

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

**Rede Estadual de Monitoramento
Automático da Qualidade do Ar
Relatório 2019**

RIO GRANDE DO SUL

2020



*FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL
HENRIQUE LUIS ROESSLER*

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

*SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
E INFRAESTRUTURA*

2020

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL

Marjorie Kauffmann

DIRETORIA TÉCNICA

Renato das Chagas e Silva

DEPARTAMENTO DE QUALIDADE AMBIENTAL

Glaucus Vinicius Biasetto Ribeiro

DIVISÃO DE MONITORAMENTO AMBIENTAL

Márcio D'Avila Vargas

Equipe Técnica da Rede Ar do Sul

Estevão Segalla

Felipe Norte Pereira

Flávio Wiegand

Márcio D'Avila Vargas

Elaboração Técnica

Flávio Wiegand

Márcio D'Avila Vargas

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVO	15
3 DESCRIÇÃO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	16
3.1 ASPECTOS GEOGRÁFICOS	16
3.2 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	17
3.3 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	19
3.4 DISPERSÃO ATMOSFÉRICA	21
3.5 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS PARA DISPERSÃO DE POLUENTES EM 2019	22
4 REDE DE MONITORAMENTO	27
4.1 REDE ESTADUAL DE MONITORAMENTO AUTOMÁTICA DA QUALIDADE DO AR	27
4.1.1 ESTAÇÃO CANOAS/V COMAR	29
4.1.2 ESTAÇÃO GRAVATAÍ/JT	29
4.1.3 ESTAÇÃO CANOAS/PU	29
4.1.4 ESTAÇÃO TRIUNFO/POLO PETROQUÍMICO	29
4.1.5 ESTAÇÃO ESTEIO/VE	29
4.1.6 ESTAÇÃO GUAÍBA/PARQUE 35	30
4.2 REDE ESTADUAL DE MONITORAMENTO MANUAL DA QUALIDADE DO AR	30
4.3 POLUENTES ATMOSFÉRICOS MONITORADOS	31
4.3.1 MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	31
4.3.2 ÓXIDOS DE NITROGÊNIO (NOX)	31
4.3.3 PARTÍCULAS INALÁVEIS (PM10)	32
4.3.4 DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO2)	32
4.3.5 OZÔNIO (O3)	33
4.4 METODOLOGIA DE MONITORAMENTO	34
4.5 DIVULGAÇÃO DA QUALIDADE DO AR	34
4.6 REPRESENTATIVIDADE DOS DADOS DE QUALIDADE DO AR	34
5 FONTES DE POLUIÇÃO DO AR	36
6 ESTIMATIVAS DE EMISSÃO DE FONTES MÓVEIS E FIXAS	37
6.1 FONTES FIXAS	37
6.2 FONTES MÓVEIS	38
7 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR	41
8 POLUENTES E A QUALIDADE DO AR	43
8.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR (IQAR)	43
8.2 IQAR E SEUS EFEITOS NA SAÚDE	44
9 RESULTADOS	45
9.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR EM 2019	45
9.2 DADOS DO MONITORAMENTO EM 2019	45
9.2.1 POLUENTES ATMOSFÉRICOS: CONCENTRAÇÃO MÉDIA ANUAL	46
9.2.2 POLUENTES ATMOSFÉRICOS: ÚLTIMOS CINCO ANOS	46
9.2.3 POLUENTES ATMOSFÉRICOS: CONCENTRAÇÃO MÁXIMA ANUAL	48
10 CONCLUSÕES	53
11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

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

°C: Grau Celsius

BID: Banco Interamericano de Desenvolvimento

CCEE: Coordenadoria do Controle do Equilíbrio Ecológico

CMPC: Companhia Manufacturera de Papeles y Cartones

CNPq: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CO: Monóxido de carbono

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPTEC: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CORSAN: Companhia Riograndense de Saneamento

COVs: Compostos orgânicos voláteis

DEE: Departamento de Economia e Estatística do RS

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

DV: Direção do vento

E: Leste

EMQA: Estação de Monitoramento Automático da Qualidade do Ar

FAPERGS: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul

FEPAM: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler

FFE: Fundação de economia e estatística

GM: General Motors do Brasil

GOES: Geostationary Operational Environmental Satellite

h: Hora

HCs: Hidrocarbonetos

hPa: Hectopascal

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INMET: Instituto nacional de meteorologia

Inpp-I: Índice de potencial poluidor da indústria

IQAr: Índice de Qualidade do Ar

IOS: Índice de Oscilação Sul

JT: Jardim Timbaúva

km: Quilômetro

L: Local

Log: Logaritmo
m/s: Metro por segundo
m: Metro
mm: Milímetros
N: Norte
NASA: National Aeronautics and Space Administration
NE: Nordeste
NW: Noroeste
NO: Óxido nítrico
N₂O: Óxido nitroso
NO₂: Dióxido de nitrogênio
NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration
NO_x: Óxidos de nitrogênio
O₃: Ozônio
OMS: Organização mundial da saúde
OPS: Organização PanAmericana de Saúde
P: Pressão
PCPV: Programa de Controle de Poluição Veicular
PF: Padrão final
PI: Partículas inaláveis
PI-1 (PI-2) (PI-3): Padrão intermediário 1 (2) (3)
PI_{2,5}: Partículas inaláveis com diâmetro aerodinâmico de corte de 2,5 micra
PI₁₀: Partículas inaláveis com diâmetro aerodinâmico de corte de 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 Motociclos e Veículos Similares
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

SE: Sudeste

SO₂: Dióxido de enxofre

SSMA: Secretaria da Saúde e do Meio Ambiente

SW: Sudoeste

T: Temperatura

TRS: Compostos totais de enxofre reduzidos

UR: Umidade relativa do ar

UTC: Universal Time Coordinated

UTM: Universal Transversa de Mercator

UVA: Radiação ultravioleta-A

V COMAR: V Comando Aéreo Regional

VAB: Valor adicional bruto

VE: Vila Ezequiel

VV: Velocidade do vento

W: Oeste

W/m²: Watt por metro quadrado

WHO: World Health Organization

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Municípios com mais de 100 mil habitantes.	17
Figura 2: Estrutura do VAB do Rio Grande do Sul por setores de atividade 2015 (%).	18
Figura 3: Temperaturas médias mensais registradas em 2019 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1981-2010.	24
Figura 4: Umidades Relativas médias mensais registradas em 2019 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1981-2010.	25
Figura 5: Precipitações acumuladas mensais registradas em 2019 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1981-2010.	25
Figura 6: Velocidades médias mensais do vento registradas em 2019 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1981-2010.	26
Figura 7: Pressões atmosféricas médias mensais registradas em 2019 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1981-2010.	26
Figura 8: Localização das estações Canoas/V COMAR, Canoas/PU, Esteio/VE, Gravataí/JT, Guaíba/Parque35 e Triunfo/Polo Petroquímico.	28
Figura 9: Índice de Potencial Poluidor da Indústria, por município.	37
Figura 10: As Macrorregiões do Estado do RS.	39
Figura 11: Contribuições das emissões veiculares totais, por Macrorregiões do Estado do RS.	40
Figura 12: Índices de qualidade e faixas de concentração correspondente por poluente.	44
Figura 13: a) Imagem do satélite GOES-16, Canal 11, do dia 12/12/2019 às 12:00 UTC (9h Local); b) Análise sinótica da região do RS em 12/12/2019 às 12:00 UTC (9h Local).	50
Figura 14: a) Diagrama Skew T Log P da sondagem atmosférica (Reanálise) para a localidade de Porto Alegre, do dia 12/12/2019 às 12:00 UTC (9h Local); b) Análise do campo camada de mistura para a região de estudo em 12/12/2019 às 06:00 UTC (6h Local).	51
Figura 15: a) Mosaico contendo a detecção de focos de queimadas no RS e vizinhanças, entre os dias 11 e 12/12/2019, associado ao mosaico de imagens de satélites meteorológicos (nuvens) do dia 12/12/2019 das 15 e 16:00 UTC (12 e 13h Local) ; b) Análise dos campos ‘pressão atmosférica’ e ‘vento’ para o nível de 950 hPa (~500 m) para a região de estudo em 12/12/2019 às 18:00 UTC (15h Local).	52

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1: Os 10 maiores municípios conforme o PIB 2017. 18**
- Tabela 2: Classificação climática de Köppen para o Rio Grande do Sul. 19**
- Tabela 3: Parâmetros e localização das estações em 2019. 28**
- Tabela 4: Parâmetros e localização das estações da rede Manual. 30**
- Tabela 5: Princípios de medição específicos para cada poluente. 34**
- Tabela 6: Critérios de representatividade de dados. 35**
- Tabela 7: Principais fontes dos poluentes atmosféricos. 36**
- Tabela 8: Evolução anual da frota veicular do RS por tipo. 38**
- Tabela 9: Frota veicular do RS frente ao tipo de combustível utilizado. 38**
- Tabela 10: Estimativa das emissões atmosféricas por fontes móveis no RS (2009). 40**
- Tabela 11: Padrões de qualidade do ar. 41**
- Tabela 12: Níveis de poluição do ar para episódios críticos. 42**
- Tabela 13: Relação entre o índice de qualidade do ar e os efeitos sobre a saúde. 44**
- Tabela 14: IQAr registrado nas estações de monitoramento em 2019. 45**
- Tabela 15: Concentração média anual dos poluentes por estação em 2019. 46**
- Tabela 16: Concentração média anual de O₃ nos últimos 5 anos. 46**
- Tabela 17: Concentração média anual de CO nos últimos 5 anos. 47**
- Tabela 18: Concentração média anual de SO₂ nos últimos 5 anos. 47**
- Tabela 19: Concentração média anual de NO₂ nos últimos 5 anos. 48**
- Tabela 20: Concentração média anual de PI₁₀ nos últimos 5 anos. 48**
- Tabela 21: Concentração máxima anual dos poluentes por estação em 2019. 49**

1 INTRODUÇÃO

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que cerca de 8 milhões de pessoas morrem a cada ano devido à exposição a partículas finas em ar poluído que penetram profundamente nos pulmões e no sistema cardiovascular, causando doenças como derrame, doenças cardíacas, câncer de pulmão, doenças pulmonares obstrutivas crônicas e infecções respiratórias, incluindo pneumonia. Em 2016, cerca de 4,2 milhões de mortes ocorreram devido à poluição do ar em ambiente externo (*outdoor*) e cerca de 3,8 milhões de mortes devido à poluição do ar em ambientes internos (*indoor*). Além disso, a fumaça interna é também um sério risco à saúde de cerca de 3 bilhões de pessoas que cozinham e aquecem suas casas com biomassa, combustíveis de querosene e carvão. Estima que cerca de 91% da população mundial vive em locais onde a qualidade do ar excede os limites das diretrizes da OMS.

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.

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

Quanto à qualidade do ar, as Resoluções CONAMA 005/89 e 491/18 são atualmente a base legal em nível nacional para a definição dos padrões de qualidade a serem adotados, bem como para as metodologias de medição e demais ações de monitoramento pelos órgãos de controle. No Estado do Rio Grande do Sul, a qualidade do ar é abordada no novo código

ambiental do Estado, Lei Estadual Nº 15434 de 09/01/2020, em seu capítulo III - da utilização e conservação do ar, Art. 139 a 142.

