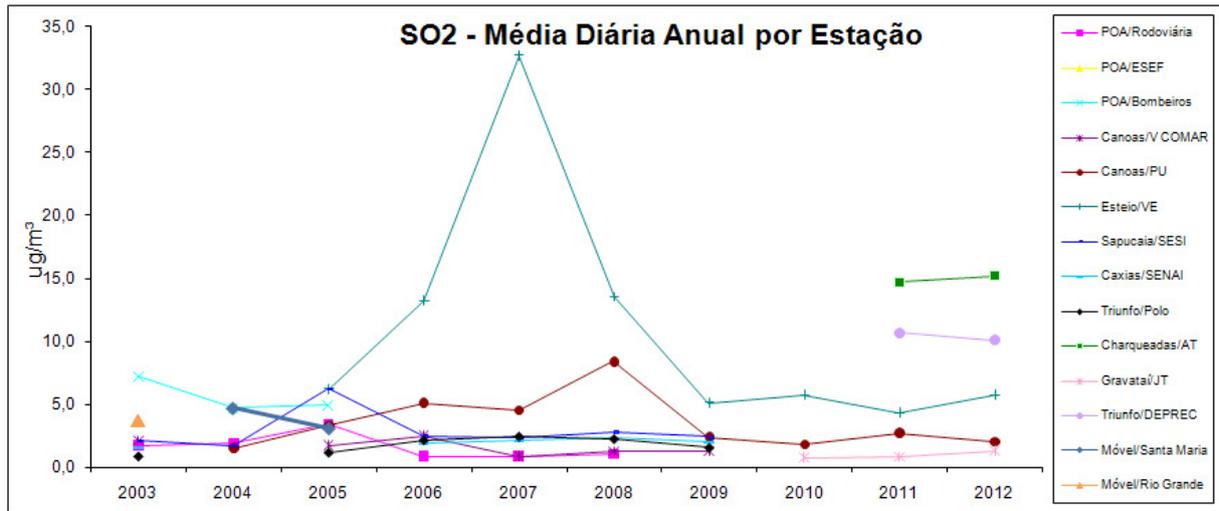


Figura 32: Concentração média diária anual de SO<sub>2</sub> por estação (2003-2012).  
Fonte: Elaborado pelo autor.

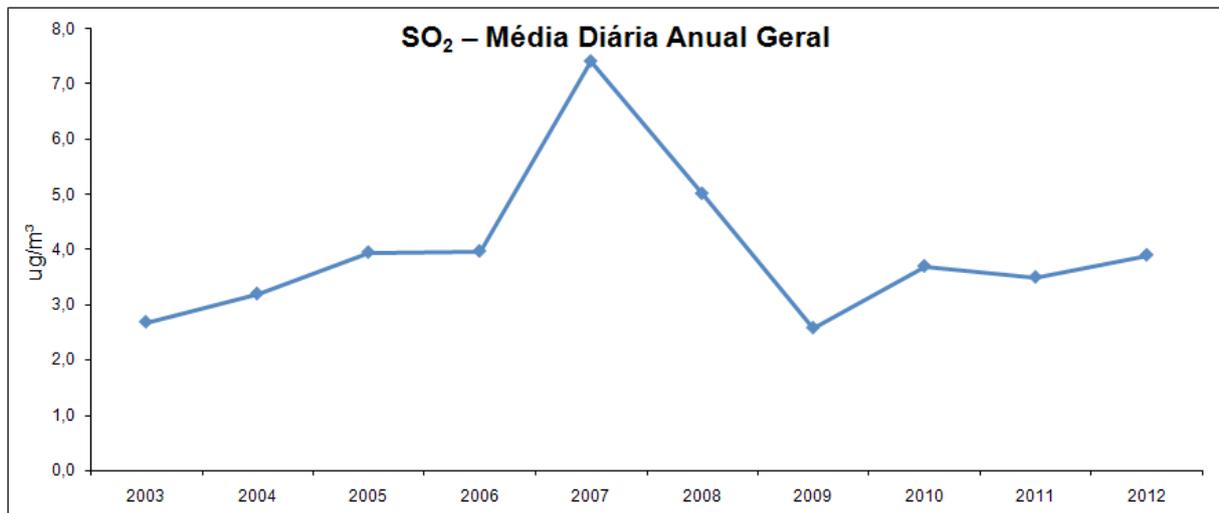


Figura 33: Concentração média diária anual de SO<sub>2</sub> para todas as estações (2003-2012).  
Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 20 apresenta as concentrações máximas diárias do poluente SO<sub>2</sub>, por estação de monitoramento e por ano de amostragem. É possível observar que as estações Canoas/PU e Esteio/VE apresentaram picos de concentrações superiores aos das demais estações, sobretudo entre os anos de 2006-2008, período em que houve ampliação da capacidade produtiva, como já foi informado. A partir de 2009 os picos de concentrações mantiveram-se mais baixos, embora ainda superiores aos registros das demais estações. Este comportamento concorda com a hipótese de que as emissões atuais do poluente SO<sub>2</sub> estão mais ligadas às fontes fixas que as fontes móveis.

**Tabela 20: Concentração máxima diária anual de SO<sub>2</sub>, por estação por ano.**

SO <sub>2</sub> – Concentração Máxima Diária Anual - µg/m <sup>3</sup>										
ESTAÇÃO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
POA/Rodoviária	23,7	5,5	9,3	2,6	2,6	22,9				
POA/ESEF										
POA/Bombeiros	42,4	28,6	16,7							
Canoas/V COMAR	26,9		3,6	20,8	2,1	3,7	9,7			
Canoas/PU		6,9	57,8	62,8	82,0	97,7	20,2	37,8	56,6	50,5
Esteio/VE			32,3	84,7	289,4	85,9	79,3	58,8	68,0	99,3
Sapucaia/SESI	9,8	5,0	12,8	13,8	24,1	15,6	18,2			
Caxias/SENAI	6,2			11,0	6,9	10,5	9,3			
Triunfo/Polo	1,9		4,7	12,0	12,3	13,6	7,7			
Triunfo/DEPREC									12,5	24,5
Móvel/Santa Maria		15,9	21,2							
Móvel/Rio Grande	39,8									
Gravatá/JT								0,7	3,1	1,4
Charqueadas/AT									19,7	66,1

OBS.: padrão 1º de qualidade do ar: 365 µg/m<sup>3</sup>, diário, não deve ser excedida mais de uma vez por ano;  
padrão 2º de qualidade do ar: 100 µg/m<sup>3</sup>, diário, não deve ser excedida mais de uma vez por ano

Fonte: Elaborado pelo autor.

A resolução CONAMA nº 003/1990 estabelece padrões de qualidade do ar primário e secundário de SO<sub>2</sub>, para a média anual e diária. Para a média anual, o padrão primário e o secundário são de 80 e 40 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Conforme se observa na Tabela 19, não houve ultrapassagens dos padrões anuais de qualidade do ar para SO<sub>2</sub> e os valores estão bem abaixo dos padrões.

O limite para o padrão primário (média diária) do poluente SO<sub>2</sub> é 365 µg/m<sup>3</sup> e para o padrão secundário (média diária) é 100 µg/m<sup>3</sup>. A Tabela 21 ilustra o número de ultrapassagens do padrão secundário para as concentrações médias diárias do poluente SO<sub>2</sub>, por estação de monitoramento e por ano de amostragem, no período amostrado (2003-2012). É possível observar que no ano de 2007 foram registradas 23 ultrapassagens deste padrão na estação Esteio/VE. Nenhuma outra estação registrou evento de ultrapassagem deste padrão.

Quanto ao padrão primário de qualidade do ar para as médias diárias de SO<sub>2</sub> não foram registradas ultrapassagens em nenhuma estação de monitoramento no período amostrado.

**Tabela 21: Número de eventos de ultrapassagens do Padrão Secundário de Qualidade do Ar para SO<sub>2</sub>, por estação por ano.**

SO <sub>2</sub> – Número de ultrapassagens do Padrão Secundário da Qualidade do Ar (médias diárias)*										
ESTAÇÃO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
POA/Rodoviária										
POA/ESEF										
POA/Bombeiros										
Canoas/V COMAR										
Canoas/PU										
Esteio/VE					23					
Sapucaia/SESI										
Caxias/SENAI										
Triunfo/Polo										
Triunfo/DEPREC										
Móvel/Santa Maria										
Móvel/Rio Grande										
Gravataí/JT										
Charqueadas/AT										

\* 100 µg/m<sup>3</sup>, diário, não deve ser excedida mais de uma vez por ano

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi realizada uma análise do comportamento mensal, considerando todas as estações fixas de monitoramento e todo o período de amostragem, e o resultado é ilustrado na Figura 34. É possível observar que a mínima concentração média ocorre nos meses de verão (janeiro, fevereiro e março), com elevação gradual até o começo da primavera, voltando a decrescer nos meses seguintes. O período de menores concentrações médias mensais pode ser explicado pelas condições meteorológicas, com maior aquecimento da superfície e conseqüente aumento da camada de mistura. Durante os meses de outono (abril, maio, junho) ocorre a diminuição da precipitação, da velocidade média do vento e da temperatura média, e ocorre maior migração de massas de ar polar sobre a região sul do Brasil; estes fatores levam à diminuição da camada de mistura, e podem explicar o aumento gradual das concentrações médias de SO<sub>2</sub> neste período. Nos primeiros meses de inverno (julho e agosto), pelos mesmos fatores, a continuidade do aumento nas concentrações médias mensais de SO<sub>2</sub>, apesar de ocorrer maior precipitação pluviométrica neste período, também é uma hipótese válida. Mas a continuidade do aumento das concentrações de SO<sub>2</sub> até o mês de outubro não encontra explicações meteorológicas, pois, neste período, as temperaturas começam a elevar-se, juntamente com a altura da camada de mistura e o vento médio junto à superfície, e a precipitação continua alta, fatores que deveriam contribuir para a diminuição das concentrações de SO<sub>2</sub> junto à superfície. Por outro lado, também não há argumentos que apoiem a hipótese de que as emissões antropogênicas de SO<sub>2</sub> aumentem neste período do ano. Estudos das concentrações de SO<sub>2</sub> em vários locais da América do Sul e Antártica (Santa Maria, Cachoeira Paulista, Natal, Punta Arenas, Cuiabá e na Estação Antártica Comandante Ferraz), alguns com forte influência antropogênica e outros não, mostraram um aumento das concentrações de SO<sub>2</sub> atmosférico a partir de agosto até outubro ou novembro, dependendo o local (Mariano, 2012). Foi sugerida a influência de fontes biogênicas para explicar as concentrações de SO<sub>2</sub> atmosférico. Esta parece uma hipótese válida, pois as emissões biogênicas seriam responsáveis pelo aumento das concentrações de *background* e se somariam às emissões antropogênicas, provocando a elevação das concentrações de SO<sub>2</sub> na baixa at-

mosfera. O aumento das emissões biogênicas de  $\text{SO}_2$  nesta época do ano devem ser melhor estudadas para a confirmação desta hipótese.

