

MonitorAR *Rio*

RELATÓRIO ANUAL DA QUALIDADE DO AR

2019





Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar

| | |
|---|---|
| REFERÊNCIA | CONTRATO 040/2016. |
| PREPARADO POR | LARA OLIVE LYRIO/ ANDRÉ F DE M LOPES / MICHELLE V DA CRUZ |
| COORDENADOR DE MONITORAMENTO E APLICAÇÕES | JOSÉ AUGUSTO JORDÃO CASTRO |
| DATA | 11/01/2021 |
| VERSÃO | FINAL |
| PROCESSO INSTRUTIVO: 14/000.775/2015 | |
| COORDENADOR DE MONITORAMENTO E APLICAÇÕES | |



Prefeito da Cidade do Rio de Janeiro

Eduardo Paes

Secretário Municipal de Meio Ambiente

Eduardo Cavaliere

Gerente de Monitoramento do Ar

Bruno Bôscaro França

Fiscais do Contrato

Fabio Belchior Costa - Geólogo

Bruno Bôscaro França - Engenheiro Químico

Daniel Bicalho Hoefle - Engenheiro Químico

Marcos Borges Pereira - Engenheiro Civil



Equipe Técnica – COHIDRO:

Wellington Coimbra Lou – Engenheiro Civil

- Responsável Técnico e Gerente Geral

José Augusto Jordão Castro – Engenheiro Civil

- Coordenador de Equipe - Monitoramento e Aplicações

Anderson da Silva Dessaune – Engenheiro Eletricista

- Coordenador de Operação e Manutenção

Lara Olive Lyrio – Química

Silvia dos Anjos Paulino – Química

Anselmo de Souza Pontes – Meteorologista

André Felipe de Matos Lopes – Meteorologista

Michelle Veloso da Cruz – Técnica em Meteorologia

Rodrigo de Moraes Callado – Tecnólogo de Sistemas para Internet

José Elton Santos de Moraes – Técnico em Eletrônica

Josias Manguiera de Araújo – Técnico em Eletrônica

Leandro dos Santos Arantes – Técnico em Eletrônica

Bruno Jefferson da Graça – Técnico em Eletrônica

José Marcos Pereira – Motorista

Sumário

| | |
|---|----|
| 1. Descrição das características da cidade | 11 |
| 1.1. Caracterização Meteorológica..... | 12 |
| 1.1.1. Temperatura | 13 |
| 1.1.2. Umidade relativa do ar | 14 |
| 1.1.3. Precipitação | 15 |
| 1.1.4 – Direção e velocidade dos ventos..... | 17 |
| 1.1.5 – Radiação solar | 18 |
| 1.2. Uso e ocupação do solo..... | 19 |
| 2 Descrição da rede de monitoramento | 21 |
| 2.1 Parâmetros Monitorados..... | 21 |
| 2.2 Tipo de Rede | 24 |
| 2.3 Padrões de qualidade do ar | 26 |
| 2.4 Índice da Qualidade do Ar..... | 27 |
| 2.5 Metodologia de Monitoramento..... | 29 |
| 2.6 Representatividade espacial das estações e dos dados | 30 |
| 2.6.1 Representatividade de Dados..... | 30 |
| 2.6.2 Representatividade espacial das estações | 30 |
| 3. Descrição das fontes de poluição do ar (fixas e móveis)..... | 31 |
| 3.1 Principais Fontes de Emissões Atmosféricas..... | 31 |
| 3.1.1 Fontes Fixas | 32 |
| 3.1.2 Fontes Móveis..... | 33 |
| 3.2 Condições Meteorológicas..... | 37 |
| 3.3 Condições de Contorno | 39 |
| 3.4 Condições de contorno e panorama dos poluentes monitorados na rede MonitorAr-Rio | 40 |
| 3.4.1 Estação Centro | 40 |
| 3.4.2 Estação Copacabana..... | 42 |
| 3.4.3 Estação São Cristóvão..... | 44 |
| 3.4.4 Estação Tijuca | 47 |
| 3.4.5 Estação Irajá..... | 49 |
| 3.5.6 Bangu | 51 |
| 3.5.7 Campo Grande | 54 |
| 3.5.8 Pedra de Guaratiba..... | 56 |

| | |
|---|-----|
| 4 Resultados..... | 58 |
| 4.1 Material Particulado 10 µg/m3 | 59 |
| 4.1.1 Análise de perfis horários..... | 59 |
| 4.1.2 Análise de perfis semanais | 62 |
| 4.1.3 Análise de perfis mensais | 63 |
| 4.1.4 Análise média 24 horas..... | 65 |
| 4.1.5 Análise média anual..... | 66 |
| 4.2 Material Particulado - MP2,5..... | 69 |
| 4.2.1 Perfil horário | 69 |
| 4.2.2 Perfil Semanal | 70 |
| 4.2.3 Perfil Mensal | 71 |
| 4.2.4 Perfil Anual | 71 |
| 4.2.5 Médias anuais..... | 72 |
| 4.3 Ozônio | 72 |
| 4.3.1 Análise de perfis horários..... | 73 |
| 4.3.2 Análise de perfis semanais | 74 |
| 4.3.3 Análise de perfis mensais | 78 |
| 4.3.4 Análise do perfil das médias móveis 8 horas | 81 |
| 4.3.5 Análise do perfil anual..... | 83 |
| 4.3.6 Ozônio e seus precursores | 83 |
| 4.3.6.1 Análise do perfil horário | 85 |
| 4.3.6.2 Análise do perfil semanal | 89 |
| 4.3.6.3 Análise do perfil mensal | 93 |
| 4.3.6.3 Análise das médias de 24 horas | 97 |
| 4.3.6.4 Análise das médias anuais..... | 100 |
| 4.5 Hidrocarbonetos | 101 |
| 4.5.2 Média anual | 102 |
| 4.6 Dióxido de Nitrogênio..... | 102 |
| 4.6.1 Análise do perfil diário..... | 102 |
| 4.6.2. Análise do perfil semanal | 103 |
| 4.6.3 Análise do perfil mensal | 104 |
| 4.6.4 Análise das médias de 24 horas | 105 |
| 4.7 Monóxido de Carbono..... | 107 |

| | |
|--|-----|
| 4.7.1 Análise de perfis horários..... | 108 |
| 4.7.2 Análise de perfis semanais | 110 |
| 4.7.3 Análise de perfis mensais | 111 |
| 4.7.4 Análise média móvel 8 horas | 113 |
| 4.8 Dióxido de Enxofre..... | 115 |
| 4.8.1 Análise do perfil diário..... | 115 |
| 4.8.2 Análise do perfil semanal | 117 |
| 4.8.4 Análise das médias de 24 horas | 121 |
| 4.8.4 Análise das médias anuais..... | 123 |
| 4.9 IQA | 125 |
| 4.10 Classificação por poluente | 127 |
| Considerações Finais | 132 |
| Anexos | 136 |

Índice De Ilustrações

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Evolução da temperatura média mensal observada na rede MonitorAr-Rio - 2011 a 2019. | 14 |
| Figura 2 - Evolução da umidade relativa média mensal observada na rede Monitorar-Rio - 2011 a 2019. | 15 |
| Figura 3 - Evolução da precipitação média mensal observada na Rede MonitorAr-Rio - 2011 a 2019. | 17 |
| Figura 4 - Domínios geomorfológicos da Região Metropolitana do RJ..... | 20 |
| Figura 5 - Mapa com a localização das estações da SMAC..... | 24 |
| Figura 6 - Índice de Qualidade do Ar. | 28 |
| Figura 7 - Contribuição relativa de cada combustível na estimativa bottom-up | 35 |
| Figura 8 - Percentual de contribuição das emissões das principais vias na RMRJ: 1 - Avenida Brasil (BR-101), 2 - Avenida Presidente João Goulart (Linha Vermelha), 3 - Rodovia Presidente Dutra (BR-116), 4 - Avenida Pastor Martin Luther King Júnior, 5 - Rodovia Washington Luís (BR-040), 6 RJ-081 (Via Light), 7 - Estrada Ayrton Senna da Silva, 8 - Rodovia RJ-125, | 37 |
| Figura 9 - Visão aérea do entorno da estação Centro..... | 41 |
| Figura 10 - Visão aérea do entorno da estação Centro..... | 41 |
| Figura 11 - Visão aérea do entorno da estação Copacabana. | 43 |
| Figura 12 - Visão aérea do entorno da estação Copacabana. | 43 |
| Figura 13 - Visão aérea do entorno da estação São Cristóvão. | 46 |
| Figura 14 - Visão aérea do entorno da estação São Cristóvão. | 46 |
| Figura 15 - Visão aérea do entorno da estação Tijuca..... | 48 |
| Figura 16 - Visão aérea do entorno da estação Tijuca..... | 49 |
| Figura 17 - Visão aérea do entorno da estação Irajá..... | 50 |
| Figura 18 - Visão aérea do entorno da estação Irajá..... | 51 |
| Figura 19 - Visão aérea do entorno da estação Bangu. | 53 |
| Figura 20 - Visão aérea do entorno da estação Bangu. | 53 |

| | |
|--|----|
| Figura 21 - Visão aérea do entorno da estação Campo Grande. | 55 |
| Figura 22 - Visão aérea do entorno da estação Campo Grande. | 55 |
| Figura 23 - Visão aérea do entorno da estação Pedra de Guaratiba. | 57 |
| Figura 24 - Visão aérea do entorno da estação Pedra de Guaratiba. | 57 |
| Figura 25 - Perfil horário de Material Particulado nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2019. | 60 |
| Figura 26 - Perfil semanal de Material Particulado nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2019. | 62 |
| Figura 27 - Média mensal de Material Particulado nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2019. | 64 |
| Figura 28 - Média de 24h de Material Particulado nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2019. | 65 |
| Figura 29 - Média anual de Material Particulado nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba no ano de 2019. | 68 |
| Figura 30 - Perfil horário de MP2,5 e MP10 para a estação de Irajá - 2019. | 70 |
| Figura 31 - Perfil semanal de MP2,5 e MP10 para a estação de Irajá - 2019. | 71 |
| Figura 32 - Perfil mensal de MP2,5 e MP10 para a estação de Irajá - 2019. | 71 |
| Figura 33 - Perfil anual de MP2,5 e MP10 para a estação de Irajá - 2019. | 72 |
| Figura 34 - Média anual de Partículas inaláveis finas MP2,5 na estação Irajá - 2019. | 72 |
| Figura 35 - Perfil horário de ozônio nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2019. | 73 |
| Figura 36 - Perfil semanal de Ozônio nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba no ano de 2019. | 76 |
| Figura 37 - Média mensal de ozônio nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2019. | 78 |
| Figura 38 - Média mensal de Ozônio nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2019. | 80 |
| Figura 39 - Número de dias de ultrapassagem do padrão CONAMA 491/2018 para O3 nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2019. | 81 |
| Figura 40 - Perfil Média Móvel 8h de Ozônio nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guraratiba - 2019. | 81 |
| Figura 41 - Média anual de ozônio nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2018 e 2019. | 83 |
| Figura 42 - Perfil horário de ozônio, Monóxido de Nitrogênio e dióxido de nitrogênio na estação Tijuca - 2019. | 85 |
| Figura 43 - Perfil horário de ozônio, Monóxido de Nitrogênio, dióxido de nitrogênio e hidrocarboneto não metano na estação Irajá - 2019. | 87 |
| Figura 44 - Perfil horário de ozônio, Monóxido de Nitrogênio, dióxido de nitrogênio e hidrocarboneto não metano na estação Bangu - 2019. | 88 |
| Figura 45 - Perfil horário de ozônio, monóxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio e hidrocarboneto não metano na estação Campo Grande - 2019. | 89 |
| Figura 46 - Perfil semanal de ozônio, monóxido de nitrogênio e dióxido de nitrogênio na estação Tijuca - 2019. | 90 |
| Figura 47 - Perfil semanal de ozônio, monóxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio e hidrocarbonetos não metano na estação Irajá - 2019. | 91 |
| Figura 48 - Perfil semanal de ozônio, monóxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio e hidrocarbonetos não metano na estação Bangu - 2019. | 92 |
| Figura 49 - Perfil semanal de ozônio, monóxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio e hidrocarbonetos não metano na estação Campo Grande - 2019. | 93 |

| | |
|--|-----|
| Figura 50 - Perfil mensal de ozônio, monóxido de nitrogênio e dióxido de nitrogênio na estação Tijuca - 2019..... | 94 |
| Figura 51 - Perfil mensal de ozônio, monóxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio e hidrocarboneto na estação Irajá - 2019..... | 95 |
| Figura 52 - Perfil mensal de ozônio, monóxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio e hidrocarboneto na estação Bangu - 2019. | 96 |
| Figura 53 - Perfil mensal de ozônio, monóxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio e hidrocarboneto na estação Campo Grande - 2019. | 97 |
| Figura 54 - Média de 24h de monóxido e dióxido de nitrogênio na estação Tijuca - 2019..... | 98 |
| Figura 55 - Média de 24h de monóxido e dióxido de nitrogênio e hidrocarboneto não metano na estação Irajá - 2019. | 98 |
| Figura 56 - Média de 24h de monóxido e dióxido de nitrogênio e hidrocarboneto não metano na estação Bangu - 2019..... | 99 |
| Figura 57 - Média de 24h de monóxido e dióxido de nitrogênio e hidrocarboneto não metano na estação Campo Grande - 2019..... | 100 |
| Figura 58 - Média anual de monóxido de nitrogênio nas estações Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019..... | 101 |
| Figura 59 - Média de 24h de hidrocarbonetos não metano nas estações Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019..... | 102 |
| Figura 60 - Perfil horário de dióxido de nitrogênio nas estações Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019..... | 103 |
| Figura 61 - Perfil semanal de dióxido de nitrogênio nas estações Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019..... | 104 |
| Figura 62 - Média mensal de dióxido de nitrogênio nas estações Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019..... | 105 |
| Figura 63 - Média de 24h de dióxido de nitrogênio nas estações Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019..... | 106 |
| Figura 64 - Média anual de dióxido de nitrogênio nas estações Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019..... | 107 |
| Figura 65 - Perfil horário de monóxido de carbono nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande – 2019. | 108 |
| Figura 66 - Perfil semanal de Monóxido de Carbono nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019. | 110 |
| Figura 67 - Perfil mensal de monóxido de carbono nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019. | 112 |
| Figura 68 - Perfil média móvel 8h de monóxido de carbono nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande – 2019. | 114 |
| Figura 69 - Perfil horário de dióxido de enxofre nas estações Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019. | 116 |
| Figura 70 - Perfil semanal de Dióxido de Enxofre nas estações Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019. | 118 |
| Figura 71 - Média mensal de dióxido de enxofre nas estações Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019. | 120 |
| Figura 72 - Média de 24h de dióxido de enxofre nas estações Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019. | 122 |
| Figura 73 - Média anual de dióxido de enxofre nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2019. | 124 |
| Figura 74 - Distribuição dos poluentes responsáveis por indicar a classificação da qualidade do ar. | 125 |
| Figura 75 - Distribuição dos poluentes responsáveis por indicar a classificação da qualidade do ar. | 127 |

| | |
|---|-----|
| Quadro 1 - Comparação entre a normal climatológica da cidade do Rio de Janeiro e a temperatura média anual observada..... | 13 |
| Quadro 2 - Comparação entre a normal climatológica da cidade do Rio de Janeiro e a média anual de umidade relativa..... | 15 |
| Quadro 3 - Normal Climatológica versus precipitação total anual rede MonitorAr-Rio - 2011 a 2019. | 16 |
| Quadro 4 - Índice de calmaria observado na Rede MonitorAr-Rio - 2011 a 2019..... | 18 |
| Quadro 5 - Direção predominante do vento observada na rede MonitorAr-Rio - 2011 a 2019. . | 18 |
| Quadro 6 - Valores máximos de radiação solar (W/m2) observados na rede MonitorAr-Rio - 2011 a 2019..... | 19 |
| Quadro 7 - Fontes, características e efeitos principais dos poluentes atmosféricos. Mudarei as cores na terça na SMAC..... | 23 |
| Quadro 8 - Composição das estações de monitoramento de Qualidade do Ar da SMAC. | 25 |
| Quadro 9 - Métodos de medição dos parâmetros. | 29 |
| Quadro 10 - Tempo mínimo de amostragem para que os dados obtidos sejam considerados representativos. | 30 |
| Quadro 11 - Principais Fontes de Emissões Industriais da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, 2002..... | 33 |
| Quadro 12 - Dados gerais e foto da estação Centro..... | 40 |
| Quadro 13 - Dados gerais e foto da estação Copacabana..... | 43 |
| Quadro 14 - Dados gerais e foto da estação São Cristóvão..... | 45 |
| Quadro 15 - Dados gerais e foto da estação Tijuca. | 47 |
| Quadro 16 - Dados gerais e foto da estação Irajá..... | 49 |
| Quadro 17 - Dados gerais e foto da estação Bangu..... | 52 |
| Quadro 18 - Dados gerais e foto da estação Pedra de Guaratiba..... | 56 |
| Quadro 19 - Média Anual De Partículas Inaláveis Observada Na Rede Poluentes E De Qualidade Do Ar - Monitorar-Rio - 2011 a 2019..... | 129 |
| Quadro 20 - Média Anual De Dióxido De Enxofre Observado Na Rede De Poluentes E De Qualidade Do Ar - Monitorar-Rio - 2011 a 2019..... | 130 |
| Quadro 21 - Média Anual De Dióxido De Nitrogênio Observado Na Rede De Poluentes E De Qualidade Do Ar - Monitorar-Rio - 2012 a 2019..... | 130 |
| Quadro 22 - Violação De Ozônio Observado Na Rede Poluentes E De Qualidade Do Ar - Monitorar-Rio - 2012 a 2019. | 130 |
| Quadro 23 - Média Anual De Ozônio Observado Na Rede De Poluentes e De Qualidade Do Ar - Monitorar-Rio - 2011 a 2019. | 131 |
| Quadro 24 - Média Anual De Monóxido de Carbono Observado Na Rede De Poluentes e De Qualidade Do Ar - Monitorar-Rio - 2011 a 2019..... | 131 |
| Tabela 1- Principais alterações da CONAMA 491/2018 em relação à CONAMA 03/1990. | 26 |
| Tabela 2 - Estabelecimentos Industriais, por classes, segundo Regiões de Governo e Municípios, 1999..... | 32 |
| Tabela 3 - Estimativa bottom-up da emissão veicular de CO, NMHC, RCHO, NOx, SOx e MP na RMRJ em 2013 (ton/ano)..... | 35 |
| Tabela 4 - Emissões das zonas administrativas do município do Rio de Janeiro e dos demais municípios da MRJ (ton/ano). | 36 |
| Tabela 5 - Fontes fixas e móveis no entorno da estação Centro – 2012..... | 42 |
| Tabela 6 - Fontes fixas e móveis no entorno da estação Copacabana – 2012..... | 44 |
| Tabela 7 - Fontes fixas e móveis no entorno da estação São Cristóvão – 2012. | 47 |
| Tabela 8 - Fontes fixas e móveis no entorno da estação Tijuca – 2012. | 48 |
| Tabela 9 - Fontes fixas e móveis no entorno da estação Irajá – 2012..... | 51 |
| Tabela 10 - Fontes fixas e móveis no entorno da estação Bangu – 2012. | 53 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 11 - Fontes fixas e móveis no entorno da estação Campo Grande – 2012. | 55 |
| Tabela 12 - Fontes fixas e móveis no entorno da estação Pedra de Guaratiba – 2012. | 58 |
| Fluxograma 1 - Amostragem de gases. | 29 |
| Fluxograma 2 - Processo de formação e decomposição do ozônio na atmosfera. | 84 |
| Fluxograma 3 - Processo de formação de NO ₂ a partir de COVs. | 84 |
| Anexo A - CONAMA 491/2018. | 137 |
| Anexo B - PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE CONAMA 03/90 E 491/18. | 146 |
| Anexo C - Níveis de qualidade do ar. | 147 |
| Anexo D - QUALIDADE DO AR E PREVENÇÃO DE RISCOS À SAÚDE. | 148 |
| Anexo E - ROSAS DOS VENTOS. | 149 |
| Anexo F - PROCEDIMENTO DE VALIDAÇÃO E INVALIDAÇÃO DOS DADOS DE QUALIDADE DO AR. | 160 |

1. DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA CIDADE

1.1. CARACTERIZAÇÃO METEOROLÓGICA

O ano de 2019 foi marcado pela presença do fenômeno El Niño, ou seja, os primeiros meses do ano ainda se iniciaram com a atuação deste fenômeno. No entanto, o desaquecimento das águas do oceano Pacífico passou a ser detectado, levando à uma condição de neutralidade iniciada entre os meses de julho a setembro. Tal condição de neutralidade se manteve até o trimestre de outubro-novembro-dezembro quando o aquecimento das águas no oceano Pacífico voltou a ser identificado levemente, proporcionando condições para o retorno do El Niño.

Para o Sudeste brasileiro tais fenômenos influenciam diretamente no comportamento das chuvas. Assim, em períodos de El Niño mais atuante há a tendência de diminuição das ocorrências de chuvas e o aumento significativo nos registros de temperatura do ar. Porém, quando da ocorrência do fenômeno La Niña, este comportamento sofre alterações, as condições de chuva para o Sudeste brasileiro tendem a aumentar e a temperatura do ar tende a apresentar comportamento equilibrado, ou seja, pode-se dizer, ainda que de forma geral, que as estações do ano, primavera – verão – outono – inverno passam a ser mais definidas.

Para a qualidade do ar, estes fenômenos acabam trazendo fortes influências, pois impactam diretamente na formação e dispersão dos poluentes atmosféricos. Portanto, épocas mais chuvosas tendem a proporcionar melhorias significativas nas concentrações de poluentes, e períodos de maior estabilidade atmosférica tendem a elevar as concentrações dos poluentes.

Assim, observando-se os fenômenos atuantes ao longo do ano de 2019 foi possível detectar o aumento das chuvas nos meses de fevereiro, abril e agosto em comparação a anos anteriores. Em geral, essas precipitações foram causadas por passagens de sistemas frontais, Zonas de Convergência do Atlântico Sul e áreas de instabilidade.

O acompanhamento de parâmetros meteorológicos pela rede de monitoramento do Programa MonitorAr-Rio tem cumprido papel de fundamental importância na identificação de eventos e avaliação dos respectivos efeitos sobre a qualidade do ar.

Neste documento, a estrutura da caracterização meteorológica elaborada considerou o comportamento anual da temperatura média e umidade relativa do ar, precipitação, direção e velocidade dos ventos e radiação solar.

O critério de análise adotado foi a comparação dos dados registrados pelos sensores meteorológicos instalados nas estações da rede do MonitorAr-Rio com as Normais Climatológicas para a cidade do Rio de Janeiro definidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET referentes ao período de 1961 a 1990. Assim sendo, foi possível comparar o comportamento das variáveis ao longo do ano de 2019, com aqueles registrados em anos anteriores de operação da Rede MonitorAr-Rio (2011 – 2018).

1.1.1. Temperatura

A cidade do Rio de Janeiro apresenta clima tropical, com a estação chuvosa bem caracterizada durante o verão, e clima seco, com temperaturas amenas, durante o inverno. As Normais Climatológicas indicam que a temperatura média do ar varia entre a mínima de 18,4°C, durante o inverno e a máxima de 30,2°C, durante o verão, estabelecendo a média anual de 23,8°C.

