

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

**Rede Estadual de Monitoramento
Automático da Qualidade do Ar
Relatório 2016**

RIO GRANDE DO SUL

2017

*FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL
HENRIQUE LUIS ROESSLER*

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

*SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL*

2017

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL

Ana Maria Pellini

DIRETORIA TÉCNICA

Gabriel Simioni Ritter

DEP. DE QUALIDADE, PLANEJAMENTO E INFRAESTRUTURA

Ana Rosa Severo Bered

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

Said Oliveira Atiyel

Elaboração Técnica

Flávio Wiegand

Márcio D'Avila Vargas

Ficha catalográfica

F383r Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler.
Rede estadual de monitoramento automático da qualidade do ar
relatório 2016. – Porto Alegre: FEPAM, 2017. 34p. : il.

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

CDU – 628.511(816.5)

SUMÁRIO

GLOSSÁRIO	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVO	15
3 ANÁLISE DOS DADOS	16
3.1 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS PARA DISPERSÃO DE POLUENTES NA RMPA EM 2016	16
3.2 DADOS DO MONITORAMENTO	18
3.2.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR	18
3.2.2 POLUENTES ATMOSFÉRICOS: CONCENTRAÇÃO MÉDIA ANUAL	20
3.2.3 POLUENTES ATMOSFÉRICOS: CONCENTRAÇÃO MÁXIMA ANUAL	21
3.2.4 POLUENTES ATMOSFÉRICOS: CONCENTRAÇÃO AO LONGO DO DIA	29
4 CONCLUSÕES	31
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

GLOSSÁRIO

%: percentual

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

μm : micrômetro

$^{\circ}\text{C}$: Grau Celsius

AT: Arranca Toco

CO: Monóxido de carbono

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

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

DSA: Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais

DV: Direção do vento

E: Leste

FEPAM: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler

FFE: Fundação de Economia e Estatística

GOES-13: Geostationary Operational Environmental Satellite

h: Hora

hPa: Hectopascal

Iarc: International Agency for Research on Cancer

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IQAr: Índice de qualidade do ar

JT: Jardim Timbaúva

L: Local

Log: Logaritmo

m/s: Metro por segundo

NO_2 : Dióxido de nitrogênio

NO_x : Óxidos de nitrogênio

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

O_3 : Ozônio

OMS: Organização Mundial da Saúde

P: Pressão

PI₁₀: Partículas inaláveis com diâmetro aerodinâmico menor que 10 micra

PIB: Produto interno bruto

ppm: Partes por milhão

PROCONVE: Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

PROMOT: Programa de Controle da Poluição do Ar por Motocicletas e Veículos Similares

PU: Parque universitário

RG: Radiação solar global

RMPA: Região Metropolitana de Porto alegre

RS: Rio Grande do Sul

S: Sul

SE: Sudeste

SO₂: Dióxido de enxofre

T: Temperatura

UR: Umidade relativa do ar

UTC: Universal Time Coordinated

UVA: Radiação ultravioleta-A

V COMAR: V Comando Aéreo Regional

VE: Vila Ezequiel

VOCs: Compostos orgânicos voláteis

VV: Velocidade do vento

W: Oeste

W/m²: Watt por metro quadrado

WHO: World Health Organization

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Temperaturas médias mensais registradas em 2016 em comparação com as normais climatológicas (1961-1990). 17
- Figura 2:** Umidades Relativas mensais registradas em 2016 em comparação com as normais climatológicas (1961-1990). 17
- Figura 3:** Precipitações acumuladas mensais registradas em 2016 em comparação com as normais climatológicas (1961-1990). 18
- Figura 4:** Índices de qualidade e faixas de concentração correspondente por poluente. 19
- Figura 5:** Imagem do Satélite GOES-13 do dia 25/08/2016, às 10:00 L (13:00 UTC), no espectro do infravermelho, com realce de temperatura para salientar topos de nuvens. A estrela em vermelho indica a localização da Estação Esteio/VE. 22
- Figura 6:** Análise de superfície do dia 25/08/2016, às 09:00 L (12:00 UTC), indicando isóbaras e flags de vento na superfície. A estrela em vermelho indica a localização da Estação Esteio/VE. 23
- Figura 7:** Diagrama SkewT-LogP do dia 25/08/2016, às 09:00 L (12:00 UTC), de Porto Alegre. 23
- Figura 8:** Imagem do Satélite GOES-13 do dia 27/07/2016, às 13:30 L (16:30 UTC), no espectro do infravermelho, com realce de temperatura para salientar topos de nuvens. A estrela em vermelho corresponde a localização da Estação Guaíba/Parque 35. 25
- Figura 9:** Análise de superfície do dia 23/03/2016, às 15:00 L (18:00 UTC), indicando isóbaras e flags de vento na superfície. A estrela em vermelho corresponde a localização da Estação Guaíba/Parque 35. 26
- Figura 10:** Diagrama SkewT-LogP do dia 23/07/2016, às 09:00 L (12:00 UTC), de Porto Alegre. 26
- Figura 11:** Imagem do satélite GOES-13 no espectro do infravermelho, com realce dos topos de nuvens, do dia 22/12/2016, às 21:00 UTC (19 h Horário Local). A estrela em vermelho corresponde a localização da Estação Charqueadas/AT. 28
- Figura 12:** Análise de superfície contendo isóbaras ao nível médio do mar e vetores de vento a 10 m de altura, a partir de simulação válida para o dia 22/12/2016, às 21:00 UTC (19 h Horário Local). A estrela em vermelho corresponde à localização da Estação Charqueadas/AT. 28
- Figura 13:** Gráfico Skew T – Log P da radiossondagem do dia 23/12/2016, às 00:00 UTC (22 h Horário Local do dia 22/12/2016), do Aeroporto Salgado Filho (SBPA). 29
- Figura 14:** Gráfico das concentrações médias horárias anuais dos poluentes de todas as estações de monitoramento. 29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: IQAr registrado nas estações de monitoramento em 2016. 19

Tabela 2: Concentração média anual dos poluentes por estação em 2016. 20

Tabela 3: Concentração máxima anual dos poluentes por estação em 2016. 21

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico com base no crescimento industrial e no setor transporte sem um controle eficaz dos agentes reguladores e desprovidos de tecnologias mais eficientes e inovadoras para minimizar a poluição gerada, confronta diretamente com a necessidade mundial de reduzir a poluição atmosférica, responsável por acarretar prejuízos à saúde pública e danos ao meio ambiente. Como consequência, a poluição do ar permanece como um dos grandes problemas a ser resolvido, principalmente pelos países em desenvolvimento. Conforme estimativa da Organização Mundial da Saúde (OMS), a poluição atmosférica responde por cerca de 8 milhões de mortes anuais no mundo, sendo 3,7 milhões destas mortes devido à poluição em ambientes externos e 4,3 milhões em ambientes internos. A origem dos poluentes atmosféricos pode ser tanto antrópica quanto de fontes naturais, e um efetivo controle para que a concentração destes poluentes no ar se mantenha em níveis seguros para a saúde pública e meio ambiente é uma tarefa difícil e muitas vezes ineficiente, principalmente nas grandes cidades e em zonas muito industrializadas, especialmente nos países em desenvolvimento onde as tecnologias de controle da poluição são pouco utilizadas e as leis de proteção ambiental são preteridas pela necessidade de desenvolvimento sócio-econômico. Ou seja, o desenvolvimento sustentável com efetiva proteção à saúde pública e ao meio ambiente ainda é um grande desafio para o mundo atual.