Também foi realizada uma análise do comportamento das concentrações de  $\text{SO}_2$  durante os dias da semana, considerando todas as estações fixas de monitoramento, em todo o período amostrado. O resultado desta análise é ilustrado na Figura 35, onde é possível observar um aumento gradual das concentrações de  $\text{SO}_2$ , dia após dia, de segunda a sexta-feira, e seu decréscimo nos fins de semana. Este comportamento é explicado principalmente pelas contribuições veiculares de  $\text{SO}_2$ , pois, nos fins de semana, estas emissões diminuem.

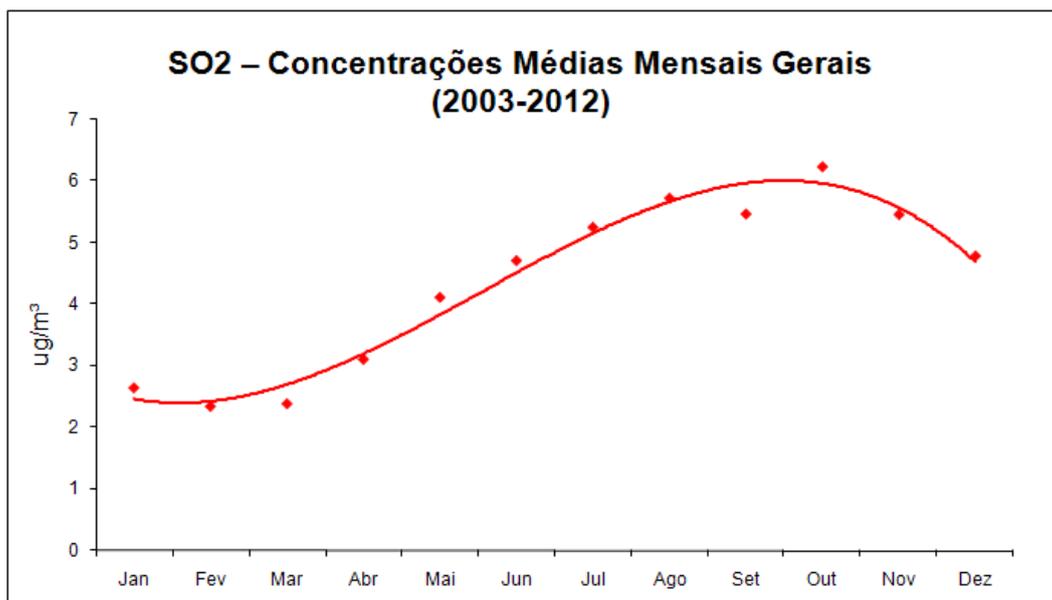


Figura 34: Concentração média mensal de  $\text{SO}_2$  para todas as estações fixas (2003-2012).  
Fonte: Elaborado pelo autor.

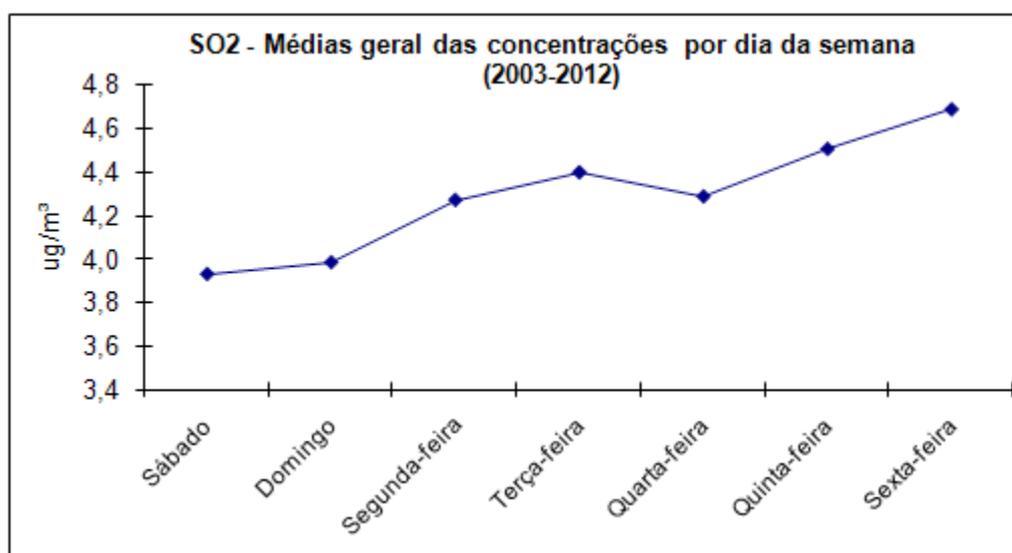


Figura 35: Concentração média diária de  $\text{SO}_2$  por dia da semana, para todas as estações fixas (2003-2012).  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando os eventos de elevada concentração de  $\text{SO}_2$ , observa-se que a estação Esteio/VE registrou as duas máximas concentrações médias diárias, de  $289,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , em 01/06/2007, e  $206,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  em 09/10/2007.

No dia 01/06/2007 a temperatura do ar esteve entre 12 e  $20^\circ\text{C}$ , o vento predominante era variável fraco de leste/sudeste, com períodos de calmaria, e poucos períodos de chuva fraca ( $<1 \text{ mm/h}$ ). Este evento esteve relacionado, provavelmente, com picos de emissão de  $\text{SO}_2$  pela REFAP, podendo ser decorrente da expansão da produção desta empresa. O pico de concentração foi registrado na estação Esteio/VE, que se localiza à jusante do vento predominante em relação à REFAP, enquanto que a estação Canoas/PU, que encontra-se à montante, não registrou pico de concentração de  $\text{SO}_2$  neste dia.

No dia 09/10/2007 a temperatura do ar esteve entre 18 e  $30^\circ\text{C}$ , o vento predominante também era de leste/sudeste de fraco a moderado, e novamente o pico de concentração de  $\text{SO}_2$  foi registrado na estação Esteio/VE, localizada à jusante da REFAP. Provavelmente este pico de concentração tenha ocorrido novamente por aumento das emissões deste poluente pela REFAP, pelos motivos já relatados. A estação Canoas/PU, localizada à montante do vento predominante, não registrou pico de concentração de  $\text{SO}_2$  neste dia.

## 7.4 Dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ )

---

A Tabela 22 contém as concentrações médias horárias anuais de dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) registradas nas estações da Rede Ar do Sul no período 2003-2012. Dados em vermelho indicam que o valor médio calculado para o ano não atende o critério de representatividade anual, mas foram considerados somente para avaliação de tendência.

É possível observar que os equipamentos responsáveis pela medição das concentrações não apresentaram a estabilidade necessária, pois existem poucos anos com dados registrados que atenderam aos critérios de representatividade anual. Das estações da FEPAM, somente a estação POA/Bombeiros apresentou um único ano em que este critério foi atendido (2009), sendo que os demais registros representativos foram registrados pelas estações Canoas/PU e Esteio/VE, mas somente entre os anos de 2006-2009.

**Tabela 22: Concentração média horária anual de NO<sub>2</sub> por estação por ano.**

NO <sub>2</sub> – MÉDIA HORÁRIA ANUAL - µg/m <sup>3</sup>										
ESTAÇÃO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
POA/Rodoviária	29,9	39,3	45,4	46		29,8	26,9			
POA/ESEF										
POA/Bombeiros	27	26,4		91,2		15,5	22,3			
Canoas/V COMAR										
Canoas/PU		7,7	10,3	34,1	29,8	15,0	16,3	10,9		20,1
Esteio/VE		13,4	21,1	25,8	29,7	25,6	28,2	23,7		19,9
Sapucaia/SESI										
Caxias/SENAI										
Triunfo/Polo										
Triunfo/DEPREC									3,1	7,0
Móvel/Santa Maria		21,6								
Móvel/Rio Grande	13,4									
Gravataí/JT										
Charqueadas/AT									11,3	13,5
<b>MÉDIA GERAL *</b>	13,4			30,0	29,8	15,0	22,3			

\* Valores em vermelho não incluídos na Média Geral

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 36 ilustra o comportamento das concentrações horárias anuais por estação e por ano de amostragem. Nela encontram-se somente os dados que atenderam aos critérios de representatividade anual. Apesar da escassez de dados representativos, é possível observar, assim como para o SO<sub>2</sub>, a tendência de alta das concentrações médias horárias anuais entre 2006-2007, e a tendência de retorno aos patamares iniciais após este período, possivelmente decorrentes das mesmas causas comentadas anteriormente.

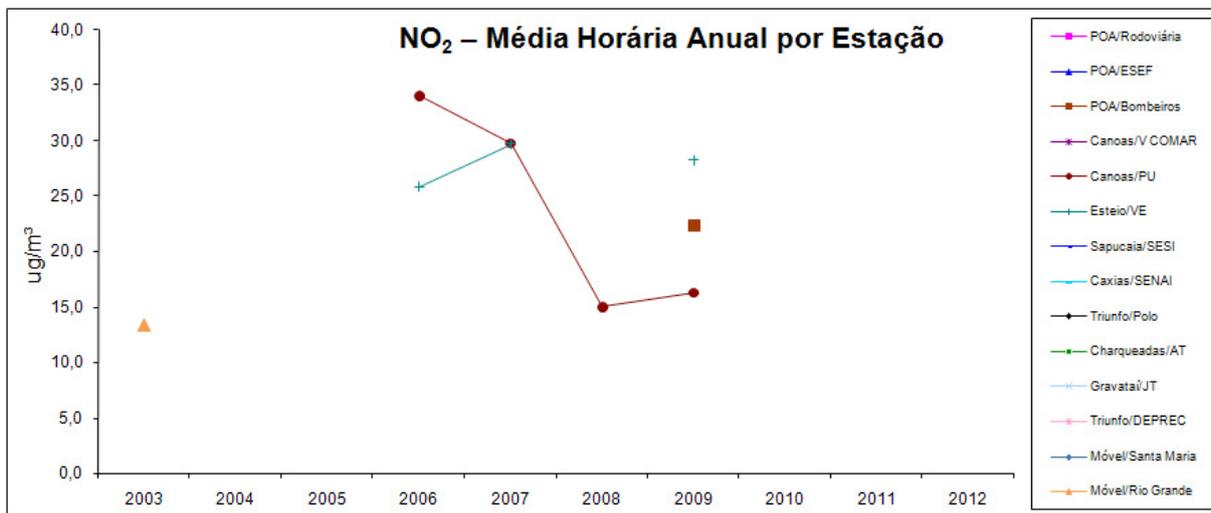


Figura 36: Concentração média horária anual de NO<sub>2</sub> por estação (2003-2012).