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 2019, para as estações de qualidade do ar em operação integrantes da rede Ar do Sul.

2 OBJETIVO

O objetivo deste relatório é divulgar para toda a sociedade os dados do monitoramento automático da qualidade do ar realizado pela FEPAM em 2019, incluindo o sistema de monitoramento utilizado, sua abrangência, as principais fontes e a influência da meteorologia local na dispersão dos poluentes.

3 DESCRIÇÃO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

3.1 Aspectos Geográficos

O Estado do Rio Grande do Sul localiza-se no extremo meridional do Brasil, delimitando-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°36'14"W - 49°42'00"W e as latitudes 33°45'37"S - 27°05'20"S. O Rio Grande do Sul apresenta uma área de 281.748,5 km², 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 lagunas e lagoas, 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 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 é dividida 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.

De acordo com últimos dados disponibilizados pelo Departamento de Economia e Estatística (DEE) do Estado, censo de 2010, o Rio Grande do Sul conta com uma população urbana de 9.100.291 (~85%) habitantes e rural de 1.593.638 (~15%) habitantes, e que deve ter se mantida nesta proporção desde então. Porto Alegre concentra grande parte da população total do Estado com 1.465.430 habitantes, conforme dados de 2018 (eram 1.409.351 no censo de 2010). Além de Porto Alegre outros municípios apresentam mais de 100 mil habitantes, sendo eles: Caxias do Sul, Canoas, Pelotas, Santa Maria, Gravataí, Viamão, Novo Hamburgo, São Leopoldo, Alvorada, Rio Grande, Passo Fundo, Sapucaia do Sul, Uruguai, Cachoeirinha, Santa Cruz do Sul, Bagé e Bento Gonçalves, cuja localização pode ser vista no mapa da Figura 1.

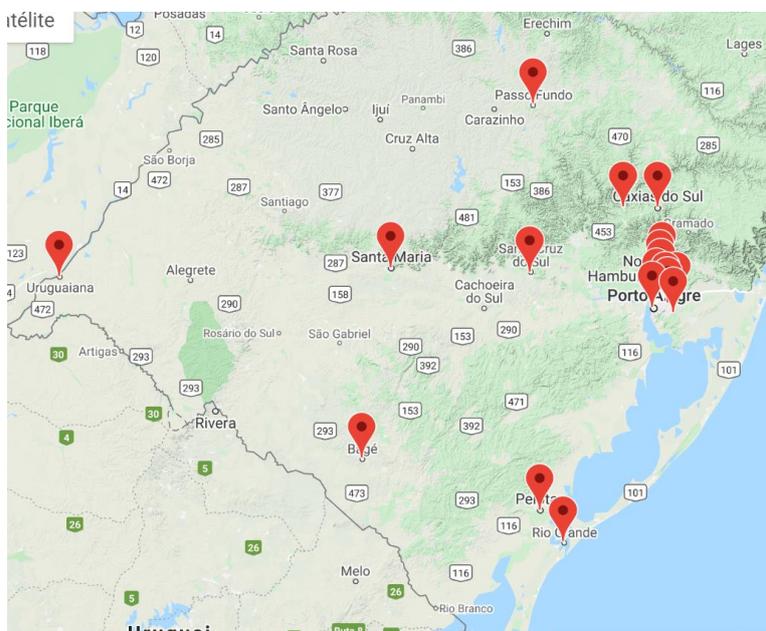


Figura 1: Municípios com mais de 100 mil habitantes.

Fonte: Adaptado de DEE.

3.2 Uso e Ocupação do Solo

Em valores nominais, o PIB do RS em 2019 foi de R\$ 480,577 bilhões, representando um aumento de 2% em relação ao ano anterior (DDE, 2020). Na Tabela 1 vemos os 10 maiores municípios do Estado, segundo a magnitude do PIB (dados de 2017), os quais somados representaram 42,3% do PIB estadual.

Os 10 maiores PIBs municipais são, em geral, baseados na indústria e em serviços, tendo a agropecuária uma pequena participação. O setor serviços destaca-se como a responsável pela maior parte do valor gerado nestes municípios. O número de habitantes

também é destaque pois, com exceção de Triunfo, todos apresentam população superior a 100 mil habitantes.

Tabela 1: Os 10 maiores municípios conforme o PIB 2017.

Município	PIB (R\$ mil)
Porto Alegre	73.862.306
Caxias do Sul	21.717.020
Canoas	18.947.513
Gravataí	12.406.079
Rio Grande	92.15.701
Triunfo	8.803.874
Novo Hamburgo	8.736.151
Passo Fundo	8.584.861
Pelotas	8.573.355
Santa Cruz do Sul	8.238.767

Fonte: DEE

O valor adicional bruto (VAB) do Rio Grande do Sul em 2015, dividido em Agropecuária, Indústria e Serviços, é ilustrado na Figura 2.

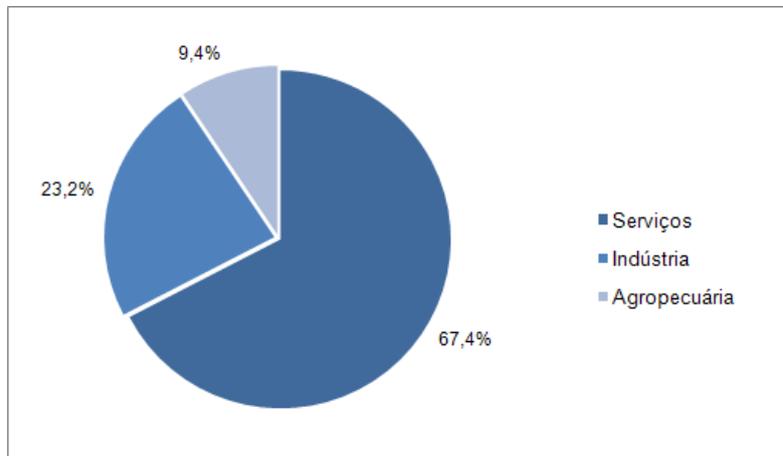


Figura 2: Estrutura do VAB do Rio Grande do Sul por setores de atividade 2015 (%).

Fonte: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul.

A indústria, responsável por 23,2% 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, o setor portuário e indústrias de fertilizantes. Destaca-se, ainda, o Polo Petroquímico em Triunfo, as indústrias do setor coureiro-calçadista do Vale dos Sinos, a termoelétrica em Candiota e a indústria fumageira em Santa Cruz do Sul e Venâncio Aires.

Embora a agropecuária represente apenas 9,4% 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.

O setor de serviços é aquele que gera a maior participação no VAB (67,4%), estando ligado às regiões com elevada densidade populacional.

3.3 Condições Meteorológicas

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 2), devido a diferenças topográficas (Danni, 1987). O subtipo Cfa abrange maior extensão territorial, ocupando áreas com altitudes inferiores a 500 m.

Tabela 2: 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, 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.

A precipitação é relativamente bem distribuída o ano todo, apresentando os maiores valores entre junho e outubro. 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.

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%. Tendo em vista que a umidade relativa depende da temperatura, ela tem um comportamento bastante coerente com o da temperatura média.

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. 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.

3.4 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, 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, mesclando 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.

3.5 Condições Climáticas para Dispersão de Poluentes em 2019

Considerando que as estações de monitoramento da qualidade do ar em operação no RS estão localizadas na RMPA, as análises meteorológica e climática são baseadas nas observações registradas pela estação meteorológica A-801, do INMET, localizada em Porto Alegre, e também comparadas às normais climatológicas desta estação de 1961-1990 e 1981-2010.

O ano de 2019 começou sob a atuação de um fenômeno El Niño fraco, passando a condições de neutralidade a partir da metade do ano (NOAA, 2020).

O ano de 2019 pode ser considerado como um ano com temperaturas acima da média climatológica, principalmente durante o outono e primavera. Na Figura 3 é possível observar este comportamento, as curvas das temperaturas normais climatológicas de 1961-1990 e de 1981-2010 apresentam comportamentos semelhantes, enquanto que a curva do ano de 2019 apresenta anomalias positivas em janeiro, abril a junho, além do período de outubro a dezembro. Durante o outono (abril a junho) as temperaturas médias estiveram excepcionalmente acima das normais citadas, atrasando a chegada do frio, que só se fez presente no inverno.

A umidade relativa do ar esteve acima da média climatológica entre janeiro a maio. A Figura 4 ilustra o comportamento da umidade relativa do ar, médias mensais, onde se observa que os valores das normais climatológicas 1961-1990 e 1981-2010 apresentam-se semelhantes durante o ano inteiro, enquanto que a curva das médias mensais do ano 2019

apresenta valores superiores (em torno de 2 a 10%) às normais climatológicas durante quase todo primeiro semestre (coincidindo com o período de atuação do fenômeno El Niño). Observa-se também uma diminuição considerável da umidade relativa em dezembro (em torno de 8%).

As precipitações oscilaram próximas das médias climatológicas na maior parte do ano, com exceção dos meses abril, maio e outubro. A Figura 5 apresenta o comportamento das precipitações acumuladas mensais ocorridas no ano de 2019 e as normais climatológicas 1961-1990 e 1981-2010. É possível observar na Figura 5 que a curva das precipitações acumuladas mensais de 2019 apresenta grandes oscilações em relação às séries normais climatológicas de 1981-2010 e 1961-1990. As precipitações em abril, maio e outubro ultrapassaram em de 100% as médias climatológicas, a ponto da precipitação nestes três meses representar a metade da ocorrida no ano inteiro. O acumulado anual de 2019 ficou acima dos acumulados anuais das normais climatológicas.

A velocidade média mensal do vento em superfície no ano de 2019 esteve inferior às normais climatológicas 1961-1990 e 1981-2010 o ano inteiro. Na Figura 6 é possível observar que em 2018 as velocidades médias do vento estiveram entre 25 e 40% abaixo das normais climatológicas.

A Figura 7 apresenta as normais climatológicas das pressões atmosféricas de 1961-1990 e 1981-2010 e das pressões atmosféricas médias mensais registradas em 2019. As normais climatológicas 1981-2010 comportaram-se com valores 2-3 hPa abaixo das normais climatológicas de 1961-1990. O comportamento das médias mensais em 2019 é mais próximo das normais climatológicas de 1981-2010, com exceção nos meses de março e agosto, em que a pressão atmosférica esteve mais elevada, próximo à normal 1961-1990.

Os dados de radiação solar global foram comparados à média do período 2002-2018, 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 incidência de radiação solar no ano de 2019 esteve abaixo da média do período 2002-2018 em janeiro e outubro, e acima da média em agosto, setembro e dezembro. No restante do período esteve próxima da média mensal do período 2002-2018.