Em 2019, foi possível observar uma suave elevação em relação aos três anos anteriores, com média de temperatura muito próxima à observada em 2015, quando houve predominância do fenômeno El Niño (Quadro 1). Ao longo de 2011 até 2019 as temperaturas médias anuais das estações tiveram ligeiro aumento, acima da média histórica do período, com variações em torno de 2 a 4°C.

Quadro 1 - Comparação entre a normal climatológica da cidade do Rio de Janeiro e a temperatura média anual observada na rede MonitorAr-Rio - 2011 a 2019.

| Estações | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Centro | 23,8 | 24,4 | 24,1 | 24,6 | 24,9 | - | - | 26,3 | 26,7 |
| Copacabana | 24,6 | 25,1 | 24,8 | 25,2 | 25,8 | 25,4 | 25,4 | - | - |
| São Cristóvão | 28,1 | 28,9 | 27,9 | 26,0 | 26,6 | 26,0 | 25,7 | - | - |
| Tijuca | 24,4 | 25,3 | 24,8 | 24,6 | 24,9 | 24,3 | 23,3 | 23,7 | 24,1 |
| Irajá | - | 27,2 | 26,2 | 27,6 | 28,2 | 27,7 | 27,5 | 27,4 | - |
| Bangu | - | 26,5 | 26,1 | 26,8 | 26,6 | - | - | 26,8 | 27,3 |
| Campo Grande | - | 26,7 | 26,3 | 28,2 | 28,5 | 27,9 | 27,8 | 27,6 | 28,0 |
| Pedra de Guaratiba | - | 25,3 | 25,2 | 25,9 | 26,4 | 25,9 | 26,0 | 25,3 | 25,7 |
| Normal | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 | 23,8 |

Fonte: INMET - Normal Climatológica - PCRJ/SMAC/CMA/GMAR

Durante o ano de 2019 (Figura 1), observou-se como o comportamento médio da temperatura ao longo dos meses sofreu influência dos fenômenos atuantes, El Niño e La Niña. É possível observar temperaturas médias elevadas no início do ano, em patamares próximos (Fev e Mar) e até acima (Jan, Mai e Jun) a anos anteriores em que o El Niño esteve ativo, como os anos de 2015 e 2016.

Entre os meses de julho e setembro, quando a neutralidade entre os fenômenos passou a vigorar, notou-se a manutenção das temperaturas, obtendo-se leituras próximas a valores registrados em outros anos. O mesmo se observou para o último trimestre outubro - novembro - dezembro, registrando valores intermediários quando comparado aos anos anteriores, mesmo com sinais muito fracos da presença do El Niño para o último trimestre.

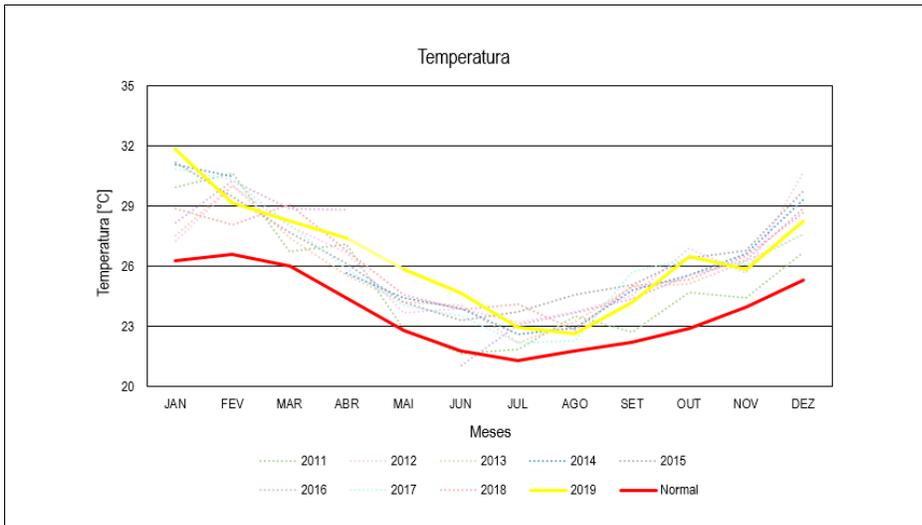


Figura 1 - Evolução da temperatura média mensal observada na rede MonitorAr-Rio - 2011 a 2019.

1.1.2. Umidade relativa do ar

As normais climatológicas não indicam diferenças significativas nos índices médios de umidade relativa do ar na cidade do Rio de Janeiro ao longo dos meses e anos. O critério de definição do verão como o período mais úmido, e o inverno como o período mais seco está associado, diretamente, ao período de chuvas. Porém, no que diz respeito à umidade relativa do ar, há registros que se contrapõem a esta afirmativa histórica. Em 2019, é possível observar uma suave elevação nos registros de umidade relativa média em comparação com anos anteriores, com exceção da estação Pedra de Guaratiba (Quadro 2).

Os meses de janeiro e setembro apresentaram os maiores destaques de umidade relativa, sendo que em janeiro os registros estão baixos, indicando uma inversão de comportamento, e em setembro foi possível detectar uma alta significativa nos níveis médios de umidade relativa do ar em plena estação de seca, comparando-se com anos anteriores. Tal comportamento, possivelmente esteve associado às mudanças de fenômenos atuantes na grande escala meteorológica, como citados anteriormente.

Como apresentado no Quadro 2, os registros apontam dados abaixo da média histórica entre 2011 e 2019 em todas as estações do MonitorAr-Rio. As únicas exceções ocorreram na estação São Cristóvão, em 2012 e 2013, que apresentou valores acima da Normal Climatológica. Outro valor próximo à Normal foi observado em 2019 na estação Bangu, 78%, apenas um ponto percentual abaixo da média climatológica.

Quadro 2 - Comparação entre a normal climatológica da cidade do Rio de Janeiro e a média anual de umidade relativa do ar observada na rede MonitorAr-Rio entre 2011 e 2019.

| Estações | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Centro | 69 | 68 | 69 | 64 | 67 | - | - | 72 | 74 |
| Copacabana | 74 | 73 | 74 | 70 | 73 | 73 | 72 | - | - |
| São Cristóvão | 78 | 80 | 81 | 66 | 67 | 68 | 70 | - | - |
| Tijuca | 77 | 76 | 77 | 61 | 62 | 61 | 61 | 63 | 63 |
| Irajá | - | 71 | 68 | 62 | 64 | 64 | 68 | - | - |
| Bangu | - | 69 | 68 | 64 | 65 | 66 | 65 | 77 | 78 |
| Campo Grande | - | 69 | 71 | 68 | - | - | - | 77 | 77 |
| Pedra de Guaratiba | - | 77 | 77 | 71 | 78 | - | - | 79 | 74 |
| Normal | 79 |

Fonte: INMET - Normal Climatológica / PCRJ/SMAC/CMA/GMAR

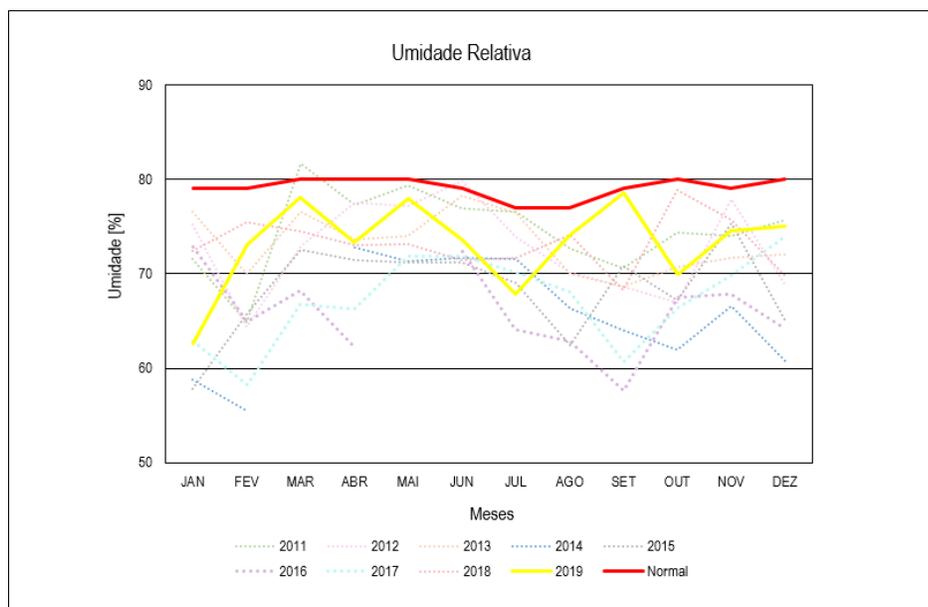


Figura 2 - Evolução da umidade relativa média mensal observada na rede MonitorAr-Rio - 2011 a 2019.

1.1.3. Precipitação

A influência do relevo da Cidade pode ser percebida na distribuição espacial da chuva ao longo do território. Análises

realizadas no município¹ com dados entre 1997 e 2006 mostraram que os índices máximos de precipitação ocorrem nos maciços montanhosos de Gericinó/Mendanha, Tijuca e Pedra Branca. Já os índices mínimos, em geral, são encontrados na zona norte, em Irajá e na Penha. Nas demais áreas de planície do Município, a distribuição da chuva ocorre de forma mais homogênea.

A observação sazonal permite verificar que no período primavera/verão os eventos chuvosos ocorrem preferencialmente entre a tarde e a madrugada, influenciados pelo aquecimento diurno local e intensificados pela brisa marítima, tornando a chuva mais localizada e com distribuição heterogênea pelo município. Por outro lado, no período outono/inverno a chuva ocorre a qualquer hora do dia, geralmente devido à penetração dos sistemas frontais, apresentando distribuição mais homogênea em relação ao período primavera/verão.

As Normais Climatológicas da Cidade indicam que o período chuvoso fica compreendido entre dezembro e março, quando são encontrados os maiores acumulados pluviométricos. Entre os meses de junho a agosto esse acumulado se reduz em mais de 50%.

Em 2019, observou-se um aumento no acumulado anual total de precipitação em relação aos dois últimos anos anteriores (Quadro 3), possivelmente associado aos efeitos da ocorrência do fenômeno El Niño. Ao se analisar a série de dados do MonitorAr-Rio, observa-se que entre 2011 e 2013, os acumulados de precipitação apresentaram registros acima da média histórica e, também, que em 2014 foi observado o menor acumulado total, sendo aquele um dos mais secos dos últimos 20 anos.

Quadro 3 - Normal Climatológica versus precipitação total anual rede MonitorAr-Rio - 2011 a 2019.

| Estações | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Centro | 887,2 | 1039,6 | 1363,0 | 550,8 | 966,2 | 1130,4 | 813,8 | 976,8 | 1124,6 |
| Copacabana | 1155,8 | 1061,6 | 1217,4 | 732,8 | 1058,0 | 1240,4 | 777,2 | 529,6 | 1342,6 |
| São Cristóvão | 951,8 | 786,0 | 1015,6 | 459,8 | 861,6 | 1100,4 | 569,6 | 776,0 | 879,0 |
| Tijuca | 753,1 | 515,4 | 787,1 | 365,7 | 807,4 | 720,8 | 740,0 | 994,8 | 1359,4 |
| Irajá | - | 1327,5 | 2066,2 | 792,8 | 906,6 | 1141,4 | 786,8 | 1032,4 | 1156,8 |
| Bangu | - | 1346,0 | 2122,9 | 946,6 | 1278,4 | 1196,6 | 776,0 | 960,8 | 900,8 |
| Campo Grande | - | 1588,7 | 1697,8 | 684,9 | 1048,6 | 1012,5 | 796,4 | 1102,1 | 1224,7 |
| Pedra de Guaratiba | - | 931,6 | 1234,2 | 591,0 | 721,0 | 606,4 | 955,4 | 1020,8 | 1503,3 |
| Normal Climatológica | 1069,4 |

INMET - Normal Climatológica / PCRJ/SMAC/CMA/GMAR

Fonte:

A Figura 3 ilustra a evolução da precipitação média mensal para o período entre 2011 e 2019, em que se observa que as médias para o período de verão (janeiro, fevereiro e março) apresentaram valores abaixo da Normal Climatológica

¹DERECZYNSKI C. P., J. S. OLIVEIRA, C. O. MACHADO, 2009.

nos anos de 2011, 2014 e 2015. Os efeitos do El Niño nos anos de 2014 e 2015 provocaram chuvas extremas no Sul do Brasil e chuvas escassas no Sudeste, onde está localizada a Cidade, principalmente no período do verão. Em 2016, os acumulados de precipitação durante o verão voltaram a se destacar, sendo menor somente que aqueles observados em 2013. Em 2017, observa-se que a curva de acumulados está praticamente toda abaixo da Normal Climatológica do período, com exceção dos meses de abril e junho. O ano de 2019 teve média acumulada anual acima da média histórica, com destaque para os meses de fevereiro, abril e agosto.

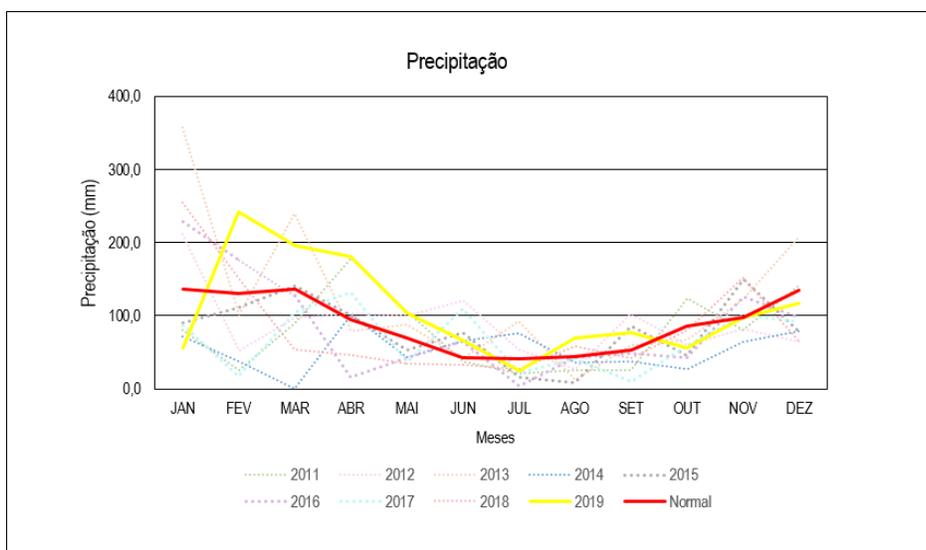


Figura 3 - Evolução da precipitação média mensal observada na Rede MonitorAr-Rio - 2011 a 2019.

1.1.4 – Direção e velocidade dos ventos

O Rio de Janeiro apresenta padrão de ventos influenciado pela topografia local, sendo a proximidade com o oceano outro fator determinante para o comportamento do mecanismo de brisa observado em seu território. Considerando o relatório de climatologia dos ventos na Cidade e as Normais Climatológicas do período 1960-1990, observa-se maior frequência das direções sul-sudeste e nordeste.

Os resultados apresentados nos campos de vento para o período em estudo podem ser observados em função do índice de calmaria (Quadro 4) e direção predominante do vento (Quadro 5). As rosas dos ventos de cada uma das estações de monitoramento, que detalham as informações apresentadas nos Quadros 4 e 5, estão apresentadas em anexo.

Vale ressaltar que as estações que apresentaram os menores índices de calmaria foram, Irajá, Bangu, Campo Grande

e Pedra de Guaratiba, devido ao efeito de borda decorrente de suas localizações mais afastadas da região central da Cidade. Não houve variação significativa dos índices de calmaria no ano de 2019 em relação aos últimos anos. Outro fator relevante é que o predomínio dos ventos em todas as estações da rede do Monitorar-Rio varia entre o quadrante norte e a direção sudoeste. Tal diferença, com relação à climatologia, pode estar associada às construções próximas às estações.

Quadro 4 - Índice de calmaria observado na Rede MonitorAr-Rio - 2011 a 2019.

| Estações | Índice de calmaria (%) | | | | | | | | |
|--------------------|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Centro | 22,2 | 22,8 | 24,4 | 25,1 | 25 | 24,5 | 27,6 | 31,1 | 30,8 |
| Copacabana | 38,5 | 34,6 | 37,6 | 32,1 | 33,6 | 33,4 | 32,6 | 12,2 | 36,1 |
| São Cristóvão | 30,3 | 33,1 | 33 | 32,7 | 35,6 | 33,5 | 33,7 | 35,1 | 31,8 |
| Tijuca | 33 | 36,4 | 46 | 64,6 | 53,4 | 54,6 | - | 35,2 | 45 |
| Irajá | - | - | 6,3 | 11,7 | 11,9 | 10,1 | 11,1 | 12,1 | 13,4 |
| Bangu | - | - | 4,3 | 7,1 | 6,8 | 6,4 | 6,5 | 7,3 | 7,4 |
| Campo Grande | - | - | 4,6 | 8,4 | 7,6 | 7,3 | 6,9 | 7,8 | 7,3 |
| Pedra de Guaratiba | - | - | 1,8 | 3 | 3,7 | 3,5 | 4,2 | 3,6 | 3,5 |

Fonte: PCRJ/SMAC/CMA/GMAR

Quadro 5 - Direção predominante do vento observada na rede MonitorAr-Rio - 2011 a 2019.

| Estações | Direção predominante | | | | | | | | |
|--------------------|----------------------|------|---------|------|--------|---------|--------|------|---------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Centro | L | L | L | L | L | L | L | L | L |
| Copacabana | N | N | NE | NE | NE | NE | NO | O/SO | O/NO |
| São Cristóvão | SO | SO | SO | SO | SO | SO | NL | SO | O/L |
| Tijuca | S | S | S | SO | SO | SO | - | N/S | N/S |
| Irajá | - | - | L | L | L | L | L | L | L/SE |
| Bangu | - | - | O | SE | O / SE | O | O / SE | L/O | L/O |
| Campo Grande | - | - | NE / SO | NE | NE | NE / SO | NE | SO | NE / SO |
| Pedra de Guaratiba | - | - | NE | NE | NE | NE | NE | L | L/NE |

Fonte: PCRJ/SMAC/CMA/GMAR

1.1.5 – Radiação solar

A radiação solar possui ciclo bem definido, com incidência que aumenta gradativamente ao longo do dia, atingindo seu máximo no período da tarde, enquanto durante a noite se reduz até zero. Ao longo dos meses do ano a incidência de radiação também varia, com os maiores valores sendo registrados durante a primavera e o verão, e os menores entre o outono e o inverno. Ela pode ser reduzida pela presença de nebulosidade, sofrendo alterações durante a atuação de sistemas como as frentes frias.

Para um centro urbano como a cidade do Rio de Janeiro, densamente ocupado e bastante heterogêneo, a radiação solar que chega à superfície pode variar localmente devido ao fato de algumas estações estarem mais expostas do que outras, uma vez que existem os efeitos de borda e sombra de suas localizações, que não são escolhidas para serem estações meteorológicas de referência, mas, sim, para dar suporte aos dados de qualidade do ar.

A radiação solar possui papel fundamental na formação dos poluentes fotoquímicos, como o ozônio, monitorado na rede do MonitorAr-Rio. Portanto, em dias com maior incidência de radiação solar há a tendência de aumento das concentrações deste poluente. Os dados de máximo de radiação solar são apresentados no Quadro 6 em que se observa para 2019 pouca variação entre as estações sendo a máxima em Irajá e a mínima em Copacabana.

Observa-se ligeiro aumento em relação ao ano anterior em boa parte das estações, com diferenças muito próximas, com exceção de Pedra de Guaratiba que foi menor em comparação ao outro ano.

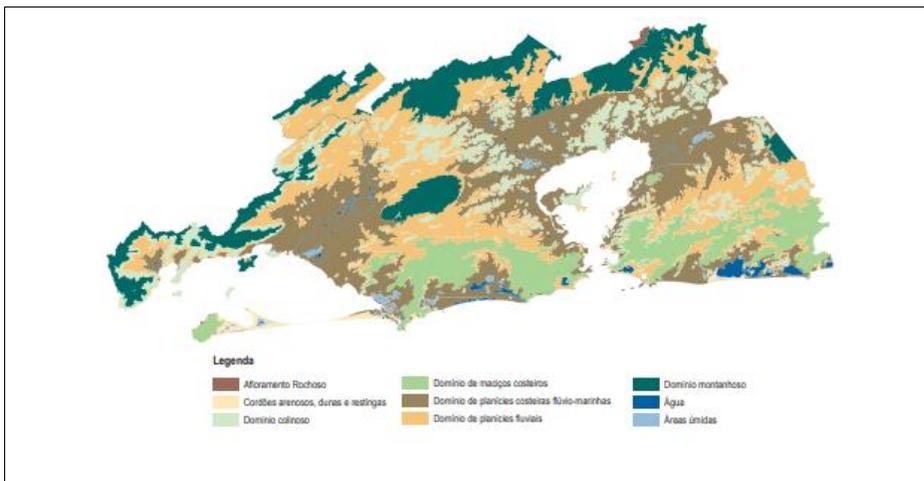
Quadro 6 - Valores máximos de radiação solar (W/m²) observados na rede MonitorAr-Rio - 2011 a 2019.

| Estações | Radiação Solar Máxima (W/m ²) - 2011 - 2019 | | | | | | | | |
|--------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Centro | 1245 | 1237 | 1237 | 1252 | 914 | 889 | 952 | 947 | 1184 |
| Copacabana | 1261 | 1324 | 1306 | 1231 | 1253 | 1353 | 1348 | 987 | 1013 |
| São Cristóvão | 1300 | 1336 | 1235 | 1197 | 1299 | 1065 | 1301 | 1124 | 1109 |
| Tijuca | 1221 | 1230 | 1436 | 1202 | 1160 | 1168 | 1243 | 1183 | 1122 |
| Irajá | | 1906 | 1116 | 1155 | 1205 | 1385 | 1228 | 1150 | 1173 |
| Bangu | | 1951 | 1211 | 1188 | 1103 | 1168 | 1216 | 1191 | 1151 |
| Campo Grande | | 2254 | 1240 | 1104 | 977 | 1050 | 1073 | 1015 | 1043 |
| Pedra de Guaratiba | | 1252 | 1222 | 1138 | 1123 | 1155 | 1141 | 1102 | 1028 |

Fonte: PCRJ/SMAC/CMA/GMAR

1.2. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro abrange o total de 4.930 km². Foi consolidada num sítio caracterizado por apresentar os domínios topográficos de montanha e baixada. Ao norte, a Serra do Mar limita a Bacia da Baía de Guanabara e alcança altitudes de até 2.000 m. Ao sul, o terreno é formado pelas áreas de baixadas que não ultrapassam altitudes de 100 m (Figura 4). A porção que cabe ao Município do Rio de Janeiro contempla o território de 1.224 km², onde desprendimentos da Serra do Mar formam a cadeia de maciços montanhosos que definem o marcante perfil natural da Cidade. Os maciços da Tijuca e Pedra Branca formam uma barreira física entre a orla marítima e o norte do território municipal e, assim, criam as referências de limites, embora não oficiais, para as zonas Norte e Sul, enquanto a proximidade dos maciços da Pedra Branca e Gericinó definem a Zona Oeste e a Baixada de Jacarepaguá. As zonas Norte, Sul, Oeste e a Baixada de Jacarepaguá, embora não constituam regiões com limites formalmente definidos, são as referências de compartimentação tradicionalmente utilizadas pela população carioca.