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 37 mostra as concentrações horárias anuais gerais, considerando todas as estações, no período de amostragem. Apesar dos poucos dados representativos, é possível observar que as concentrações médias horárias anuais gerais estiveram mais altas entre 2006-2007.

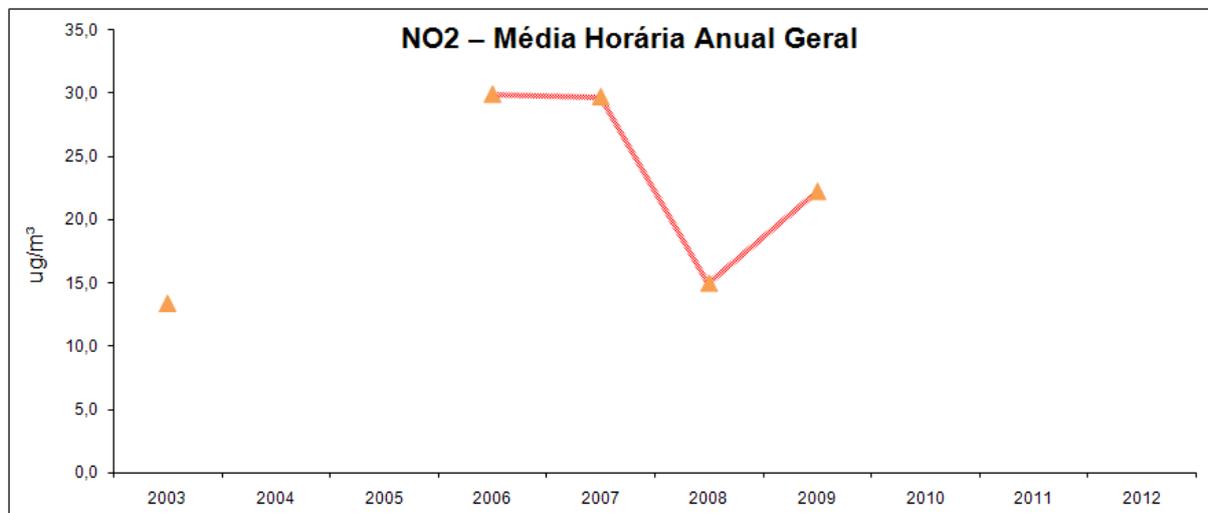


Figura 37: Concentração média horária anual de NO<sub>2</sub> para todas as estações (2003-2012).

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 23 contém as concentrações máximas horárias de NO<sub>2</sub>, por estação de monitoramento e por ano de amostragem. Observam-se maiores concentrações máximas horárias nas estações Canoas/PU e Esteio/VE e uma tendência das concentrações máximas terem ocorrido entre 2006-2007, possivelmente por aumento nas emissões locais. Salienta-se que a maior concentração máxima horária foi registrada na estação POA/Bombeiros em 2006.

Para concentração média horária de NO<sub>2</sub>, o padrão de qualidade do ar primário e secundário é 320 µg/m<sup>3</sup> e 190 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Para a média anual, tanto o padrão primário quanto o secundário, é de 100 µg/m<sup>3</sup>.

Conforme se pode observar na Tabela 22, as concentrações médias anuais em todas as estações no período considerado estiveram abaixo do padrão anual primário e secundário da qualidade do ar para este poluente.

A Tabela 24 mostra o número de eventos em que houve ultrapassagem do padrão primário de qualidade do ar para médias horárias, por estação de monitoramento e por ano de amostragem. Observa-se que o padrão foi ultrapassado treze vezes, sendo oito delas na estação POA/Bombeiros, três na estação Esteio/VE e duas vezes na estação Canoas/PU.

**Tabela 23: Concentração máxima horária de NO<sub>2</sub> por estação por ano.**

NO <sub>2</sub> – Concentração Máxima Horária Anual - µg/m <sup>3</sup>										
ESTAÇÃO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
POA/Rodoviária	116,7	285,9	108,2	196,3		136,1	126,3			
POA/ESEF										
POA/Bombeiros	196,7	82,2		459,1		112,4	107,2			
Canoas/V COMAR										
Canoas/PU		61,6	70,9	329,9	332,6	131,1	218,8	84,3		103,1
Esteio/VE		71,5	72,2	390,5	390,7	244,7	197,5	253,3		82,1
Sapucaia/SESI										
Caxias/SENAI										
Triunfo/Polo										
Triunfo/DEPREC									31,2	40,1
Móvel/Santa Maria		67,3								
Móvel/Rio Grande	71,6									
Gravataí/JT										
Charqueadas/AT									61,8	71,1

OBS.: padrão 1º de qualidade do ar: 320 µg/m<sup>3</sup>, horário;  
padrão 2º de qualidade do ar: 190 µg/m<sup>3</sup>, horário.

Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível observar que o centro dos episódios se encontra entre 2006 e 2007, nas estações POA/Bombeiros, Canoas/PU e Esteio/VE. As duas últimas já foram suficientemente abordadas quanto às possíveis explicações, mas quanto à estação POA/Bombeiros é importante salientar, além de ser a estação com maior número de ultrapassagens do padrão primário, também é a estação que apresentou o maior registro de concentração de NO<sub>2</sub>, conforme a Tabela 23. Este comportamento apresentado pela estação POA/Bombeiros provavelmente está diretamente ligado às características de seu entorno, pois é uma estação localizada a dez metros de uma via de tráfego intenso, junto a uma parada de ônibus, com intensa movimentação destes e outros veículos. Há ainda fatores ligados à dispersão de poluentes atmosféricos, pois há um conjunto residencial ao lado da estação, com prédios de quatro andares, além de existência de vegetação arbórea de médio e grande porte. Fica evidente que esta estação de monitoramento deveria ser realocada em outra localização, para que seus dados possam ser representativos da condição ambiental local, e não uma medida quase que direta dos poluentes nas fontes de emissão (móveis).

A não ultrapassagem do padrão primário de qualidade do ar a partir de 2008 não implica na conclusão de que a qualidade do ar tenha melhorado, podendo ser somente o reflexo das características dos equipamentos utilizados para medição de NO<sub>2</sub>, que apresentaram baixa estabilidade e alto índice de inoperância por panes das mais variadas, o que fez com que o número de dados anuais fosse bastante reduzido.

**Tabela 24: Número de eventos de ultrapassagens do Padrão Primário de Qualidade do Ar para NO<sub>2</sub>, por estação por ano.**

NO <sub>2</sub> – Número de ultrapassagens do Padrão Primário de Qualidade do Ar (média horária)*										
ESTAÇÃO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
POA/Rodoviária										
POA/ESEF										
POA/Bombeiros				8						
Canoas/V COMAR										
Canoas/PU				1	1					
Esteio/VE				2	1					
Sapucaia/SESI										
Caxias/SENAI										
Triunfo/Polo										
Triunfo/DEPREC										
Móvel/Santa Maria										
Móvel/Rio Grande										
Gravatai/JT										
Charqueadas/AT										

\* 320 mg/m<sup>3</sup>, horário.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 25 contém os dados de ultrapassagens do Padrão Secundário da Qualidade do Ar para as médias horárias do poluente NO<sub>2</sub>, por estações de monitoramento, por ano de amostragem. Observam-se 118 ultrapassagens do padrão secundário para as concentrações médias horárias. A estação POA/Bombeiros apresentou 55 episódios de ultrapassagens deste padrão (53 deles somente em 2006), seguida pela estação Esteio/VE com 35 ultrapassagens, e a estação Canoas/PU com 23 ultrapassagens. Apesar dos números serem bastante maiores, é possível observar o mesmo comportamento anterior, com a estação POA/Bombeiros liderando em número de ultrapassagens, seguida pelas estações Canoas/PU e Esteio/VE, pelos mesmos motivos já explanados. O fator novo é a ocorrência de episódios de ultrapassagens do Padrão Secundário também para a estação POA/Rodoviária.

É importante salientar que o entorno da estação POA/Rodoviária possui características aproximadas ao da estação POA/Bombeiros, a menos de 20 m de via de transporte com intenso trânsito de veículos, leves e pesados, com a presença de uma parada de ônibus de intensa movimentação. Contudo, esta estação não está próxima a edificações que comprometam a amostragem.

Foi também realizada uma análise geral do comportamento das concentrações do poluente NO<sub>2</sub>, considerando os registros de todas as estações fixas em todo o período de 2003-2012, e o resultado é ilustrado na Figura 38.

**Tabela 25: Número de eventos de ultrapassagens do Padrão Secundário de Qualidade do Ar para NO<sub>2</sub>, por estação por ano.**

NO <sub>2</sub> – Número de ultrapassagens do Padrão Secundário de Qualidade do Ar (média horária)*										
ESTAÇÃO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
POA/Rodoviária		3		1						
POA/ESEF										
POA/Bombeiros	2			53						
Canoas/V COMAR										
Canoas/PU				18	3		2			
Esteio/VE				7	23	3	1	1		
Sapucaia/SESI										
Caxias/SENAI										
Triunfo/Polo										
Triunfo/DEPREC										
Móvel/Santa Maria										
Móvel/Rio Grande										
Gravataí/JT										
Charqueadas/AT										

\* 190 µg/m<sup>3</sup>, horário.

Fonte: Elaborado pelo autor.