As Resoluções CONAMA 382/06, 436/11, 008/90 e 316/02 norteiam os limites das emissões de várias atividades antrópicas no Brasil, em especial aquelas que envolvem fornos de combustão de fontes fixas. Para fontes móveis, se destacam os programas PROCONVE, instituído pela Resolução CONAMA nº 018/86, e o PROMOT, instituído pela Resolução CONAMA nº 297/12, que estabeleceram prazos, limites de emissão de poluentes e melhora tecnológica para a frota veicular do país.

Quanto à qualidade do ar, as Resoluções do CONAMA nº 005/89 e nº 003/90 são a base legal em nível nacional para a definição dos padrões de qualidade a serem adotados, bem como as metodologias de medição e demais ações de monitoramento pelos órgãos de controle.

Este relatório apresenta à sociedade os dados do monitoramento automático da qualidade do ar realizado pela FEPAM no Estado do Rio Grande do Sul durante o ano de 2016, para as estações de qualidade do ar em operação integrantes da rede Ar do Sul.

Destaca-se que os aspectos geográficos, meteorológicos e climáticos do Rio Grande do Sul encontram-se descritos no Relatório da Qualidade do Ar 2003-2012, disponível no site da FEPAM, e não serão abordados neste relatório pelo fato de não se haver nenhuma alteração significativa. Contudo, uma análise das condições climáticas ocorridas ao longo do ano de 2016 no Estado é abordada de forma a auxiliar na análise de dispersão dos poluentes.

Os dados de crescimento econômico a partir do PIB do Estado, participação dos setores industriais e agrícolas na composição da economia, bem como índice de potencial poluidor da indústria (Inpp-I), são os mesmos apresentados no Relatório da Qualidade do Ar 2013-2014 publicado em 2015, disponível no site da FEPAM. Para o ano de 2016, até a publicação deste relatório, é informado no site da FEE (PIB – RS / 2002 – 2016, FEE, 2017) estimativas preliminares do PIB de 2016 no valor de cerca de R\$ 410 bilhões (a preço de mercado), correspondendo a um aumento de aproximadamente 7% em relação a 2015.

Em termos de frota veicular, de acordo com os dados do DETRAN/RS, houve um aumento de cerca de 170 mil veículos em circulação no ano de 2016 em relação a 2015, correspondendo a uma frota total de 6,4 milhões de veículos em final de 2016. As informações a respeito do inventário de fontes móveis do Estado, envolvendo dados da frota frente ao tipo de combustível utilizado e as estimativas de emissão por poluente, por não haver atualização de dados disponíveis, podem ser acessadas no Relatório da Qualidade do Ar 2003-2012, disponível do site da FEPAM.

O histórico da Rede Ar do Sul, a localização e caracterização das estações automáticas integrantes da rede, a descrição dos principais poluentes, seus efeitos na saúde e suas principais fontes, bem como o índice de qualidade do ar e os critérios de representatividade dos dados adotados pela FEPAM, encontra-se nos Relatórios da Qualidade do Ar 2003-2012 e da Qualidade do Ar 2013-2014, disponíveis no site da FEPAM.

2 OBJETIVO

Este relatório tem como objetivo principal divulgar os dados do monitoramento automático da qualidade do ar realizado pela FEPAM ao longo do ano de 2016.

3 ANÁLISE DOS DADOS

3.1 Condições Climáticas para Dispersão de Poluentes na RMPA em 2016

As estações de monitoramento da qualidade do ar estão localizadas na RMPA, portanto, as análises meteorológica e climática se referem às observações registradas pela estação meteorológica A-801, do INMET, localizada em Porto Alegre, comparadas às normais climatológicas para esta estação (1961-1990).

O ano de 2016 pode ser considerado como um ano com temperaturas próximas à média climatológica, mas apresentando anomalias positivas no verão (janeiro, fevereiro), e negativas no final de outono e princípio de inverno (maio, junho), ficando próximo à média nos demais meses (Figura 1). A umidade do ar esteve acima da média climatológica durante o ano inteiro, com maiores anomalias no outono (Figura 2).

As precipitações estiveram acima da média climatológica, sobretudo devido às anomalias positivas ocorridas nos meses de março e abril (acumulado acima de 500 mm), período em que as normais mensais indicam precipitação de 100 mm ou menos (Figura 3). O mês de junho foi especialmente seco, com apenas 7,4 mm, mas os meses seguintes compensaram este déficit hidrológico.

O comportamento da pressão atmosférica média mensal esteve próximo a normal climatológica, com exceção dos meses de maio a junho, quando esteve entre 2,0 - 4,0 hPa acima da média.

A velocidade média mensal do vento em superfície esteve próxima da normal climatológica, o mesmo comportamento ocorreu com as velocidades do vento de rajada (média mensal).

Os dados de radiação solar global foram comparados à média do período 2002-2015, em W/m^2 , haja vista que no Atlas de Normais Climatológicas exista apenas a variável 'Insolação', que corresponde ao número de horas com incidência de radiação solar na superfície. Considerando isso, a radiação solar no ano de 2016 esteve próxima à média do período 2002-2015.

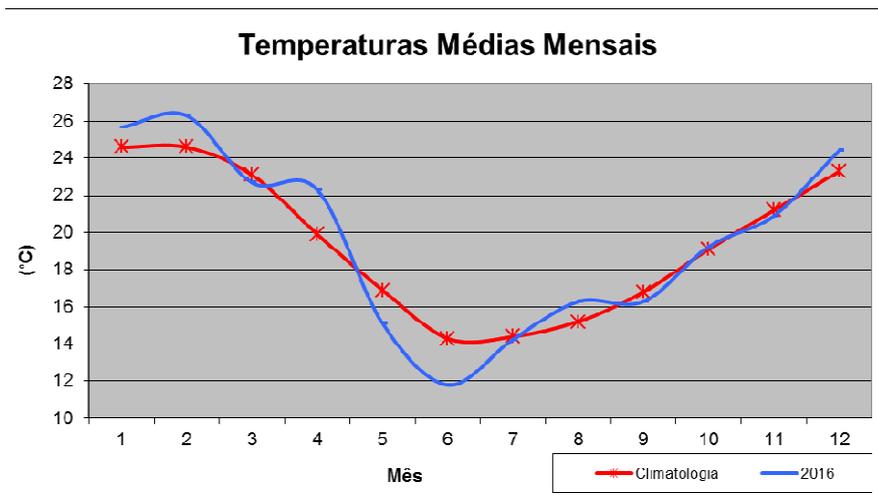


Figura 1: Temperaturas médias mensais registradas em 2016 em comparação com as normais climatológicas (1961-1990).
Fonte: INMET.