Fonte: Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro, 2011.

Figura 4 - Domínios geomorfológicos da Região Metropolitana do RJ

A divisão administrativa do território municipal contempla cinco áreas de planejamento, 33 regiões administrativas e 161 bairros. Por essas unidades, utilizadas para a gestão municipal, a população se distribui de forma bastante diversa. A avaliação dos dados do Censo de 2010 mostra que a maior concentração populacional ocorre na Área de Planejamento 3, aproximadamente a Zona Norte, onde foi contabilizado o expressivo total de mais de dois milhões de pessoas residentes. Esse contingente corresponde a 37,9% da população e resulta na maior densidade demográfica da Cidade, 11.787 hab./km². A Área de Planejamento 5, referente à Zona Oeste, aparece em segundo lugar no total de moradores, com 1,7 milhões de habitantes, correspondente a 27% do total. Entretanto, por reservar ainda grandes áreas sem ocupação, tem a menor densidade da Cidade, 2.877 hab./km². A fração de 16% da população residente na Área de Planejamento 2, composta pela Zona Sul e o conjunto de bairros no entorno da Tijuca, embora represente menos da metade da população residente na Área de Planejamento 3, também concentra mais de um milhão de habitantes. Essa área, em sua maior parte junto à orla, a de maior valorização do solo urbano, apresenta a segunda maior densidade demográfica da cidade, 10.048 hab./km². Apesar de também ser área de expansão de destaque na Cidade, a Área de Planejamento 4, que abrange a Baixada de Jacarepaguá, conta com 14,4% da população e abriga em torno de 900 mil moradores. Sua densidade populacional é de 3.097 hab./km². E, por fim, a Área de Planejamento 1, a região que abriga a área central de negócios, caracteriza-se pelo baixo número de moradores, cerca de 297 mil, o que representa apenas a parcela de 4,7% da população, embora alcance a densidade de 8.663 hab./km².

como indicadores mais abrangentes da qualidade do ar são: monóxido de carbono, dióxido de enxofre, material particulado e ozônio e dióxido de nitrogênio. A razão da escolha desses parâmetros como indicadores de qualidade do ar está ligada à sua maior frequência de ocorrência e aos efeitos adversos que causam à saúde e ao meio ambiente.

Existem outros poluentes presentes na atmosfera que, entretanto, não constam das listas de poluentes com padrões estabelecidos. Estes poluentes não possuem obrigatoriedade de monitoramento, mas podem ser monitorados devido a interesses específicos por alguns órgãos ambientais ou empresas privadas. A Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (PCRJ), monitora também hidrocarbonetos totais (HCT), metano (CH₄) e hidrocarbonetos não-metano (HCNM) - compostos formados por carbono e hidrogênio. Costumam ser entendidos como uma variedade de COVs² e, segundo Azuaga (2000), os hidrocarbonetos compreendem uma mistura de diversos compostos, podendo-se destacar os aldeídos, os ácidos orgânicos, os compostos aromáticos e as olefinas, dependendo das características do combustível e do processo de combustão. Podem ser encontrados na atmosfera na forma de gases (como o metano), líquidos e sólidos. Estes podem reagir com diversas outras substâncias, como o nitrogênio, oxigênio e enxofre formando diferentes compostos (SANTOS, 2004). O Quadro 7 mostra os parâmetros monitorados pela PCRJ e seus efeitos na saúde e meio ambiente.

² COVs - Gases e vapores resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis e de outros produtos orgânicos, sendo emitidos pelos veículos, indústrias, processos de estocagem e transferência de combustível etc. Muitos destes compostos participam ativamente das reações de formação do O₃. Dentre os COVs estão os compostos aromáticos monocíclicos, em particular: benzeno, tolueno, etil-benzeno e xilenos, conhecidos como: BTEX. Os aromáticos monocíclicos são precursores do ozônio e alguns destes compostos podem causar efeitos adversos à saúde (CETESB, 2018a).

Quadro 7 - Fontes, características e efeitos principais dos poluentes atmosféricos

| Poluente | Características | Fontes Principais | Efeitos Gerais à saúde | Efeitos gerais ao Meio Ambiente |
|---------------|---|---|---|---|
| MP2,5 | Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc., que podem permanecer no ar e percorrer longas distâncias. Faixa de tamanho $\leq 2,5$ micra. | Processos de combustão (industrial, veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera) como sulfato e nitrato, entre outros. | Devido ao seu tamanho penetram profundamente no sistema respiratório, podendo atingir os alvéolos pulmonares. | Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água. |
| MP10 e fumaça | Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho ≤ 10 micra. | Processos de combustão (indústria e veículos automotores), poeira ressuspensa, aerossol secundário (formado na atmosfera). | Aumento de atendimentos hospitalares e mortes prematuras. Interfere no sistema respiratório, pode afetar os pulmões e todo organismo. | Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água. |
| HCNM | Compostos formados de carbono e hidrogênio, excluindo-se o metano, e que podem se apresentar na forma de gases, partículas finas ou gotas. | Provêm de uma grande variedade de processos industriais e naturais. Nos centros urbanos as principais fontes emissoras são os carros, ônibus e caminhões, nos processos de queima e evaporação de combustíveis. | O potencial tóxico dos HC depende de suas características físicas e químicas. A aspiração de voláteis pode levar a absorção pulmonar e depressão do sistema nervoso central (SNC). ³ | São precursores para a formação do ozônio troposférico e apresentam potencial causador de efeito estufa. ⁴ |
| SO2 | Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser oxidado a SO3, que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H2SO4. É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis. | Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinarias de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa de celulose e papel, fertilizantes. | Desconforto na respiração, ação irritante nas vias respiratórias, o que provoca tosse e até falta de ar. Agravamento de doenças respiratórias (asma e bronquite) e cardiovasculares já existentes. Pessoas com asma, doenças crônicas de coração e pulmão são mais sensíveis. | Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas. |
| NO2 | Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (os quais contribuem para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos. | Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas, incinerações. | Aumento da sensibilidade à asma e à bronquite, abaixar a resistência às infecções respiratórias. Agem sobre o sistema respiratório, podendo causar irritações e, em altas concentrações problemas respiratórios e edema pulmonar. | Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita. |
| CO | Gás incolor, inodoro e insípido. | Combustão incompleta em veículos automotores. | Altos níveis de CO estão associados à prejuízo dos reflexos, da capacidade de estimar intervalos de tempo, no parendizado e no trabalho visual. Provoca dificuldades respiratórias e asfixia. É perigoso para aqueles que tem problemas cardíacos e pulmonares. | Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita. |
| O3 | Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica. | Não é emitido diretamente para a atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis. | Irritação nos olhos e vias respiratórias, diminuição da capacidade pulmonar, agravando doenças pré-existentes, reduzindo funções pulmonares. Exposição a altas concentrações pode resultar em sensações de aperto no peito, tosse e chiado na respiração. | Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais. |

Fonte: Adaptado de Inea (2010) e de CETESB (2006).

³ http://www.medicinanet.com.br/conteudos/revisoes/7403/intoxicacao_por_hidrocarbonetos.htm

⁴ <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos.html>

2.2 TIPO DE REDE

A Rede automática de Monitoramento da Qualidade do Ar (RMQA) da Secretaria de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro (SMAC), é composta por oito estações fixas, localizadas no Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba, além de uma Unidade Móvel. As quatro últimas estações fixas iniciaram sua operação, efetivamente, em 21/12/2011. As análises referentes à Unidade Móvel serão realizadas em relatórios específicos para cada campanha ou localidade em que a mesma estiver situada. As localizações das estações podem ser visualizadas na Figura 5 e a composição de cada estação no Quadro 8.

As características das localidades destas estações são bem semelhantes. Inseridas em locais perto de avenidas, ruas movimentadas e de centros comerciais, sendo primordialmente influenciadas pelas fontes móveis. A exceção é a estação Pedra de Guaratiba que se encontra afastada do centro urbano sendo mais influenciada pelas intempéries climáticas.



Figura 5 - Mapa com a localização das estações da SMAC.

Quadro 8 - Composição das estações de monitoramento de Qualidade do Ar da SMAC.

| Equipamento | Estações de monitoramento da qualidade do ar | | | | | | | | | |
|-------------------------|--|------------|---------------|--------|-------|-------|--------------|--------------------|--------------------|---|
| | CENTRO | COPACABANA | SÃO CRISTÓVÃO | TIJUCA | IRAJÁ | BANGU | CAMPO GRANDE | PEDRA DE GUARATIBA | UNIDADE MÓVEL (UM) | |
| ANALISADOR DE POLUENTES | SO ₂ | - | • | • | • | • | • | • | - | • |
| | CO | • | • | • | • | • | • | • | - | • |
| | O ₃ | • | • | • | • | • | • | • | - | • |
| | HC | - | - | - | - | • | • | • | - | - |
| | PM ₁₀ | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| | PM _{2.5} | - | - | - | - | • | - | - | - | • |
| | NO _x | - | - | - | • | • | • | • | - | • |
| SENSOR METEOROLÓGICO | T | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| | PP | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| | UR | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| | PA | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| | VDV | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| | RS | • | • | • | • | • | • | • | • | • |

Fonte: PCRJ/SMAC/CMA-GMAR – Gerência de Qualidade do Ar.

T- temperatura; PP precipitação pluviométrica; UR – umidade relativa; PA – pressão atmosférica; VDV – velocidade do vento; RS – radiação solar.

2.3 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

A Resolução CONAMA no 03/1990 foi revogada pela Resolução CONAMA no 491/2018 que estabeleceu novos padrões nacionais de qualidade do ar e critérios para episódios críticos (que podem ser visualizados no anexo A), determinando padrões mais rigorosos para a qualidade do ar, os quais já devem ser cumpridos a partir da data da sua publicação (21/11/2018).

Os padrões atualmente em vigor são denominados P1. A Tabela 1 mostra as principais diferenças entre o CONAMA 03/90 e o CONAMA 491/2018.

Tabela 1- Principais alterações da CONAMA 491/2018 em relação à CONAMA 03/1990.

| Parâmetros atmosféricos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Período de referência | Resolução 03/1990 | Resolução 491/2018 PI - 1 |
|--|-----------------------|---------------------|---------------------------|
| Partículas Inaláveis | 24 horas | 150 ¹ | 120 |
| | Anual | 50 ³ | 40 ³ |
| Material Particulado MP2,5 | 24 horas | - | 60 |
| | Anual | - | 20 ³ |
| Dióxido de Enxofre – SO ₂ | 24 horas | 365 ¹ | 125 |
| | Anual | 80 ³ | 40 ³ |
| Dióxido de Nitrogênio – NO ₂ | 1 hora | 320 | 260 |
| | Anual | 100 ³ | 60 ³ |
| Monóxido de Carbono - CO | 1 hora | 35 ppm ¹ | - |
| | 8 horas | 9 ppm ¹ | 9 ppm ⁴ |
| Fumaça | 24 horas | 150 ¹ | 120 |
| | Anual | 60 ³ | 40 ³ |
| Ozônio – O ₃ | 8 horas | 160 ¹ | 140 ⁴ |

1 – Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

2 – Média geométrica anual.

3 – Média aritmética anual.

4 – Máxima média móvel obtida no dia.

Destaca-se que o CONAMA já apresentou novos conjuntos de padrões em etapas sucessivas (PI-2, PI- 3 e PF), sendo que cada etapa é mais restritiva que a anterior. A data de início em que estas novas fases deverão ser atendidas serão determinadas pelos órgãos ambientais estaduais posteriormente.

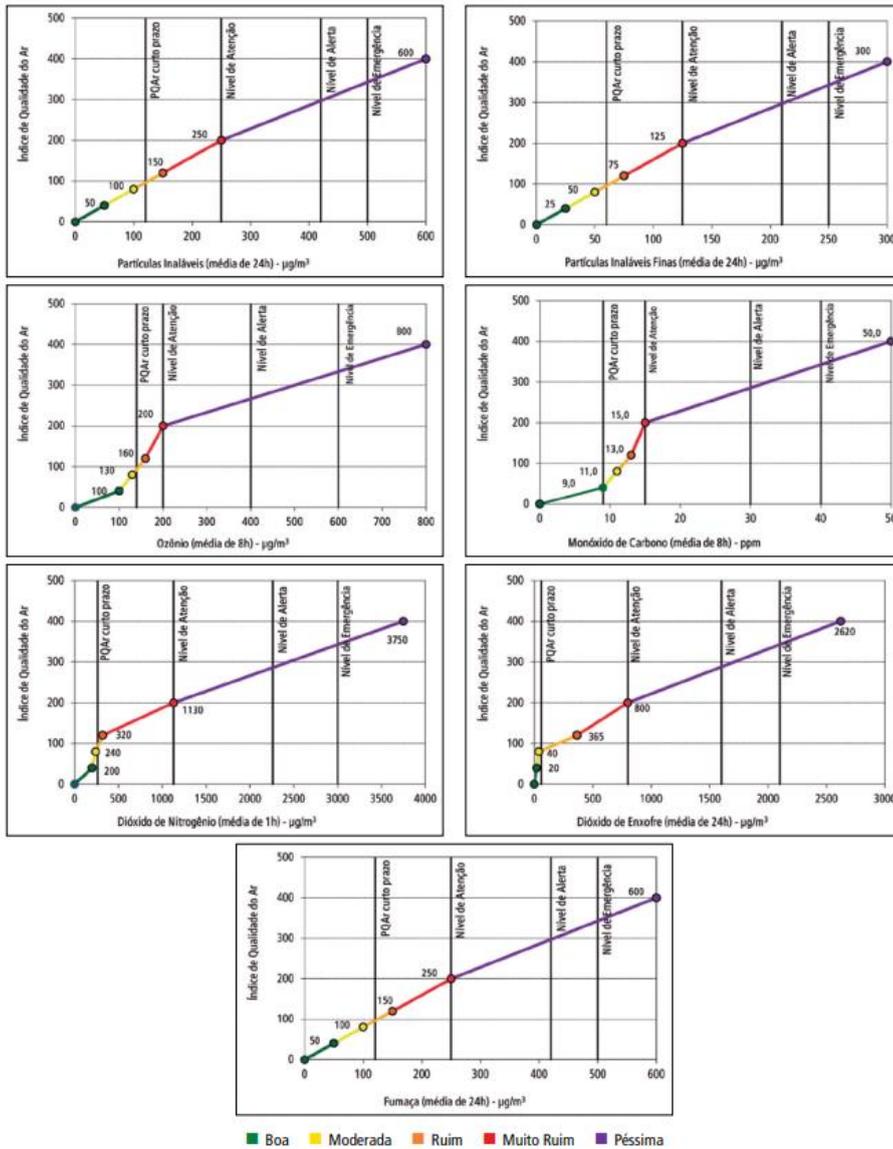
Além disto, a Resolução 491/2018 determinou novos parâmetros de análise: MP_{2,5} e chumbo, todavia este último deverá ser monitorado apenas se assim for estipulado pelo órgão ambiental.

Por fim, ficou determinada a obrigação dos órgãos ambientais estaduais a desenvolverem uma série de análises periódicas quanto à qualidade do ar, bem como a publicação de Planos de Controle de Emissões Atmosféricas em até 3 anos, portanto até 21/11/2021.

2.4 ÍNDICE DA QUALIDADE DO AR

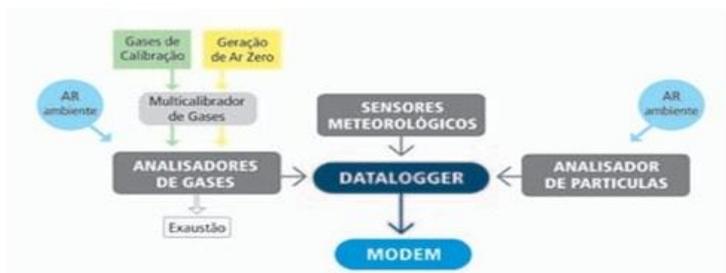
As concentrações dos poluentes monitorados, o índice de qualidade do ar e os dados meteorológicos das estações automáticas de monitoramento são divulgados diariamente às 10 (dez) horas no endereço eletrônico da SMAC (www.rio.rj.gov.br/web/smac/monitorar-rio1), que apresenta ainda a classificação da qualidade do ar e, dependendo dos níveis monitorados, informações de prevenção de riscos à saúde.

Essa classificação é baseada no cálculo de um índice de qualidade do ar, que é uma ferramenta matemática desenvolvida para simplificar o processo de divulgação. Considerando-se as medições de curto prazo, para cada poluente medido é calculado um índice, obtido por meio de uma função linear segmentada, que relaciona a concentração do poluente com o valor do índice, resultando um número adimensional. Conforme pode ser verificado na figura 6, cada segmento de reta está associado a uma faixa de qualidade, sendo que os pontos de inflexão delimitam os diferentes níveis de qualidade (anexo B). O índice mais alto, dentre os índices calculados para cada poluente, é divulgado nos boletins. No anexo C, são descritas ações preventivas para que as pessoas minimizem os efeitos dos poluentes na saúde e, no anexo D, estão descritos os principais efeitos à saúde para cada poluente.



2.5 METODOLOGIA DE MONITORAMENTO

A transmissão e o processamento dos dados da rede MonitorAr-Rio são realizados por meio de telemetria. Em cada uma das estações existe um computador, denominado datalogger, que integra os equipamentos de medição. Cada estação possui um link de dados móveis que possibilita a transmissão dos dados da estação para um servidor externo. O datalogger opera com a plataforma Windows e nele são instalados os softwares e sistemas que compõem a parte lógica da rede. O software WinAQMS é o responsável por obter dos equipamentos de monitoramento os valores dos parâmetros monitorados naquela estação. Os dados são registrados com frequência amostral de dez minutos e enviados via internet ao Centro Supervisório do MonitorAr-Rio da Prefeitura do Rio



Fonte: PCRJ/SMAC/CVMA-GMAR – Grerência de e monitoramento do Ar

Fluxograma 1 - Amostragem de gases.

Estes sistemas utilizam alguma propriedade física ou química do agente contaminante que pode ser detectado e quantificado em forma contínua, geralmente por métodos óptico-eletrônicos (UNEP WHO, 1994 apud PORFÍRIO, 2008). A amostra de ar entra em uma câmara de reação onde a propriedade ótica do gás pode ser medida diretamente, ou uma reação química ocorre produzindo quimiluminescência ou luz fluorescente (fluxograma 1). Um detector de luz produz um sinal elétrico que é proporcional à concentração do poluente que está sendo medida (LACAVA, 2003). As análises são realizadas dentro do próprio sistema do equipamento e os resultados são gerados imediatamente.

Quadro 9 - Métodos de medição dos parâmetros.

| | Parâmetro | Método |
|-----------------|----------------------------|------------------------------------|
| Rede automática | Partículas Inaláveis MP2,5 | Radiação Beta |
| | Partículas Inaláveis MP10 | Radiação Beta |
| | Dióxido de enxofre | Fluorescência de Pulso - UV |
| | Dióxido de Nitrogênio | Quimiluminescência |
| | Monóxido de Carbono | infravermelho não dispersivo (GFC) |
| | Ozonio | Ultravioleta |
| | Hidrocarbonetos | Cromatografica com detecção FID |

A qualidade dos dados é garantida pela verificação dos analisadores de poluentes atmosféricos a cada 30 dias. Para isso, gases certificados são usados para avaliar o desempenho de cada analisador. Quando identificada a necessidade de intervenção, o analista promove a calibração/manutenção do equipamento, mantendo assim a adequada e necessária qualidade dos resultados.

2.6 REPRESENTATIVIDADE ESPACIAL DAS ESTAÇÕES E DOS DADOS

2.6.1 Representatividade de Dados

A adoção de critérios de representatividade de dados é de extrema importância em sistemas de monitoramento. O não atendimento a esses critérios para uma determinada estação ou período significa que as falhas de medição ocorridas comprometem a interpretação do resultado obtido. Os critérios de representatividade temporal de dados utilizados pela SMAC, levando-se em consideração os critérios de representatividade adotados no "Guia Técnico para o Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar", e considerados para a elaboração deste relatório estão no quadro 10.

Os dados registrados com frequência de amostragem a cada 10 minutos e enviados "on line" ao Centro Supervisório do MonitorAr-Rio são avaliados pelo químico responsável seguindo o guia de "Procedimento de Validação e Invalidação dos Dados de Qualidade do Ar (anexo F). Para as variáveis monitoradas são, então, realizadas médias horárias, diárias e móvel de 8 horas a depender do poluente monitorado (vide tabela 1).

Quadro 10 - Tempo mínimo de amostragem para que os dados obtidos sejam considerados representativos.

| Tipo de Média | Critério de Validação |
|---------------|---|
| Média horária | 3/4 das médias válidas na hora |
| Média diária | 2/3 das médias horárias válidas no dia |
| Média Mensal | 2/3 das médias diárias válidas no mês |
| Média Anual | 1/2 das médias diárias válidas obtidas em cada quadrimestre (jan, abr; mai - ago e set - dez) |

2.6.2 Representatividade espacial das estações

O estudo "Dimensionamento Quantitativo e Qualitativo para RMQA", contratado à UFRJ pela SMAC, foi desenvolvido mediante análise de informações sobre densidade demográfica, fontes fixas, sistema viário, série histórica e resultados das campanhas experimentais para análise de SO₂ e NO₂.

A rede de monitoramento da SMAC foi concebida para atender, principalmente, a três objetivos, garantindo a medição da qualidade do ar em locais de diferentes características, de modo que as estações atendam a necessidades de monitoramento distintas e que permitam fornecer informações, entre outras, sobre:

- Níveis médios de concentração de poluentes na atmosfera para a região;
- Concentrações representativas das áreas de maior densidade populacional;
- Impacto da poluição no meio ambiente devido a determinadas fontes ou grupos de fontes.

O conceito de escala espacial de representatividade para um determinado poluente, diz respeito à extensão da parcela de ar no entorno da estação de monitoramento, que apresenta concentrações relativamente uniformes e similares às concentrações medidas na estação. Os resultados do monitoramento em uma dada estação devem representar as concentrações do poluente de interesse numa escala espacial compatível com os objetivos do monitoramento. Desta forma, a SMAC definiu um raio de 2km, como área de estudo do entorno de cada estação de monitoramento de qualidade do ar.

3. DESCRIÇÃO DAS FONTES DE POLUIÇÃO DO AR (FIXAS E MÓVEIS)

3.1 PRINCIPAIS FONTES DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) encontra-se a segunda maior concentração de veículos, de indústrias e de fontes de poluentes do país (IBGE, 2018), sendo os veículos automotores as principais fontes de emissões atmosféricas (INEA, 2016).

A cidade do Rio de Janeiro conta com 53% dos habitantes da RMRJ, cerca de 6,4 milhões de habitantes, apresenta a maior densidade demográfica, com aproximadamente 1.773 hab.km⁻², possui maior grau de urbanização (98%) e é responsável pela geração de cerca de 70% da renda interna do Estado e de 12,5% da nacional (IBGE, 2010). Desta forma, considerou-se neste relatório que a circulação de veículos na cidade é preponderante perante as outras cidades da RMRJ. Ressalta-se que, por este motivo, o monitoramento da qualidade do ar na cidade do Rio de Janeiro é essencial para tomada de decisões no que se refere a políticas públicas para minimizar suas emissões atmosféricas.