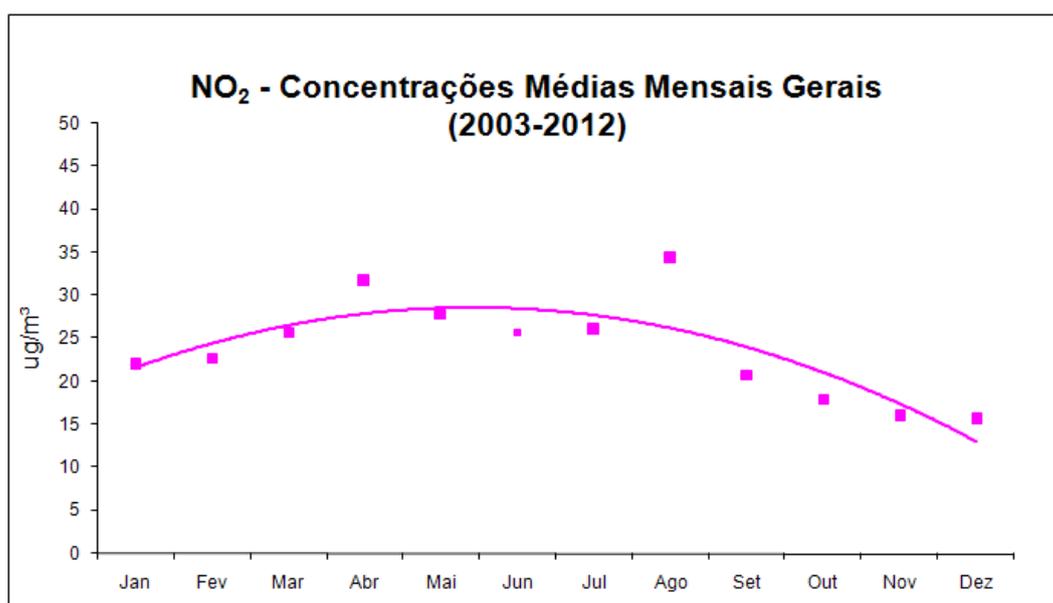


Figura 38: Concentração média mensal de NO<sub>2</sub> para todas as estações fixas (2003-2012).

Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível observar na Figura 38 que as concentrações médias de NO<sub>2</sub> são maiores nos meses de outono e inverno, diminuindo nos meses de primavera e verão. Este comportamento se deve, possivelmente, a maiores emissões e as condições meteorológicas mais desfavoráveis para a dispersão nos meses frios. Durante o verão existe um movimento de grande massa populacional em direção ao litoral, devido às férias escolares e veraneio, diminuindo o fluxo de veículos nos grandes centros urbanos, onde estão localizadas as estações de monitoramento. Também algumas indústrias promovem férias ou paralisações coletivas neste período, com conseqüente menor emissão de poluentes atmosféricos. Durante o outono e inverno, este movimento de massa populacional não acontece, ao mesmo tempo em

que as condições meteorológicas pioram a dispersão, pois o outono marca a queda gradual das temperaturas, com o avanço das massas de ar polares sobre o Estado. E isto faz com que a média da velocidade do vento diminua, assim como a altura da camada de mistura, com maior ocorrência de inversões térmicas próximas a superfície, fatores que dificultam a melhor dispersão de poluentes atmosféricos. Na primavera e verão as temperaturas são mais altas, assim como a velocidade média do vento e a altura da camada de mistura, com menor ocorrência de inversões térmicas próximas a superfície, fatores que favorecem a dispersão de poluentes atmosféricos.

Outra análise realizada foi o comportamento das concentrações do poluente NO<sub>2</sub> durante os dias da semana, sendo o resultado apresentado na Figura 39. É possível observar que, por ser um poluente primário, as concentrações de NO<sub>2</sub> na atmosfera estão diretamente ligadas às emissões, com o aumento gradual durante os dias da semana, devido ao maior trânsito de veículos, caracterizando um certo acúmulo na atmosfera, e diminuindo nos fins de semana. Esta diminuição também está relacionada com o aumento das concentrações de O<sub>3</sub> nestes dias, pois o NO<sub>2</sub> é o principal precursor para a formação do O<sub>3</sub>.

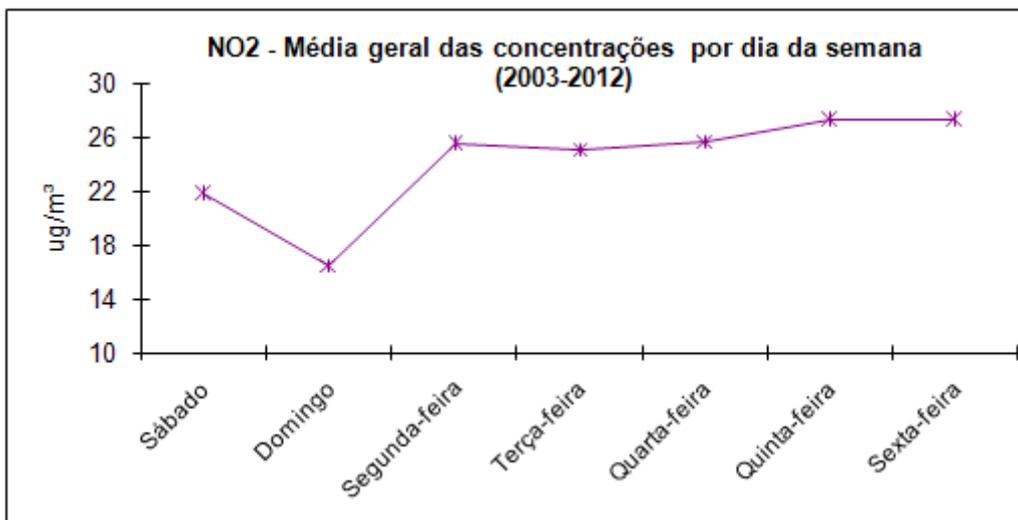


Figura 39: Concentração média diária de NO<sub>2</sub> por dia da semana para todas as estações fixas (2003-2012).  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Também foram analisadas as condições atmosféricas reinantes em alguns episódios de máxima concentração de NO<sub>2</sub> na atmosfera, conforme segue.

No dia 25/08/2006 foram registradas três ultrapassagens do padrão primário de qualidade do ar para concentrações médias horárias de NO<sub>2</sub> na estação POA/Bombeiros: 406,3 µg/m<sup>3</sup>, 459,1 µg/m<sup>3</sup> (máxima concentração média horária registrada entre 2003-2012) e 337,3 µg/m<sup>3</sup>, além de outras que ultrapassaram o padrão secundário de qualidade do ar. Neste mesmo dia, a estação Canoas/PU registrou três ultrapassagens do padrão de qualidade secundário de qualidade do ar para concentrações médias horárias, com concentrações de 208,6 µg/m<sup>3</sup>, 202,7 µg/m<sup>3</sup> e 191,7 µg/m<sup>3</sup>. A estação Esteio/VE não registrou estes picos, pois o monitor de NO<sub>2</sub> estava inoperante quase todo o dia. Analisando o comportamento das variáveis meteorológicas neste dia, foi verificado que as temperaturas oscilaram entre 11 e 30°C, o vento era fraco com direção variável, com períodos de calmaria, a atmosfera era estável, com a ocorrência de uma forte inversão térmica junto à superfície (Figura 40) e

nenhum registro de precipitação. A boa concordância entre os registros de concentrações das estações POA/Bombeiros e Canoas/PU, apesar de serem estações localizadas distantes aproximadamente 18 km uma da outra, sugerem que os picos de concentração não foram devido a um aumento nas emissões locais. Deve ter sido preponderantemente a partir das emissões de fontes móveis (às quais a estação POA/Bombeiros está mais suscetível), e às más condições atmosféricas para dispersão de poluentes.

Outra ocorrência de pico de concentração de NO<sub>2</sub> aconteceu em 05/08/2006, quando foi registrado 329,9 µg/m<sup>3</sup> na estação Canoas/PU, ultrapassando o padrão primário de qualidade do ar para concentrações médias horárias de NO<sub>2</sub>, além de ter ultrapassado o padrão secundário de qualidade do ar em outras duas médias horárias neste dia. Neste mesmo dia foram também registradas na estação POA/Bombeiros três ultrapassagens do padrão secundário de qualidade do ar para médias horárias: 195,4 µg/m<sup>3</sup>, 222,2 µg/m<sup>3</sup> e 200,9 µg/m<sup>3</sup>. Na estação Esteio/VE houve aumento nas concentrações médias horárias, mas não houve ultrapassagem de padrão de qualidade do ar neste dia. Analisando as condições meteorológicas, observou-se que as temperaturas estiveram entre 13 e 26°C, o vento era fraco com direção variável, com períodos de calmaria, a atmosfera era estável, com a ocorrência de uma moderada inversão térmica junto à superfície (Figura 41) e nenhum registro de precipitação. Pelas condições meteorológicas semelhantes pode-se concluir que este episódio foi similar ao ocorrido no dia 25/08/2006.

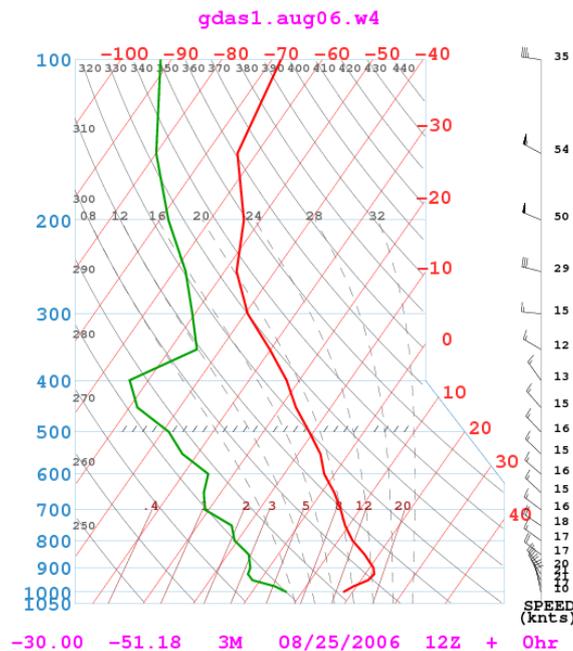


Figura 40: Diagrama Skew T-Log P correspondente à radiossondagem do dia 25/08/2006 às 12:00 UTC (09:00 L), do Aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre.

Fonte: modelado pela NOAA.

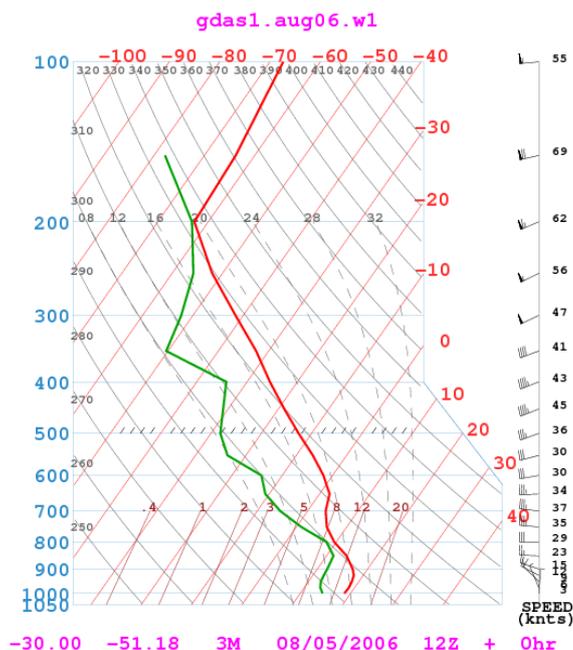


Figura 41: Diagrama Skew T-Log P correspondente à radiossondagem do dia 5/08/2006 às 12:00 UTC (09:00 L), do Aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre.