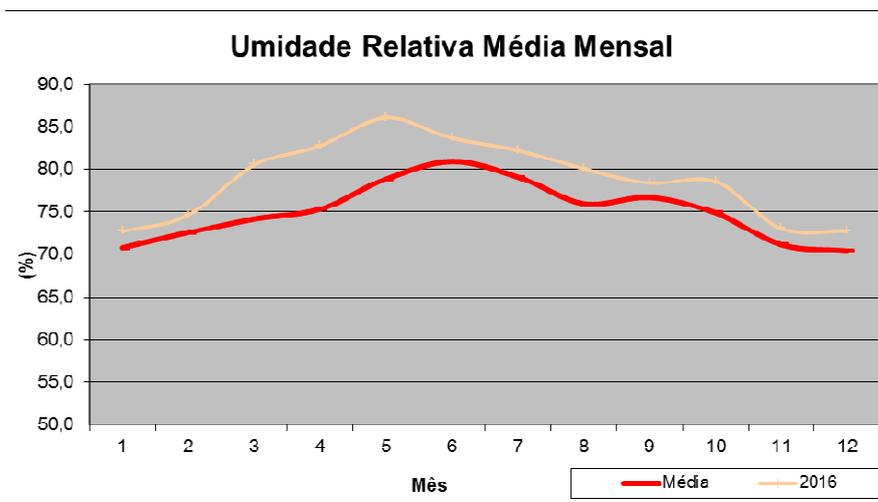


Figura 2: Umidades Relativas mensais registradas em 2016 em comparação com as normais climatológicas (1961-1990).
Fonte: INMET.

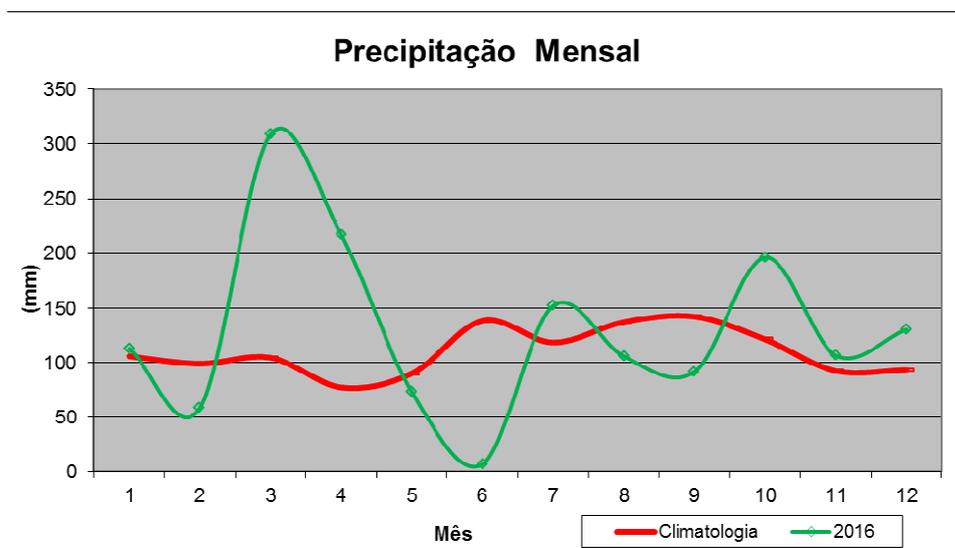


Figura 3: Precipitações acumuladas mensais registradas em 2016 em comparação com as normas climatológicas (1961-1990).
Fonte: INMET.

3.2 Dados do Monitoramento

3.2.1 Índice de qualidade do ar

O índice de qualidade do ar (IQAr) é uma ferramenta matemática tipicamente utilizada pelas Redes de Monitoramento para informar de maneira fácil ao público o nível de qualidade o ar, sendo estabelecidas na FEPAM as seguintes categorias: “Boa”, “Regular”, “Inadequada”, “Má”, “Péssima” e “Crítica”, que são respectivamente associadas as cores: verde, amarelo, laranja, vermelho, roxo e preto.

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 índice corresponde a uma faixa de concentração que varia de um poluente para outro. A Figura 4 apresenta as faixas de equivalências de concentrações e índices de qualidade respectivos para os poluentes monitorados pela rede automática.

ÍNDICE DA QUALIDADE DO AR (IQAr)								
Qualidade	Índice	Níveis de Cautela sobre a Saúde	PTS (µg/m ³)	PI10 (µg/m ³)	S02 (µg/m ³)	NO2 (µg/m ³)	CO (ppm)	O3 (µg/m ³)
 Boa	0-50	Seguro à Saúde	0-80	0-50	0-100	0-190	0-4,5	0-80
 Regular	51-100	Tolerável	81-240	51-150	101-365	191-320	4,6-9,0	81-160
 Inadequada	101-199	Insalubre para Grupos Sensíveis	241-374	151-249	366-799	321-1129	9,1-14,9	161-399
 Má	200-299	Muito Insalubre (Nível de Atenção)	375-624	250-419	800-1599	1130-2259	15,0-29,9	400-799
 Péssima	300-399	Perigoso (Nível de Alerta)	625-874	420-499	1600-2099	2260-2999	30,0-39,9	800-999
 Crítica	400 ou maior	Muito Perigoso (Nível de Emergência)	≥ 875	≥ 500	≥ 2100	≥ 3000	≥ 40	≥ 1000

Os índices, até a classificação REGULAR, atendem aos Padrões Primários de Qualidade do Ar da Resolução CONAMA 03 de 28/06/1990.

Figura 4: Índices de qualidade e faixas de concentração correspondente por poluente.
Fonte: FEPAM.

A Tabela 1 mostra o número de dias no ano de 2016 em que cada estação de monitoramento atingiu determinada categoria do IQAr.

Tabela 1: IQAr registrado nas estações de monitoramento em 2016.

2016 (TOTAL)	Charqueadas	Triunfo (DEPREC)	Triunfo (Móvel-Polo)	Canoas	Esteio	Gravatá	Guaíba	TOTAL (%)
Nº dias IQAr BOM	181	211	137	333	297	174	268	86,0
Nº dias IQAr REGULAR	84	0	7	28	24	29	73	13,2
Nº dias IQAr INADEQUADO	11	0	0	0	0	0	4	0,8
Nº dias IQAr Má	1	0	0	0	0	0	0	0,1
Nº dias IQAr Péssimo	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Nº dias IQAr Crítico	0	0	0	0	0	0	0	0,0
TOTAL DE DIAS COM IQAr AVALIADO	277	211	144	361	321	203	345	---

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que o IQAr em 2016, considerando o somatório das sete estações em operação na Rede Ar do Sul, mostrou que aproximadamente 86% dos dias apresentaram qualidade do ar boa, cerca de 13% qualidade regular e cerca de 1% qualidade inadequada ou má.