O transporte rodoviário representava a maior fonte de poluição do ar na RMRJ (INEA, 2016), por analogia considerou-se que para a Cidade as fontes veiculares, também, são as dominantes. Sabe-se, por literatura especializada, que a queima completa de combustível fóssil forma produtos como: dióxido de carbono (CO₂), vapor d'água (H₂O) e nitrogênio (N₂). Contudo, na prática, ocorre a combustão incompleta gerando outros produtos. Devido ao grau de relevância de cada um adotou-se monitorar: Material Particulado (MP), Óxidos de enxofre (SO_x), Óxidos de nitrogênio (NO_x), Monóxido de carbono (CO), Hidrocarbonetos Totais (HCT), Metano (CH₄) e Hidrocarboneto não metano (NMHC). Além do Ozônio (O₃), que não é oriundo da queima de combustíveis fósseis, mas é gerado a partir das emissões geradas por ela. Os produtos da combustão incompleta são denominados como poluentes atmosféricos. Estes podem ser emitidos em quantidades variadas, a depender do combustível utilizado, do tipo de motor, da idade do veículo, da regulagem dos pneus, do uso de ar condicionado, do estado de manutenção do veículo, da velocidade aplicada, etc. (PCPV, 2011).

As interpretações de dados deste relatório foram baseadas nas conclusões "Inventário de Emissões Veiculares (IEV) elaborado pelo INEA em 2016 e nas condições meteorológicas para o ano de 2019. Este inventariou as

emissões provenientes de fontes móveis (veículos automotores leves e pesados), que possuem grande significância no contexto da poluição atmosférica na RMRJ e, conseqüentemente na Cidade. As metodologias utilizadas neste inventário foram a bottom-up⁵ para a estimativa das fontes linhas, que medem as emissões médias de poluentes atmosféricos provenientes de veículos automotores em determinados trechos de vias públicas, além da metodologia top-down empregada para estimar as emissões das fontes difusas, cujo objetivo é obter um conhecimento das emissões totais de poluentes da região. Esta metodologia contém incertezas relacionadas à frota circulante, ao consumo de combustível e aos fatores de emissão, que são refletidas nas estimativas de emissão.

Da mesma forma, foram considerados dados da RMRJ da Fundação CIDE (2001) e da FIRJAN (2002) para interpretação dos dados gerados pela rede de monitoramento da qualidade do ar da cidade do Rio de Janeiro, haja visto, que esta possui 73% dos serviços e indústrias de utilidade pública; 66% de indústrias de transformação; 42% de indústrias extrativas minerais e 68% de construção civil dos 19 municípios integrantes da RMRJ.

3.1.1 Fontes Fixas

Segundo a Fundação CIDE (2001) e a FIRJAN (2002), o número de estabelecimentos industriais na RMRJ do gênero transformação que compreende as indústrias de produtos minerais não metálicos, químicos, farmacêuticos, têxteis, dentre outras, é de cerca de 10.711 unidades para o ano de 1999, sendo a grande maioria indústrias de pequeno e médio portes, mas que possuem um potencial poluidor considerável. A tabela 2, mostra o número de estabelecimentos industriais, por classes, para o ano de 1999, para o Estado e para os municípios.

Tabela 2 - Estabelecimentos Industriais, por classes, segundo Regiões de Governo e Municípios, 1999.

| Indústrias por classes | | | | |
|---------------------------------|-------------------|----------------------------|--|------------------|
| Regiões do Governo e Municípios | Extrativa Mineral | Indústria de Transformação | Serviços e Indústrias de Utilidade Pública | Construção Civil |
| Estado | 561 | 156660 | 328 | 6834 |
| Região Metropolitana | 239 | 10711 | 190 | 4770 |
| Rio de Janeiro | 100 | 7019 | 139 | 3265 |
| Belford Roxo | 1 | 144 | 2 | 49 |
| Duque de Caxias | 5 | 866 | 9 | 178 |
| Guapimirim | 2 | 42 | - | 7 |
| Itaboraí | 14 | 149 | 1 | 47 |
| Itaguaí | 30 | 53 | 1 | 40 |
| Japeri | 2 | 9 | - | 9 |
| Magé | 5 | 138 | 1 | 22 |
| Mangaratiba | 2 | 4 | 1 | 9 |

⁵ Existem duas maneiras de compor um IEV: por meio da metodologia bottom-up e da top-down, que se diferenciam basicamente pela maneira de agregar os dados. Na metodologia bottom-up, as emissões totais da região inventariada são quantificadas a partir do somatório das emissões típicas de cada tipo de veículo, dado em massa média de poluente emitido por unidade de distância percorrida (chamada de "fator de emissão"), e da respectiva intensidade de uso, ou seja, a distância média percorrida durante o período considerado pelo inventário. Na metodologia top-down, as emissões são totalizadas a partir do conhecimento do volume de combustíveis consumidos na região inventariada e da massa de poluente, que são típicas de cada tipo de veículo, dado em massa média de poluente emitido por unidade de distância percorrida (chamada de "fator de emissão"), e da respectiva intensidade de uso, ou seja, a distância média percorrida durante o período considerado pelo inventário. É um tipo de abordagem mais simples, utilizada principalmente quando não há muitas informações relativas às características tecnológicas da frota circulante, seu rendimento médio e intensidade de uso.

| Indústrias por classes | | | | |
|---------------------------------|-------------------|----------------------------|--|------------------|
| Regiões do Governo e Municípios | Extrativa Mineral | Indústria de Transformação | Serviços e Indústrias de Utilidade Pública | Construção Civil |
| Maricá | 5 | 51 | 1 | 21 |
| Nilópolis | - | 117 | 2 | 36 |
| Niterói | 7 | 473 | 16 | 342 |
| Nova Iguaçu | 6 | 507 | 4 | 157 |
| Paracambi | 2 | 31 | 2 | 3 |
| Queimados | 7 | 39 | 2 | 11 |
| São Gonçalo | 8 | 628 | 4 | 158 |
| São João de Meriti | 2 | 407 | 4 | 94 |
| Seropédica | 38 | 17 | - | 17 |
| Tanguá | 3 | 17 | 1 | 5 |

Fonte: Adaptação a partir da Fundação CIDE (2001).

A atividade industrial da RMRJ conta com as classes discriminadas Quadro 11 sendo a indústria de transformação a que exhibe maior potencial poluidor em termos de emissões atmosféricas, de efluentes líquidos e de resíduos sólidos.

Quadro 11 - Principais Fontes de Emissões Industriais da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, 2002.

| Indústrias de Transformação | |
|-----------------------------|--|
| Tipologia | Nomes |
| Química | Petrobras-Gerência Industrial, Niltriflex, Paraibuna, FCC, Merck, Pan-americana, Bayer |
| Petroquímica | Reduc, Manguinhos, Petroflex, Ecolub, Polibrasil |
| Farmacêutica | Glaxo-Smithkline, Sanofi Winthrot, Procosa |
| Asfalto | Delta Construções, Reol Construtora, Metropolitana, Sanebrás Engenharia, Mirak |
| Metalúrgica | Gerdau, Vale-Sul |
| Papel | Klabin, Cibrapel |
| Fundição | Casa da Moeda, Forjas Rio, Sarcor |
| Alimentícia | Ambev, Kaiser, Nestlé |
| Têxtil | Bergitex, Marialva Têxtil |
| Cerâmica | Nossa Senhora da Conceição, Três Mangueiras, Santa Izabel |
| Naval | Eisa, Enavi, Renave |
| Geração de energia | Termoelétrica de Santa Cruz |

Fonte: Adaptação a partir da Fundação CIDE (2001).

3.1.2 Fontes Móveis

Na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, os veículos automotores constituem a principal fonte de emissão, com

destaques para as de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio. Os ônibus e veículos de carga são fontes preocupantes de material particulado (na forma de fumaça preta), por sua elevada concentração em localidades tipicamente residenciais e comerciais e normalmente com baixa ventilação. Uma contribuição indireta e não estimada, já detectada por métodos avançados de medição, constitui-se da poeira suspensa das vias de tráfego, mesmo quando pavimentadas, e na conversão dos gases para partículas (FEEMA, 2001 e INEA 2016).

A Tabela 3 apresenta dados sobre a frota circulante da RMRJ no ano de 2013 e a idade média dos veículos, separados por categoria/combustível. Entretanto, a frota circulante é uma das variáveis mais difíceis de ser definida para um inventário de fontes rodoviárias. Na categoria automóvel, a tecnologia flex de motores apresentou o maior percentual dentro do grupo (49,6%), assim como na frota da RMRJ (36,3%). Pode-se observar o domínio da nova tecnologia, o que contribui significativamente com a política de redução de emissões atmosféricas poluentes. Além disso, tal redução tende a se intensificar cada vez mais, uma vez que a maior parte dos veículos atualmente fabricados pertence a esta categoria.

A Figura 7 demonstra a contribuição de cerca de 72% da gasolina nas emissões de CO, segundo a metodologia bottom-up, seguida de proporções aproximadas dos demais combustíveis. Na emissão de NO_x, o combustível que apresenta predominância na contribuição de emissão deste poluente é o diesel, com 82%. No que diz respeito a NMHC total, destaca-se a gasolina como principal contribuinte de emissão, com aproximadamente 69%, seguida do etanol, com 16%. Já na emissão de aldeídos, as contribuições dos combustíveis apresentam maior proporcionalidade, com 58% de contribuição da gasolina, 28% do etanol e 14% do GNV. No que diz respeito à contribuição dos combustíveis nas emissões de MP escapamento, apresenta predominância absoluta o diesel, com 97%. Já no SO_x, a gasolina contribuiu com 64% das emissões desse poluente, seguida pela contribuição do diesel, com 36%.

Tabela 3 - Estimativa bottom-up da emissão veicular de CO, NMHC, RCHO, NOx, SOx e MP na RMRJ em 2013 (ton/ano).

| Categoria | Combustível | Frota | % na categoria | % na frota da RMRJ | Idade Média |
|------------------|-------------|---------|----------------|--------------------|-------------|
| Automóveis | Gasolina | 237.571 | 24.0 | 17.6 | 13 |
| | Etanol | 14.834 | 1.5 | 1.1 | 25 |
| | Flex | 491.000 | 49.6 | 36.3 | 3 |
| | GNV | 246.157 | 24.9 | 18.2 | 11 |
| Comerciais Leves | Gasolina | 45.394 | 28.4 | 3.4 | 6 |
| | Etanol | 862 | 0.5 | 0.1 | 24 |
| | Flex | 45.031 | 28.1 | 3.3 | 2 |
| | GNV | 42.092 | 26.3 | 3.1 | 10 |
| | Diesel | 26.679 | 16.7 | 2.0 | 6 |
| Ônibus | Rodoviário | 1.833 | 6.7 | 0.1 | 4 |
| | Urbano | 24.637 | 92.3 | 1.9 | 4 |
| Caminhões | Pequeno | 18.997 | 48.3 | 1.4 | 9 |
| | Médio | 7.458 | 19 | 0.6 | 22 |
| | Grande | 12.878 | 32.7 | 1.0 | 12 |
| Motociclos | Gasolina | 111.545 | 81.9 | 8.2 | 5 |
| | Flex | 24.593 | 18.1 | 1.8 | 1 |

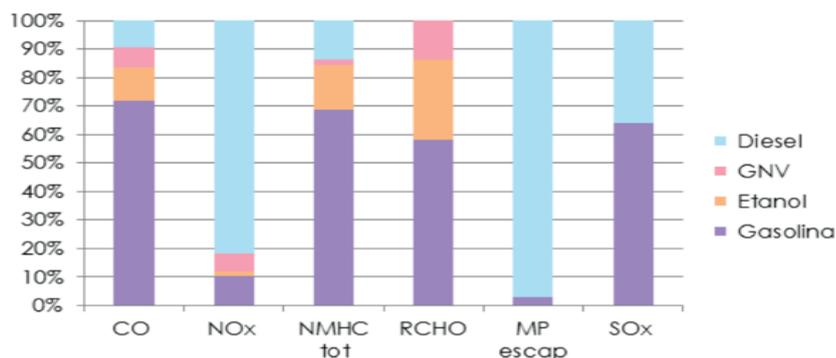


Figura 7 - Contribuição relativa de cada combustível na estimativa bottom-up e emissão de poluentes na Região Metropolitana do Rio de Janeiro em 2013.

Pode-se destacar a maior contribuição dos veículos do ciclo Otto, automóveis e motocicletas nas emissões de CO (82%) e NMHC (78%), devido aos seus fatores de emissão específicos, assim como pela grande quantidade de veículos pertencentes a estas categorias. Já o segmento de caminhões pesados e ônibus urbanos se destaca pela grande participação nas emissões de NOx (82%) e MP (65%), motivado pelos fatores de emissão e pela maior intensidade de uso desses veículos. (INEA, 2016).

A tabela 4 apresenta as estimativas das emissões dos poluentes atmosféricos, resultantes da combustão incompleta, distribuídos por zonas administrativas do Rio de Janeiro e dos demais municípios da RMRJ.

Tabela 4 - Emissões das zonas administrativas do município do Rio de Janeiro e dos demais municípios da MRJ (ton/ano).

| Regiões da RMRJ | CO | NMHC escap | NMHC evap | RCHO | MP escap | MP ressusp | Nox | Sox | Total |
|-------------------|----------|------------|-----------|-------|----------|------------|---------|--------|----------|
| Centro - RJ | 660.79 | 74.60 | 35.63 | 1.80 | 19.98 | 25.38 | 767.78 | 32.46 | 1618.41 |
| Zona Norte - RJ | 8562.96 | 664.62 | 629.14 | 31.26 | 81.70 | 298.08 | 3715.39 | 290.33 | 14273.48 |
| Zona Oeste - RJ | 6094.92 | 496.68 | 438.56 | 21.91 | 72.79 | 226.47 | 3257.57 | 234.42 | 10843.32 |
| Zona Sul - RJ | 1929.77 | 162.23 | 131.32 | 6.54 | 21.83 | 65.15 | 953.35 | 66.60 | 3336.78 |
| Outros municípios | 8085.83 | 735.08 | 546.71 | 27.32 | 154.73 | 300.75 | 6217.49 | 329.56 | 16397.47 |
| Total | 25334.27 | 2133.20 | 1781.36 | 88.83 | 351.03 | 915.83 | 14911.5 | 953.37 | 46469.47 |

Segundo o INEA (2016), para a cidade do Rio de Janeiro, o monóxido de carbono (CO) apresentou as maiores concentrações na Zona Norte (33,8 %) e Zona Oeste (24 %), representando as duas zonas juntas 57,8% do total de emissões de CO. Devido ao comprimento linear (distância em km) e a alta intensidade de fluxo nas vias dessas zonas. Além disso, segundo o Instituto Rio (2015), a região das zonas Oeste e Norte contam com uma expressiva presença de estabelecimentos econômicos e uma alta densidade industrial devido à existência dos distritos industriais de Campo Grande, Paciência (Palmares) e Santa Cruz, criados a partir da década de 1960, o que aumenta muito o número de veículos a diesel, tanto caminhões transportando carga, quanto ônibus transportando trabalhadores para estas áreas. De acordo com a tabela 4, o HCNM escapamento teve maior contribuição na Zona Norte, com 31%, e Zona Oeste, com 23%. A Zona Sul e o Centro juntos representaram apenas 11% do total de emissões do HCNM escapamento. O comportamento do HCNM evaporativo foi semelhante ao do HCNM escapamento. Porém, a zona que apresentou a maior emissão foi a Zona Norte (35 %); já o Centro foi a zona que menos contribuiu para esse poluente, com apenas 2%. A distribuição das emissões por zonas dos aldeídos (RCHO) foi praticamente igual à de HCNM evaporativo, reforçando o fato de as zonas Norte e Oeste possuírem maior intensidade de fluxo em suas vias.

As emissões por zonas do MP escapamento, poluente atmosférico muito relacionado à combustão incompleta dos veículos movidos a diesel, tiveram a maior contribuição nas zonas Norte, com 23%, e Oeste, com 21%. Essas duas áreas foram responsáveis por 44% das emissões desse poluente. O MP ressuspensão apresentou as maiores emissões na Zona Norte, com 33% do total de emissões deste poluente; na Zona Central, este apresentou as menores contribuições, com apenas 3%, representatividade muito similar às verificadas de HCNM evaporativo, já que a intensidade do fluxo das vias é seu maior peso. Observou-se que as emissões dos poluentes atmosféricos NOx e SOx, que são oriundos, majoritariamente, da combustão dos veículos movidos a diesel, apresentaram comportamentos bastante semelhantes. A Zona Norte teve uma contribuição de NOx e SOx de 25% e 30%, a Zona Oeste, de 22% e 25%. A Zona Sul (menos de 10%) e o Centro (3% e 5%) continuaram apresentando as menores emissões de óxidos de nitrogênio e óxidos de enxofre por causa da baixa circulação de caminhões, devido à aplicação do Decreto Municipal n° 29.231, de 24 de abril de 2008, pois estes são restringidos de circular nos horários de rush.

Ressalta-se que, de acordo com a Figura 8, a Avenida Brasil foi a que apresentou o maior percentual de emissão (10%). Esta via tem quase sessenta quilômetros de extensão e corta dezenas de bairros do município do Rio de Janeiro, além de ser a principal via expressa da Cidade, pois é responsável pela ligação do Estado do Rio de

Janeiro com as grandes cidades do país, dentre elas, São Paulo.

A segunda maior via poluidora de emissão veicular do Município (4%), foi a Linha Vermelha, pois, por nela passam diariamente aproximadamente 139 mil veículos (VILLELA, 2014). Esta via expressa é usada para conectar o centro da Cidade com o bairro da Ilha do Governador e as cidades da Baixada Fluminense. O intenso tráfego de veículos, exceto caminhões, influenciou este alto percentual de emissão. A Rodovia Presidente Dutra (3%) foi a terceira maior emissora. Esta rodovia é a principal ligação entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo. A via auxilia o tráfego na Rodovia Translitorânea, que liga o sul e o norte do país, pois nela circula diariamente milhares de veículos leves e pesados.

A importante via que liga vários bairros da Zona Norte – a Avenida Pastor Martin Luther King Júnior (antiga Av. Automóvel Clube; a Rodovia Washington Luís (BR-040), rodovia federal radial que liga o Estado de Minas Gerais ao Rio de Janeiro; e a RJ-081 (Via light), via expressa do Estado do Rio de Janeiro, que liga os municípios do Rio de Janeiro a Nova Iguaçu, atravessando os municípios de São João de Meriti, Nilópolis e Mesquita, todas presentes na Baixada Fluminense, apresentaram contribuições de emissões similares, de 2%. Tanto a Estrada Ayrton Senna da Silva – que fica em Itaguaí, ligando o porto de Itaguaí ao distrito industrial de Santa Cruz – quanto a Avenida das Américas – relevante avenida da Barra da Tijuca, uma das maiores e mais famosas avenidas do Rio de Janeiro, cortando os bairros da Barra da Tijuca, do Recreio dos Bandeirantes e de Guaratiba, na Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro – apresentaram percentual de contribuição de 2%.

Esperava-se que a poluição do ar fosse aumentar de 2001 a 2013 devido ao aumento global da demanda por transporte individual. Entretanto, a intensificação dos programas de controle de emissões veiculares, tanto em âmbito federal (PROCONVE) quanto estadual, no que tange aos estreitamentos dos limites de emissão e ao aumento da abrangência da frota inspecionada no estado do Rio de Janeiro, possibilitou a notória melhora da manutenção da frota circulante e consequente redução nas emissões de poluentes atmosféricos dos veículos licenciados na RMRJ, entre 75% e 95%.

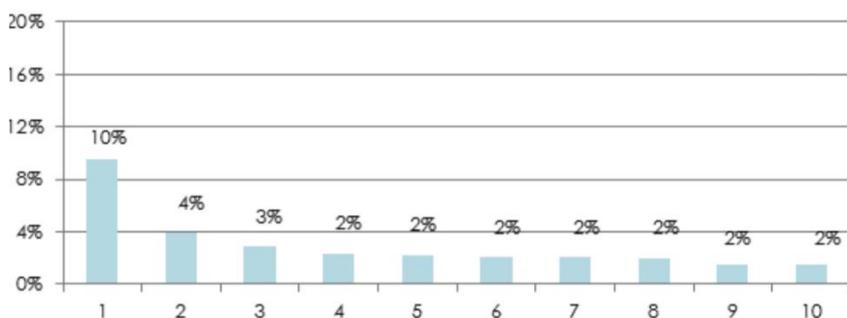


Figura 8 - Percentual de contribuição das emissões das principais vias na RMRJ: 1 - Avenida Brasil (BR-101), 2 - Avenida Presidente João Goulart (Linha Vermelha), 3 - Rodovia Presidente Dutra (BR-116), 4 - Avenida Pastor Martin Luther King Júnior, 5 - Rodovia Washington Luís (BR-040), 6 RJ-081 (Via Light), 7 - Estrada Ayrton Senna da Silva, 8 - Rodovia RJ-125,

3.2 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

A concentração dos poluentes de uma determinada região deve-se, em grande parte, às condições meteorológicas locais. Portanto, para avaliar a dispersão de poluentes é imprescindível o conhecimento dos fenômenos que reagem na atmosfera.

Situações meteorológicas distintas, mas com idênticas emissões de poluentes, poderão apresentar concentrações atmosféricas completamente diferentes, devido à influência das condições da atmosfera. A estabilidade atmosférica, a ocorrência de chuvas, a umidade, a nebulosidade, a presença de nuvens convectivas, o regime de ventos, a umidade relativa do ar, a radiação solar, a temperatura ambiente, a altura da camada de mistura, são fatores climáticos locais que interferem no tempo de permanência dos poluentes na atmosfera. A circulação geral também interfere na dispersão, uma vez que a movimentação das grandes massas de ar afeta a circulação local.

A estabilidade atmosférica afeta o movimento vertical do ar. Convecção e turbulência são aumentados quando a atmosfera é instável. Poluentes emitidos quando a atmosfera está instável são misturados com maior eficácia do que quando há estabilidade, pois esta inibe o transporte dos poluentes do ar.

Os processos atmosféricos e a circulação associados aos grandes centros de pressão determinam e afetam o estado do tempo sobre os continentes e grandes oceanos do globo. Os centros de alta pressão denominados anticiclones estão associados às condições de tempo caracterizadas por grande estabilidade com pouca mistura vertical e, portanto, fraca dispersão dos poluentes. Ao aproximar-se um sistema de baixa pressão ocorrem condições de instabilidade e de grande turbulência favorecendo a dispersão de poluentes. Essas situações que influenciam as condições de turbulência e de estabilidade da atmosfera têm, por vezes, durações prolongadas podendo, nas condições desfavoráveis à dispersão, propiciar episódios de altas concentrações de poluentes.

As nuvens convectivas agem na dispersão dos poluentes, retirando o ar que está abaixo delas e levando-o para cima e, em contrapartida, trazendo do ar de cima, mais puro, para baixo. Outro processo é o da remoção de poluentes pela interação das partículas com o vapor d'água, quando as substâncias são dissolvidas ou agregadas aos pingos de chuva.

O vento depende das condições meteorológicas e dos gradientes de temperatura e pode contribuir na dispersão dos poluentes, causando assim a sua diluição. A geografia do local também influencia na sua dinâmica. Os obstáculos na superfície da Terra, como montanhas, construções e outros podem contribuir na diminuição da velocidade do vento. Desse modo, em áreas urbanas a dispersão dos poluentes diminui quando o vento encontra impedimentos em seu caminho.