Como conclusão, temos que o primeiro semestre de 2019, provavelmente acompanhando o evento de El Niño, as temperaturas permaneceram extraordinariamente mais altas. Nos meses de abril e maio houve um pico de precipitação (e aumento da umidade relativa), acompanhado por aumento da temperatura. Esse comportamento pode ser explicado

pela atuação de sistemas de bloqueio atmosféricos ocorridos a norte/nordeste do RS, impedindo o avanço das frentes frias (e das massas de ar polar) para latitudes mais baixas, como resultado o RS teve muitos dias com nebulosidade e ocorrência de chuva, devido ao fluxo de umidade e calor do setor noroeste. Em junho estes sistemas de bloqueio atmosféricos migraram mais ao sul, levando o mau tempo para a Região do Prata, e o ar tropical tomou conta do Estado, com o aumento da temperatura e diminuição da precipitação (<70 mm) e umidade. Coincidindo com o anúncio oficial do evento de El Niño, e a predominância de neutralidade do índice IOS, o bloqueio atmosférico foi rompido, as frentes frias e massas de ar polar passaram a migrar sobre o RS e para latitudes mais baixas, e o inverno finalmente chegou ao Estado. Em agosto foi observada a predominância de massas de ar polar e seco, com a diminuição da umidade e precipitação, e aumento da pressão atmosférica. Em outubro outra condição de bloqueio atmosférico ao norte/nordeste do RS foi observada, como consequência houve o aumento da temperatura, precipitação e umidade. A partir de novembro, as condições de bloqueio atmosférico migraram mais aos setores norte/noroeste do RS, sendo responsável menor advecção de umidade sobre o Estado, culminando com forte queda da precipitação e umidade, e um leve aumento da temperatura em dezembro.

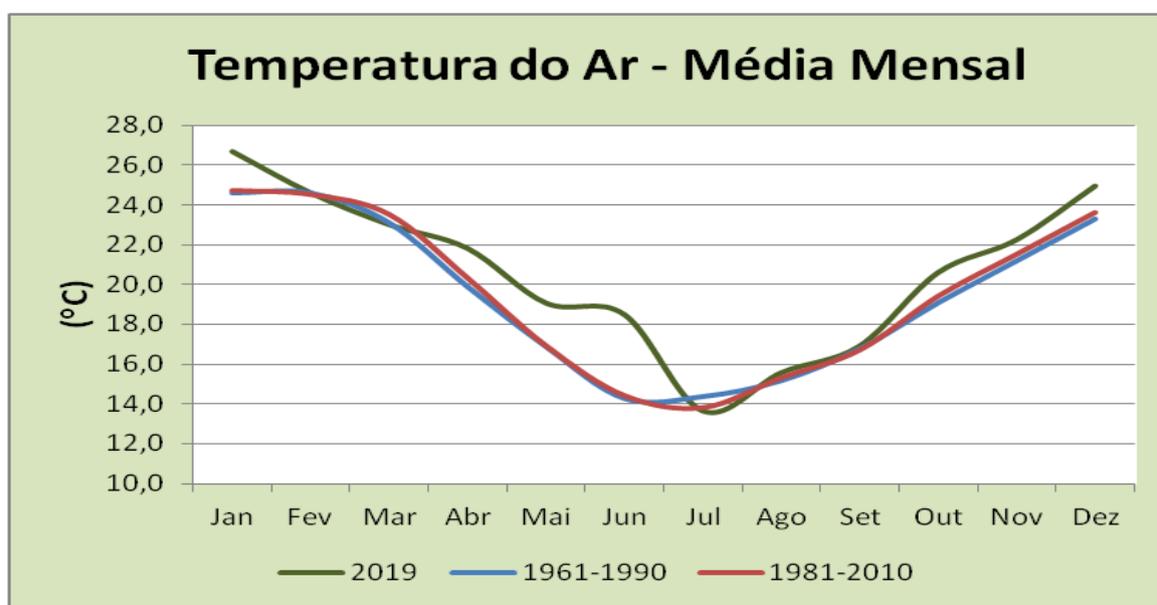


Figura 3: Temperaturas médias mensais registradas em 2019 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1981-2010.

Fonte: INMET.

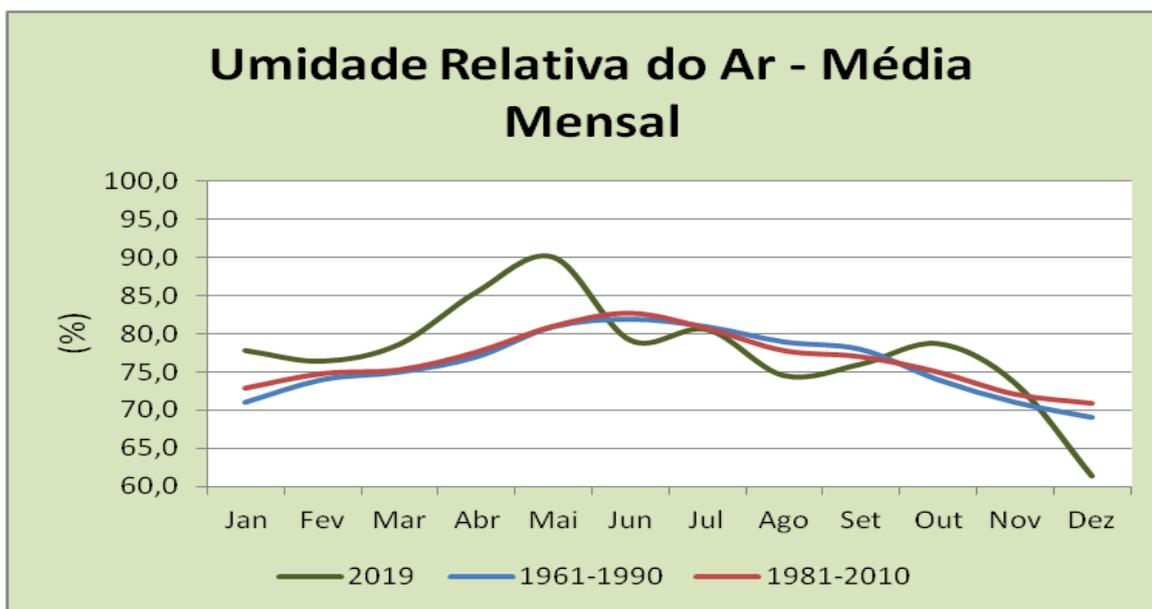


Figura 4: Umidades Relativas médias mensais registradas em 2019 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1981-2010.
Fonte: INMET.

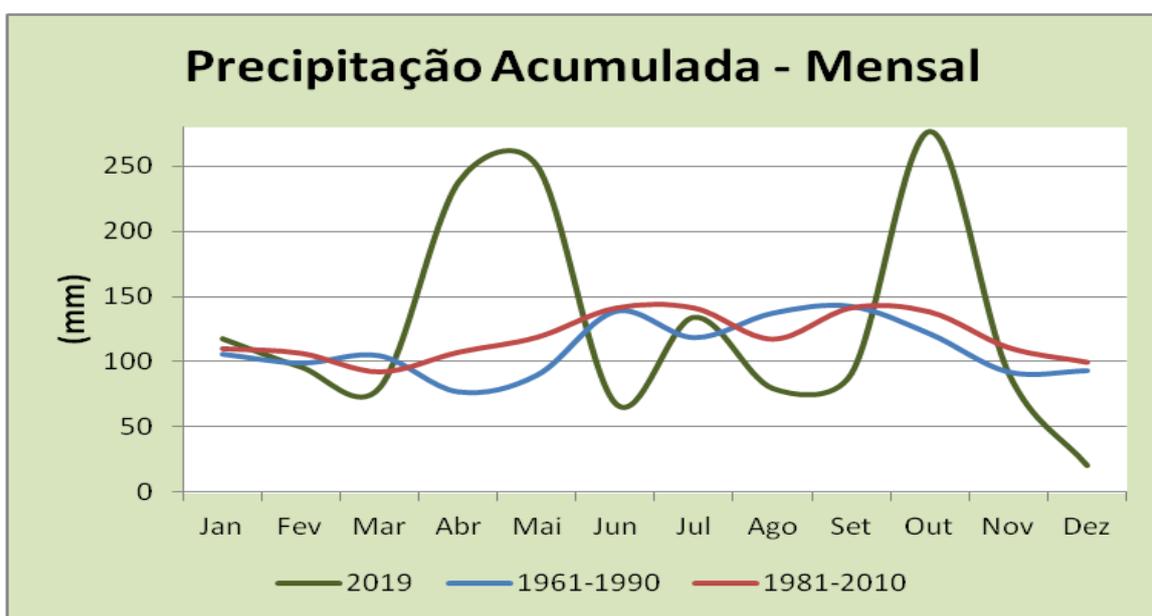


Figura 5: Precipitações acumuladas mensais registradas em 2019 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1981-2010.
Fonte: INMET.

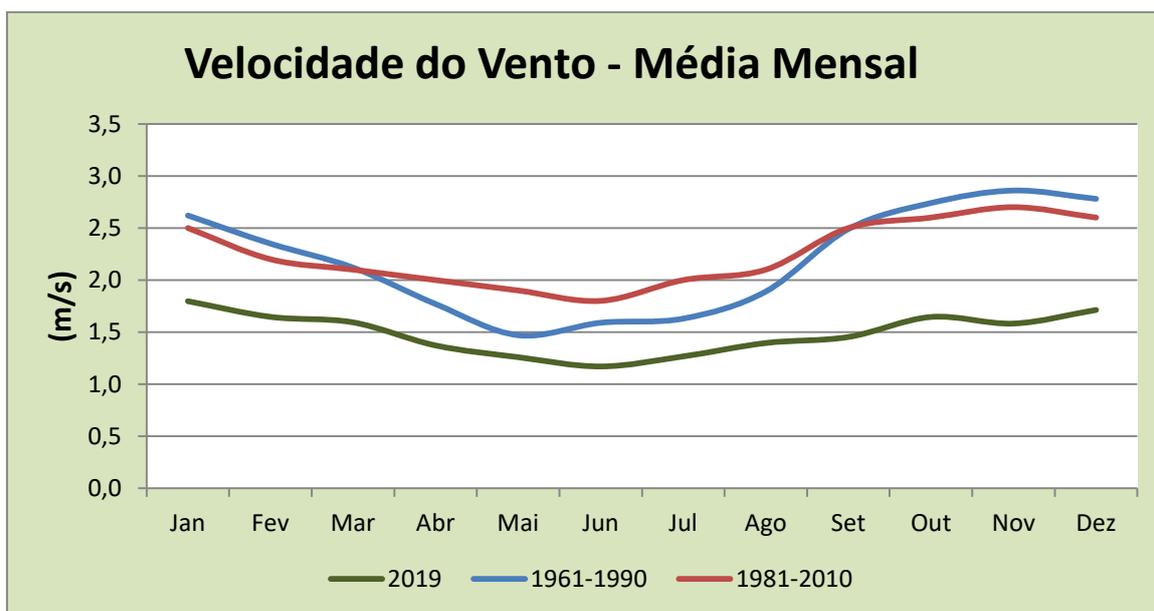


Figura 6: Velocidades médias mensais do vento registradas em 2019 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1981-2010.

Fonte: INMET.