É possível verificar que os registros de qualidade inadequada ou má ocorreram nas estações de Charqueadas e Guaíba. A análise destes registros mostra que todos foram decorrentes do poluente ozônio e serão abordados detalhadamente no item 3.2.3.

3.2.2 Poluentes Atmosféricos: concentração média anual

Na Tabela 2 são apresentadas, para o ano de 2016, as médias anuais de concentração dos poluentes ozônio (O3), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO2), dióxido de enxofre (SO2) e partículas inaláveis (PI10). Para obter a concentração média de cada poluente, os valores de concentração obtidos abaixo do limite de detecção do analisador foram considerados para efeito de cálculo como a metade do limite de detecção do respectivo equipamento. Na tabela, 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 por problemas técnicos. Os dados em vermelho indicam que o valor médio calculado para o ano não atendeu o critério de representatividade anual (>50 % de dados), mas foram mantidos para registro e avaliação de tendência.

Tabela 2: Concentração média anual dos poluentes por estação em 2016.

ESTAÇÃO	O3	NO2	CO	PI10	SO2
	Média Horária Anual			Média Diária Anual	
	µg/m³		ppm	µg/m³	
Canoas/V COMAR	19,2			26,8	
Canoas/PU	21,5	12,1	0,25	24,7	11,7
Esteio/VE	20,6	24,6	0,4	21,2	10,1
Gravataí/JT	30,0	9,1	0,2	16,9	1,3
Triunfo/Polo Petroquímico	20,4	6,0	0,1	13,8	1,7
Charqueadas/AT	45,9	8,6	0,3	29,8	2,9
Guaíba/Parque 35	34,4	10,5	0,5	25,0	1,7
Triunfo/DEPREC		6,7			5,7
MÉDIA GERAL*	30,5	11,9	0,3	23,5	5,6
Padrão de Qualidade (Conama 03/90)	--	100	--	50	80 (primário) 40 (secundário)

* Valores em vermelho não incluídos na média geral, por não serem representativos do ano.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados mostram que os poluentes PI10, NO2 e SO2 atenderam aos padrões de qualidade anual conforme Resolução CONAMA 03/1990. Não são estabelecidos padrões de qualidade anual para O3 e CO.

Comparativamente às médias gerais obtidas em 2015 (O3 = 30,3 µg/m³; NO2 = 9,8 µg/m³; CO = 0,4 ppm; PI10 = 22,4 µg/m³; SO2 = 6,5 µg/m³; conforme Relatório da Qualidade do Ar de 2015, não houve alteração significativa na concentração dos poluentes avaliados.

3.2.3 Poluentes Atmosféricos: concentração máxima anual

A Tabela 3 apresenta a concentração máxima anual obtida para cada poluente na respectiva Estação de Monitoramento.

Tabela 3: Concentração máxima anual dos poluentes por estação em 2016.

ESTAÇÃO	O3	NO2	CO	PI10	SO2
	Máxima Horária Anual			Máxima Diária Anual	
	µg/m³		ppm	µg/m³	
Canoas/V COMAR	107,7	---	---	81,7	---
Canoas/PU	85,3	143,8	3,4 / 1,7**	82,7	54,1
Esteio/VE	106,9	210,3	3,6 / 2,9**	72,1	35,4
Gravatá/JT	127,7	109,6	2,2 / 1,2**	53,4	2,8
Triunfo/Polo Petroquímico	151,0	67,4	0,7 / 0,5**	33,9	22,9
Charqueadas/AT	440,8	64,2	4,4 / 2,3**	79,1	27,7
Guaíba/Parque 35	220,6	83,6	4,7 / 3,4**	91,3	12,7
Triunfo/DEPREC	---	50,8	---	---	12,5
Padrão de Qualidade (Conama 03/90)	160	320 (primário) 190 (secundário)	35 / 9**	150	365 (primário) 100 (secundário)

* Valores em vermelho não representativos do ano.

** máxima média móvel de 8 horas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme os valores mostrados na Tabela 03, observa-se que os poluentes PI10, SO2 e CO não apresentaram em 2016 nenhum registro de ultrapassagem dos padrões de qualidade do ar em nenhuma das estações de monitoramento.

Para o NO₂, verifica-se que na estação Esteio/PU houve ultrapassagem do padrão secundário deste poluente, o qual ocorreu as 10 h do dia 25 de agosto.

- Episódio de máxima concentração média horária do poluente NO₂ na estação Esteio/VE, em 25/08/2016, às 10 h.

Segundo as observações de superfície da Estação Meteorológica do INMET localizada em Porto Alegre (A-801), este dia estava parcialmente nublado a nublado, as temperaturas oscilaram entre 11°C (pela manhã) e 27°C (à tarde), e os ventos estiveram fracos com direção variável, com predominância de ventos do quadrante leste até o meio dia, depois virando para noroeste. Houve registro de precipitação fraca (0,2 mm) às 8:00 L, mas na realidade houve deposição úmida devido ao nevoeiro ocorrido neste dia. A imagem de satélite (Figura 5) ilustra que não havia ação relevante de sistemas sinóticos, informação confirmada também pela análise de superfície das 09:00 L (12:00 UTC), que indica haver um centro de alta pressão com 1024 hPa no Oceano Atlântico, a leste do Estado do Rio Grande do Sul

(Figura 6). A análise do diagrama SkewT-LogP (radiossondagem realizada as 12 UTC do dia 25/08/2016) indica a ocorrência de inversão térmica de moderada a forte junto à superfície (Figura 7). Estas condições indicam estagnação atmosférica, resultando em baixa dispersão de poluentes devido à forte estabilidade e ventos fracos, fatores que devem ter contribuído para as altas concentrações do poluente NO_2 na estação Esteio/Vila Ezequiel, emitidos provavelmente por fontes locais.

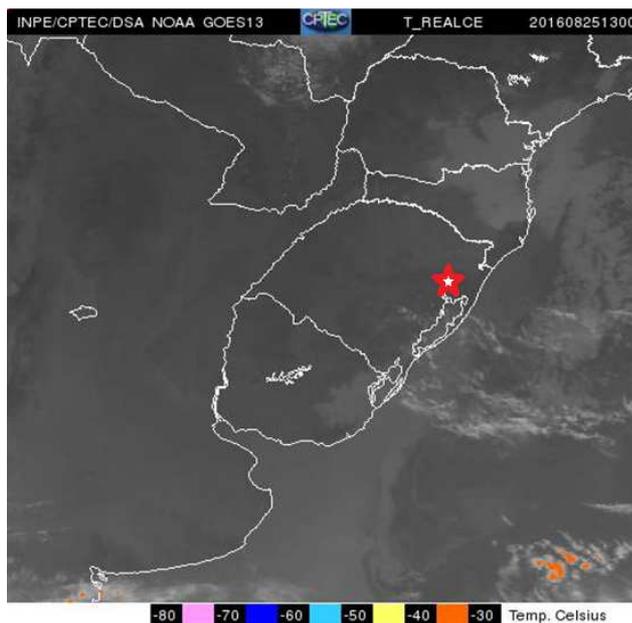


Figura 5: Imagem do Satélite GOES-13 do dia 25/08/2016, às 10:00 L (13:00 UTC), no espectro do infravermelho, com realce de temperatura para salientar topos de nuvens. A estrela em vermelho indica a localização da Estação Esteio/VE.