Na camada de ar mais próxima à superfície da Terra (troposfera), a temperatura do ar diminui com a altitude, e assim o ar fica mais frio em lugares mais altos. O ar frio tende a descer, porque é mais denso, e o ar quente a subir, pois é menos denso. As inversões ocorrem quando uma camada acima fica mais quente que a inferior. Em algumas situações, especialmente junto às encostas de montanhas ou em vales, ocorrem inversões devido à interposição de uma camada de ar frio entre duas camadas de ar quente, evitando que as correntes de convecção se formem. Desta forma, o ar junto ao solo fica estagnado e não sofre renovação. Essa é uma das razões que para que a dispersão dos poluentes atmosféricos no Rio de Janeiro seja dificultada.

A altura da camada de mistura é definida com a base da inversão de temperatura em relação à altitude. Sendo assim, o ciclo diurno da camada de mistura é diretamente influenciado pela variação da temperatura de superfície,

que oscila principalmente pela intensidade dos raios solares. Sua maior extensão vertical ocorre durante o dia, quando são registrados os maiores valores de temperatura. Nos períodos em que há uma menor disponibilidade de energia proveniente do Sol, o crescimento da camada de mistura é limitado, contribuindo para aumento das concentrações dos poluentes (Stull, 1991).

Quando o Sol se põe, o resfriamento da atmosfera próxima à superfície ocorre mais rápido que o da atmosfera superior. É iniciada uma situação de inversão de temperatura que faz com que uma camada de ar frio fique sobreposta entre uma camada de ar quente, impedindo o movimento ascendente do ar atmosférico. Esta é uma camada termodinamicamente estável, denominada de Camada Limite Noturna (CLN) e atinge dezenas de metros de altura. Os poluentes ficam estagnados próximos ao solo (Stull, 1991).

Sobre a CLN permanece uma camada chamada Camada Residual (CR), que mantém aprisionados os poluentes do dia anterior até início do dia seguinte, quando esta é rompida. Tal processo propicia o acúmulo de poluentes de um dia para outro, contribuindo com a elevação da concentração dos mesmos (Stull, 1991), como é o caso do ozônio.

As chuvas influenciam na qualidade do ar de maneira acentuada, sendo um importante agente de depuração da atmosfera, principalmente em relação às partículas presentes na atmosfera e aos gases solúveis ou ativos com a água (Vaz, 2008).

As implicações diretas da radiação solar na qualidade do ar dizem respeito à participação desta na formação de oxidantes atmosféricos como poluentes secundários. O ozônio, que é formado na atmosfera por reações fotoquímicas que dependem da intensidade da radiação solar, apresenta uma distribuição de episódios ao longo dos meses totalmente distinta dos poluentes primários (Alvim, 2012).

Indiretamente, um maior período de insolação pode induzir maior aquecimento da superfície, que pode resultar no surgimento de movimentos verticais localizados, transferindo energia para a atmosfera e ocorrendo turbulência e mistura nos baixos níveis.

A temperatura do ar constitui um parâmetro de interesse para o estudo da dispersão de poluentes. Temperaturas mais elevadas conduzem à formação de movimentos verticais ascendentes mais pronunciados – convecção - gerando um eficiente arrastamento dos poluentes localizados nos níveis mais baixos para os níveis mais elevados. Por outro lado, temperaturas mais baixas não induzem aos movimentos verticais termicamente induzidos, o que permite a manutenção de poluentes atmosféricos em níveis mais baixos (Damilano, 2006), elevando as concentrações de poluentes atmosféricos⁶.

3.3 CONDIÇÕES DE CONTORNO

A cidade do Rio de Janeiro apresenta uma intensa radiação solar durante todo o ano, sendo muito maior no verão, posicionando-se numa região de interação entre os sistemas polares e intertropicais. Seu sítio urbano é bastante complexo, caracterizado por um relevo montanhoso, representado pelos maciços litorâneos (Tijuca, Pedra Branca

⁶Fonte: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-08112013-102012/publico/2013AlvimEstudo.pdf>

e Gericinó), algumas serras, morros isolados e ilhas; e as zonas das amplas baixadas (Guanabara, Jacarepaguá e Sepetiba). Este relevo cria divisores microclimáticos naturais que influenciam a ventilação e, assim, os mecanismos de transporte e dispersão dos poluentes atmosféricos (RUSSO, 2010).

Maia et al. (1990) acrescentam que, por se localizar próximo ao mar e à Baía de Guanabara, o município está sujeito ao processo de recirculação permanente entre a brisa marinha, que ocorre durante o dia, e a brisa terrestre, que ocorre à noite, influenciando no entendimento da dinâmica dos poluentes na atmosfera. Condições estas que favorecem a formação de ozônio e dificultam a dispersão de poluentes atmosféricos.

3.4 CONDIÇÕES DE CONTORNO E PANORAMA DOS POLUENTES MONITORADOS NA REDE MONITORAR-RIO

A descrição sucinta do entorno de cada Estação Fixa de Monitoramento da Qualidade do Ar da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro está apresentada a seguir:

3.4.1 Estação Centro

A área de estudo do entorno no raio de 2km da Estação Centro abrange integralmente os bairros Centro, Glória e Saúde e, parcialmente, os bairros da Gamboa, Cidade Nova, Catumbi, Santa Teresa, Catete e Flamengo. Inclui parte das Áreas de Planejamento 1 e 2 (Quadro 12).

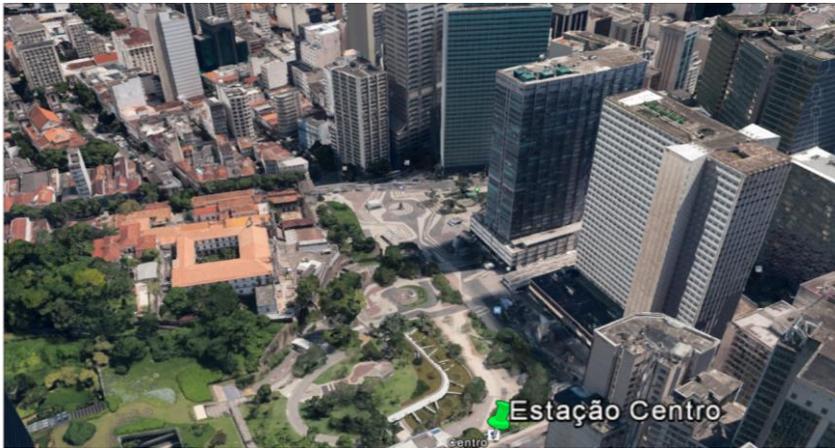
Quadro 12 - Dados gerais e foto da estação Centro

| Estação | CENTRO |
|-----------------------|----------------------|
| Endereço | Largo da Carioca s/n |
| Bairro | Centro |
| Região administrativa | 1ªRA –CENTRO |
| Área de Planejamento | 1 e 2 |
| Latitude | 22°54'30.02"S |
| Longitude | 43°10'41.36"O |



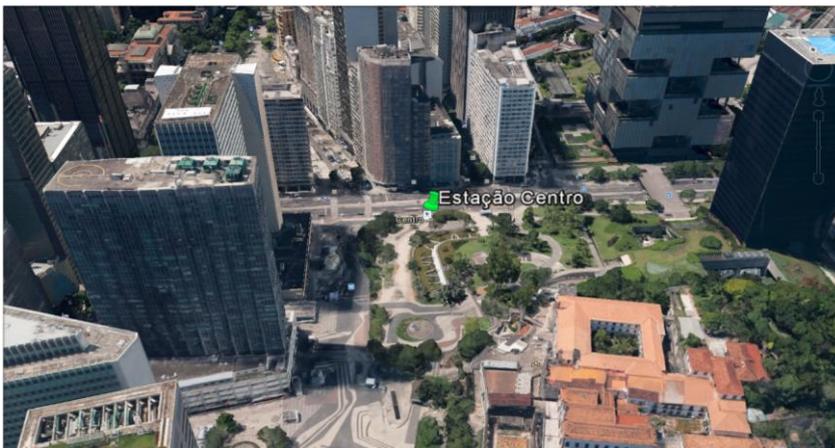
Fonte: PCRJ/SMAC/CMA-GMAR – Gerência de Monitoramento do Ar.

Figura 9 - Visão aérea do entorno da estação Centro.



Fonte: Google Earth.

Figura 10 - Visão aérea do entorno da estação Centro.



Fonte: Google Earth.

Nos quadrantes nordeste e sudeste, a área de estudo é constituída em grande parte por terrenos de baixada e pela faixa litorânea da Baía de Guanabara. No quadrante noroeste, na borda do Maciço da Tijuca, as áreas de encosta ultrapassam a cota 100m no bairro de Santa Teresa. Quanto ao uso do solo, a região de estudo foi totalmente ocupada por áreas antrópicas, atualmente a maioria dos prédios comerciais e estabelecimentos de serviço e comércio estão vazios. Abriga ainda grandes porções de área de atividade institucional militar, área portuária, aeroportuária – o Aeroporto Santos Dumont. A atividade residencial é encontrada principalmente nos bairros da Saúde, Gamboa, Santa Teresa, Catete e Flamengo (Figura 9 e 10).

Artérias principais – Av. Presidente Vargas, Praça Mauá, Av. Alfredo Agache, Av. General Justo e Av. Beira- Mar; Artérias secundárias – Av. Rodrigues Alves, Av. Venezuela, Rua Camerino, Av. Passos, Praça da República, Rua Frei Caneca, Túnel Martim de Sá, Av. Henrique Valadares, Rua da Relação, Av. Mem de Sá, Av. República do Paraguai, Rua da Lapa, Rua Senador Dantas, Av. Rio Branco, Av. Presidente Antônio Carlos, Rua Primeiro de Março e Av. Marechal Câmara.

A Avenida Almirante Barroso, via arterial secundária situada a menos de 15m da estação, recebe fluxo veicular intenso durante o período do dia. A presença de ponto de ônibus a menos de 20m pode ser considerada fonte emissora em potencial de precursores para formação do poluente ozônio, além de dióxido de enxofre e material particulado. Como fonte fixa de maior potencial poluidor tem-se o Edifício Garagem Menezes Cortes, a cerca de 400m (Tabela 5).

Os ventos são distribuídos em todas as direções, apresentando predominância dos vindos da direção leste, devido à influência da brisa marítima. As edificações no entorno da estação exercem certa influência na direção do vento. Na lateral da estação encontra-se a Avenida Chile, que forma um corredor que se inicia na Praça do Expedicionário, próximo à Praça XV. Esse corredor margeado por prédios altos canaliza o vento proveniente da Baía de Guanabara, levando-o diretamente para a estação, fazendo com que haja uma segunda componente dominante na direção nordeste, alinhada com a avenida. Os ventos mais intensos são observados nas direções leste e nordeste.

Tabela 5 - Fontes fixas e móveis no entorno da estação Centro – 2012.

| Fontes fixas | Total |
|---|-------|
| Aeroporto | 1 |
| Atividade extrativa | - |
| Cemitério | - |
| Posto de serviço | 9 |
| Porto/ Marina/ Terminal hidroviário | 1 |
| Shopping center | 1 |
| Terminal rodoviário/ Garagem | 7 |
| Túnel | 1 |
| Usina de asfalto | - |
| Atividade com potencial poluidor licenciada pela SMAC | 8 |
| Atividade com potencial poluidor licenciada pelo INEA | 8 |

A estação Centro está localizada em área distante de atividades industriais, contudo, próxima à grande circulação de veículos e transeuntes, estabelecimentos de serviços e escritórios. Desta forma, considerou-se que as concentrações medidas para cada poluente possuem estreita relação com as emissões de fontes móveis. As características urbanas e a proximidade com o mar caracterizam a direção de vento leste como predominante.

3.4.2 Estação Copacabana

A área de estudo no raio de 2km da Estação Copacabana abrange integralmente os bairros de Copacabana, Leme e, parcialmente, os bairros da Urca, Botafogo, Humaitá e Lagoa, referente a Área de Planejamento 2 (Quadro 13).

Quadro 13 - Dados gerais e foto da estação Copacabana.

| |
|--|
| Estação ARCOVERDE COPACABANA |
| Endereço Praça Cardeal Arcoverde |
| Bairro Copacabana |
| Região Administrativa 5ª RA – COPACABANA |
| Área de Planejamento 2 |
| Latitude 22°57'53.95"S |
| Longitude 43°10'49.75"O |

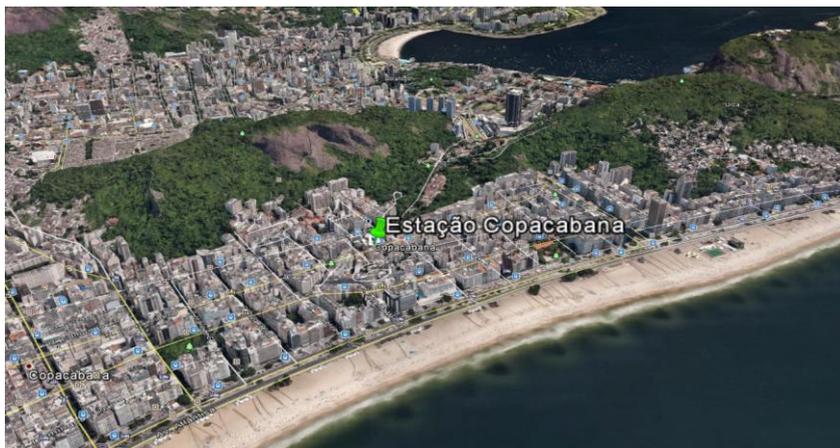


Fonte:PCRJ/SMAC/CMA-GMAR – Gerência de Monitoramento do Ar.



Fonte: Google Earth.

Figura 11 - Visão aérea do entorno da estação Copacabana.



Fonte: Google Earth.

Figura 12 - Visão aérea do entorno da estação Copacabana.

No quadrante sudeste, é constituída em grande parte pela faixa litorânea da Praia de Copacabana, enquanto nos quadrantes noroeste, nordeste e sudoeste as áreas de encosta de altas declividades definem a microbacia de Copacabana e ultrapassam a cota 100m. No quadrante sudoeste, o Morro dos Cabritos atinge 375m. Quanto ao uso do solo, a área antrópica é categoria predominante, caracterizada pela verticalização e pela alta densidade populacional. Reúne também considerável parcela de áreas naturais, turísticas e de lazer da Cidade.

A característica marcante da região, constituída por edifícios de oito pavimentos em média e sem afastamento lateral, permite classificar a via como canyon urbano, com risco de acumulação da poluição atmosférica. A via mais próxima, considerada arterial secundária, situa-se a 20m do ponto de amostragem, contém quatro faixas de trânsito veicular, sendo duas dessas exclusivas para ônibus nos dias úteis. O ponto de ônibus situado entre a via e a estação provoca uma queda na velocidade média dos veículos que circulam no local, além de paradas constantes para embarque e desembarque de passageiros, o que pode aumentar as contribuições de poluentes atmosféricos. Como fonte fixa no entorno, destaca-se o posto de serviço localizado a 70m da estação. As atividades licenciadas pela SMAC no bairro envolvem, em sua maioria, serviços de mecânica automotiva (Tabela 6).

A localização, entre o Morro de São João e a Praia de Copacabana, proporciona o recebimento da brisa vale/montanha e da brisa marítima. Ambas são fundamentais na predominância do vento na estação. Neste caso, a direção predominante norte/nordeste é dada pela brisa da montanha, enquanto a segunda predominância é sentida na direção sudeste, de origem marítima. No tocante à velocidade, observa-se que a brisa marítima costuma ser mais intensa. De forma geral, na Estação Copacabana as direções dos ventos são mais distribuídas na rosa dos ventos, fator favorável à dispersão de poluentes (Figuras 11 e 12).

Categoria arterial principal – Av. Pasteur, Av. Lauro Sodré, Av. Princesa Isabel, Av. Atlântica, Rua Bolívar e Rua Miguel Lemos. Categoria arterial secundária – Rua São Clemente, Rua Voluntários da Pátria, Rua Real Grandeza, Túnel Velho, Rua Siqueira Campos, Rua Figueiredo Magalhães, Rua Barata Ribeiro e Av. Nossa Senhora de Copacabana.

Tabela 6 - Fontes fixas e móveis no entorno da estação Copacabana – 2012.

| Fontes fixas | Total |
|---|-------|
| Aeroporto | - |
| Atividade extrativa | - |
| Cemitério | 1 |
| Posto de serviço | 16 |
| Porto/ Marina/ Terminal hidroviário | 1 |
| Shopping center | 4 |
| Terminal rodoviário/ Garagem | - |
| Túnel | 5 |
| Usina de asfalto | - |
| Atividade com potencial poluidor licenciada pela SMAC | 9 |
| Atividade com potencial poluidor licenciada pelo INEA | - |

3.4.3 Estação São Cristóvão

A área de estudo do entorno no raio de 2km da Estação São Cristóvão abrange integralmente os bairros de São Cristóvão e Vasco da Gama e, parcialmente, os bairros do Caju, Manguinhos, Benfica, Mangueira, São Francisco Xavier, Maracanã, Praça da Bandeira, Santo Cristo e Cidade Nova. Inclui parte das Áreas de Planejamento 1, 2 e 3 (Quadro 14).

Quadro 14 - Dados gerais e foto da estação São Cristóvão.

| Estação SÃO CRISTÓVÃO | |
|-----------------------|-----------------------------|
| Endereço | Campo de São Cristóvão, s/n |
| Bairro | São Cristóvão |
| Região Administrativa | 7ª RA – São Cristóvão |
| Áreas de Planejamento | 1, 2 e 3 |
| Latitude | 22°53'52.03"S |
| Longitude | 43°13'18.28"O |



Fonte: PCRJ/SMAC/CMA-GMAR – Gerência de Monitoramento do Ar.

A área de estudo considerada é constituída em grande parte por áreas de baixada resultantes de aterros da orla realizados em diferentes períodos da evolução da cidade. A Serra do Engenho Novo, nos quadrantes nordeste e sudoeste, é a área mais elevada e alcança a cota de 115m. O quadrante nordeste abrange a faixa litorânea remanescente da orla original. Quanto ao uso do solo, a região é totalmente ocupada por áreas antrópicas, subdivididas pelas categorias de área urbana e vegetação arbóreo-arbustiva. Concentra grande diversidade de usos, incluindo áreas com alta concentração de núcleos habitacionais de média e baixa renda e expressivo número de estabelecimentos de uso industrial. Destaca-se a grande área destinada ao uso de cemitério, com a presença do conjunto conhecido como Cemitério do Caju. Observa-se ainda como característica relevante o considerável trecho da área da atividade portuária e de áreas de uso industrial, grupo em que se destaca a Usina Municipal de Asfalto (Figura 13 e 14).

As atividades gastronômicas e culturais existentes no Campo de São Cristóvão acarretam a circulação de veículos de carga e descarga, conferindo fonte de emissão adicional a aproximadamente 20m do ponto de coleta de ar da estação durante os períodos da manhã e da tarde. A via de mesmo nome, que contorna o Campo de São Cristóvão, localizada a 50m da estação, é classificada como via arterial secundária. Dois postos de abastecimento, um situado a 180m a sudoeste e outro a 270m a sudeste, além de um estabelecimento com chaminé de caldeira industrial, podem ser citados como as fontes fixas de maior influência (Tabela 7).

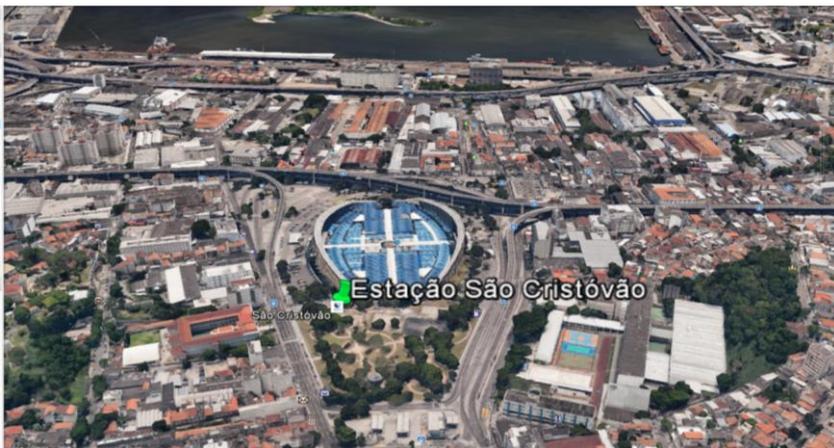
O fator determinante da direção do vento na Estação São Cristóvão é a brisa. A proximidade com o edifício do Pavilhão de São Cristóvão parece exercer grande influência na direção nordeste/sudoeste. Medições realizadas pela estação do Alerta-Rio, a cerca de 100m da estação, demonstram ventos soprando em todas as direções. No entanto, os ventos predominantes observados estão nas direções norte/leste. Tal fato evidencia a influência do Pavilhão de São Cristóvão no escoamento local. A estação apresenta ventos de sudoeste com maior intensidade.

Arterial principal – Av. Brasil, Ponte Costa e Silva, Viaduto Cap. Sérgio de Carvalho, Av. Presidente Castelo Branco, Rua Teixeira Soares, Rua Mariz e Barros, Rua São Francisco Xavier. Arterial secundária – Av. Presidente João Goulart, Rua Bela, Rua Gal. Herculano Gomes, Av. Bartolomeu de Gusmão, Rua Couto de Magalhães, Rua Prefeito Olímpio de Melo, Av. Maracanã, Rua Francisco Eugênio, Av. Rio de Janeiro.



Fonte: Google Earth.

Figura 13 - Visão aérea do entorno da estação São Cristóvão.



Fonte: Google Earth.

Figura 14 - Visão aérea do entorno da estação São Cristóvão.

Tabela 7 - Fontes fixas e móveis no entorno da estação São Cristóvão – 2012.

| Fontes fixas | Total |
|---|-------|
| Aeroporto | - |
| Atividade extrativa | - |
| Cemitério | 4 |
| Posto de serviço | 33 |
| Porto/ Marina/ Terminal hidroviário | 1 |
| Shopping center | - |
| Terminal rodoviário/ Garagem | 1 |
| Túnel | - |
| Usina de asfalto | - |
| Atividade com potencial poluidor licenciada pela SMAC | 15 |
| Atividade com potencial poluidor licenciada pelo INEA | 26 |

3.4.4 Estação Tijuca

A área de estudo do entorno no raio de 2km da Estação Tijuca abrange parcialmente os bairros da Tijuca, Rio Comprido, São Francisco Xavier, Maracanã, São Cristóvão, Mangueira, Vila Isabel, Andaraí, Alto da Boa Vista e Santa Teresa. Inclui parte das Áreas de Planejamento 1 e 2 (Quadro 15).

Quadro 15 - Dados gerais e foto da estação Tijuca.

| Estação TIJUCA | |
|-----------------------|-----------------------|
| Endereço | Praça Saens Pena, s/n |
| Bairro | Tijuca |
| Região Administrativa | 8ª RA– Tijuca |
| Área de Planejamento | 2 |
| Latitude | 22°55'30.07"S |
| Longitude | 43°13'57.33"O |



Fonte: PCRJ/SMAC/CMA-GMAR – Gerência de Monitoramento do Ar.