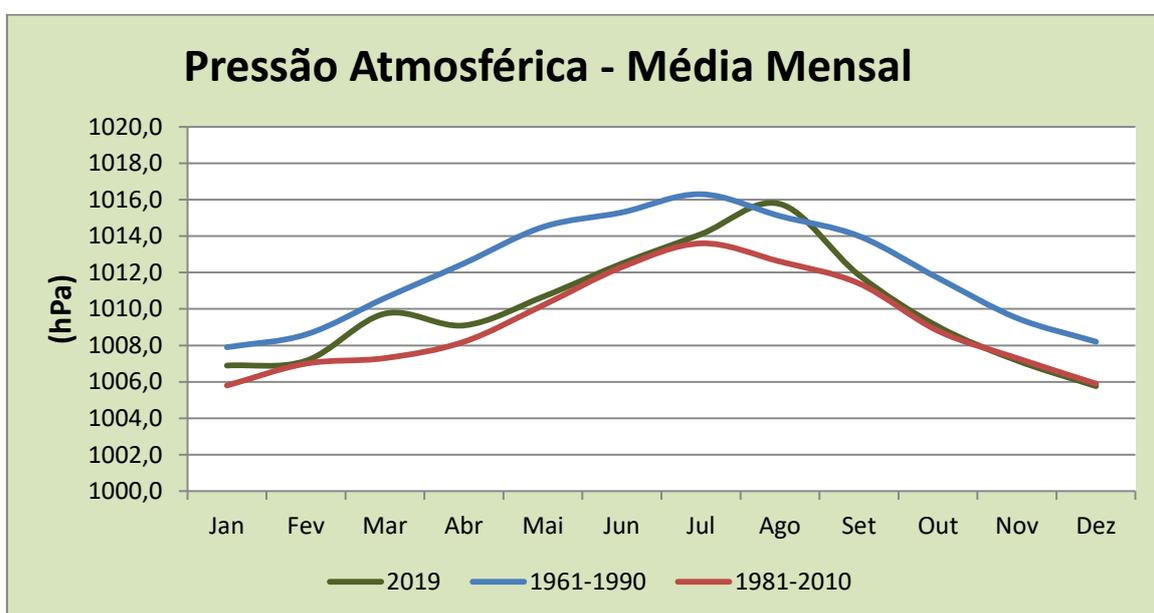


Figura 7: Pressões atmosféricas médias mensais registradas em 2019 em comparação com as normais climatológicas 1961-1990 e 1981-2010.

Fonte: INMET.

4 REDE DE MONITORAMENTO

4.1 Rede Estadual de Monitoramento Automática da Qualidade do Ar

A rede Estadual de Monitoramento Automático da Qualidade do Ar - rede Ar do Sul da FEPAM foi implementada em 2001 através do Projeto Pró-Guaíba com recursos de empréstimos do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e era inicialmente composta por 8 estações de monitoramento automáticas (7 fixas e 1 unidade móvel) e 1 sonda acústica. As estações fixas foram instaladas 3 em Porto Alegre, 1 em Caxias do Sul, 1 em Canoas, 1 em Sapucaia do Sul e 1 no Pólo Petroquímico. A sonda acústica também foi instalada no Pólo Petroquímico e a Estação Móvel fez campanhas de monitoramento em Rio Grande (2003) e Santa Maria (2004 a 2006). A rede Ar do Sul começou a operar em dezembro/2001 e, ao longo dos anos, enfrentou 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.), sendo que em dezembro de 2010 todos os equipamentos oriundos do projeto Pró-Guaíba ficaram inoperantes.

Contudo, com o decorrer dos anos, foram incorporadas à rede Ar do Sul outras estações de monitoramento automático da qualidade do ar de propriedade de grandes empresas, que tiveram que adquirir e operar tais estações por força de condicionantes em seus licenciamentos ambientais, como contrapartida ambiental. São os casos das 2 estações da REFAP em Canoas e Esteio, integradas à rede em 2004; da estação da General Motors do Brasil (GM) de Gravataí, integrada à rede em 2010; das 2 estações da Tractebel em Charqueadas e Triunfo, integradas à rede em 2011; da estação da Celulose Riograndence (CMPC) em Guaíba, integrada à rede em 2014; da estação Móvel da Braskem em Triunfo, integrada à rede em 2016. Em 2018 as 2 estações da Tractebel foram desativadas em função do encerramento das atividades da empresa na região. Também, com verbas de projetos de pesquisas junto ao CNPq e FAPERGS que possibilitou a aquisição de novos analisadores, uma das estações da FEPAM oriunda do projeto Pró-Guaíba localizada em Canoas/V COMAR foi recolocada em operação (Figura 8).



Figura 8: Localização das estações Canoas/V COMAR, Canoas/PU, Esteio/VE, Gravataí/JT, Guaíba/Parque35 e Triunfo/Polo Petroquímico.

Fonte: Adaptado do Mapa RS.

Desta forma, atualmente a rede Ar do Sul conta com apenas 6 estações de monitoramento em funcionamento, sendo 5 operadas pelas indústrias e 1 pela FEPAM. A Tabela 3 mostra as estações e os parâmetros monitorados existentes em 2019.

Tabela 3: Parâmetros e localização das estações em 2019.

Município	Estação	Coord. (UTM)	Parâmetros Monitorados	
			Poluentes	Meteorológicos
Canoas	V COMAR	482455 6688924	PI ₁₀ , O ₃	---
	Parque Universitário ¹	486058 6694064	PI ₁₀ , SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x , HCs	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV
Triunfo	Polo Petroquímico ²	460490 6694742	PI ₁₀ , SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x , HCs	---
Esteio	Vila Ezequiel ¹	482740 6696808	PI ₁₀ , SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x , HCs, TRS	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV
Gravataí	Jardim Timbaúva ³	501200 6689656	PI ₁₀ , SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x , HCs	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV
Guaíba	Parque 35 ⁴	468013 6668537	PI ₁₀ , SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x , PTS, TRS	P, T, UR, RG, UVA, DV e VV

1- Estações pertencentes e mantidas pela Refinaria Alberto Pasqualini (REFAP);

2- Estação pertencente e mantida pela Braskem;

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

4- Estação pertencente e mantida pela Celulose Riograndense (CMPC).

Fonte: Elaborado pelo Autor.

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

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

4.1.1 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. Em segundo plano pode ser considerada a influência industrial, pois no setor norte do município há o parque industrial que conta com a Refinaria Alberto Pasqualini (REFAP) e outras indústrias.

4.1.2 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.

4.1.3 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.

4.1.4 Estação Triunfo/Polo Petroquímico

Estação pertencente à Braskem, localizada em área próxima ao Polo Petroquímico do Sul, com forte influência industrial das empresas petroquímicas do Polo.

4.1.5 Estação Esteio/VE

Estação 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.

4.1.6 Estação Guaíba/Parque 35

Estação pertencente à Celulose Riograndense (CMPC), instalada a aproximadamente 2,5 km à jusante do vento predominante (SE) em relação a esta indústria, em área com baixa densidade populacional que representa o limite da área urbana com a área rural. Devido a estas características pode se concluir que é uma estação com forte influência industrial, mas que sofre moderada influência urbana, devido à proximidade do centro de Guaíba (1,5 km a leste) e da pluma urbana representada pela zona sul de Porto Alegre (na outra margem do Lago Guaíba).

4.2 Rede Estadual de Monitoramento Manual da Qualidade do Ar

Nos anos setenta, a Coordenadoria do Controle do Equilíbrio Ecológico (CCEE) da Secretaria da Saúde e do Meio Ambiente (SSMA) operou, em cooperação com a Organização PanAmericana de Saúde (OPS), uma rede de Monitoramento Passivo, com determinação de Taxa de Sulfatação Total e Material Particulado Sedimentável. Posteriormente, esta iniciativa evoluiu para a construção, a partir de 1980, de uma rede de Monitoramento Manual com a determinação de Dióxido de Enxofre e Partículas Totais em Suspensão, em diversos locais do Estado. Posteriormente a rede de Monitoramento Manual passou a monitorar Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (PI₁₀ e PI_{2,5}) e Dióxido de Enxofre (SO₂). Atualmente esta rede não está mais em operação, tendo sido interrompido o seu monitoramento em dezembro de 2016. A localização das últimas estações que operaram nesta rede até os anos entre 2014 e 2016 está na Tabela 4.

Tabela 4: Parâmetros e localização das estações da rede Manual.

Município	Estação	Localização	Parâmetros monitorados
Porto Alegre	Jardim Botânico / 8º DISME	Estação Meteorológica do 8º Distrito de Meteorologia do INMET	PI ₁₀ , SO ₂
	Anchieta / CEASA	CEASA, Av. das Indústrias	PI ₁₀ , SO ₂
Charqueadas	CORSAN	Estação da CORSAN	PI ₁₀ , SO ₂
Montenegro	Parque Centenário	Parque Centenário	PI ₁₀ , SO ₂
Triunfo	Polo Petroquímico	SINE, no III Polo Petroquímico	PI ₁₀ , SO ₂
	Escola Osvaldo Aranha	Escola Osvaldo Aranha	PI ₁₀ , SO ₂
Rio Grande	CORSAN	Estação da CORSAN, na Vila Hidráulica	PTS, SO ₂
	Escola Ramis Galvão	Escola Ramis Galvão	PTS, SO ₂

Fonte: elaborado pelo autor

4.3 Poluentes Atmosféricos Monitorados

A rede de monitoramento automática da FEPAM contempla a medição dos principais poluentes constantes na Resolução do CONAMA 491/2018: partículas inaláveis (PI_{10}), dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO_2) e ozônio (O_3). A fumaça, chumbo, partículas inaláveis ($PI_{2,5}$) e partículas totais em suspensão também são poluentes com padrões estabelecidos na Resolução CONAMA 491, mas não são parâmetros utilizados pela rede automática da FEPAM para elaboração do IQAr. A rede FEPAM também mede em algumas estações os poluentes hidrocarbonetos totais (HCs) e compostos reduzidos de enxofre (TRS), mas não há padrão de qualidade estabelecido para ambos, sendo somente feito o acompanhamento do comportamento desses ao longo do tempo, servindo de ferramenta de monitoramento industrial e de avaliação.

4.3.1 *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.

4.3.2 *Óxidos de nitrogênio (NOx)*

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_2O) e o dióxido de nitrogênio (NO_2). Este último é regulado pela legislação brasileira (Resolução CONAMA 491/2018) 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_x , 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_x .

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 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.

4.3.3 *Partículas inaláveis (PI10)*

São partículas sólidas ou líquidas, suspensas no ar, com diâmetro aerodinâmico inferior ou igual a 10 μm . 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.

4.3.4 *Dióxido de enxofre (SO₂)*

O 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 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 SO₂ 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.

4.3.5 Ozônio (O₃)

Comparado aos poluentes anteriormente discutidos, este é o mais complexo e difícil de controlar. O O₃ 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 O₃ 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 O₃ 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 O₃ podem ser transportados por centenas de quilômetros, impactando regiões bem distantes de suas origens.

4.4 Metodologia de Monitoramento

A metodologia dos analisadores utilizados na rede Ar do Sul é apresentada na Tabela 5, sendo que apenas métodos aprovados pela *Environmental Protection Agency* dos Estados Unidos são empregados.