Fonte: modificado de INPE/CPTEC/DSA.

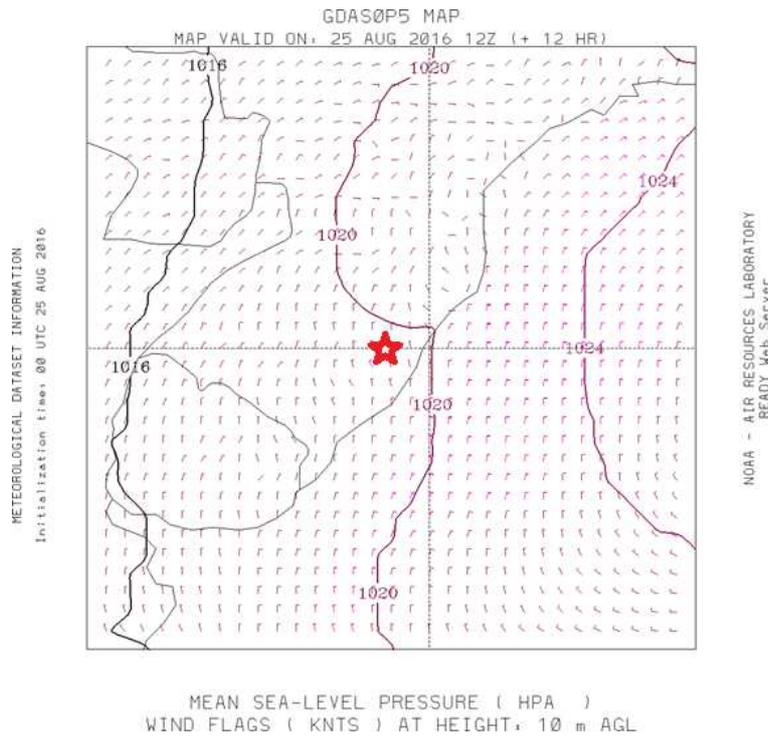


Figura 6: Análise de superfície do dia 25/08/2016, às 09:00 L (12:00 UTC), indicando isóbaras e flags de vento na superfície. A estrela em vermelho indica a localização da Estação Esteio/VE.
 Fonte: modificado de NOAA/ARL (modelagem).

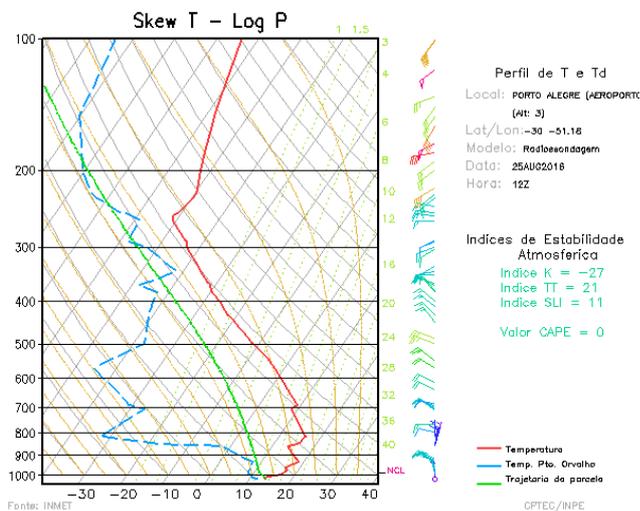


Figura 7: Diagrama SkewT-LogP do dia 25/08/2016, às 09:00 L (12:00 UTC), de Porto Alegre.
 Fonte: CPTEC/INPE.

Para o poluente O₃, observa-se ultrapassagens do padrão de qualidade em duas estações de monitoramento: Charqueadas/AT e Guaíba/Parque 35. A análise dos registros da estação Guaíba/Parque 35 mostra que houve 4 ultrapassagens do padrão de qualidade de O₃

nos dias: 26 de agosto ($197,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as 16 h), 27 de agosto ($162,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as 17 h), 17 de março ($180,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as 16 h) e 23 de julho ($220,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as 14 h). Na estação Charqueadas/AT, os registros mostram que houve 85 ultrapassagens do padrão, mas que representou somente 12 dias de IQAr acima dos padrões de qualidade, uma vez que nestes dias a concentração máxima horária de ozônio registrada permaneceu elevada por várias horas, o que acarretou várias ultrapassagens do padrão horário em um mesmo dia. Comparando-se com o ano de 2015 que teve 22 dias com IQAr acima do padrão de O₃ na estação Charqueadas/AT, nota-se uma redução para quase metade do número de dias com IQAr acima do padrão de qualidade. Os registros de ultrapassagens do padrão Charqueadas/AT ocorreram nos dias: 06 de janeiro (entre 19 h do dia 05 até as 06 h do dia 06, com pico de $237,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as 21 h), 07 de janeiro (entre 17 h do dia 06 até as 07 h do dia 07, com pico de $334,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as 23 h), 10 de janeiro (entre 17 e 18 h do dia 09, com pico de $178,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as 18 h), 11 de janeiro (entre 17 e 23 h do dia 10, com pico de $190,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as 22 h), 12 de janeiro ($174,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as 17 h do dia 11), 20 de janeiro (entre 17 e 18 h do dia 19, com pico de $210,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as 17 h), 21 de janeiro (entre 21 h do dia 20 até as 08 h do dia 21, com pico de $440,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as 03 h), 29 de janeiro (entre 17 e 21 h do dia 28 e entre 09 e 16 h do dia 29, com pico de $373,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as 16 h), 3 de fevereiro (entre 11 e 15 h, com pico de $194,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as 15 h), 27 de novembro (entre 17 e 22 h do dia 26 e entre 13 e 15 h do dia 27, com pico de $334,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as 14 h), 22 de dezembro (19 h do dia 21 e entre 14 e 16 h do dia 22, com pico de $287,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as 19 h) e 23 de dezembro (entre 17 e 20 h do dia 22, com pico de $244,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as 19 h).

Os episódios de altas concentrações de ozônio troposférico são geralmente decorrentes de elevada incidência de radiação solar, que atua como agente desencadeador das reações fotoquímicas responsáveis pela formação de ozônio a partir de seus precursores, em especial óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis. Os poluentes precursores são principalmente de origem antropogênica, e podem ter sido emitidos localmente e em regiões circunvizinhas, de até mesmo algumas dezenas de quilômetros de distância, trazidos pela dispersão na atmosfera, em condições meteorológicas favoráveis. A ocorrência de descargas elétricas de tempestades também contribui para a formação deste poluente secundário na atmosfera, além das atividades associadas a operações com determinado tipo de solda em elevada escala. A avaliação mais detalhada dos 2 episódios de máximo teor de O₃ registrados nestas estações de monitoramento é feita a seguir.