A área de estudo considerada é constituída, nos setores noroeste, nordeste e parte do sudoeste, por terreno plano, de altitude variando de 5 a 25m entre as encostas da Serra do Engenho Novo e do Maciço da Tijuca. O quadrante sudeste, constituído por parte da vertente norte do Maciço da Tijuca, apresenta extensas áreas de altas declividades e altitude acima de 500m. Quanto ao uso do solo, apresenta-se ocupada por áreas antrópicas em sua maior parte, onde o uso predominante é o da categoria de área urbana. Destaca-se no setor sudeste a presença de áreas de vegetação natural na encosta do Maciço da Tijuca e a presença do Parque Nacional da Tijuca, subdivididas em vegetação secundária e afloramento rochoso. Concentra importante núcleo habitacional de classe média, caracterizado pela verticalização e pela alta densidade populacional, e o complexo desportivo do Maracanã, o mais antigo e principal da Cidade (Figuras 15 e 16).

A Praça Saens Peña situa-se junto à Rua Conde de Bonfim, classificada como via arterial secundária de grande importância para a região. Abriga duas das saídas dos usuários de metrô no município, além de comércio com grande circulação de pedestres ao longo do dia. Os edifícios ao redor da praça formam uma barreira que dificulta

a circulação dos ventos e, conseqüentemente, a dispersão dos poluentes (Tabela 8).

A Estação Tijuca apresenta uma distribuição espacial dos ventos muito diferente das demais estações da rede MonitorAr-Rio. Neste caso, não se verifica a influência direta da brisa marítima e sim da proximidade com o Maciço da Tijuca, fazendo com que seja a brisa da montanha o fator decisivo da direção predominante. A ausência de ventos do quadrante norte faz com que, nessa estação, o índice de calmaria seja elevado.

Arterial principal – Rua São Francisco Xavier, Av. Presidente Castelo Branco, Rua Mariz e Barros. Arterial secundária – Av. Bartolomeu de Gusmão, Viaduto de São Cristóvão, Av. Maracanã, Boulevard 28 de Setembro, Rua Teodoro da Silva, Av. Manoel de Abreu, Rua Barão de São Francisco, Rua Barão de Mesquita, Av. Maracanã, Rua Conde de Bonfim, Rua G^{al}. Roca, Av. Heitor Beltrão, Rua Haddock Lobo.

Tabela 8 - Fontes fixas e móveis no entorno da estação Tijuca – 2012.

| Fontes fixas | Total |
|---|-------|
| Aeroporto | - |
| Atividade extrativa | - |
| Cemitério | - |
| Posto de serviço | 29 |
| Porto/ Marina/ Terminal hidroviário | - |
| Shopping center | 4 |
| Terminal rodoviário/ Garagem | - |
| Túnel | - |
| Usina de asfalto | - |
| Atividade com potencial poluidor licenciada pela SMAC | 8 |
| Atividade com potencial poluidor licenciada pelo INEA | - |

Fonte: PCRJ/SMAC/CGCA/CCA – Gerência de Estudos e Controle Ambiental, PCRJ/SMAC/CMA/GMT – Gerência de Monitoramento Territorial, PCRJ/SMAC/CMA/GMAR – Gerência de Monitoramento do Ar, PCRJ/SMAC/CPA/GPA – Gerência de Proteção Ambiental, PCRJ/SMTR – Secretaria Municipal de Transportes, PCRJ/SMU – Instituto Pereira Passos, ANP – Agência Nacional de Petróleo, INEA – Instituto Estadual do Ambiente, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Censo 2010.



Fonte: Google Earth.

Figura 15 – Visão aérea do entorno da estação Tijuca.



Fonte: Google Earth.

Figura 16 - Visão aérea do entorno da estação Tijuca.

3.4.5 Estação Irajá

A área de estudo no raio de 2km da Estação Irajá está localizada na área central do bairro de mesmo nome e abrange parcialmente os bairros de Jardim América, Vigário Geral, Parada de Lucas, Cordovil, Brás de Pina, Vila da Penha, Irajá, Colégio, Coelho Neto, Acari e Parque Colúmbia. Apenas o bairro de Vista Alegre encontra-se integralmente no interior de seus limites. A área está totalmente incluída na Área de Planejamento 3 (Quadro 16).

Quadro 16 - Dados gerais e foto da estação Irajá.

| Estação | IRAJÁ |
|-----------------------|---|
| Endereço | Praça N. S. da Apresentação (em frente ao Cemitério de Irajá) |
| Bairro | Irajá |
| Região Administrativa | 14ª RA – IRAJÁ |
| Área de Planejamento | 3 |
| Latitude | 22°49'53"71S |
| Longitude | 43°19'36.71"O |



Fonte: PCRJ/SMAC/CMA-GMAR – Gerência de Monitoramento do Ar.

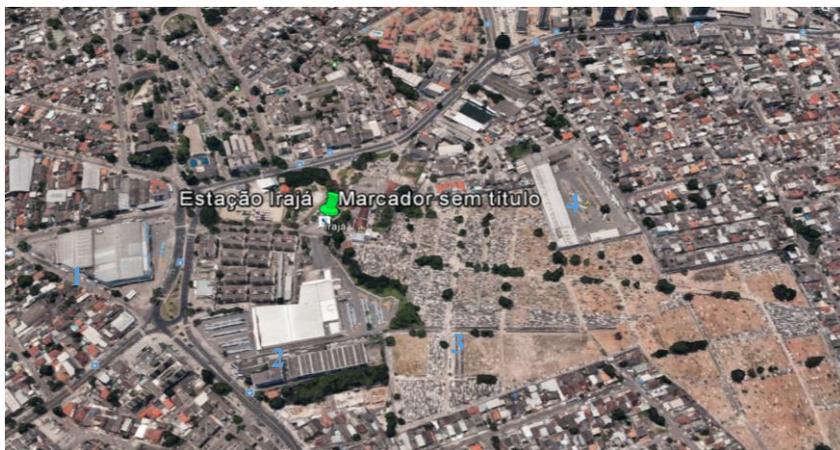
A área é constituída de elevações suaves que não ultrapassam os 70m de altitude. Os pontos mais altos estão situados nos quadrantes sudoeste e sudeste. Quanto ao uso do solo, a área é totalmente ocupada pela categoria de área antrópica, subdividida pelas categorias de área urbana, vegetação arbóreo-arbustiva e vegetação gramíneo-lenhosa, sendo a maior parte dessas nos quadrantes noroeste e nordeste.

A Praça Nossa Senhora da Apresentação se destaca pelas atividades comerciais e pela presença do Cemitério de Irajá e da Nave do Conhecimento, situada na mesma praça. Quatro postos de abastecimento ficam situados

no raio de 400m da estação, sendo o mais próximo distante em 240m. A Estrada da Água Grande é considerada arterial principal e fica localizada a aproximadamente 112m do ponto de monitoramento (Tabela 9).

A Estação Irajá não está localizada em uma região próxima ao mar, mas ainda assim sofre influência do efeito da brisa que avança para o interior da Cidade. Tal fato fica ressaltado ao observar que a direção predominante dos ventos leste/sudeste, na região, coincide com a posição do mar. Já na direção de maior intensidade dos ventos, sudoeste, a posição em áreas mais elevadas do bairro caracteriza um efeito de brisa de montanha.

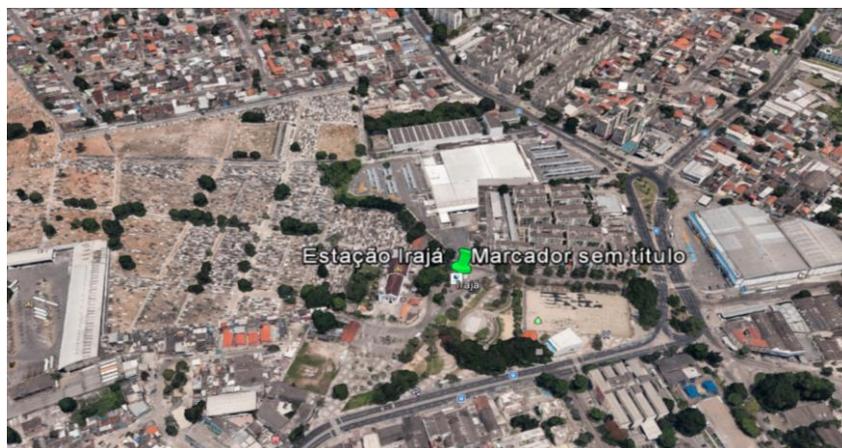
Arterial principal – Av. Brasil, Rua Hannibal Porto, Estrada da Água Grande, Rua Monsenhor Félix, Trevo das Margaridas. Arterial secundária – Av. Automóvel Club, Estrada Padre Roser, Av. Pastor Martin Luther King (Figuras 17 e 18).



Fonte: Google Earth.

Figura 17 - Visão aérea do entorno da estação Irajá.

Figura 18 - Visão aérea do entorno da estação Irajá.



Fonte: Google Earth.

Tabela 9 - Fontes fixas e móveis no entorno da estação Irajá – 2012.

| Fontes fixas | Total |
|---|-------|
| Aeroporto | - |
| Atividade extrativa | 1 |
| Cemitério | 1 |
| Posto de serviço | 33 |
| Porto/ Marina/ Terminal hidroviário | - |
| Shopping center | - |
| Terminal rodoviário/ Garagem | - |
| Túnel | - |
| Usina de asfalto | - |
| Atividade com potencial poluidor licenciada pela SMAC | 7 |
| Atividade com potencial poluidor licenciada pelo INEA | 26 |



A Estação de Irajá recebe influência da circulação de automóveis que chegam ao Rio de Janeiro através da Rodovia Presidente Dutra, e passam pela Avenida Brasil em direção à zona oeste do Município. Parte do fluxo veicular da região segue pela Rua Hannibal Porto e Estrada da Água Grande, ambas classificadas como arterial principal, passando próximo à Estação. A área apresenta densidade populacional heterogênea. Também são encontradas atividades industriais na região de estudo.

3.5.6 Bangu

A área de estudo no raio de 2km da Estação Bangu abrange parcialmente os bairros de Bangu, Senador Camará

e Padre Miguel. A área está totalmente incluída na Área de Planejamento 5 (Quadro 17).

Quadro 17 - Dados gerais e foto da estação Bangu.

| Estação BANGU | |
|-----------------------|--|
| dereção | Rua Mongólia, s/n (Espaço de Desenvolvimento Infantil Prof.ª Tânia Maria Larrubia Gomes) |
| Bairro | Bangu |
| Região Administrativa | 17ª RA – BANGU |
| Área de Planejamento | 5 |
| Latitude | 22°53'16.53"S |
| Longitude | 43°28'15.91"O |

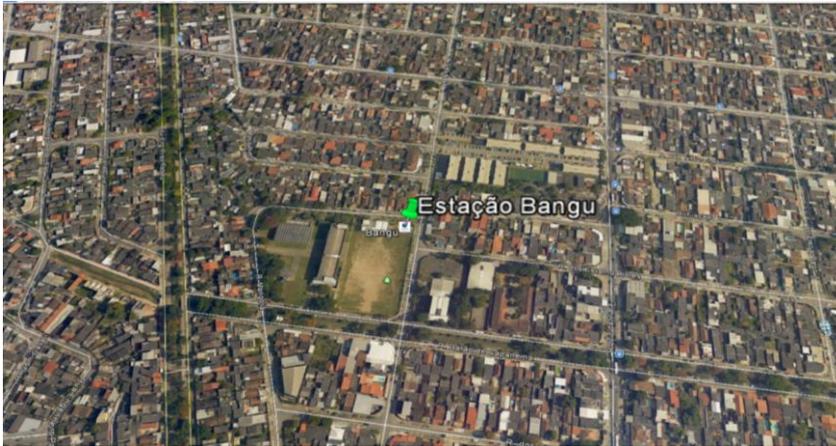
Fonte: PCRJ/SMAC/CMA-GMAR – Gerência de Monitoramento do Ar.

A área de estudo considerada é constituída por terrenos de baixada nos setores noroeste e nordeste, com altitudes em torno de 40m. Nos setores sudoeste e sudeste há forte variação do terreno e áreas de altas declividades da encosta do Maciço da Pedra Branca, que ultrapassam a cota de 500m. Quanto ao uso do solo, a ocupação predominante é pelas áreas antrópicas. Nos setores noroeste e nordeste prevalece a categoria de área urbana. Nos setores sudoeste e sudeste observa-se também a presença de áreas de vegetação natural, representada pela classe de vegetação secundária, que convive estreitamente com porções de vegetação arbóreo-arbustiva e vegetação gramíneo-lenhosa e consideráveis áreas de reflorestamento. Nos setores nordeste e sudeste, há ainda áreas da classe de exploração mineral. Como parte integrante da Área de Planejamento 5, a área pode ser considerada de expansão urbana, ao mesmo tempo que concentra núcleos habitacionais de média e baixa renda, indústrias e atividade rural.

A edificação mais próxima encontra-se a aproximadamente 25m ao sul da estação, possuindo 8 m de altura, não se caracterizando como anteparo para a dispersão de ventos no local. A via de tráfego situada a 7m ao norte apresenta fluxo veicular reduzido, sendo denominada como via local. Entre as principais fontes fixas de emissões atmosféricas destacam-se dois postos de serviço de abastecimento, estando o mais próximo localizado a 305m da estação (Tabela10).

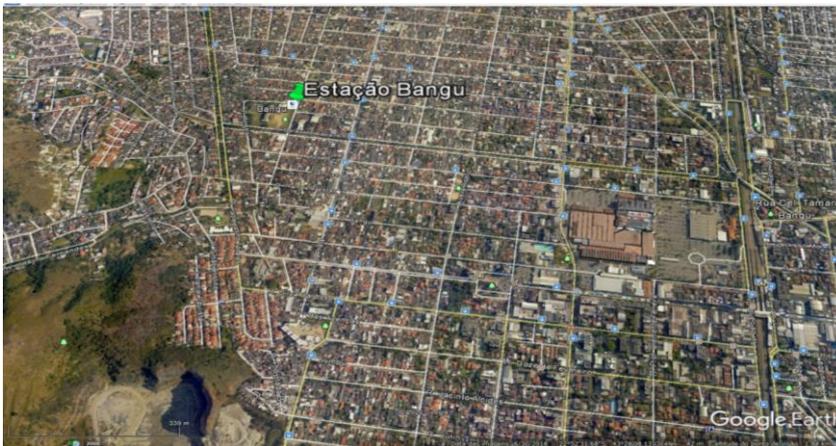
A Estação Bangu está situada em uma região de vale entre dois maciços da cidade do Rio de Janeiro, Gericinó e Pedra Branca. Desta forma, pode-se constatar que os ventos predominantes na estação estão relacionados à brisa de montanha, o que caracteriza as direções sudoeste e noroeste como as principais influências em termos da direção dos ventos nessa localidade. Tal fator contribui para a dispersão dos poluentes na região (Figura 19 e 20). Arterial principal – Av. Santa Cruz.

Figura 19 - Visão aérea do entorno da estação Bangu.



Fonte: Google Earth.

Figura 20 - Visão aérea do entorno da estação Bangu.



Fonte: Google Earth.

Tabela 10 - Fontes fixas e móveis no entorno da estação Bangu – 2012.

| | Fontes fixas | Total |
|-------------------------------------|--------------|-------|
| Aeroporto | - | - |
| Atividade extrativa | - | 3 |
| Cemitério | - | - |
| Posto de serviço | - | 8 |
| Porto/ Marina/ Terminal hidroviário | - | - |
| Shopping center | - | - |
| Terminal rodoviário/ Garagem | - | - |
| Túnel | - | - |

| Fontes fixas | Total |
|---|-------|
| Usina de asfalto | |
| Atividade com potencial poluidor licenciada pela SMAC | 8 |
| Atividade com potencial poluidor licenciada pelo INEA | 1 |

Devido às características topográficas do bairro, a dispersão atmosférica é desfavorecida. Além disso, constantemente o campo de futebol que fica ao lado da estação permanece sem cobertura vegetal. Esses fatores contribuem para as habituais maiores concentrações de poluentes da Cidade. As ultrapassagens para esta estação mais frequentes são para os poluentes ozônio e material particulado.

3.5.7 Campo Grande

A área de estudo no raio de 2km da Estação Campo Grande abrange parcialmente os bairros de Campo Grande e Senador Vasconcelos. A área está totalmente incluída na Área de Planejamento 5 (Quadro 12).

Quadro 12 - Dados gerais e foto da estação Campo Grande.

| Estação BANGU | |
|------------------------|--|
| Endereço | Rua Mongólia, s/n (Espaço de Desenvolvimento Infantil Prof.ª Tânia Maria Larrubia Gomes) |
| Bairro | Bangu |
| Região Administrativa | 17ª RA – BANGU |
| Área de 5 Planejamento | |
| Latitude | 22°53'16.53"S |
| Longitude | 43°28'15.91"O |



Fonte: PCRJ/SMAC/CMA-GMAR – Gerência de Monitoramento do Ar.

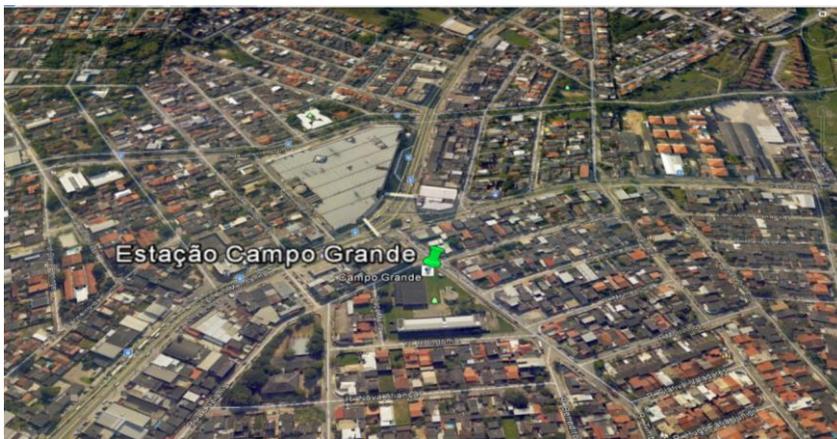
A área de estudo considerada situa-se entre as serras de Paciência e Inhoaiba. É constituída por terrenos de pequenas elevações em todos os quadrantes, que variam de altitudes entre 15 e 200m. Quanto ao uso do solo, os setores noroeste, nordeste e sudoeste são totalmente ocupados por áreas antrópicas, com a predominância da categoria de área urbana e porções menores de vegetação arbóreo-arbustiva e vegetação gramíneo-lenhosa. No setor sudeste, apesar de também predominar a classe de área urbana, observa-se significativa área de reflorestamento na Serra da Paciência e a presença de fragmentos de vegetação secundária como a única porção de área natural. Como parte integrante da Área de Planejamento 5, pode ser considerada de expansão urbana, e ao mesmo tempo concentra núcleos habitacionais de média e baixa renda, indústrias e atividade rural.

O ponto de monitoramento sofre influência do estacionamento situado a 45m a noroeste, além da via de tráfego considerada arterial principal, distante cerca de 110m. Um ponto final de ônibus localizado a menos de 30m da estação afeta a qualidade do ar local. Uma estação de tratamento de esgoto contribui como fonte fixa (Tabela 11).

A Estação Campo Grande encontra-se a leste da Estação Bangu, em uma região a norte/nordeste do Maciço de Gericinó, e a sudeste encontra-se o oceano. Tal condição geográfica é favorável à influência da brisa, que acaba sendo a condição dominante de ventos na região. Assim, as direções predominantes são de nordeste/sudeste (Figuras 21 e 22).

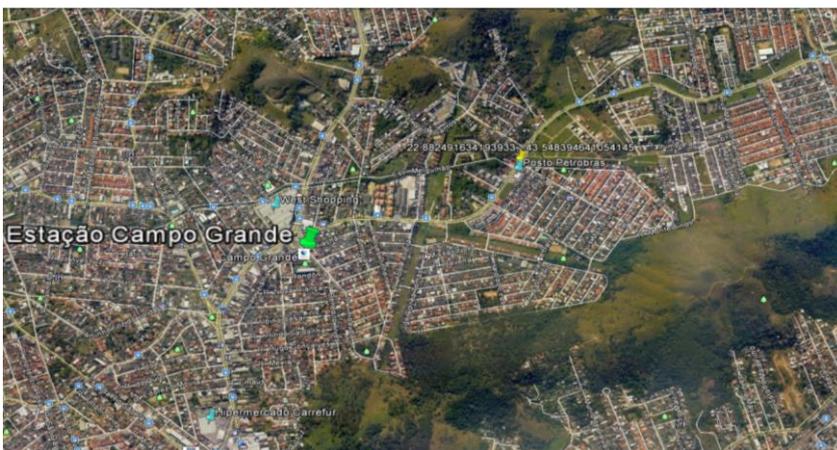
Arterial principal – Estrada Rio-São Paulo, Estrada do Rio do A, Estrada do Mendanha, Estrada das Capoeiras, Estrada da Caroba, Av. Cesário de Melo, Rua Artur Rios. Arterial secundária – Estrada da Posse.

Figura 21 - Visão aérea do entorno da estação Campo Grande.



Fonte: Google Earth.

Figura 22 - Visão aérea do entorno da estação Campo Grande.



Fonte: Google Earth.

Tabela 11 - Fontes fixas e móveis no entorno da estação Campo Grande – 2012.

| Fontes fixas | Total |
|--------------|-------|
|--------------|-------|

| | |
|---|----|
| Aeroporto | - |
| Atividade extrativa | - |
| Cemitério | - |
| Posto de serviço | 12 |
| Porto/ Marina/ Terminal hidroviário | - |
| Shopping center | 2 |
| Terminal rodoviário/ Garagem | 1 |
| Túnel | - |
| Usina de asfalto | - |
| Atividade com potencial poluidor licenciada pela SMAC | 8 |
| Atividade com potencial poluidor licenciada pelo INEA | 1 |

Situado na zona oeste do município, o bairro de Campo Grande possui polo comercial importante para a região. A movimentação de veículos no bairro é intensa, com destaque para a Estrada do Mendanha, próxima do ponto de monitoramento e considerada artéria principal.

3.5.8 Pedra de Guaratiba

A área de estudo no raio de 2km da estação abrange parcialmente os bairros de Pedra de Guaratiba e Guaratiba. A área está totalmente incluída na Área de Planejamento 5 (Quadro 18).

Quadro 18 - Dados gerais e foto da estação Pedra de Guaratiba.

| |
|---|
| Estação PEDRA DE GUARATIBA |
| Endereço Rua Sold. Antônio de Paula, s/n (Escola Municipal Myrthes Wenzel) |
| Bairro Pedra de Guaratiba |
| Região 26ª RA– Guaratiba Administrativa |
| Área de 5 Planejamento |
| Latitude 23° 0'15.90"S |
| Longitude 43°37'44.65"O |



Fonte: PCRJ/SMAC/CMA-GMAR – Gerência de Monitoramento do Ar.

A maior parte da área de estudo considerada está situada em terrenos de baixada junto à orla. Apenas no setor noroeste observa-se a elevação do terreno que, entretanto, não alcança a cota 100m. Os setores sudoeste e sudeste são constituídos em sua maior parte por alagadiços, pela faixa litorânea da Baía de Sepetiba e pelo mar. Quanto ao uso do solo, apesar da grande porção de áreas antrópicas representada pela área urbana nos setores noroeste e nordeste, essa não chega a ser predominante e coexiste com áreas de vegetação arbóreo-arbustiva e vegetação gramíneo-lenhosa. Predominam nas direções nordeste, sudeste e noroeste as áreas naturais das classes de campos salinos, mangues e praia junto à barra do Rio Piraquê. A baixa densidade populacional e as grandes áreas de preservação são as principais características da área. Não é cortada por vias arteriais.