Tabela 5: Princípios de medição específicos para cada poluente.

POLUENTE	MÉTODO DE MEDIÇÃO
Partículas Inaláveis – PI ₁₀	Radiação Beta e Micro-balança
Dióxido de Enxofre – SO ₂	Fluorescência Ultravioleta
Monóxido de Carbono - CO	Infravermelho não-dispersivo
Óxidos de Nitrogênio - NO _x	Quimiluminescência
Ozônio – O ₃	Fotometria Ultravioleta

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 Divulgação da 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/>). O período de 24 h abrange os dados coletados entre as 00:00 h e 24:00 h. Considera-se na análise para cada poluente para a geração do índice os seguintes critérios:

- SO₂ – médias aritméticas de 24 horas;
- PI₁₀ – médias aritméticas de 24 horas;
- NO₂ – máxima diária das médias de 1 hora;
- O₃ – máxima média móvel de 8 horas diária;
- CO – máxima média móvel de 8 horas diária.

4.6 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 de monitoramento automáticas 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 pela rede Ar do Sul são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Critérios de representatividade de dados.

MÉDIA	REDE AR DO SUL
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.

5 FONTES DE POLUIÇÃO DO AR

As fontes dos poluentes atmosféricos podem ser tanto antrópicas quanto naturais. Normalmente cada poluente tem origem principal relacionada a um tipo de fonte, conforme Tabela 7.

Tabela 7: Principais fontes dos poluentes atmosféricos.

Poluente	Principais Fontes Antropogênicas	Principais Fontes Naturais
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Processos industriais, veículos automotores (exaustão), poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa.	Pólen, aerossol marinho e solo.
Partículas Inaláveis (PI ₁₀)	Processos de combustão (indústrias e veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera).	Pólen, aerossol marinho e solo.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Combustão de combustíveis fósseis (carvão), queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel.	Vulcões, emissões de reações biológicas.
Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, indústrias, usinas termoeletricas (óleo, gás, carvão) e incineração.	Processos biológicos no solo e relâmpagos.
Monóxido de Carbono (CO)	Combustão incompleta em geral, principalmente em veículos automotores.	Queimadas e reações fotoquímicas.
Ozônio (O ₃)	Não é emitido diretamente à atmosfera, sendo produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os NO _x e compostos orgânicos voláteis (VOCs).	Descargas elétricas (raios).

Fonte: Elaborado pelo autor

6 ESTIMATIVAS DE EMISSÃO DE FONTES MÓVEIS E FIXAS

6.1 Fontes Fixas

O Rio Grande do Sul não dispõe de um inventário de fontes fixas. Porém, com vista a indicar regiões prováveis de terem elevada poluição de origem industrial, a Figura 9 ilustra a participação dos municípios gaúchos no índice de potencial poluidor da indústria (Inpp-I) para o ano de 2009. Infelizmente não se tem dados mais recentes disponíveis até a publicação deste relatório, mas muito provavelmente a situação se mantenha nesta ordem uma vez que não houve significativa alteração no cenário industrial do Estado nestes últimos 10 anos. É possível observar 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.

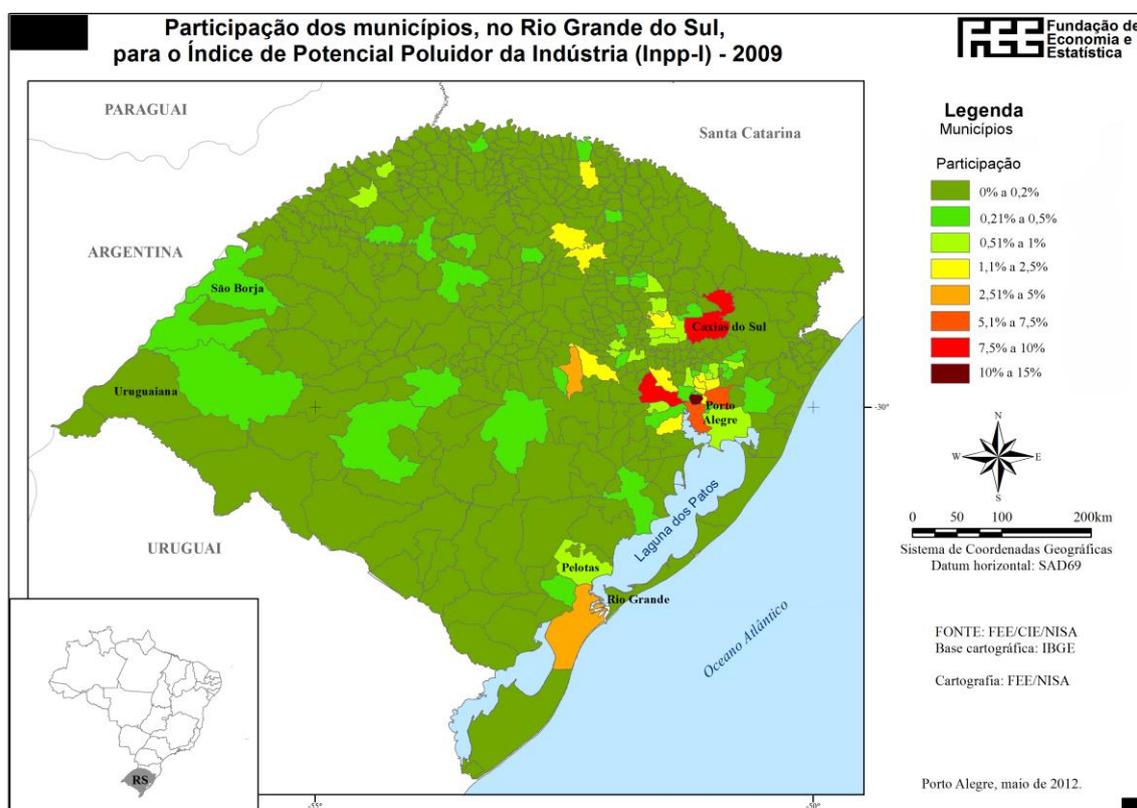


Figura 9: Índice de Potencial Poluidor da Indústria, por município.

Fonte: FEE.

6.2 Fontes Móveis

A Tabela 8 contém o número de veículos por tipo no período de 2015 a 2019. Observa-se um crescimento relativamente constante do número de veículos por ano e fica evidenciado ainda que a principal categoria é constituída por automóveis que, a princípio, são os maiores contribuintes da poluição veicular nos centros urbanos. A Tabela 9 mostra a distribuição da frota veicular do Estado do Rio Grande do Sul por tipo de combustível. É possível observar que a participação dos veículos *flex* (que podem utilizar álcool e gasolina) é significativa. Entretanto a grande maioria dos proprietários de automóveis utiliza gasolina, devido aos preços do álcool hidratado no Estado, que desestimulam o seu uso.

Tabela 8: Evolução anual da frota veicular do RS por tipo.

Tipo de Veículo	2015	2016	2017	2018	2019
Automóvel	3.832.828	3.930.356	4.028.444	4.135.423	4.240.842
Motocicleta, motoneta e ciclomotor	1.115.776	1.130.996	1.142.793	1.161.934	1.186.315
Caminhão e Caminhão Trator	272.515	276.645	281.048	287.508	295.115
Reboques	222.823	233.668	244.670	256.231	268.316
Ônibus e Microônibus	56.413	57.228	57.714	58.822	59.946
Tratores	7.437	7.603	7.735	7.926	8.188
Utilitários, Caminhonetes e Camionetas	721.048	760.928	806.015	858.483	911.804
Outros	5.930	6.118	6.281	6.437	7.078
Total	6.234.770	6.403.542	6.574.700	6.772.764	6.977.604

Fonte: DETRAN-RS.

Tabela 9: Frota veicular do RS frente ao tipo de combustível utilizado.

Combustível	Total
Álcool	172.931
Álcool/Gás Natural Veicular	1.881
Álcool/Gasolina	2.450.769
Diesel	633.171
Diesel/Gás Natural (Combin.)	4
Diesel/Gás Natural Veicular	1
Elétrico/Fonte Externa	62
Elétrico/Fonte Interna	101
Gás Metano	75
Gás Natural Veicular	4
Gasogênio	32
Gasolina	3.407.423
Gasolina/Álcool/Gás Natural Veicular	38.001
Gasolina/Elétrico	1.400
Gasolina/Gás Natural Veicular	40.762
Sem Combustível	270.847
Outros	28

Fonte: DETRAN-RS.

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 10. Após 2009, não houve novas atualizações do inventário, sendo portanto uma ferramenta importante para análise geral, mas não reflete a real condição atual do estado. Contudo, a frota veicular tem mantido crescimento proporcional constante entre os tipos de veículos e combustíveis utilizados, com distribuição relativa entre as regiões nos últimos anos, embora os veículos mais novos em função dos programas PROCONVE e PROMOT tenham reduzido suas taxas de emissão, o que impactaria nos resultados.

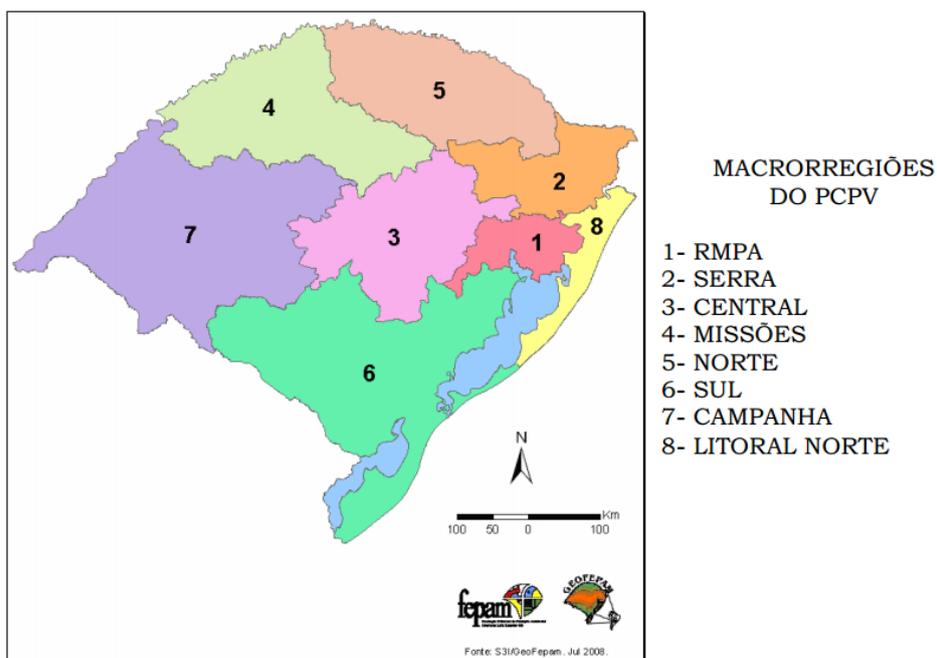


Figura 10: As Macrorregiões do Estado do RS.

Fonte: Primeiro Inventário de Emissões Atmosféricas das Fontes Móveis do RS – 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 11.