Fonte: modelado pela NOAA.

Por fim, analisou-se ainda o dia 20/06/2007, quando houve pico de concentração média horária de  $\text{NO}_2$  registrado na estação Esteio/VE, com  $390,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ultrapassando o padrão primário da qualidade do ar, além de outros dois horários que ultrapassaram o padrão primário, com  $195,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $199,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Na estação Canoas/PU foi registrado aumento nas concentrações de  $\text{NO}_2$ , mas sem ultrapassagem de padrão de qualidade do ar. Analisando as condições meteorológicas neste dia observou-se que as temperaturas estiveram entre 16 e  $30^\circ\text{C}$ , o vento esteve de leste fraco, com períodos de calmaria, a atmosfera era estável, com a ocorrência de uma forte inversão térmica junto à superfície (Figura 42), e nenhum registro de precipitação naquele dia, somente no dia anterior. Como é possível observar, as condições meteorológicas são semelhantes aos dois casos anteriores, com condições meteorológicas que dificultam a dispersão de poluentes atmosféricos. O pico de concentração ocorreu somente na estação Esteio/VE, localizada à jusante do escoamento do vento predominante daquele dia, o que sugere ter havido algum incremento importante nas emissões locais, pois a precipitação ocorrida no dia anterior possivelmente abateu o excesso de poluentes atmosféricos, não havendo um *background* considerável devido às emissões de fontes móveis.

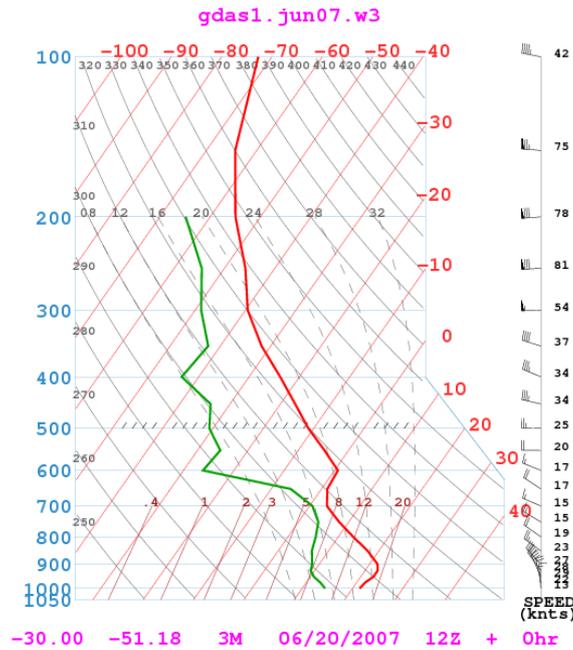


Figura 42: Diagrama Skew T-Log P correspondente à radiossondagem do dia 20/06/2007 às 12:00 UTC (09:00 L), do Aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre.  
 Fonte: modelado pela NOAA.

## 7.5 Monóxido de carbono (CO)

A Tabela 26 contém as concentrações médias horárias anuais de CO para todas as estações de monitoramento, para todo o período de amostragem. Dados em vermelho indicam que o valor médio calculado para o ano não atende o critério de representatividade anual, mas foram considerados somente para avaliação de tendência.

É possível observar que os valores são baixos e bem distribuídos entre as estações, sendo que os maiores valores se apresentam nas estações que estão inseridas em área urbana, o que sugere ser este poluente mais associado às emissões urbanas (fontes móveis, por exemplo). A estação Sapucaia/SESI tende a apresentar os valores mais altos.

A Figura 43 ilustra o comportamento anual das concentrações médias horárias anuais para o poluente CO para todas as estações de monitoramento, durante todo o período de amostragem. A única estação que apresenta um aumento considerável nos registros de concentrações de CO é a Sapucaia/SESI, mas este aumento foi isolado e, nos anos anteriores e posteriores, não houve dados com representatividade nesta estação. As possíveis razões para estas leituras mais elevadas devem ser melhor estudadas.

**Tabela 26: Concentração média horária anual de CO por estação por ano.**

CO - MÉDIA HORÁRIA ANUAL - ppm										
ESTAÇÃO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
POA/Rodoviária	0,7	0,6	0,6			0,4	0,7	0,6		
POA/ESEF	0,7	0,5	0,6			0,4	0,4			
POA/Bombeiros	0,9	0,8					1,5			
Canoas/V COMAR										
Canoas/PU			0,5	0,6	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Esteio/VE		0,5	0,6	0,7	0,6	0,4	0,4	0,4	0,9	0,5
Sapucaia/SESI	0,6	0,5	0,3	0,5	0,5	1,3	1,5	1,2		
Caxias/SENAI										
Triunfo/Polo			0,5	0,4	0,4					
Triunfo/DEPREC										
Móvel/Santa Maria				1,1						
Móvel/Rio Grande	1,2									
Gravataí/JT								0,2		0,2
Charqueadas/AT									0,3	0,3
<b>MÉDIA GERAL*</b>	<b>0,9</b>	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,7</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>0,3</b>

\* Valores em vermelho não incluídos na Média Geral

Fonte: Elaborado pelo autor.

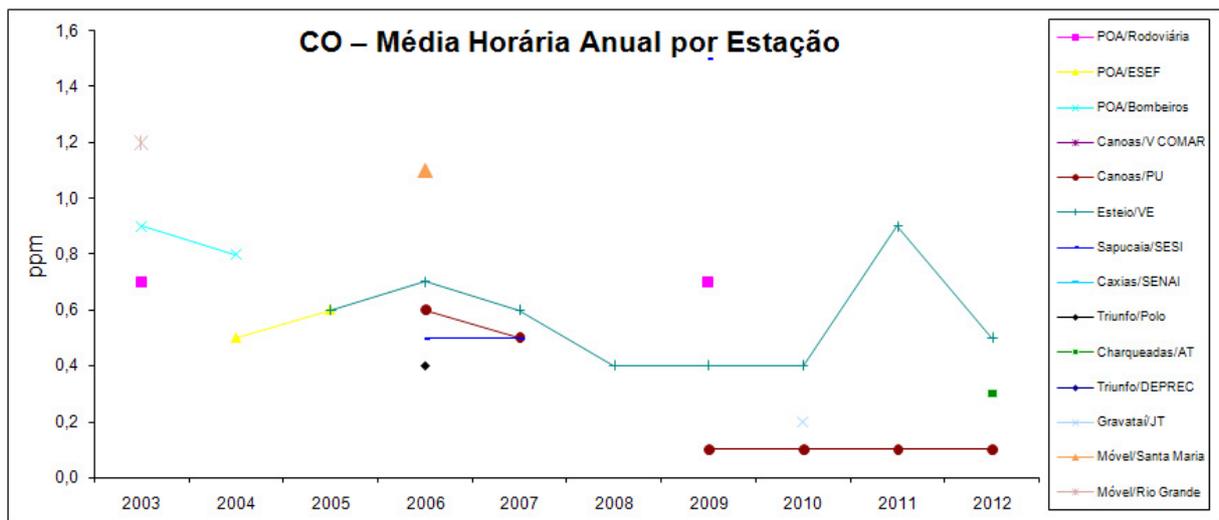


Figura 43: Concentração média horária anual de CO por estação (2003-2012).

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 44 ilustra as concentrações médias horárias anuais gerais do poluente CO, considerando todas as estações, em todo o período de estudo. É possível observar que há um comportamento de queda nas concentrações de CO, excetuando-se o valor do ano de 2009, o qual representa um pico de concentração, que foi fortemente influenciado pelos altos valores da estação Sapucaia/SESI naquele ano. A baixa quantidade de dados registrados também impossibilita análise mais detalhada sobre o assunto.

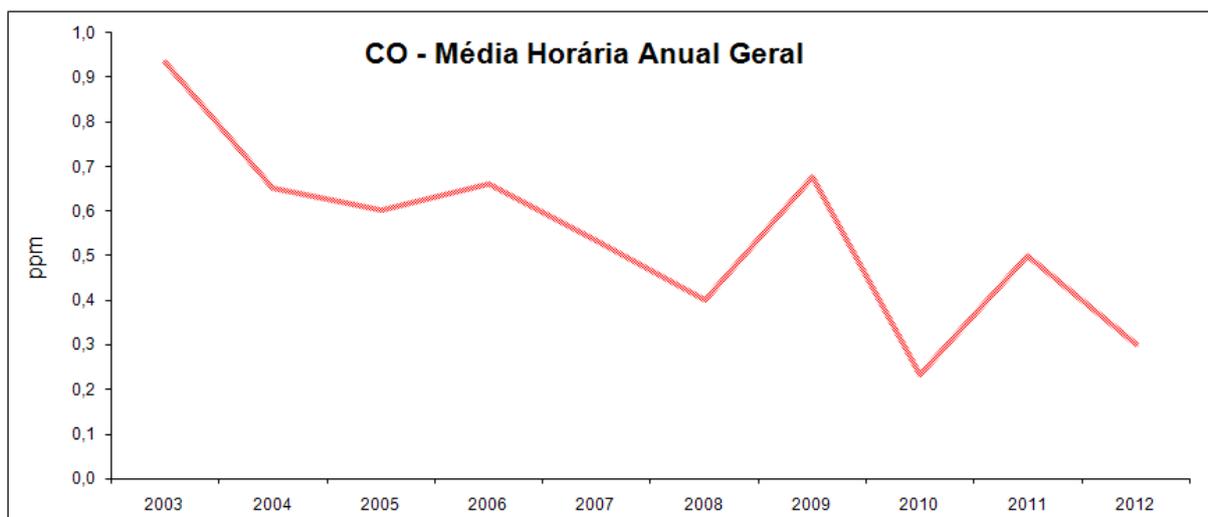


Figura 44: Concentração média horária anual de CO para todas as estações (2003-2012).

Fonte: Elaborado pelo autor.

As concentrações máximas horárias anuais do poluente CO estão contidas na Tabela 27. Como é possível observar, as estações que apresentaram as maiores concentrações máximas de uma hora foram as estações POA/Rodoviária, POA/Bombeiros e Esteio/VE, todas localizadas junto a rodovias de tráfego intenso, o que evidencia a grande contribuição das fontes móveis para estes episódios.