A região possui pequenas atividades comerciais e ocupação residencial esparsa, com predomínio de unidades

unifamiliares. O bairro recebeu, em 2012, um corredor de transporte do BRT (Transoeste), situado a 3km da estação, sendo considerada uma via arterial primária. Por se tratar de localidade com baixo fluxo veicular e de pedestres, os parâmetros monitorados visam caracterizar a influência da poluição fotoquímica carreada pelos ventos através de dispersão atmosférica (Tabela 12).

A Estação Pedra de Guaratiba tem condição similar à de Copacabana no que diz respeito à proximidade com o mar e à influência que sofre do efeito de brisa. Porém, com o diferencial de não haver construções próximas que possam exercer qualquer tipo de influência sobre a circulação dos ventos. Assim, as direções predominantes na região são de nordeste/sudeste, com boa condição para a dispersão de poluentes (Figuras 23 e 24).

Figura 23 - Visão aérea do entorno da estação Pedra de Guaratiba.



Fonte: Google Earth.

Figura 24 - Visão aérea do entorno da estação Pedra de Guaratiba.



Fonte: Google Earth.

Tabela 12 - Fontes fixas e móveis no entorno da estação Pedra de Guaratiba – 2012.

| Fontes fixas Total | |
|---|---|
| Aeroporto | - |
| Atividade extrativa | 1 |
| Cemitério | - |
| Posto de serviço | - |
| Porto/ Marina/ Terminal hidroviário | - |
| Shopping center | - |
| Terminal rodoviário/ Garagem | - |
| Túnel | - |
| Usina de asfalto | - |
| Atividade com potencial poluidor licenciada pela SMAC | 1 |
| Atividade com potencial poluidor licenciada pelo INEA | - |

Como característica relevante da Estação Pedra de Guaratiba, localizada na zona oeste do município, destaca-se a proximidade da Baía de Sepetiba. Este importante corpo d'água influencia o comportamento das condições atmosféricas registradas na estação, principalmente os ventos, devido ao fenômeno de brisa. Consequentemente as concentrações dos poluentes também serão influenciadas, devido à sua interação com a meteorologia observada no local.

A geração de informações em Pedra de Guaratiba foi considerada de certa importância para o Programa MonitorAr-Rio, dada à carência de conhecimento sobre poluição do ar e meteorologia desta região que se encontra em avanço no seu processo de urbanização.

4 RESULTADOS

O posicionamento das estações fixas foi planejado de modo a ficar distante de fontes fixas, contudo na direção predominante de corrente de ventos a jusante (sotavento) das fontes fixas.

Desta forma, como não existem fontes fixas no entorno das estações, foram consideradas que as concentrações de poluentes atmosféricos são oriundas de fontes móveis (veículos leves e pesados) e de ressuspensão de partículas depositadas em vias pavimentadas, ou ainda de vias não pavimentadas, seja através de vento ou pela própria passagem dos veículos.

A partir do monitoramento de rotina e de estudos específicos é possível efetuar uma análise comparativa das concentrações observadas com os padrões de qualidade do ar, tanto para longos períodos de exposição (normalmente médias anuais), quanto para curto tempo de exposição (menor ou igual a 24 horas). Os resultados obtidos no monitoramento refletem as variações na matriz de emissões dos poluentes, tais como modificações na frota de veículos, alterações no tráfego, mudanças de combustível, alterações no parque industrial, implantação de tecnologias mais limpas etc., e também as condições meteorológicas observadas no ano.

4.1 MATERIAL PARTICULADO 10 µG/M3

Devido à sua influência na saúde da população este poluente é monitorado em todas as estações que integram a rede MonitoraAr-Rio, tanto nas oito fixas – Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba – quanto na Unidade Móvel. Apesar de a maior parte do tempo, as médias ficarem bem abaixo do padrão diário de 120 µg/m³, houve ultrapassagens de padrão para este poluente nas estações Irajá e Bangu.

Os constatados comportamentos distintos entre as estações decorrem de as concentrações de material particulado estarem intimamente ligadas à velocidade do vento, precipitação e umidade relativa do ar.

4.1.1 Análise de perfis horários

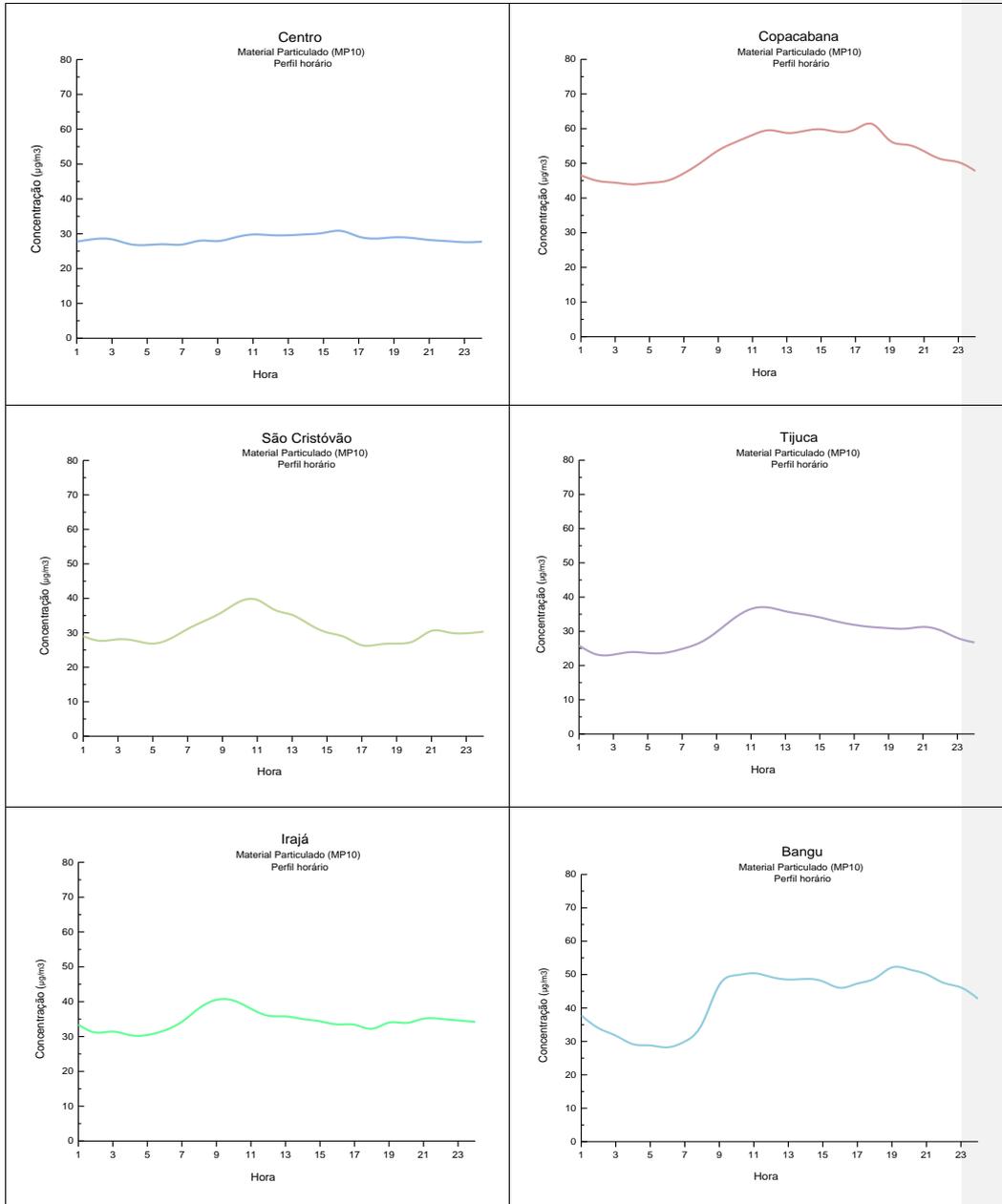
Nesta análise correlacionou-se intensidade e direção dos ventos através das rosas de vento (anexo E) com as concentrações de material particulado (figura 25). Esta escolha foi feita porque a precipitação é medida no acumulado do dia, não contribuindo para análise do perfil horário.

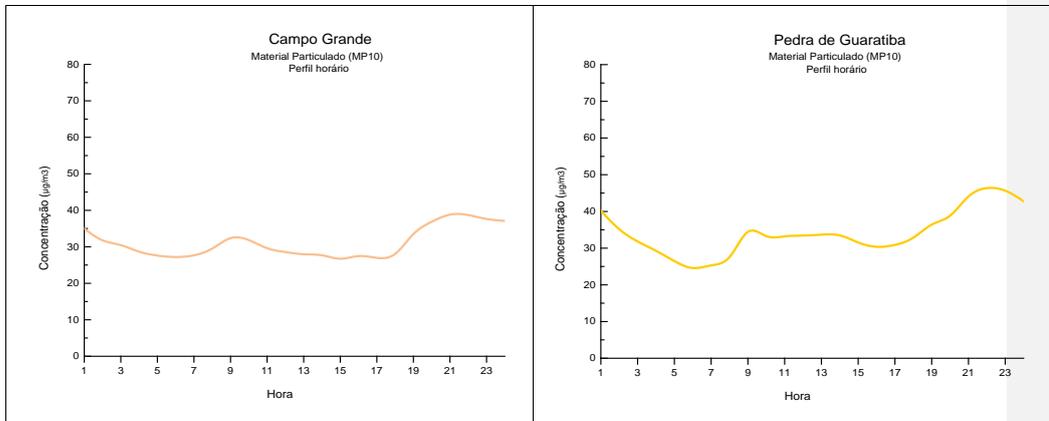
Nota-se que na estação Centro o perfil horário é praticamente constante. Como a circulação da frota veicular não costuma variar, este comportamento deve estar diretamente ligado às condições meteorológicas. De fato, a direção do vento Leste é bem pronunciada na estação Centro, o que pode explicar esse comportamento.

As estações Copacabana e Bangu apresentaram as maiores concentrações no horário comercial. A estação Copacabana está localizada próxima à saída do Metrô da estação Cardeal Arcoverde, onde existe grande circulação de pessoas o dia todo, em uma praça bem arborizada. Uma explicação plausível seria justamente estes fatores, onde há vegetação existe terra e pólen que são carreados com o vento. Já a saída do Metrô pode emitir material particulado nos horários em que o Metrô chega na estação onde há grande circulação de ventos e circulação de pessoas. Contudo, para uma análise mais aprofundada seria necessário estudo específico para a região.

As estações Tijuca, São Cristóvão e Irajá, apresentam pico de concentrações diárias para o horário de rush matutino e as estações Campo Grande e Pedra de Guaratiba para o horário de rush noturno. Neste caso, possivelmente, os picos de concentração de material particulado se devem à proximidade das estações de vias com movimentos intensos nos horários de rush, associados às direção e intensidade do vento.

Figura 25 - Perfil horário de Material Particulado nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2019.



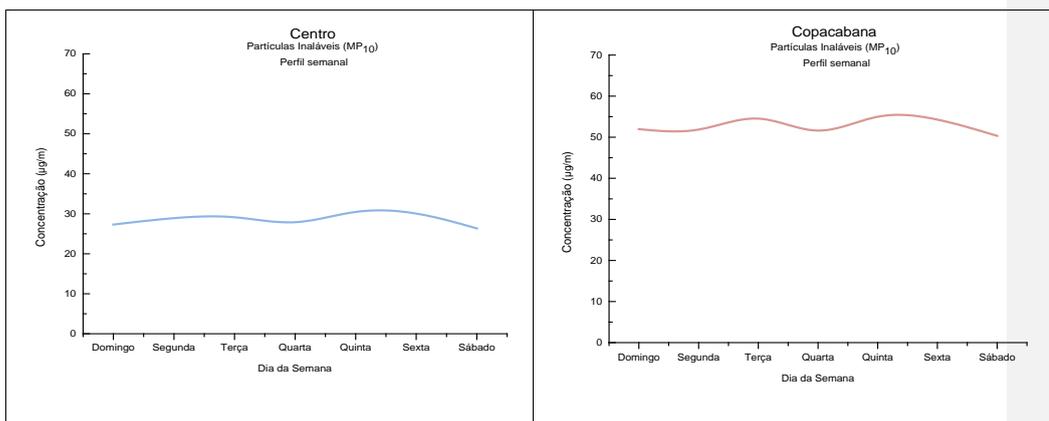


4.1.2 Análise de perfis semanais

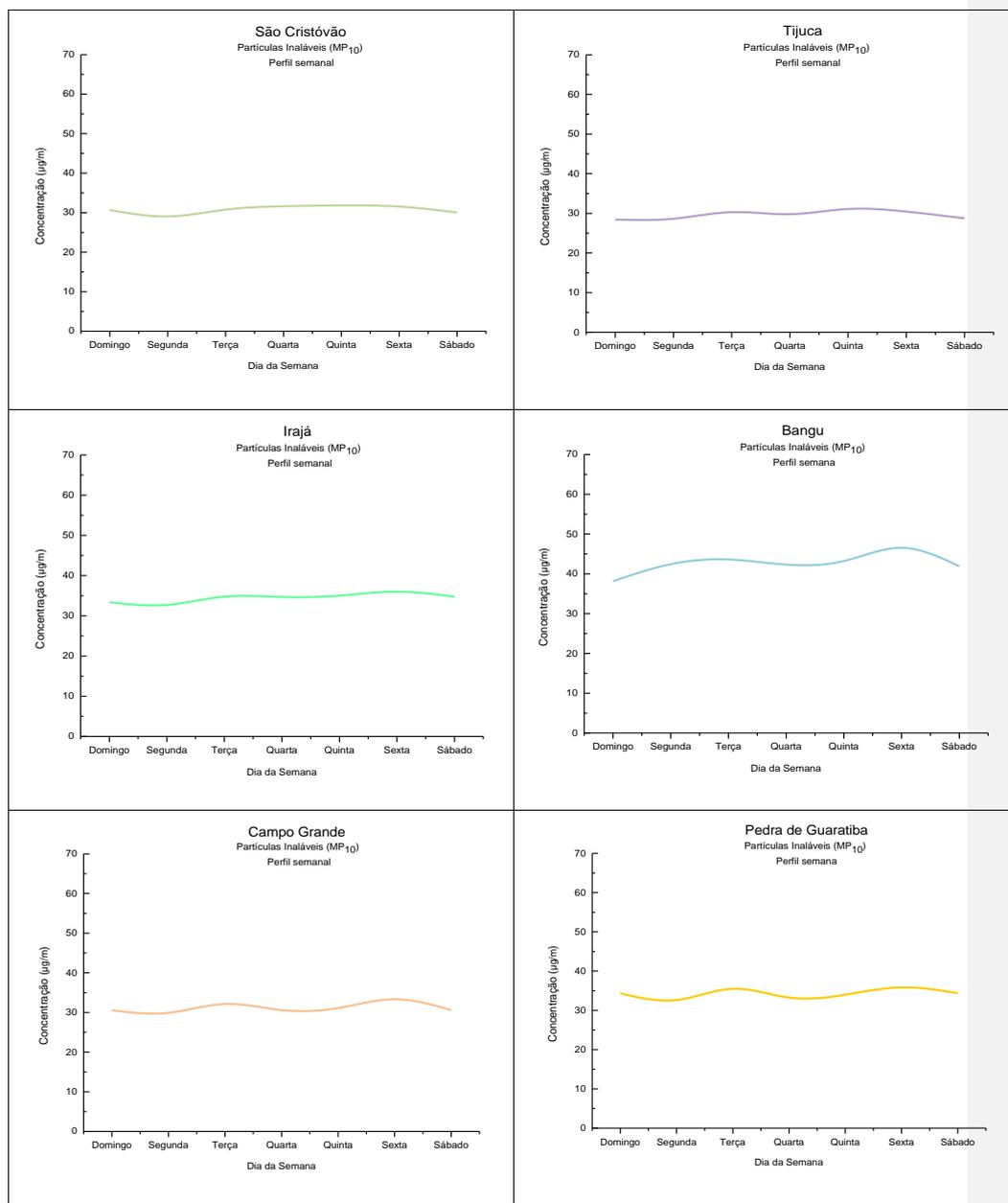
Os perfis semanais são praticamente constantes para as estações fixas (figura 26), com exceção da estação Copacabana - São Cristóvão que apresentou ligeiro declínio nas concentrações de material particulado no meio da semana. Como as emissões de material particulado de escapamento, 82% se devem à intensa circulação de caminhões e ônibus (veículos pesados)⁷, que essencialmente utilizam diesel como combustível, pode-se supor que este tipo de tráfego na Cidade seja menor no meio da semana. Contudo, seriam necessários estudos específicos para a região para realizar o diagnóstico detalhado.

Comentado [U1]: Em São Cristóvão não houve declínio no meio da semana, pelo contrário. Mas em Copacabana sim!!! Centro, Campo Grande e Pedra tb, mas muito leve

Figura 26 - Perfil semanal de Material Particulado nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2019.



⁷ <http://www.inea.ri.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/Invent%C3%A1rio-de-Emiss%C3%B5es-de-Fontes-Veiculares.pdf> – página 51.

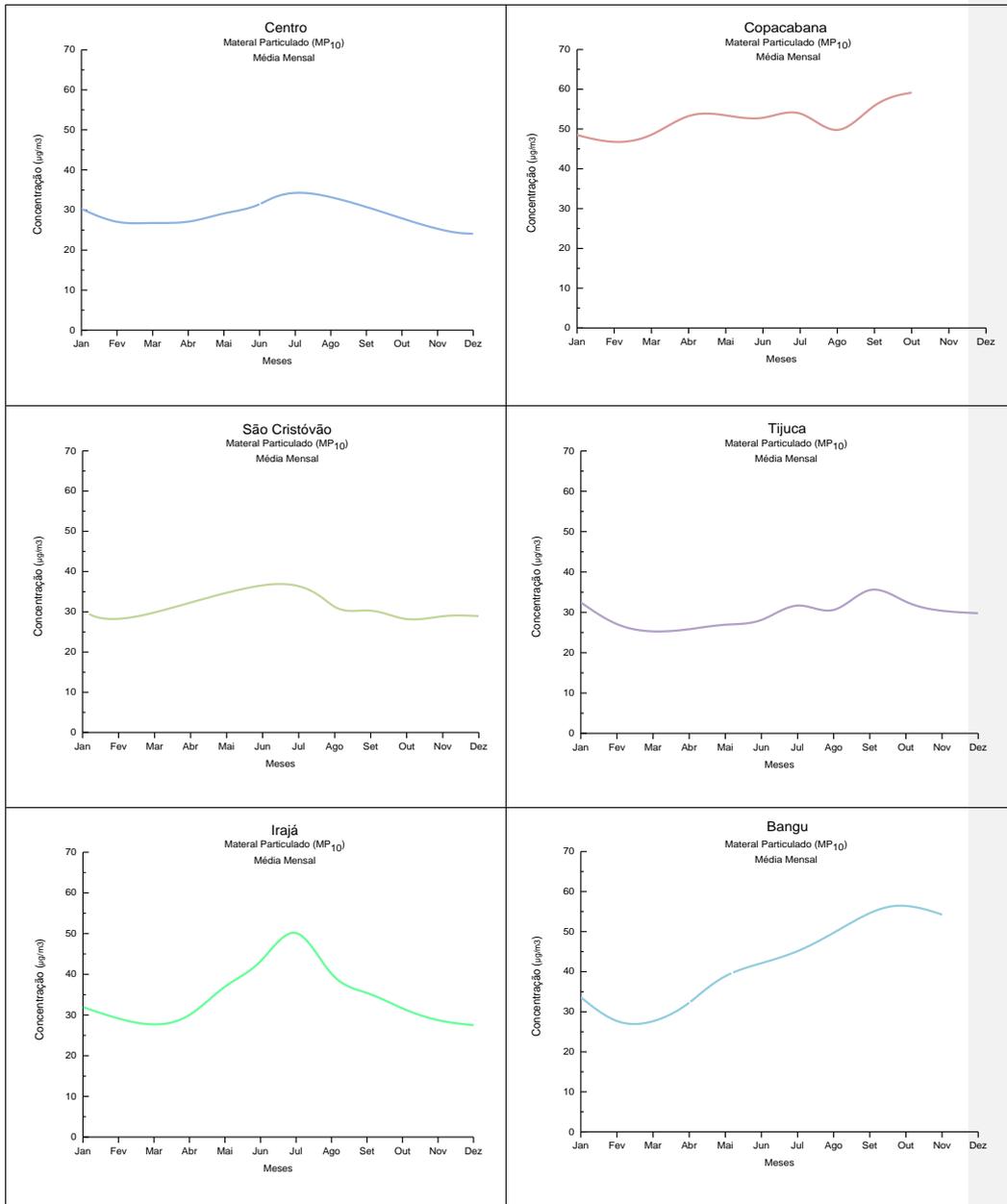


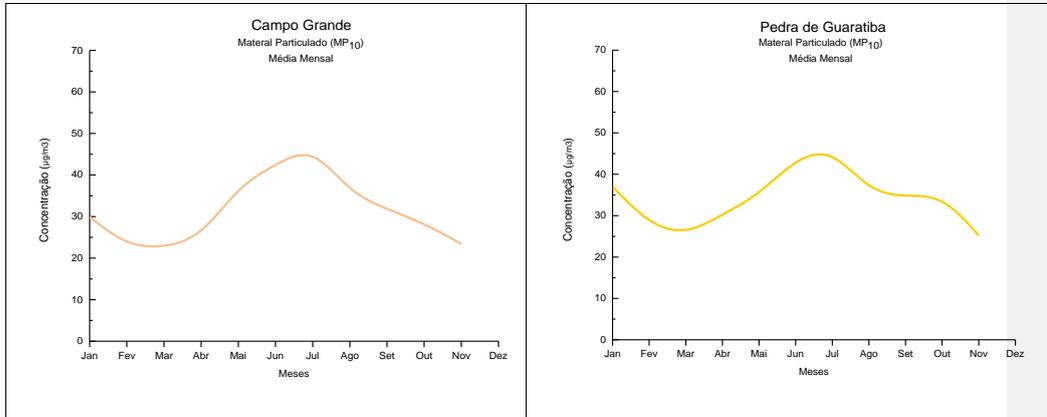
4.1.3 Análise de perfis mensais

À exceção de Tijuca e Bangu, cujos comportamentos anômalos não podem ser explicados com os dados disponíveis, as demais estações tiveram comportamento esperado, ou seja, maiores concentrações no inverno,

onde os períodos de calmaria são prolongados, conforme figura 27.

Figura 27 - Média mensal de Material Particulado nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2019.