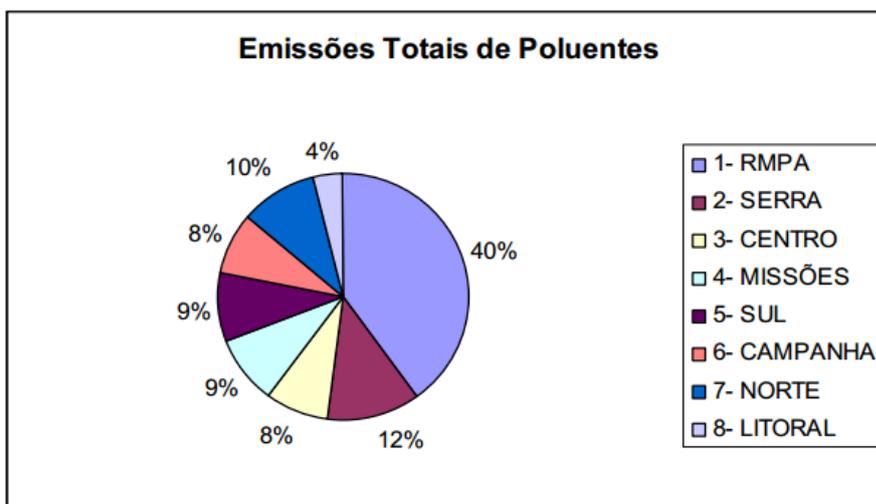


Figura 11: Contribuições das emissões veiculares totais, por Macrorregiões do Estado do RS.
Fonte: Primeiro Inventário de Emissões Atmosféricas das Fontes Móveis do RS – Ano Base 2009.

A Tabela 10 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 hidrocarbonetos (HCs), enquanto que os veículos diesel são os principais responsáveis pelas emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x) e partículas inaláveis (PI), pois apesar da frota de veículos diesel ser de apenas cerca de 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 10: Estimativa das emissões atmosféricas por fontes móveis no RS (2009).

EMISSIONES ESTADO (1000ton/ano)					
	NO _x	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

OBS.: 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 RS – 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.

7 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar são estabelecidos pela Resolução CONAMA 491 de 19/11/2018. Um padrão de qualidade do ar é um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, determinado como valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica.

Os Padrões de Qualidade do Ar definidos na Resolução 491 serão adotados sequencialmente, em quatro etapas, sendo que a primeira etapa entrou em vigor a partir da publicação da Resolução e compreende os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários PI-1. Os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários (PI-2, PI-3) e Final (PF) serão adotados, cada um, de forma subsequente, levando em consideração os Planos de Controle de Emissões Atmosféricas e os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar, elaborados pelos órgãos estaduais e distrital de meio ambiente. Caso não seja possível a migração para o padrão subsequente, prevalecerá o padrão já adotado.

Para os poluentes Monóxido de Carbono - CO, Partículas Totais em Suspensão - PTS e Chumbo foi adotado o padrão de qualidade do ar final (PF), a partir da publicação da Resolução 491.

Os poluentes atmosféricos estabelecidos pela Resolução CONAMA 491 são apresentados na Tabela 11:

Tabela 11: Padrões de qualidade do ar.

POLUENTE	PERÍODO DE REFERÊNCIA	PI-1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PI-2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PI-3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PF ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas totais em suspensão	24 h	---	---	---	240
	Média geométrica anual	---	---	---	80
Partículas inaláveis – PI ₁₀	24 h	120	100	75	50
	Média aritmética anual	40	35	30	20
Partículas inaláveis – PI _{2,5}	24 h	60	50	37	25
	Média aritmética anual	20	17	15	10
Fumaça	24 h	12	100	75	50
	Média aritmética anual	40	35	60	20
Dióxido de enxofre	24 h	125	50	30	20
	Média aritmética anual	40	30	20	---
Dióxido de nitrogênio	1 h	260	240	220	200
	Média aritmética anual	60	50	45	40
Monóxido de carbono	8 h (móvel)	---	---	---	9 ppm
Ozônio	8 h (móvel)	140	130	120	100
Chumbo	Anual	---	---	---	0,5

Fonte: Adaptado da Resolução CONAMA nº 491/2018.

A Resolução 491 estabelece ainda episódio crítico de poluição do ar quando observada a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos. Ficam estabelecidos os Níveis de Atenção, Alerta e Emergência (Tabela 12).

Tabela 12: Níveis de poluição do ar para episódios críticos.

POLUENTE	PERÍODO DE REFERÊNCIA	ATENÇÃO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ALERTA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	EMERGÊNCIA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas inaláveis – PI_{10}	24 h	250	420	500
Partículas inaláveis – $\text{PI}_{2,5}$	24 h	125	210	250
Dióxido de enxofre	24 h	800	1600	2100
Dióxido de nitrogênio	1 h	1130	2260	3000
Monóxido de carbono	8 h (média móvel)	15 ppm	30 ppm	40 ppm
Ozônio	8 h (média móvel)	200	400	600

Fonte: Adaptado da Resolução CONAMA nº 491/2018.

8 POLUENTES E A QUALIDADE DO AR

8.1 Índice de Qualidade do Ar (IQAr)

O Índice de Qualidade do Ar é uma ferramenta matemática utilizada para transformar as concentrações medidas dos diversos poluentes em um único valor adimensional que possibilita a comparação com os limites legais de concentração (padrões de qualidade) para os diversos poluentes, sendo estabelecidas na FEPAM as seguintes categorias: “Boa”, “Regular”, “Inadequada”, “Má”, “Péssima” e “Crítica”, que são respectivamente associadas às cores: verde, amarelo, laranja, vermelho, roxo e preto.

O IQAr proposto pela FEPAM é obtido através de uma função linear segmentada, na qual os pontos de inflexão baseiam-se nos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar e nos critérios para episódios agudos da poluição do ar estabelecidos conforme a Resolução CONAMA 491 de 19/11/2018, para cinco poluentes atmosféricos, a saber: Partículas Inaláveis (PI₁₀), Dióxido de Enxofre, Dióxido de Nitrogênio, Ozônio e Monóxido de Carbono.

O IQAr é divulgado diariamente para cada estação da Rede de Monitoramento Automática da Qualidade do Ar, considerando-se o índice mais elevado dos poluentes monitorados, isto é, a qualidade do ar de uma estação é determinada pelo pior caso. A ultrapassagem dos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar identifica qualidade INADEQUADA (IQAr maior que 100). A qualidade MÁ (IQAr maior que 199) indica a ultrapassagem do Nível de Atenção, a qualidade PÉSSIMA indica a ultrapassagem do Nível de Alerta (IQAr maior que 299) e a qualidade CRÍTICA, a ultrapassagem do Nível de Emergência (IQAr maior que 399). A Figura 12 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	PI2,5 (µg/m³)	PI10 (µg/m³)	S02 (µg/m³)	NO2 (µg/m³)	CO (ppm)	O3 (µg/m³)
 Boa	0-40	Seguro à Saúde	0-25	0-50	0-20	0-200	0-9,0	0-100
 Regular	41-100	Tolerável	26-60	51-120	21-125	201-260	****	101-140
 Inadequada	101-199	Insalubre para Grupos Sensíveis	61-124	121-249	126-799	261-1129	9,1-14,9	141-199
 Má	200-299	Muito Insalubre (Nível de Atenção)	125-209	250-419	800-1599	1130-2259	15,0-29,9	200-399
 Péssima	300-399	Perigoso (Nível de Alerta)	210-249	420-499	1600-2099	2260-2999	30,0-39,9	400-599
 Crítica	400 ou maior	Muito Perigoso (Nível de Emergência)	≥ 250	≥ 500	≥ 2100	≥ 3000	≥ 40	≥ 600

Os índices com classificação BOA ou REGULAR, atendem aos Padrões de Qualidade do Ar da Resolução CONAMA 491 de 19/11/2018.

Figura 12: Índices de qualidade e faixas de concentração correspondente por poluente.
Fonte: FEPAM.

8.2 IQAr e Seus Efeitos na Saúde

O Índice de Qualidade do Ar está associado aos efeitos da poluição do ar sobre a saúde humana (Tabela 13).

Tabela 13: Relação entre o índice de qualidade do ar e os efeitos sobre a saúde.

QUALIDADE	ÍNDICE	EFEITOS PRINCIPAIS NA SAÚDE
Boa	0-40	Efeitos desprezíveis.
Regular	41-100	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.

9 RESULTADOS

9.1 Índice de Qualidade do Ar em 2019

A Tabela 14 mostra o número de dias no ano de 2019 em que cada estação de monitoramento atingiu determinada categoria do IQAr.

Tabela 14: IQAr registrado nas estações de monitoramento em 2019.

2019 (TOTAL)	Canoas	Canoas (V-COMAR)	Esteio	Triunfo (Movel-Polo)	Gravataí	Guaíba	TOTAL (%)
Nº dias IQAr BOM	276	165	30	238	309	331	92,02
Nº dias IQAr REGULAR	60	0	24	7	5	20	7,91
Nº dias IQAr INADEQUADO	0	0	0	0	0	1	0,07
Nº dias IQAr Má	0	0	0	0	0	0	0,00
Nº dias IQAr Péssimo	0	0	0	0	0	0	0,00
Nº dias IQAr Crítico	0	0	0	0	0	0	0,00
Total de dias com IQAr avaliado	336	165	54	245	314	352	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme o IQAr e considerando o somatório das seis estações atualmente em operação na rede Ar do Sul, observa-se que em 2019 tivemos 92,02% dos dias com qualidade do ar boa, 7,91% com qualidade regular e 0,07% com qualidade inadequada. Não houve registros de qualidade “má” ou pior no ano de 2019.

O registro de qualidade inadequada ocorreu em um único dia na estação de Guaíba decorrente do poluente PI_{10} .

9.2 Dados do Monitoramento em 2019

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

Nas tabelas contendo as médias anuais dos poluentes, 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. Os dados em vermelho nas tabelas 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.

9.2.1 Poluentes Atmosféricos: concentração média anual

Na Tabela 15 são apresentadas, para o ano de 2019, 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).

Tabela 15: Concentração média anual dos poluentes por estação em 2019.

ESTAÇÃO	NO2	O3	CO	PI10	SO2
	Média Horária Anual			Média Diária Anual	
	µg/m ³		ppm	µg/m ³	
Canoas/PU	12,9	26,1	0,30	21,9	16,4
Canoas/VCOMAR		10,3		12,3	
Esteio/VE	14,9	12,5	0,2	16,0	19,8
Gravataí/JT	8,8	23,3	0,2	16,9	1,3
Triunfo/Polo Petroquímico	3,4	28,6	0,2	20,4	1,3
Guaíba/Parque 35	9,9	30,8	1,9	26,9	1,2
MÉDIA GERAL*	8,8	27,2	0,7	21,9	6,3
Padrão de Qualidade (Conama 491/18)	60	---	---	40	40

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

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados mostram que a concentração dos poluentes PI₁₀, NO₂ e SO₂ se mantiveram abaixo dos padrões de qualidade anual estabelecidos, conforme Resolução CONAMA 491/18. Não são estabelecidos padrões de qualidade anual para O₃ e CO.