**Tabela 27: Concentração máxima horária anual de CO por estação por ano.**

CO - Concentração Máxima Horária Anual - ppm										
ESTAÇÃO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
POA/Rodoviária	11,9	5,4	1,4			4,9	12,5	3,9		
POA/ESEF	7,6	5,2	5,3			5,0	2,3			
POA/Bombeiros	11,2	10,9					4,5			
Canoas/V COMAR										
Canoas/PU			1,8	3,1	2,7	2,6	3,4	3,1	2,5	3,3
Esteio/VE		3,1	4,5	5,7	6,8	4,7	4,9	4,7	9,5	14,0
Sapucaia/SESI	6,6	2,6	1,2	5,7	6,7	2,8	6,3	2,2		
Caxias/SENAI										
Triunfo/Polo			1,2	1,4	1,2					
Triunfo/DEPREC										
Móvel/Santa Maria				8,7						
Móvel/Rio Grande	3,7									
Gravataí/JT								2,9		2,1
Charqueadas/AT									3,1	7,0

OBS.: padrão 1º e 2º de qualidade do ar: 35 ppm, horário, não deve ser excedida mais de uma vez por ano

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 28 contém as concentrações máximas médias móveis de oito horas. Novamente pode ser observado que as estações localizadas junto a rodovias com tráfego intenso apresentam maiores concentrações.

**Tabela 28: Concentração máxima média móvel de oito horas de CO, por estação por ano.**

CO - Concentração Máxima Anual - média móvel 8 h - ppm										
ESTAÇÃO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
POA/Rodoviária	6,4	2,6	1,1			2,7	7,9	2,1		
POA/ESEF	6,5	4,0	4,1			3,3	1,2			
POA/Bombeiros	8,2	8,0					3,3			
Canoas/V COMAR										
Canoas/PU			1,6	2,3	1,6	1,3	2,0	1,6	1,1	1,0
Esteio/VE		2,4	2,7	3,7	4,8	2,7	3,3	3,1	8,4	11,9
Sapucaia/SESI	3,7	1,9	1,1	3,2	3,6	1,9	4,8	2,0		
Caxias/SENAI										
Triunfo/Polo			0,9	1,0	0,9					
Triunfo/DEPREC										
Móvel/Santa Maria				5,5						
Móvel/Rio Grande	3,2									
Gravatai/JT								1,4		0,9
Charqueadas/AT									2,1	5,0

OBS.: padrão 1º e 2º de qualidade do ar: 9 ppm, média móvel 8 h, não deve ser excedida mais de uma vez por ano

Fonte: Elaborado pelo autor.

A resolução CONAMA nº 003/1990 estabelece concentrações iguais de CO para os padrões primário e secundário, para médias de uma hora e médias móveis de oito horas, que são de 35 ppm e 9 ppm, respectivamente. Conforme se verifica na Tabela 27, não houve ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar para as concentrações médias de uma hora deste poluente.

A Tabela 29 apresenta o número de ultrapassagens do padrão de qualidade do ar para as médias móveis de oito horas em todas as estações, para o período 2003-2012. Durante o período amostrado foram ultrapassados em quatorze ocasiões os padrões na estação Esteio/VE, todas no ano de 2012. Estas quatorze médias móveis de oito horas ocorreram em quatro dias distintos (dias 10/05, 20/08, 21/08 e 24/08), todos entre o outono e inverno, o que pode evidenciar a grande influência das condições meteorológicas nestes episódios, além de considerar que nestes dias podem ter havido emissões de CO de empreendimentos locais e veiculares (rodovia BR-116) acima do normal.

**Tabela 29: Número de eventos de ultrapassagens dos padrões de Qualidade do Ar para as médias móveis de oito horas de CO, por estação por ano.**

CO – Número de ultrapassagens do Padrão de Qualidade do Ar (média móvel de 8 h)*										
ESTAÇÃO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
POA/Rodoviária										
POA/ESEF										
POA/Bombeiros										
Canoas/V COMAR										
Canoas/PU										
Esteio/VE										14
Sapucaia/SESI										
Caxias/SENAI										
Triunfo/Polo										
Triunfo/DEPREC										
Móvel/Santa Maria										
Móvel/Rio Grande										
Gravataí/JT										
Charqueadas/AT										

\* 9 ppm, não deve ser excedida mais de uma vez por ano (padrão 1º e 2º)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram analisadas as concentrações horárias médias mensais gerais, considerando todas as estações fixas, em todo o período 2003-2012, o resultado é ilustrado na Figura 45. É possível observar que o comportamento das médias horárias do poluente CO apresenta maiores valores nos meses mais frios, diminuindo nos meses mais quentes. Da mesma forma que o poluente NO<sub>x</sub>, o CO é um poluente primário e sua concentração na atmosfera depende das emissões (fontes fixas e móveis) e das condições atmosféricas que afetam a dispersão do poluente. Durante o verão, existe menor emissão veicular nos grandes centros urbanos devido ao período de férias escolares e a migração de parte da população para a região litorânea, e as condições meteorológicas apresentam maior favorecimento à dispersão de poluentes, com maior velocidade do vento e altura da camada de mistura. No inverno, as emissões veiculares são maiores, as emissões fixas também aumentam devido à queima de lenha para aquecimento das casas e as condições atmosféricas inibem a dispersão de poluentes, com velocidade do vento e altura da camada de mistura menores, além da maior ocorrência de inversões térmicas junto à superfície.

Observa-se, ainda, que as concentrações médias do poluente CO na atmosfera são bastante inferiores aos limites impostos pelos padrões de qualidade, o que evidencia que os episódios de concentração são pontuais e esporádicos, dependendo primeiramente da quantidade das emissões deste poluente na atmosfera, e em segundo plano, das condições meteorológicas para dispersão.

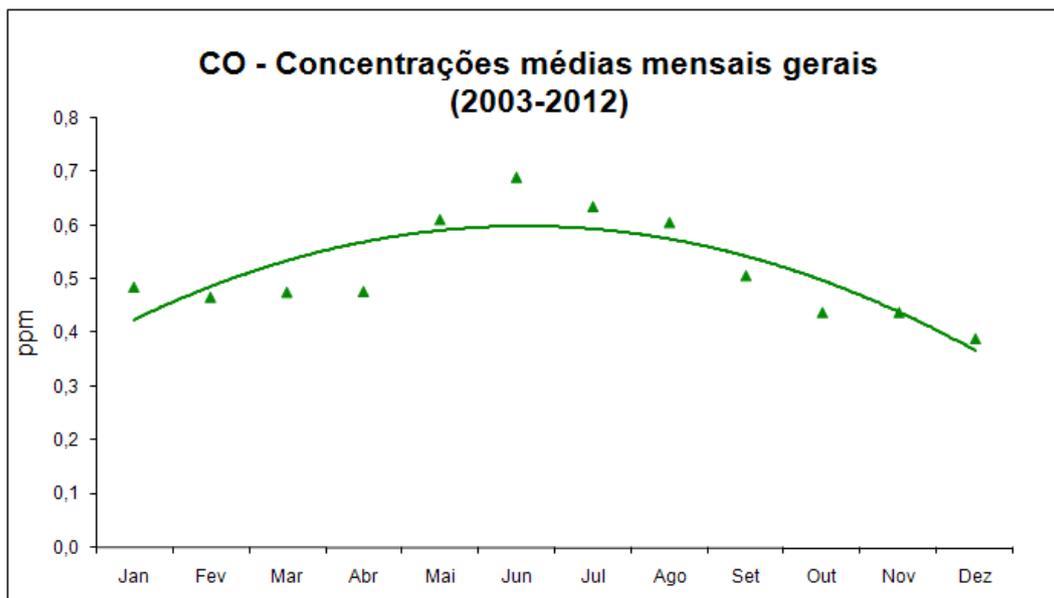


Figura 45: Concentração média mensal de CO para todas as estações fixas (2003-2012).  
 Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise das concentrações médias horárias gerais por dia da semana, considerando todas as estações fixas durante todos os dez anos avaliados, é ilustrada na Figura 46. É possível observar que ocorrem menores concentrações nos fins de semana e que, no decorrer da semana, as concentrações médias vão aumentando, em um processo acumulativo na atmosfera.

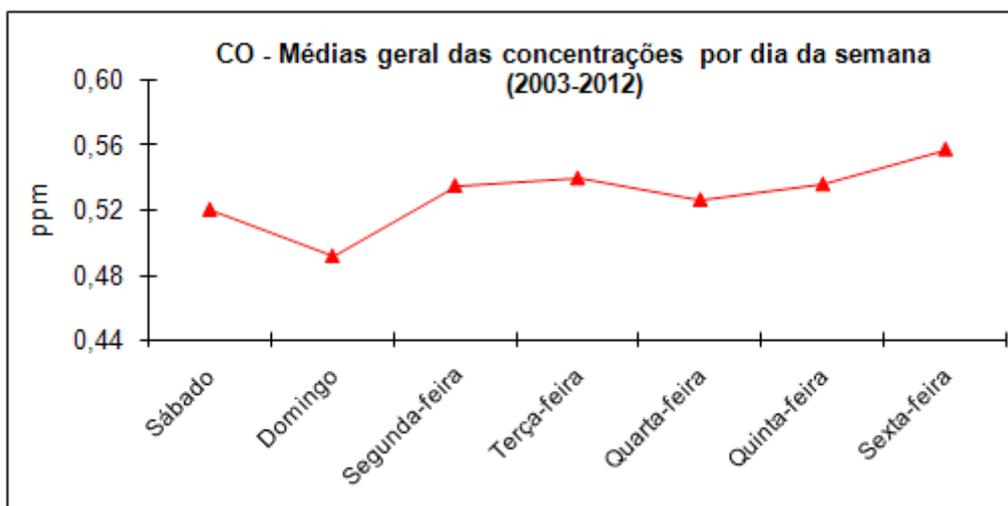


Figura 46: Concentração média diária de CO por dia da semana para todas as estações fixas (2003-2012).  
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Para melhor ilustração dos episódios críticos de altas concentrações de CO, foi feita uma análise com detalhes do ocorrido no dia 21/08/2012, às 12:00 h, quando a concentração média horária móvel de oito horas na estação Esteio/VE chegou a 11,9 ppm.

No dia 21/08/2012 as temperaturas estiveram entre 18 e 26°C, nas primeiras horas os ventos estiveram de este/nordeste fracos, com períodos de calma, e depois passaram para noroeste/oeste moderados. A sondagem das 00:00 UTC (21:00 L do dia 20/08) apresen-

tava uma forte inversão térmica junto à superfície (Figura 47), e na imagem de satélite do mesmo horário é possível observar uma frente fria com atividade fraca no Estado do RS, mas que ainda não havia chegado à RMPA (Figura 48). Ou seja, uma frente fria cruzou a RMPA durante o dia 21/08/2012, e a condição pré-frontal inibia a dispersão de poluentes atmosféricos devido à inversão térmica, ventos fracos e nebulosidade. Houve um acréscimo de emissões atmosféricas de CO durante esta condição pré-frontal, e a pluma foi dispersada na direção da estação Esteio/VE e seu entorno. Quando a frente fria passou, o vento teve uma mudança brusca de direção e velocidade, quebrando a inversão térmica que ainda persistia, e a pluma passou a ser dispersa para norte/nordeste. Por estes motivos, a estação Canoas/PU, próxima a região da estação Esteio/VE, não registrou este pico de concentração.