- Episódio de máxima concentração média horária do poluente O₃ na estação Guaíba/Parque 35, em 23/07/2016, às 14 h.

A temperatura chegou a 7,3°C no durante a madrugada, e atingiu 20,7°C no começo da tarde, os ventos estiveram muito fracos, com registros de calmaria na maior parte do dia, indicando ser um dia típico do inverno na RMPA (junto à Estação Guaíba/Parque 35), com ocorrência de nevoeiro na madrugada e início da manhã. A imagem do satélite GOES-13 no espectro do infravermelho com realce de temperatura para salientar topos de nuvens (Figura 8), das 13:30 L (16:30 UTC), indica que não havia ação de sistemas sinóticos no Rio Grande do Sul, e a análise da carta de superfície das 09:00 L (12:00 UTC) indica a presença de um sistema de alta pressão com 1021 hPa no oceano a leste da Região Sul do Brasil confirma a ausência de sistemas sinóticos sobre o Rio Grande do Sul (Figura 9). O diagrama SkewT-LogP (radiossondagem modelada das 12 UTC do dia 23/07/2016) indica a ocorrência de inversão térmica de moderada a forte junto à superfície (Figura 10). Estas condições indicam estagnação atmosférica, resultando em baixa dispersão de poluentes devido à forte estabilidade e ventos fracos, fatores que devem ter contribuído para as altas concentrações do poluente O₃ na estação Guaíba/Parque 35, cujos precursores foram emitidos por atividades antrópicas nas áreas urbanas de Porto Alegre e RMPA, além das emissões de indústrias locais.

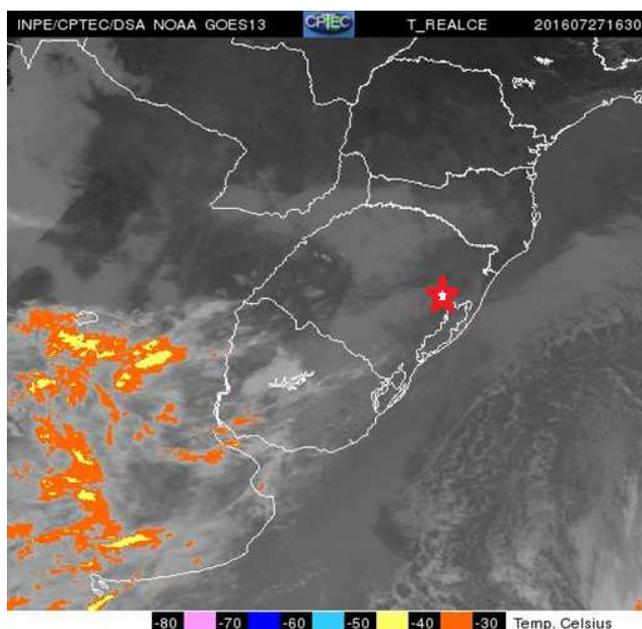


Figura 8: Imagem do Satélite GOES-13 do dia 27/07/2016, às 13:30 L (16:30 UTC), no espectro do infravermelho, com realce de temperatura para salientar topos de nuvens. A estrela em vermelho corresponde à localização da Estação Guaíba/Parque 35.

Fonte: modificado de INPE/CPTEC/DSA.

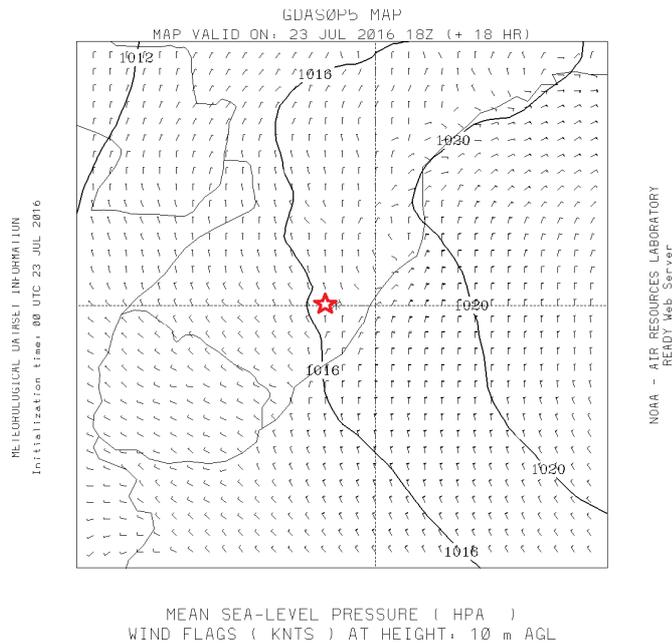


Figura 9: Análise de superfície do dia 23/03/2016, às 15:00 L (18:00 UTC), indicando isóbaras e flags de vento na superfície. A estrela em vermelho corresponde à localização da Estação Guaíba/Parque 35. Fonte: modificado de NOAA/ARL (modelagem).

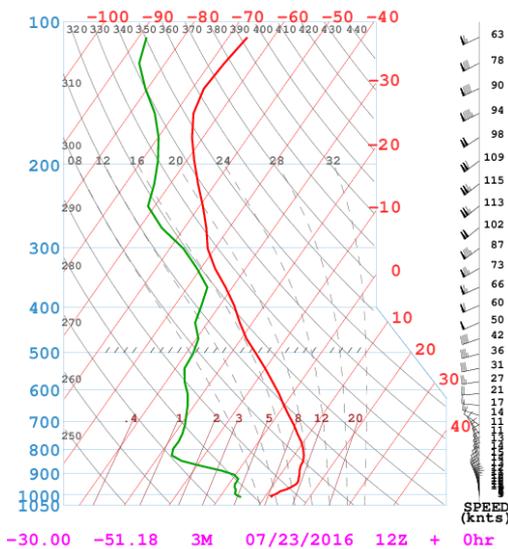


Figura 10: Diagrama SkewT-LogP do dia 23/07/2016, às 09:00 L (12:00 UTC), de Porto Alegre. Fonte: NOAA/ARL (modelagem).

- Episódio de máxima concentração média horária do poluente O3 na estação Charqueadas/AT, em 22/12/2016, às 19 h.