9.2.2 Poluentes Atmosféricos: últimos cinco anos

9.2.2.1 – Ozônio (O₃)

Tabela 16: Concentração média anual de O₃ nos últimos 5 anos.

O3 - MÉDIA HORÁRIA ANUAL – µg/m ³					
ESTAÇÃO	2015	2016	2017	2018	2019
Canoas/V COMAR	14,6	19,2			10,3
Canoas/PU	28,4	21,5	18,9	11,2	26,1
Esteio/VE	23,7	20,6	14,5	12,0	12,5
Gravataí/JT	23,7	30,0	23,4	30,1	23,3
Triunfo/Polo Petroquímico		20,4	16,5	29,3	28,6
Guaíba/Parque 35	29,8	34,4	32,1	31,1	30,8
MÉDIA GERAL*	26,4	26,6	22,2	24,4	27,2

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

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que não houve alteração significativa dos teores médios de O₃ no ambiente nos últimos 5 anos.

9.2.2.2 – Monóxido de Carbono (CO)

Tabela 17: Concentração média anual de CO nos últimos 5 anos.

CO - MÉDIA HORÁRIA ANUAL - ppm					
ESTAÇÃO	2015	2016	2017	2018	2019
Canoas/PU	0,04	0,3	0,3	0,3	0,3
Esteio/VE	0,4	0,4	0,5	0,5	0,2
Gravataí/JT	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2
Triunfo/Polo Petroquímico		0,1	0,2	0,2	0,2
Guaíba/Parque 35	0,6	0,5	0,5	0,4	1,9
MÉDIA GERAL*	0,3	0,3	0,4	0,4	0,7

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

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados indicam que não houve alteração significativa dos teores médios de CO no ambiente nos últimos 5 anos.

9.2.2.3 – Dióxido de Enxofre (SO₂)

Tabela 18: Concentração média anual de SO₂ nos últimos 5 anos.

SO ₂ – MÉDIA DIÁRIA ANUAL - µg/m ³					
ESTAÇÃO	2015	2016	2017	2018	2019
Canoas/PU	0,7	11,7	7,6	12,3	16,4
Esteio/VE	1,5	10,1	17,1	9,2	19,8
Gravataí/JT	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3
Triunfo/Polo Petroquímico		1,7	1,4	1,5	1,3
Guaíba/Parque 35	2,0	1,7	1,0	1,1	1,2
MÉDIA GERAL*	1,6	6,2	5,7	6,0	6,3

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

Fonte: Elaborado pelo autor.

A concentração média anual de SO₂ ao longo dos últimos 5 anos se manteve baixa sem alteração significativa. As estações de Esteio/VE e Canoas/PU apresentam valores muito maiores que as demais estações, provavelmente em função da influência das atividades industriais do seu entorno.

9.2.2.4 – Dióxido de Nitrogênio (NO₂)

Tabela 19: Concentração média anual de NO₂ nos últimos 5 anos.

NO ₂ – MÉDIA HORÁRIA ANUAL - µg/m ³					
ESTAÇÃO	2015	2016	2017	2018	2019
Canoas/PU	8,6	12,1	11,7	15,8	12,9
Esteio/VE	16,8	24,6	35,8	16,1	14,9
Gravataí/JT	5,4	9,1	5,9	11,6	8,8
Triunfo/Polo Petroquímico		6,0	6,8	4,0	3,4
Guaíba/Parque 35	13,1	10,5	10,1	9,2	9,9
MÉDIA GERAL *	13,1	14,1	19,2	13,2	10,5

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

Fonte: Elaborado pelo autor.

Comportamento similar ao SO₂ é observado para o poluente NO₂, onde há oscilações da concentração média anual ao longo dos últimos anos, sem indicar uma tendência significativa de aumento ou redução.

9.2.2.5 – Partículas Inaláveis (PI₁₀)

Tabela 20: Concentração média anual de PI₁₀ nos últimos 5 anos.

PI ₁₀ – MÉDIA DIÁRIA ANUAL – µg/m ³					
ESTAÇÃO	2015	2016	2017	2018	2019
Canoas/V COMAR	27,2	26,8	28,6	20,8	12,3
Canoas/PU	25,5	24,7	24,1	21,0	21,9
Esteio/VE	24,2	21,2	22,7	16,9	16,0
Gravataí/JT	14,6	16,9	17,4	15,3	16,9
Triunfo/Polo Petroquímico		13,8	13,2	11,7	20,4
Guaíba/Parque 35	25,1	25,0	35,3	25,2	26,9
MÉDIA GERAL*	22,4	22,0	23,6	19,8	21,9

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

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados de PI₁₀ se mantiveram praticamente constantes aos longos dos últimos 5 anos de monitoramento.

8.2.3 Poluentes Atmosféricos: concentração máxima anual

A Tabela 21 apresenta a concentração máxima anual obtida para cada poluente na respectiva Estação de Monitoramento.

Tabela 21: Concentração máxima anual dos poluentes por estação em 2019.

ESTAÇÃO	NO2	O3	CO	PI10	SO2
	Máxima horária anual	Máxima 8h móvel anual		Máxima diária anual	
	µg/m ³		ppm	µg/m ³	
Canoas/COMAR		30,3		32,8	
Canoas/PU	134,6	116,0	2,2	58,7	87,4
Esteio/VE	115,1	31,9	0,6	43,2	30,6
Gravataí/JT	128,5	92,6	3,3	56,7	3,9
Triunfo/Polo Petroquímico	56,0	103,3	0,5	85,6	1,6
Guaíba/Parque 35	78,3	105,3	4,7	127,2	5,5
Padrão de Qualidade (Conama 491/18)	260	140	9,0	120	125

* Valores em vermelho não representativos do ano.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme os valores apresentados, observa-se que os poluentes O₃, NO₂, SO₂ e CO não apresentaram em 2019 nenhum registro de ultrapassagem dos padrões de qualidade do ar em nenhuma das estações de monitoramento. Somente para o poluente PI₁₀ verifica-se que houve ultrapassagem do padrão de qualidade. Registrou-se 1 (um) dia de ultrapassagem do padrão de PI₁₀ na estação de Guaíba/Parque 35 (dia 12/12/2019), cuja análise do episódio de ultrapassagens da máxima concentração média horária registrado é apresentada a seguir.

- Episódio do dia 12/12/2019 em Guaíba/Parque 35:

A Estação de Monitoramento Automático da Qualidade do Ar (EMQA) Guaíba/Parque 35 já vinha registrando um aumento gradual das concentrações de PI₁₀ há pelo menos uma semana, provavelmente resultado do aumento das temperaturas e baixa umidade (com ausência de precipitação há pelo menos 20 dias), que proporcionam a ressuspensão de partículas do solo. No dia 12/12/2019 a EMQA Guaíba/Parque 35 registrou o aumento abrupto das concentrações de PI₁₀ a partir das 09 h Local (12:00 UTC), com 130,5 µg/m³; essas concentrações oscilaram e aumentaram até atingir 513 µg/m³ às 15 h Local (18:00 UTC), quando passaram a diminuir gradativamente no restante do dia. Não houve registro de aumento das atividades antrópicas nesse dia, ou nos dias anteriores.

Analisando o comportamento sinótico do dia, observamos na Figura 13a (Imagem do satélite GOES-16 das 12:00 UTC) que havia uma frente fria com pouca atividade, apresentando núcleos de trovoadas apenas no noroeste da Argentina e oeste do RS, com pouca nebulosidade sobre a região da EMQA Guaíba/Parque 35. NA Figura 13b (reanálise do Centro NCEP/NOOA para o dia 12/12/2019 às 12:00 UTC) observamos que havia um centro

de baixa pressão, com 996 hPa, no oceano a SE do Uruguai; uma linha de cavado próxima a linha de fronteira entre Uruguai e RS e um pequeno centro de alta pressão, com 1012 hPa, sobre Paraná/São Paulo. O campo do vento estava fraco sobre o continente.

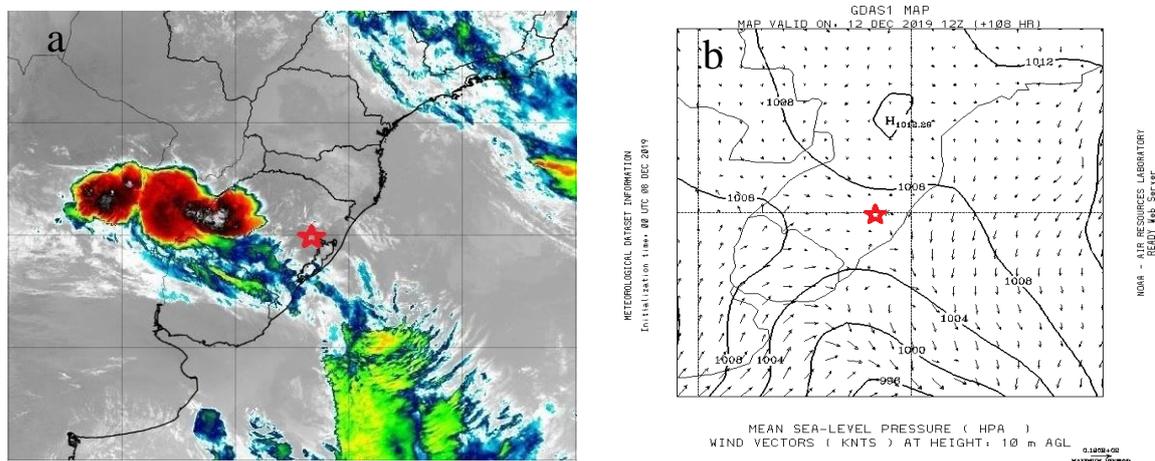


Figura 13: a) Imagem do satélite GOES-16, Canal 11, do dia 12/12/2019 às 12:00 UTC (9h Local); b) Análise sinótica da região do RS em 12/12/2019 às 12:00 UTC (9h Local).

Obs: A estrela em vermelho coincide com a localização da EMQA Guafba/Parque 35.

Fonte: adaptado de CPTEC/INPE e READ/NOAA, respectivamente.

Analisando o comportamento das variáveis meteorológicas neste dia observamos que as temperaturas chegaram a estar acima de 30°C, a umidade relativa menor que 50%, pressão atmosférica baixa e ventos fracos. A Figura 14a apresenta o diagrama Skew T Log P, obtido dos dados de reanálise do centro NCEP/NOAA, onde é possível observar que a atmosfera encontrava-se neutra e com pouca umidade desde a superfície até os níveis mais altos. A Figura 14b apresenta a análise do campo ‘camada de mistura’ para a região de interesse, das 06:00 UTC (6h Local), onde é possível observar que na madrugada do dia 12/12/2019 a camada de mistura esteve próximo a 200 m, ou seja, bem rasa. Estas condições indicam que havia más condições para dispersão de poluentes atmosféricos, pelo menos até a passagem da frente fria, aproximadamente 18:00 UTC, quando as condições de estabilidade vento e turbulência passaram a favorecer a dispersão de poluentes.