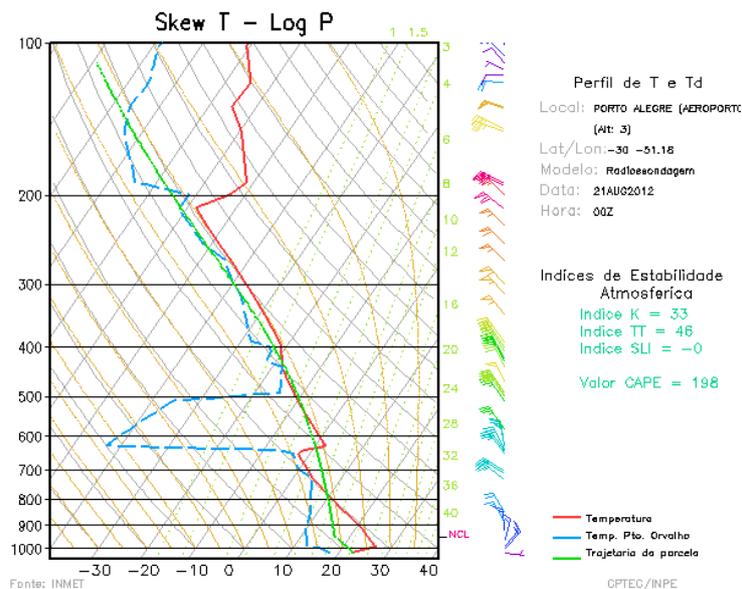


Figura 47: Diagrama Skew T-Log P correspondente à radiossondagem do dia 21/08/2012 às 00:00 UTC (21:00 L do dia 20/08), do Aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre.  
 Fonte: CPTEC.

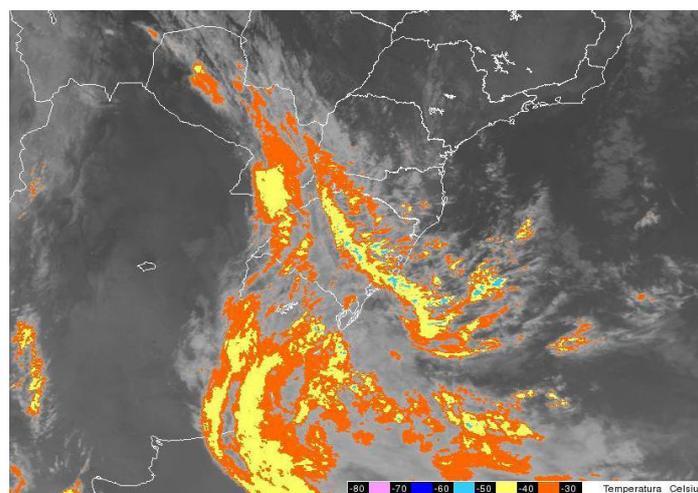


Figura 48: Imagem realçada do satélite GOES-13, do dia 21/08/2012 às 00:00 UTC (21:00 L do dia 20/08/2012).  
 Fonte: CPTEC.

Outro episódio de altas concentrações médias móveis de oito horas ocorreu no dia 10/05/2012, quando foi registrada a concentração de 10,8 ppm na estação de Esteio/VE.

O dia 10/05/2012 apresentou temperaturas entre 13 e 27°C; os ventos estiveram fracos, com longos períodos de calmaria, a sondagem realizada no Aeroporto Salgado Filho (Porto Alegre) às 12:00 UTC (10:00 L) evidencia uma forte inversão térmica próxima à superfície (Figura 49), e a imagem do satélite GOES-13, no mesmo horário, revela uma grande massa de ar seco sobre o centro-sul do Brasil, bloqueando a entrada de uma frente fria localizada sobre o Uruguai (Figura 50). Estas condições meteorológicas servem como um bloqueio à dispersão de poluentes atmosféricos, fazendo com que o mesmo permaneça acumulando-se próximo aos pontos de emissão. Os picos de concentração média móvel acima do padrão de qualidade do ar aconteceram 08:00 L e 14:00 L na estação Esteio/VE que está localizada a aproximadamente 150 m da rodovia BR-116, enquanto que a estação Canoas/PU apresentou um leve aumento nas concentrações de CO neste horário, fator que pode evidenciar a contribuição das fontes móveis, haja vista que neste trecho da rodovia BR-116 rotineiramente acontecem grandes congestionamentos de veículos pela manhã.

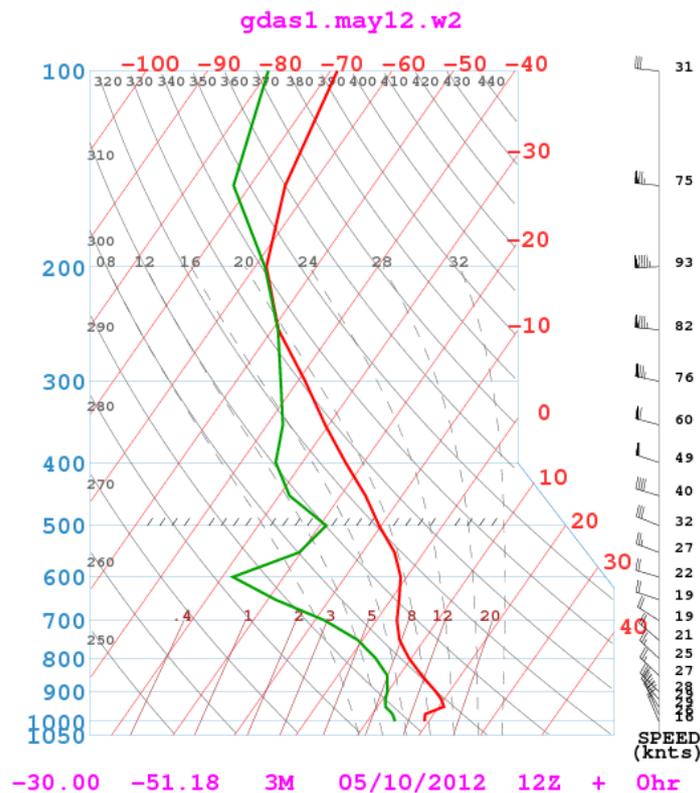


Figura 49: Diagrama Skew T-Log P correspondente à radiossondagem do dia 10/05/2012 às 12:00 UTC (09:00 L), do Aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre.  
Fonte: modelado pela NOAA.

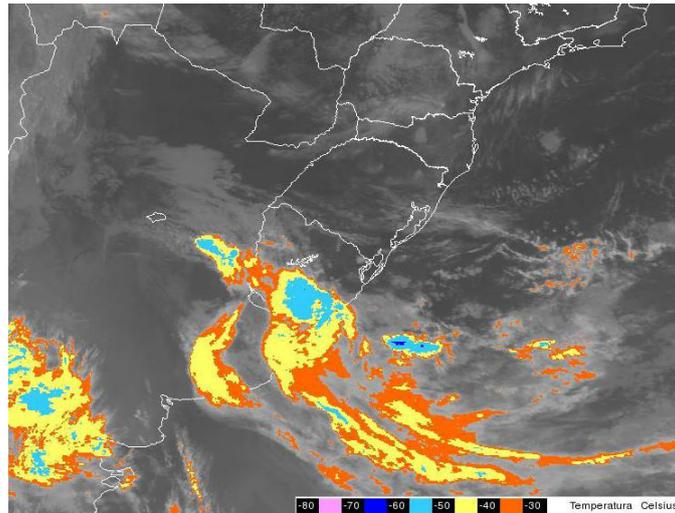


Figura 50: Imagem realçada do satélite GOES-13, do dia 10/05/2012 às 12:00 UTC (09:00 L).  
 Fonte: CPTEC.

## CONCLUSÕES

A rede estadual de monitoramento automático da qualidade do ar do Estado do Rio Grande do Sul – Rede Ar do Sul, com suas estações distribuídas dentro dos aglomerados urbanos de elevado potencial poluidor, forneceu dados importantes quanto à qualidade do ar do Estado, com ênfase nos municípios e locais onde as estações de monitoramento automático estão ou foram instaladas. Contudo, faz-se necessário melhorar a medição efetiva realizada, o que depende de investimentos para recuperação e ampliação da atual rede. A manutenção e ampliação da rede se justifica pelo contínuo crescimento da frota veicular, do aumento das populações em centros urbanos não monitorados e pela carência de monitoramento em outros sítios industriais importantes como, por exemplo, a revitalização do parque industrial de Rio Grande e o contínuo crescimento do parque industrial da serra.

A série de dados de dez anos que foi analisada neste relatório possibilitaria descrever um comportamento típico da qualidade do ar das regiões monitoradas, mas em função das interrupções e lacunas de dados ocorridos por inoperância de vários analisadores neste período, esta descrição foi prejudicada.

Nenhum dos poluentes monitorados apresentou valores médios anuais acima dos padrões anuais de qualidade do ar (média anual) estabelecidos pela resolução CONAMA nº 003/1990, sendo que os poluentes  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_2$  apresentaram valores muito abaixo do padrão. As médias anuais de  $\text{PI}_{10}$ , entretanto, estão mais próximas do valor limite do padrão. Não há padrão anual para  $\text{O}_3$  e  $\text{CO}$ .

Em relação à ultrapassagem dos padrões diários ou horários de qualidade do ar estabelecidos pela resolução CONAMA nº 003/1990, os poluentes  $\text{O}_3$ ,  $\text{PI}_{10}$  e  $\text{NO}_2$  apresentaram várias ultrapassagens destes padrões em eventos pontuais (concentração média horária ou diária) em diversos anos em mais de uma estação de monitoramento, indicando serem estes os poluentes mais críticos no Estado em termos de episódios agudos de poluição. Os poluentes  $\text{CO}$  e  $\text{SO}_2$  somente apresentaram várias ultrapassagens destes padrões em apenas um dos anos monitorados e estavam atrelados a eventos específicos.

O poluente com maior número de ultrapassagens do padrão de qualidade do ar foi o  $\text{NO}_2$ , com 118 ultrapassagens do padrão secundário e 13 vezes do padrão primário, principalmente na estação POA/Bombeiros. Além das emissões industriais, as concentrações deste poluente no ambiente mostraram sofrer forte influência da poluição veicular local.