Neste dia as temperaturas estavam altas (verão), com temperaturas entre 22°C – 35°C, a presença de poucas nuvens proporcionou intensa radiação solar do amanhecer até o entardecer, os ventos estiveram moderados durante a tarde e fracos no restante do dia. Os

dados foram registrados na estação meteorológica instalada em Charqueadas. A imagem do satélite GOES-13 no espectro do infravermelho com realce de temperatura para salientar topos de nuvens (Figura 11), das 19:00 L (21:00 UTC), indica que não havia ação de sistemas sinóticos no Rio Grande do Sul, mas que o forte aquecimento da superfície associado com a advecção de umidade do oceano geraram áreas de instabilidade na parte leste do Estado, havendo formação de vários núcleos de trovoadas (cumulonimbus). A análise da carta de superfície das 19:00 L (21:00 UTC) indica que o campo de pressão é fraco e há uma linha de cavado sobre o Rio Grande do Sul com convergência de vento junto a superfície (Figura 12). O diagrama SkewT-LogP (radiossondagem modelada das 00 UTC do dia 23/12/2016) indica a ocorrência muita umidade desde a superfície até a altitude de 5.000 metros aproximadamente, e os índices de estabilidade indicam forte instabilidade (Figura 13). O comportamento dos ventos indica estagnação atmosférica (ventos fracos e convergência), já a forte umidade e instabilidade levam a formação de núcleos de trovoadas, com a presença de descargas elétricas, que ocorreram em todo o centro-leste do Estado, principalmente sobre a RMPA. A forte insolação ocorrida na região da Estação Charqueadas/AT, associada com as trovoadas (raios e relâmpagos) ocorridas sobre a RMPA podem ter contribuído para a formação de ozônio troposférico a partir dos poluentes precursores, principalmente óxidos de nitrogênio. Importante salientar que a Estação Charqueadas/AT situa-se a jusante do vento predominante em relação às principais fontes emissoras de óxidos de nitrogênio da RMPA (ou seja, na área de abrangência da pluma de dispersão destas fontes), além das principais fontes locais destes poluentes.

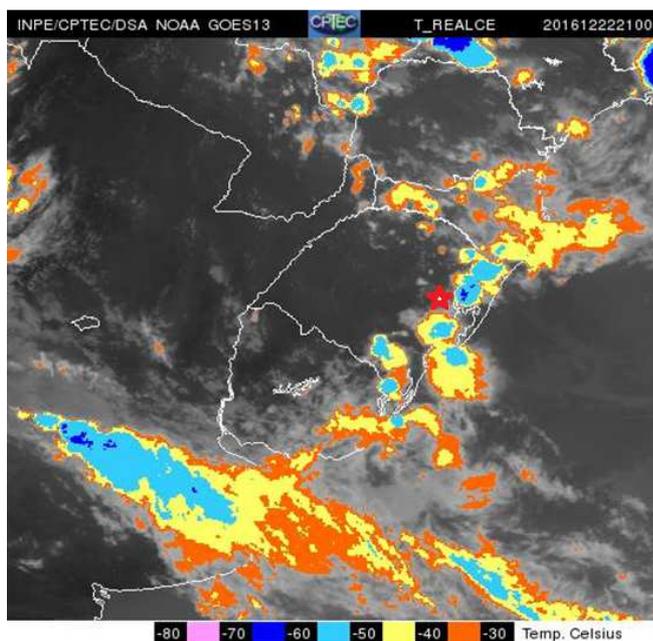


Figura 11: Imagem do satélite GOES-13 no espectro do infravermelho, com realce dos topos de nuvens, do dia 22/12/2016, às 21:00 UTC (19 h Horário Local). A estrela em vermelho corresponde à localização da Estação Charqueadas/AT.

Fonte: modificado de INPE/CPTEC/DSA.

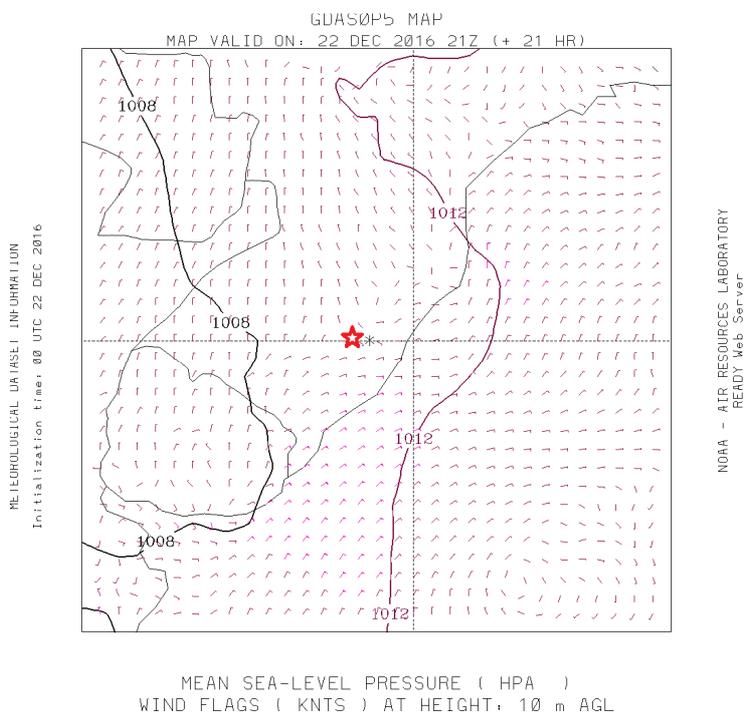


Figura 12: Análise de superfície contendo isóbaras ao nível médio do mar e vetores de vento a 10 m de altura, a partir de simulação válida para o dia 22/12/2016, às 21:00 UTC (19 h Horário Local). A estrela em vermelho corresponde à localização da Estação Charqueadas/AT.

Fonte: modificado de NOAA/ARL.

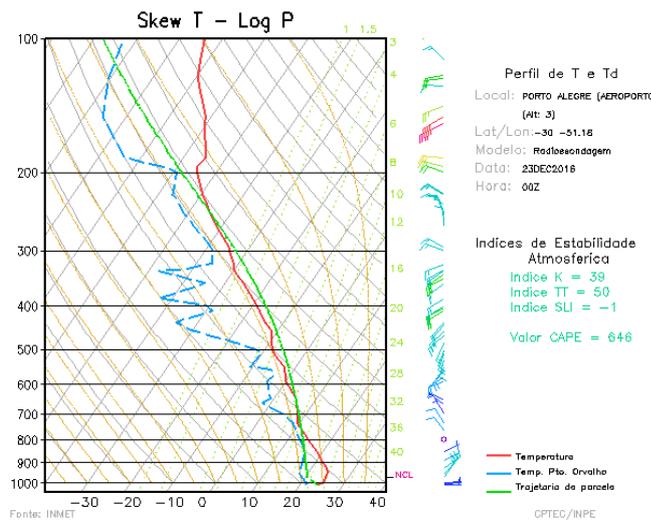


Figura 13: Gráfico Skew T – Log P da radiossondagem do dia 23/12/2016, às 00:00 UTC (22 h Horário Local do dia 22/12/2016), do Aeroporto Salgado Filho.
 Fonte: CPTEC/INPE.

3.2.4 Poluentes Atmosféricos: concentração ao longo do dia

Como informativo, este relatório também apresenta na Figura 14 um gráfico com as concentrações médias horárias anuais dos poluentes ao longo do dia registradas no ano de 2016, considerando o valor médio obtido para todas as estações em que houve monitoramento com dados válidos.