A Figura 15a corresponde a um mosaico das imagens VII-RS do satélite NPP da NASA, apresentando os focos de queimadas detectados entre os dias 11 e 12/12/2019. Como resultado temos os focos de queimadas detectados entre 11 e 12 de dezembro, plotados sobre o mapa base da região (Google Earth) e ocorrência de nuvens (nesta imagem as nuvens correspondem a um mosaico das imagens de satélite do dia 12/12/2019 das 15:00 e 16:00 UTC (12 e 13h Local)). Observa-se que o número de focos de queimadas parece ser anômalo

para esta época do ano em todo o RS e vizinhanças, pois existem centenas de focos detectados. Para este estudo salienta-se que existem muitos focos de queimadas a sudoeste da EMQA Guaíba/Parque 35, aproximadamente entre 60 e 120 km de distância. A Figura 15b apresenta a análise dos campos de ‘pressão atmosférica’ e ‘vento’ no nível de 950 hPa (aproximadamente 500 m de altura), do dia 12/12/2019 às 18:00 UTC (15h Local), sendo possível observar que este horário corresponde à passagem da linha de frente sobre o município de Guaíba, e que o vento neste nível era de sudoeste.

Concluindo, é provável que muitos destes focos de incêndio perduraram por toda a noite do dia 11 para 12 de dezembro, quando a atmosfera permanecia neutra, mas com camada de mistura em 200 metros ou menos; o que associado aos ventos fracos na região podem ter provocado um acúmulo muito grande de material particulado na baixa atmosfera local e seu entorno, elevando as concentrações de PI_{10} . No dia 12, com a aproximação e presença da frente fria sem atividade na região (sem precipitação) os ventos ainda fracos passaram a ser de oeste/sudoeste, advectando o material particulado acumulado para a região onde está localizada a EMQA Guaíba/Parque 35. A partir da passagem da frente fria os ventos aumentaram sua velocidade, dando entrada para uma nova massa de ar, o que foi responsável pela gradual redução das concentrações de PI_{10} nos registros da EMQA Guaíba/Parque 35.

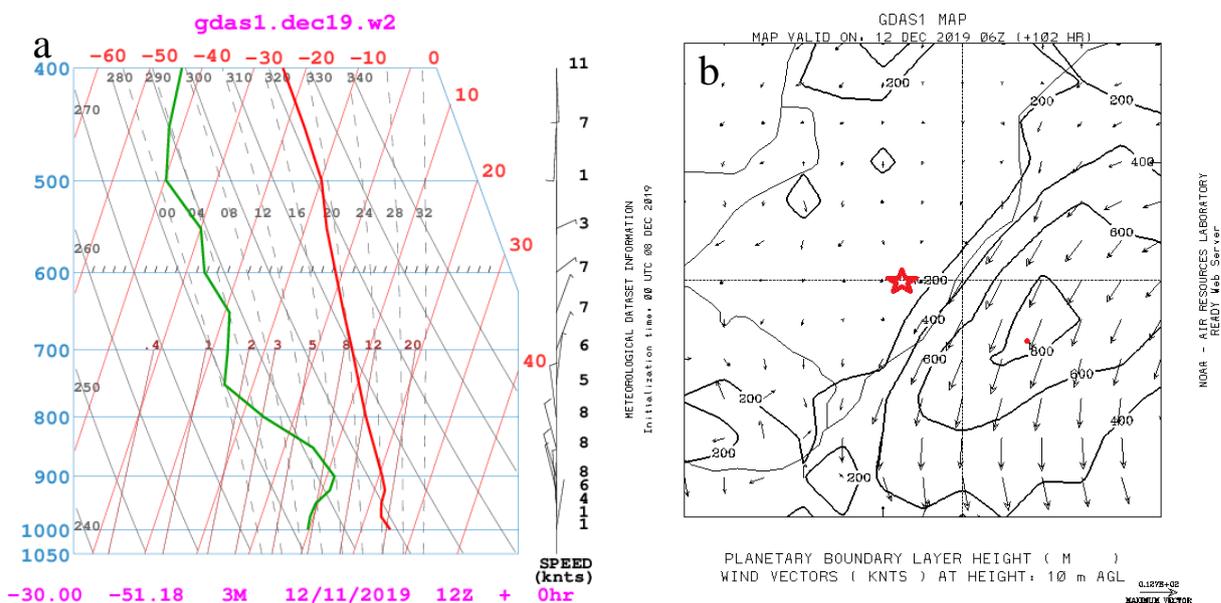


Figura 14: a) Diagrama Skew T Log P da sondagem atmosférica (Reanálise) para a localidade de Porto Alegre, do dia 12/12/2019 às 12:00 UTC (9h Local); b) Análise do campo camada de mistura para a região de estudo em 12/12/2019 às 06:00 UTC (6h Local).

Obs: A estrela em vermelho coincide com a localização da EMQA Guaíba/Parque 35.

Fonte: adaptado de READ/NOAA.

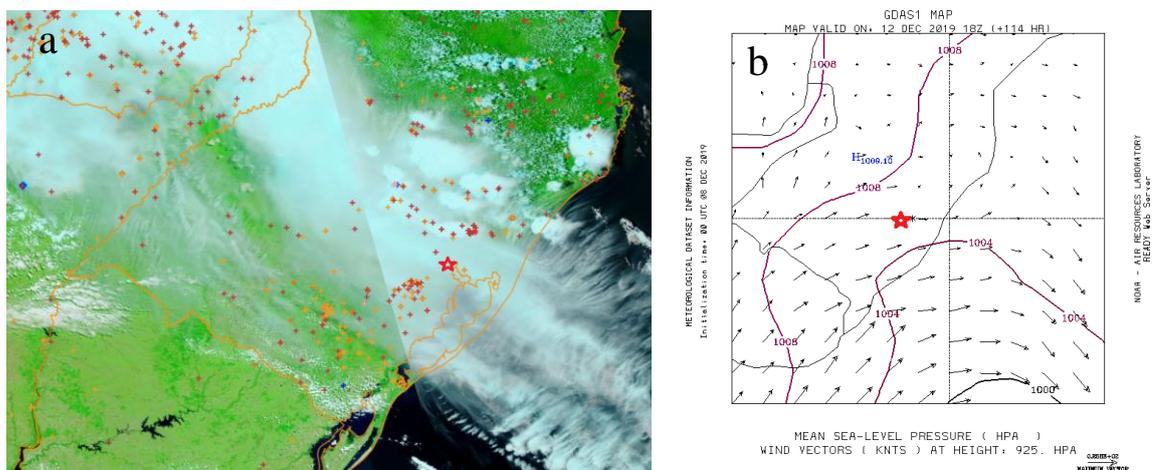


Figura 15: a) Mosaico contendo a detecção de focos de queimadas no RS e vizinhanças, entre os dias 11 e 12/12/2019, associado ao mosaico de imagens de satélites meteorológicos (nuvens) do dia 12/12/2019 das 15 e 16:00 UTC (12 e 13h Local) ; b) Análise dos campos ‘pressão atmosférica’ e ‘vento’ para o nível de 950 hPa (~500 m) para a região de estudo em 12/12/2019 às 18:00 UTC (15h Local).

Obs: A estrela em vermelho coincide com a localização da EMQA Guaíba/Parque 35.

Fonte: adaptado de CPTEC/INPE e READ/NOAA, respectivamente.

10 CONCLUSÕES

Os dados de monitoramento da qualidade do ar obtidos ao longo do ano de 2019 mostraram que não houve ultrapassagem dos padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA 491/2018 para os poluentes O_3 , NO_2 , CO e SO_2 . Somente para o poluente PI_{10} foi registrado uma ultrapassagem dos padrões na estação de Guaíba/Parque 35, resultante provavelmente das emissões locais que se somaram a fatores atrelados a focos de queimadas observados em região próxima à estação e as condições desfavoráveis à dispersão registrados no dia da ultrapassagem.

Considerando o somatório das seis estações de monitoramento, o IQAr de 2019 mostra que 92,02% dos dias apresentaram qualidade do ar boa, 7,91% qualidade regular e 0,07% qualidade inadequada. Não houve registro de qualidade “má” ou pior. Em relação aos últimos cinco anos, as concentrações médias anuais dos poluentes em 2019 não apresentaram alterações significativas.

Em suma, nos locais do Estado onde se dispõe de estação de monitoramento automática da qualidade do ar, os dados do monitoramento realizado pela rede Ar do Sul da FEPAM para o ano de 2019 mostram que os níveis dos poluentes presentes na atmosfera tem se mantido constantes em relação aos anos anteriores e atenderam aos padrões de qualidade do ar, exceto por um dia na cidade de Guaíba em que houve a ultrapassagem do padrão de qualidade para o poluente partícula inalável (PI_{10}).

11 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 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre os Padrões de Qualidade do Ar. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 21 de novembro de 2018, Seção 01, Página 155-156.

_____. 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. 32

_____. 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.

RIO GRANDE DO SUL. Lei Estadual 15.434, de 09 de janeiro de 2020. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul. Publicado no DOE - RS em 10 de janeiro de 2020.

_____. **Departamento de Economia e Estatística (DEE) da Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão**. Disponível em <<http://deedados.planejamento.rs.gov.br>>. Acesso em 27 abr. 2020.

_____. **Departamento Estadual de Trânsito**. Disponível em <<http://www.detran.rs.gov.br>>. Acesso em 27 abr. 2020.

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 27 abr. 2020.

_____. **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 27 abr. 2020.

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>. Acesso em 27 abr. 2020.

_____. **Índice de Qualidade do Ar (IQAr)**. Disponível em <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/iqar.asp>>. Acesso em 27 abr. 2020.

_____. **Monitoramento da Qualidade do Ar**. Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/monitor_ar.asp>. Acesso em 27 abr. 2020.

_____. **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/relatorios.asp>. Acesso em 04 jul. 2018.

_____. **Rede estadual de monitoramento automático da qualidade do ar - Relatório 2015**. Porto Alegre, 2016. Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/relatorios.asp>. Acesso em 04 jul. 2018.

_____. **Rede estadual de monitoramento automático da qualidade do ar - Relatório 2016**. Porto Alegre, 2017. Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/relatorios.asp>. Acesso em 04 jul. 2018.

_____. **Rede estadual de monitoramento automático da qualidade do ar - Relatório 2017**. Porto Alegre, 2018. Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/relatorios.asp>. Acesso em 04 jul. 2018.

_____. **Rede estadual de monitoramento automático da qualidade do ar - Relatório 2018**. Porto Alegre, 2019. Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/relatorios.asp>. Acesso em 04 jul. 2018.

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.

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.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Mortality from ambient air pollution for 2012.** Geneva; 2014 [cited 17 November 2014]; Available from: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/en/.

_____. **Air quality deteriorating in many of the world's cities;** Available from: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-quality/en/>

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, INPE. **Programa de Queimadas.** Disponível em <<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>>. Acesso em 09/04/2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, INMET. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em 27/04/2020.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Air Resources Laboratory.** Disponível em <<https://www.noaa.gov/>>. Acesso em 27/04/2020.

_____. **ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions.** Update prepared by: Climate Prediction Center / NCEP, 6 April 2020.

_____. **READY/NOAA.** Disponível em < <https://www.ready.noaa.gov/READYamet.php>>. Acesso em 09/04/2020.