O segundo poluente com maior número de ultrapassagens foi o  $\text{O}_3$ , com 34 episódios de ultrapassagem dos padrões, principalmente nas estações Canoas/PU e Esteio/VE.

O terceiro com maior número de ultrapassagens foi o  $\text{SO}_2$ , com 23 ultrapassagens do padrão secundário de qualidade do ar, todas na estação Esteio/VE, no ano de 2007. Fica evidente que as concentrações atmosféricas deste poluente são influenciadas pelas emissões industriais, e que as emissões veiculares perderam seu grau de influência para este poluente. Todos os casos de ultrapassagens deste padrão de qualidade estão ligados a emissões industriais locais.

O quarto com maior número de ultrapassagens foi o  $PI_{10}$ , com 20 ultrapassagens do padrão, principalmente nas estações POA/Rodoviária e Canoas/PU, indicando forte influência de emissões oriundas de veículos automotores à diesel, já que tais estações sofrem forte influência de rodovias com trânsito de ônibus e caminhões.

O quinto e último poluente em número de ultrapassagens foi o CO, com 14 ultrapassagens do padrão de qualidade do ar para as concentrações médias móveis de oito horas, todas ocorridas na estação Esteio/VE, no ano de 2012, em um espaço de tempo muito curto. Provavelmente a alta concentração de CO nestes eventos ocorreu devido ao *background* já ser alto pelas emissões veiculares, somados com maiores emissões industriais locais, dentro de condições meteorológicas que dificultaram sua dispersão.

Em termos de locais críticos quanto à qualidade do ar, em ordem decrescente de ocorrência de eventos de ultrapassagem de padrões de qualidade do ar, as estações podem ser classificadas assim: Esteio/VE, POA/Bombeiros, Canoas/PU, POA/Rodoviária e Charqueadas/AT, seguidas no mesmo plano por POA/ESEF, Canoas/V COMAR, Sapucaia/SESI e Triunfo/Pólo. As demais estações não apresentaram ultrapassagem de padrão de qualidade do ar.

O comportamento mensal dos poluentes  $PI_{10}$ , CO e  $NO_2$  ao longo do ano, considerando os dados de todas as estações, revela um padrão semelhante, com maiores concentrações nos meses mais frios e menores concentrações nos meses mais quentes. Este comportamento pode ser atribuído ao acúmulo destes poluentes primários na atmosfera, em razão das condições atmosféricas médias de cada estação do ano. Ou seja, no outono e inverno a temperatura é mais baixa, fazendo com que a altura da camada de mistura seja mais baixa também, os ventos são mais fracos, diminuindo a mistura dos poluentes ao ar atmosférico, e a maior incidência de inversões térmicas próximo ou junto à superfície, dificultando a dispersão. Na primavera e verão a situação se modifica, a temperatura e altura da camada limite são maiores, os ventos são mais fortes, e há menor incidência de inversões térmicas, favorecendo a dispersão. Também é possível considerar que durante os meses de verão, devido ao recesso de muitos setores da indústria e comércio, e o maciço deslocamento de pessoas rumo ao litoral, as emissões veiculares e urbanas nos grandes centros urbanos (onde estão instaladas as estações de monitoramento) sejam menores do que no inverno, quando esta situação não acontece, diminuindo as concentrações neste período.

Comportamento mensal inverso ocorre com o  $O_3$ , possivelmente porque é um poluente secundário, que se forma na atmosfera e necessita de radiação solar para sua formação. Então, nos meses de menor insolação, que são os meses frios, a formação de  $O_3$  é menor.

O poluente  $SO_2$ , por sua vez, apresenta comportamento mensal diferente dos demais poluentes. No verão e outono as concentrações médias de  $SO_2$  são mínimas e passam a aumentar a partir do inverno, passando por seu auge na primavera, tendendo a diminuir já no final desta estação. A análise deste comportamento, baseada somente nas emissões antropogênicas, não fornece indicativos para seu entendimento. Vários estudos apontam para este comportamento, tanto em regiões antropizadas como as não antropizadas, restando a hipótese de que as emissões biogênicas seriam as responsáveis por este comportamento.

Quanto às concentrações dos poluentes nos dias da semana, os poluentes  $PI_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$  e CO mostram comportamento similar, com um mínimo de concentração no domingo, e o acúmulo gradativo das concentrações de segunda-feira até a sexta-feira, voltando a cair no sábado. A diminuição das emissões nos fins de semana (principalmente as emissões veiculares) e o aumento destas emissões durante os dias úteis, com o conseqüente acúmulo dos

poluentes na atmosfera dia após dia, explicam este comportamento. O poluente  $O_3$  apresentou comportamento inverso aos demais, com a máxima concentração nos fins de semana (domingo), caindo dia após dia até a sexta-feira para, nos sábados, voltar a aumentar novamente. A alta reatividade do poluente  $O_3$  frente aos óxidos de nitrogênio e as menores concentrações de alguns precursores de  $O_3$  nos finais de semana explicam tal comportamento.

Em suma, embora tenhamos tido muitas lacunas de dados, pode-se verificar que de 2003 a 2012 a qualidade do ar do Estado manteve-se, de forma geral, constante em relação às concentrações médias anuais dos poluentes na atmosfera, com leve tendência a aumento das concentrações de ozônio e tendências de redução das concentrações de monóxido de carbono e manutenção das concentrações de dióxido de enxofre, partículas inaláveis ( $PI_{10}$ ) e dióxido de nitrogênio. Houve eventos pontuais de emissões antropogênicas ou condições meteorológicas específicas de dispersão que, durante este período, propiciaram a elevação da concentração de algum dos poluentes monitorados em determinado ano ou período do ano, mas que após seu término as concentrações voltaram aos patamares usuais, não caracterizando, desta forma, uma piora significativa na qualidade do ar ao longo deste período. A ocorrência destes eventos, contudo, indica que a qualidade do ar do Estado vem enfrentando problemas com episódios agudos de concentrações de poluentes acima dos padrões de qualidade do ar estabelecidos na legislação brasileira. Isto mostra também a necessidade do monitoramento automático da qualidade do ar como ferramenta de gestão de regiões críticas com relação aos novos empreendimentos poluidores e de prevenção à saúde pública decorrente destes episódios agudos de poluição que podem afetar a população, principalmente grupos de risco como crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas.

Nos eventos pontuais de elevada concentração dos poluentes houve forte influência das condições meteorológicas e a identificação dos fenômenos climáticos ajudaram a compreender a deterioração da qualidade do ar. Períodos de bloqueio atmosférico contribuem para a ocorrência de altas concentrações de poluentes, principalmente nos grandes centros urbanos e distritos industriais, mesmo quando não há aumento significativo das emissões locais. Ficou evidenciado também que não só as atividades antropogênicas dos grandes centros (indústrias, veículos, etc.) podem causar estes episódios de picos de concentração, mas que atividades ligadas às áreas rurais também podem produzir impacto sobre grandes áreas, como é o caso das queimadas. Eventos naturais específicos, como erupções de vulcões e tempestades, também afetam significativamente a qualidade do ar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 005, de 15 de junho de 1989. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 de agosto de 1989, Seção 1, p. 14713-14714.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 003, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre os Padrões de Qualidade do Ar. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 de agosto de 1990, Seção 1, páginas 15937-15939.

BRASIL. Lei Estadual 9.519/92, art. 28. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências.

\_\_\_\_\_. Lei Estadual 11.520, de 03 de agosto de 2000. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. Expediente nº 3600-08.01/98-5 DDM/FSD - 1W.

DANNI, I. M. Aspectos Temporo-espaciais da Temperatura e Umidade relativa de Porto Alegre em Janeiro de 1982: contribuição ao estudo do clima urbano. São Paulo, 1987. 129p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (FEE). Potencial Poluidor da Indústria no RS: Análise dos Dados 2002–2009. Porto Alegre. Disponível em <<http://www.fee.rs.gov.br/indicadores/indicadores-ambientais/destaques/>>. Acesso em 16 dez. 2013.

\_\_\_\_\_. Potencial Poluidor da Indústria no RS: Análise dos Dados 2002–2009. Porto Alegre. Disponível em <<http://cdn.fee.tche.br/ipp/mapas/mapa-2.png>>. Acesso em 16 dez. 2013.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUÍS ROESSLER – FEPAM/RS. Primeiro Inventário de Emissões Atmosféricas das Fontes Móveis do Estado do Rio Grande do Sul – Ano base 2009. Porto Alegre, 2010.

\_\_\_\_\_. Poluentes - IQAr, Efeitos e Precauções. Disponível em <[http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/poluentes\\_ef\\_prec\\_iqar.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/poluentes_ef_prec_iqar.asp)>. Acesso em 1 jan. 2014.

KRUSCHE, N., SARAIVA, J. M. B., e REBOITA, M. S. Normais Climatológicas Provisórias de 1991 a 2000 para Rio Grande, RS. Santa Maria: Imprensa Universitária, 2002, 104 p.

PORTO ALEGRE. Secretaria de planejamento, gestão e participação cidadã. Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Disponível em <[http://www1.seplag.rs.gov.br/upload/Macrozoneamento\(2\).gif](http://www1.seplag.rs.gov.br/upload/Macrozoneamento(2).gif)>. Acesso em 6 jan. 2014.

RAO, V. B. e HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: Annual Variations and Connections with the Southern Oscillation. *Theor. Appl. Climatol.*, v. 42, p. 81-91, 1990.

RIO GRANDE DO SUL. Departamento Estadual de Trânsito. Disponível em < [http://www.deTRAN.rs.gov.br/uploads/13935209191\\_Frota\\_do\\_RS.pdf](http://www.deTRAN.rs.gov.br/uploads/13935209191_Frota_do_RS.pdf) >. Acesso em 21 mar. 2014.

SILVEIRA, José Carlos S.; M.B. Jaci. Análise das anomalias positivas e negativas de precipitações e temperaturas relacionadas com eventos La Niña e El Niño na cidade do Rio Grande – RS. Saraiva, 1999.

STRAHLER, A.N. Geografia Física. Barcelona: Ômega, 1977.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Air Quality Guidelines Global Update 2005: Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen, 2006.

\_\_\_\_\_. International Agency for Research on Cancer (IARC). Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths. Press Release Nº 221. Lyon, 2013.

ZERO HORA, Jornal. Disponível em <<http://zerohora.clicrbs.com.br/rs/geral/noticia/2011/10/particulas-de-vulcao-chileno-encobrem-ceu-da-regiao-metropolitana-3529292.html>>. Acesso em 16 dez. 2013.

## FONTES CONSULTADAS

Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos.

Instituto Nacional de Meteorologia.

Estação do 8º Distrito de Meteorologia em Porto Alegre (RS).

Google Earth.

Air Resources Laboratory.