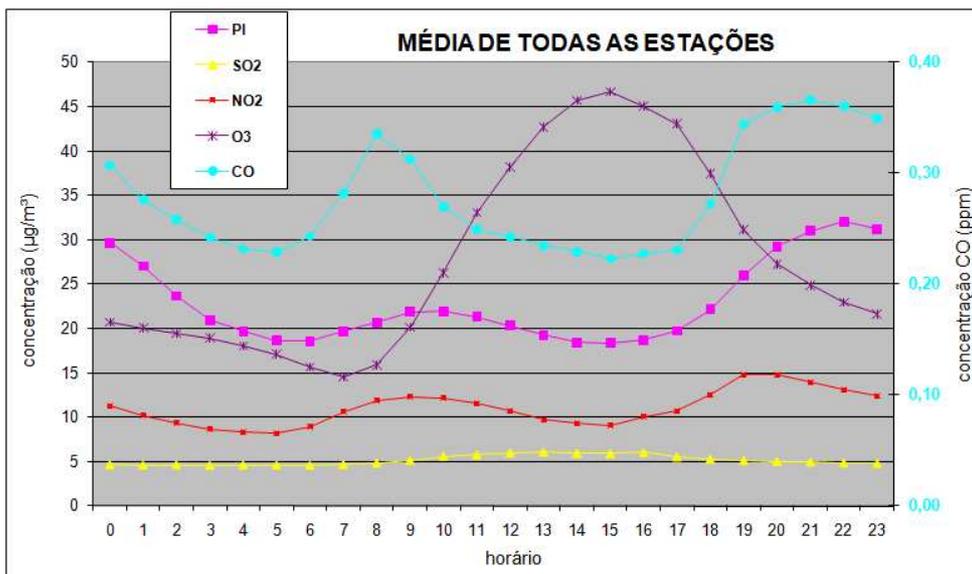


Figura 14: Gráfico das concentrações médias horárias anuais dos poluentes de todas as estações de monitoramento.
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que no período da manhã, a partir das 06 h, há um aumento das concentrações dos poluentes CO, NO₂ e PI₁₀, decorrentes principalmente das emissões veiculares. Após estes picos iniciais da manhã as concentrações destes poluentes tendem a reduzir, pela diminuição do fluxo veicular, em especial daqueles movidos a diesel, e aumento da camada de mistura atmosférica. No período da noite, observa-se novamente um aumento do teor destes poluentes no ar, em virtude do aumento da frota veicular nas ruas no final da tarde e princípio da noite, além da diminuição na velocidade do vento, redução da amplitude da camada de mistura e da estratificação atmosférica noturna. Como efeito sequencial, facilmente verificado entre 22 h e 05 h, a diminuição das emissões (menor tráfego) e as deposições seca e úmida, levam a uma diminuição progressiva das concentrações destes poluentes na atmosfera.

Os poluentes O₃ e SO₂ apresentam comportamento distinto dos demais poluentes. O O₃ aumenta sua concentração ao longo do dia até aproximadamente as 15 h, com posterior redução, refletindo principalmente a influência da radiação solar na sua formação na atmosfera. O SO₂, por sua vez, se mantém praticamente inalterado ao longo do dia, mas com um leve aumento das concentrações durante o dia, o que pode ser justificado pela maior mistura das camadas inferiores da atmosfera devido ao aquecimento.

4 CONCLUSÕES

Os dados de monitoramento da qualidade do ar obtidos ao longo do ano de 2016 mostraram que somente os poluentes NO₂ e O₃ apresentaram valores que ultrapassaram os padrões de qualidade do ar estabelecidos pela resolução CONAMA nº 003/1990. Para o O₃ foi registrado IQAr acima dos padrões em 12 (doze) dias na estação de Charqueadas/AT e em 4 (quatro) dias na estação de Guaíba/Parque 35. O NO₂ apresentou 1 (uma) ultrapassagem do padrão secundário na estação de Esteio/VE.

A alta concentração de ozônio troposférico ocorreu principalmente nos meses de verão e deve-se, provavelmente, a associação de alta disponibilidade de poluentes precursores (em especial VOCs e NO_x) com a elevada incidência de radiação solar neste período do ano. A ocorrência de descargas elétricas de tempestades também pode ter contribuído para a formação deste poluente secundário na atmosfera.

Considerando o somatório das sete estações de monitoramento analisadas, o IQAr de 2016 aponta que aproximadamente 86% dos dias apresentaram qualidade do ar boa, cerca de 13% qualidade regular e cerca de 1% qualidade inadequada ou má. Em relação a 2015, a concentração média anual dos poluentes em 2016 não apresentou alteração significativa. As condições climáticas de dispersão e remoção de poluentes atmosféricos mais favoráveis em 2016 (em relação a 2015), além da estagnação da economia do Estado contribuíram para a manutenção dos níveis de poluentes no ar.

5 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.

_____. Resolução nº 008, de 06 de dezembro de 1990. Dispõe sobre o estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes fixas de poluição. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 de dezembro de 1990, Seção 1, página 25539.

_____. Resolução nº 382, de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2 de janeiro de 2007, Seção 1, páginas 131-137.

_____. Resolução nº 436, de 22 de dezembro de 2011. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 de dezembro de 2011.

_____. Resolução nº 316, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 de novembro de 2002, Seção 1, páginas 92-95.

_____. Resolução nº 018, de 6 de maio de 1986. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – PROCONVE. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 de junho de 1986, Seção 1, páginas 8792-8795.

_____. Resolução nº 297, de 26 de fevereiro de 2002. Estabelece os limites para emissões de gases poluentes por ciclomotores, motocicletas e veículos similares novos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 de março de 2002, Seção 1, páginas 86-88.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (FEE). **Série histórica: PIB – RS | 2002 – 2016**. Porto Alegre. Disponível em <<http://www.fee.rs.gov.br/indicadores/pib-rs/estadual/serie-historica>>. Acesso em 10 mai. 2017.

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.

_____. **Diagnóstico da Qualidade do Ar no Rio Grande do Sul no período de 2003 a 2012**. Porto Alegre, 2014. Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/relatorio_anual_auto.asp?id=A.A&status=s>. Acesso em 10 mai. 2017.

_____. **Rede estadual de monitoramento automático da qualidade do ar - Relatório 2013 e 2014**. Porto Alegre, 2015. Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/relatorio_anual_auto.asp?id=A.A&status=s>. Acesso em 10 mai. 2017.

_____. **Rede estadual de monitoramento automático da qualidade do ar - Relatório 2015**. Porto Alegre, 2016. Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/relatorio_anual_auto.asp?id=A.A&status=s>. Acesso em 10 mai. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, INMET. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em 17 jul. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, INPE. Disponível em <http://satelite.cptec.inpe.br/home/index.jsp>. Acesso em 17 jul. 2017.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Air Resources Laboratory**. Disponível em <<http://www.arl.noaa.gov/>>. Acesso em 17 jul. 2017.

OECD Environmental Outlook to 2050: **The Consequences of Inaction**, OECD Publishing, Paris. 2012.

RIO GRANDE DO SUL. **Departamento Estadual de Trânsito**. Disponível em <<http://www.detran.rs.gov.br/conteudo/27453/frota-do-rs>>. Acesso em 10 mai. 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **World Health Assembly closes, passing resolutions on air pollution and epilepsy**. Disponível em <<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/wha-26-may-2015/en/>>. Acesso em 10 mai. 2017.