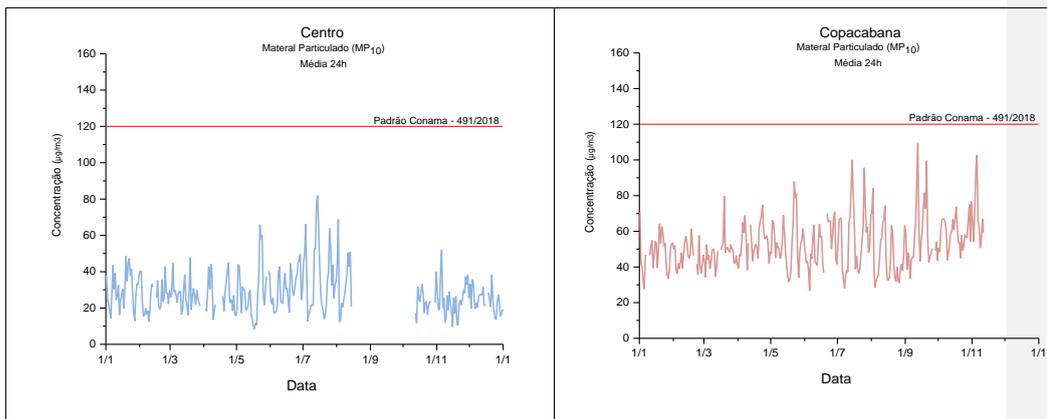


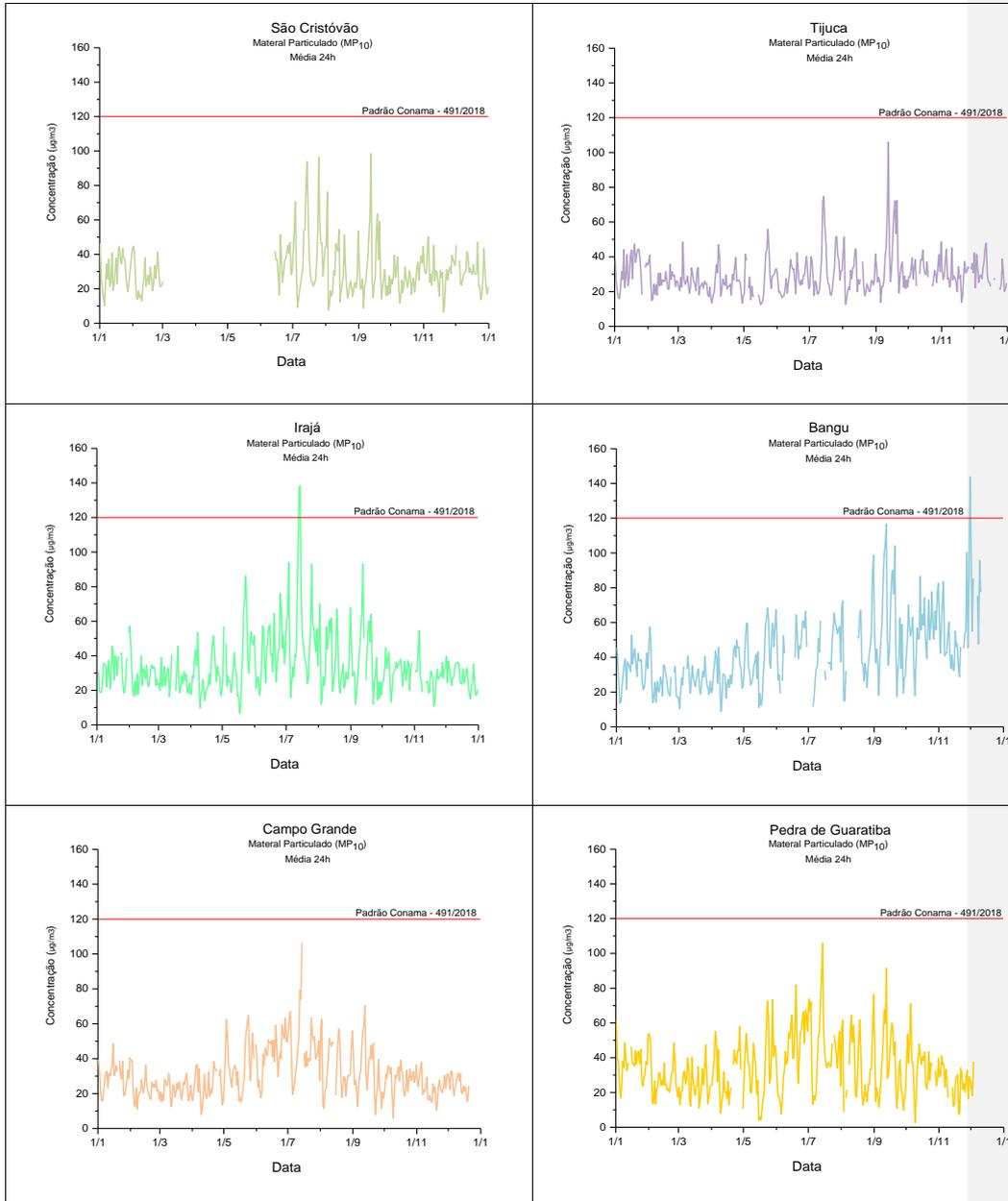


4.1.4 Análise média 24 horas

Na figura 28 observa-se que na maior parte do tempo as concentrações diárias de MP₁₀, estiveram bem abaixo do padrão estabelecido. Somente as estações de Irajá e Bangu tiveram ultrapassagens ao padrão. Bangu, provavelmente devido às condições geográficas do local que desfavorecem a dispersão de poluentes. Em Irajá, presumivelmente, devido à baixa intensidade dos ventos na localidade (vide anexo E).

Figura 28 - Média de 24h de Material Particulado nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2019.





4.1.5 Análise média anual

As médias anuais variam com o número da frota de veículos pesados circulando e com as fases do PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores descritas sucintamente a seguir. As

concentrações de material particulado diminuíram em 2012 e vêm se mantendo praticamente constantes devido à fase P7 do PROCONVE.

Veículos leves (peso bruto total abaixo dos 3.856 kg) → L-1 a L-8

Veículos pesados (peso bruto total acima dos 3.856 kg) → P-1 a P-8

Datas de Exigência:

- L-1 = 1988
- L-2 = 1992
- L-3 = 1997
- L-4 = 2005 (40%) 2006 (70%) 2007 (100%)
- L-5 = 2009
- L-6 = 2013 (Diesel Leve) 2014 (Otto Novos Mod.) 2015 (Otto 100%)

Datas de Exigência:

- P-1 = 1987 (Ônibus Urbano) 1989 (100%)
- P-2 = 1994 (80%) 1996 (100%)
- P-3 = 1994 (Ônibus Urbano) 1996 (80%) 2000 (100%)
- P-4 = 1998 (Ônibus Urbano) 2000 (80%) 2002 (100%)
- P-5 = 2004 (Ônibus Urbano) 2005 (Micro Ônibus) 2005 (40%) 2006 (100%)
- P-6 = 2009 (100%)
- P-7 = 2012 (100%)

Resolução CONAMA Nº 403/2008 - "Dispõe sobre a nova fase de exigência do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE para veículos pesados novos (Fase P-7) e dá outras providências." - Complementada pela Resolução nº 415, de 2009.

Resolução CONAMA Nº 415/2009 - "Dispõe sobre nova fase (PROCONVE L6) de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE para veículos automotores leves novos de uso rodoviário e dá outras providências." - Altera a Resolução nº 299, de 2001; revoga, a partir de 1º de janeiro de 2013, o §2º do art. 15 da Resolução nº 8, de 1993, e o art. 23 da Resolução nº 315, de 2002; complementa a Resolução nº 403/2008.

Resolução CONAMA Nº 433/2011 - "Dispõe sobre a inclusão no Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE e estabelece limites máximos de emissão de ruídos para máquinas agrícolas e rodoviárias novas." - Complementa a Resolução nº 297, de 2002.

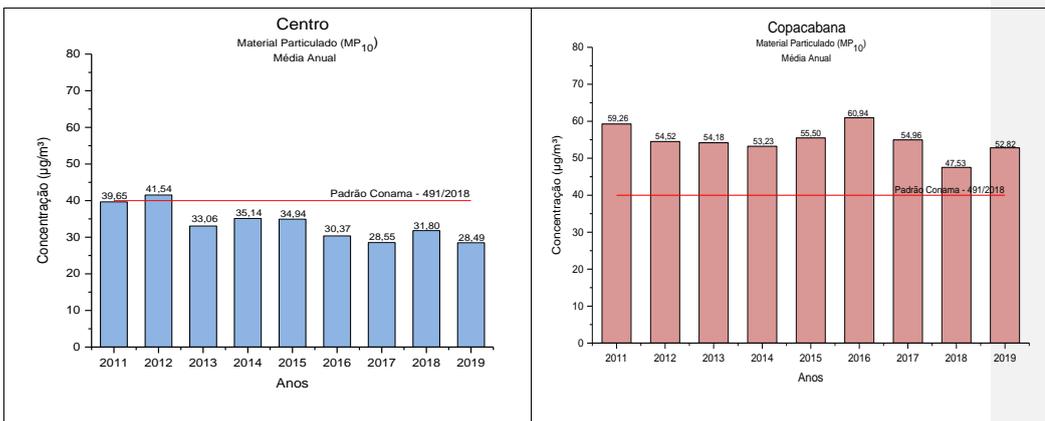
Resolução CONAMA Nº 432/2011 - "Estabelece novas fases de controle de emissões de gases poluentes por ciclomotores, motocicletas e veículos similares novos, e dá outras providências"- complementa a Resolução nº 297, de 2002. Alterada pela Resolução nº 456, de 2013.

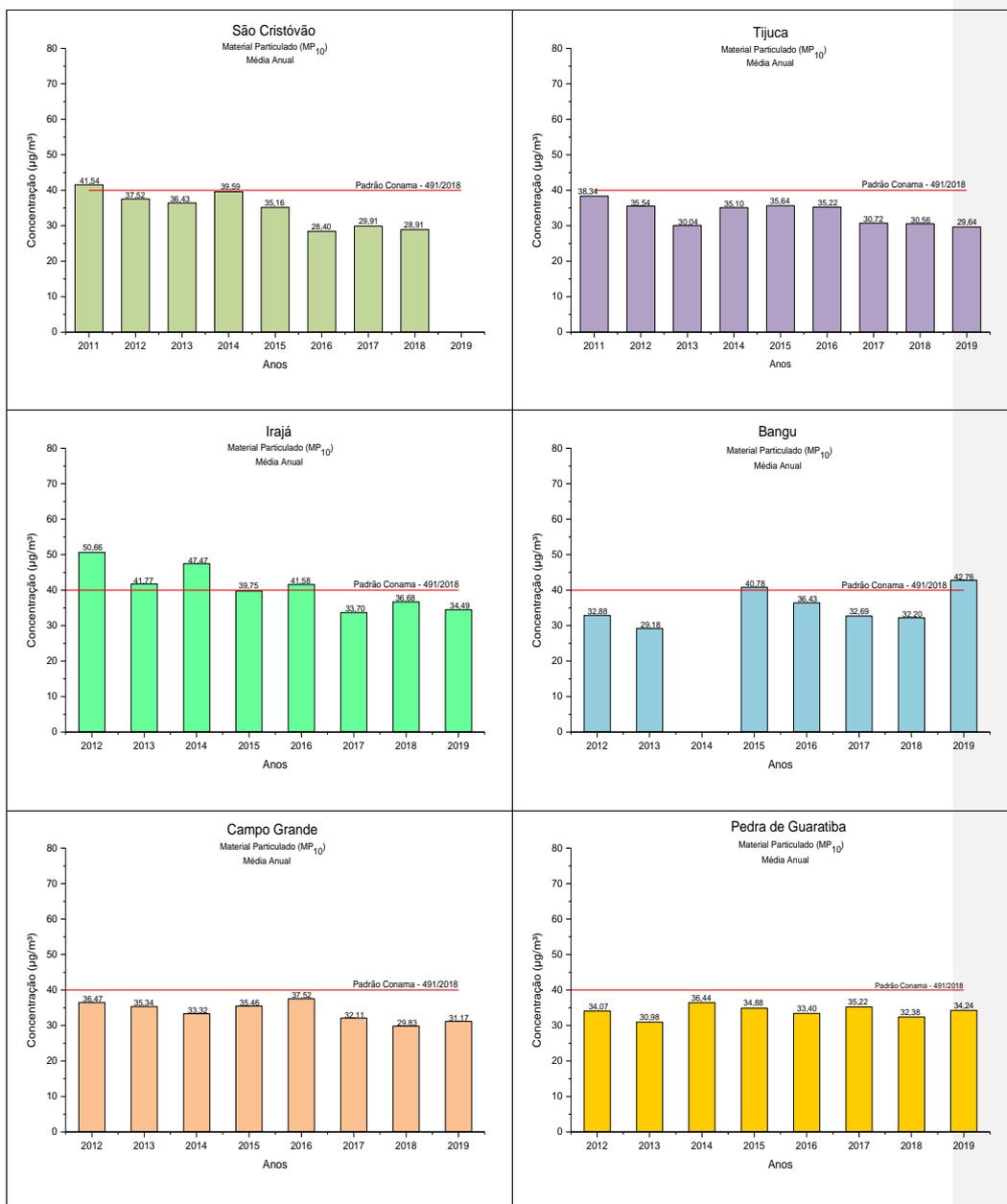
Resolução CONAMA Nº 490/2018 - "Dispõe sobre a nova fase de exigência do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE para veículos pesados novos (Fase P-8) e dá outras providências." Começará a ser aplicada em 2022 para novos modelos comercializados no Brasil e em 2023 para toda linha.
 Resolução CONAMA Nº 492/2018 - "Dispõe sobre as novas fases (PROCONVE L7 e L8) de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE para veículos automotores leves novos de uso rodoviário e dá outras providências." - Altera a Resolução CONAMA nº 15/1995.

A fase L7 do PROCONVE entrará em vigor em 2022 e a L8 em 2025.

Na figura 29, observa-se que as exceções foram as estações de Bangu e Copacabana. A média anual em Bangu em 2019 foi maior do que em 2018. Conjectura-se que seja devido à ressuspensão de material particulado do entorno. Bangu é considerado um vale, devido às suas características geográficas, dificultando a dispersão de poluentes. Já a estação Copacabana não percebeu a fase P6 do PROCONVE instaurada em 2012. Desta forma, assumiu-se que as emissões de material particulado medidas nesta estação não estão diretamente ligadas à circulação de veículos. Provavelmente, as altas emissões de Copacabana devem-se ao ar canalizado que sai do Metrô carregando diversas partículas, à grande circulação de transeuntes, às áreas sem cobertura vegetal na praça Cardeal Arcoverde, em que está situada e, talvez, ao pólen das plantas que são numerosas no entorno da estação. Além disso, o ar que sai do Metrô chega na estação com alta velocidade e, provavelmente, fica estagnado na região devido às edificações no entorno que possuem vários metros de altura.

Figura 29 - Média anual de Material Particulado nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba no ano de 2019.





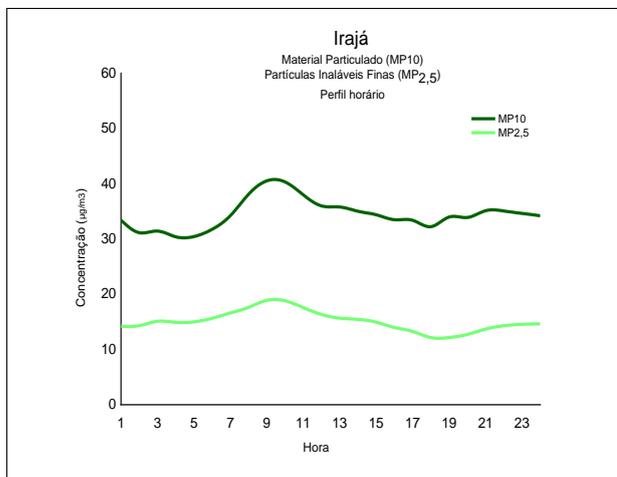
4.2 MATERIAL PARTICULADO - MP2,5

4.2.1 Perfil horário

Nesta análise correlacionou-se as intensidades e direção dos ventos através das rosas de vento (anexo E) com

as concentrações de material particulado. Esta escolha foi realizada porque a precipitação é medida no acumulado do dia, não contribuindo para análise do perfil horário. Na figura 30 são apresentados os perfis horários do MP2,5 e MP10, sendo possível observar algum paralelismo entre eles. A diferença mais marcante é a queda mais acentuada para o MP2,5 no horário noturno do rush. Confirmando que no entorno da estação de Irajá o horário do rush diurno é caracterizado por concentrações maiores de material particulado.

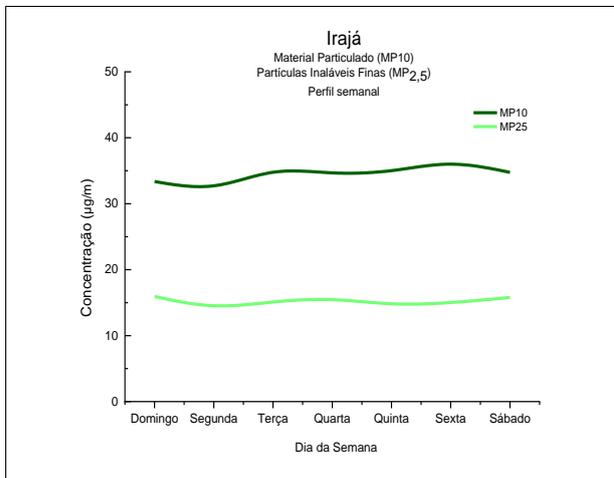
Figura 30 - Perfil horário de MP2,5 e MP10 para a estação de Irajá - 2019.



4.2.2 Perfil Semanal

No perfil semanal (Figura 31) nota-se uma variabilidade levemente maior para o MP2,5. É possível perceber que no meio da semana e no final de semana foram medidas maiores concentrações quando comparados com o restante da semana. Já o MP10 tem comportamento mais linear ao longo da semana.

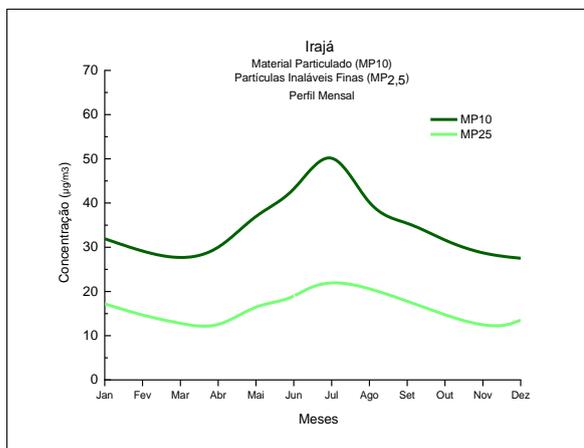
Figura 31 - Perfil semanal de MP2,5 e MP10 para a estação de Irajá - 2019.



4.2.3 Perfil Mensal

O perfil mensal de MP_{2,5} (Figura 32) comporta-se de forma similar ao perfil mensal de MP₁₀, ou seja, suas maiores concentrações são observadas durante o inverno, onde a dispersão dos poluentes é desfavorecida por ventos fracos.

Figura 32 - Perfil mensal de MP2,5 e MP10 para a estação de Irajá – 2019

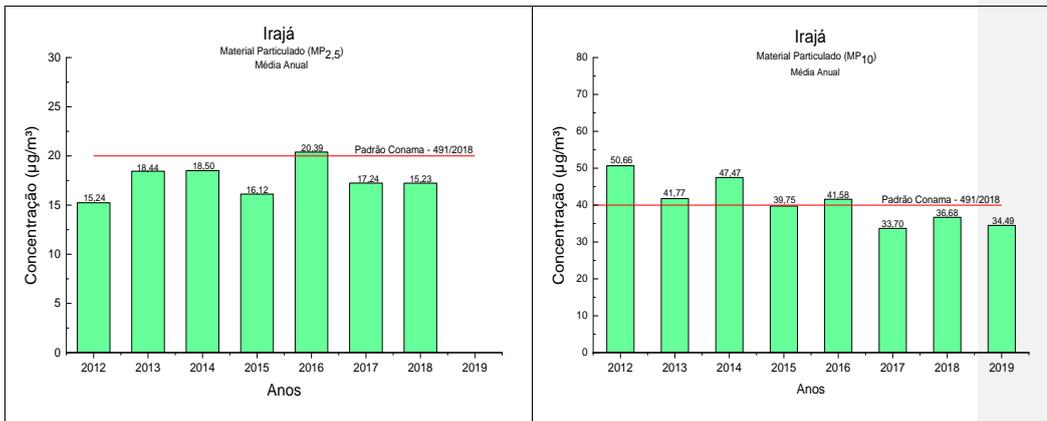


4.2.4 Perfil Anual

Apesar da ausência de dados em agosto, setembro e outubro, pode-se perceber que assim como para o MP₁₀,

houve um pico em julho.

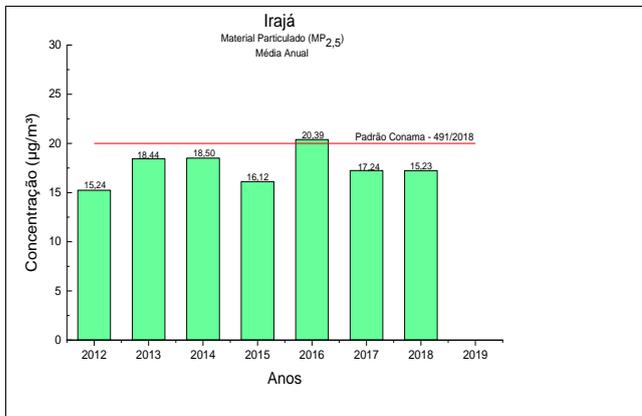
Figura 33 - Perfil anual de MP2,5 e MP10 para a estação de Irajá – 2019



4.2.5 Médias anuais

Como houve ausência de dados por um período de 3 meses devido às manutenções corretivas, não foi possível comparar as médias anuais de MP 2,5 de 2019 com 2018, (figura 34).

Figura 34 - Média anual de Partículas inaláveis finas MP2,5 na estação Irajá - 2019.



4.3 Ozônio

O ozônio troposférico é capaz de ocasionar diversos males à saúde e ao meio ambiente, por esta razão é

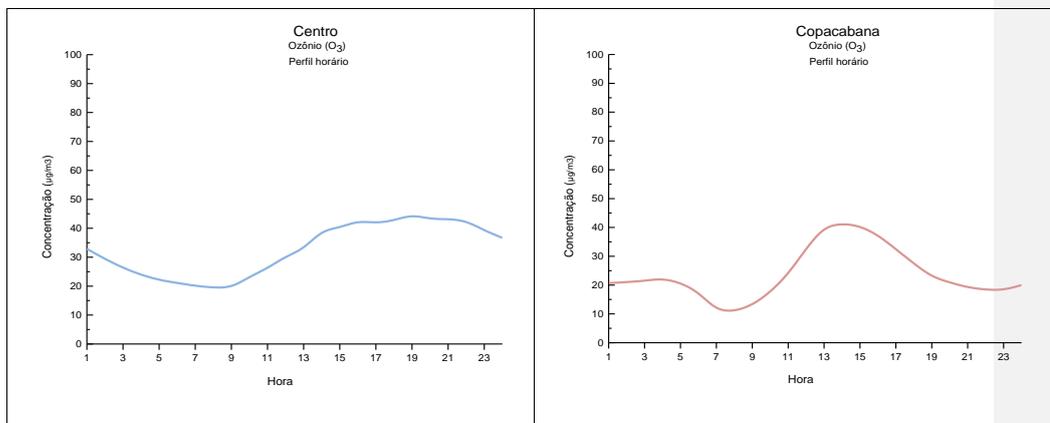
monitorado em todas as estações da rede MonitorAr-Rio. Apesar de na maior parte do tempo as médias ficarem abaixo do padrão de 140 µg/m³ (média móvel 8 horas), houve ultrapassagens ao padrão para este poluente em sete estações, a exceção foi Copacabana.

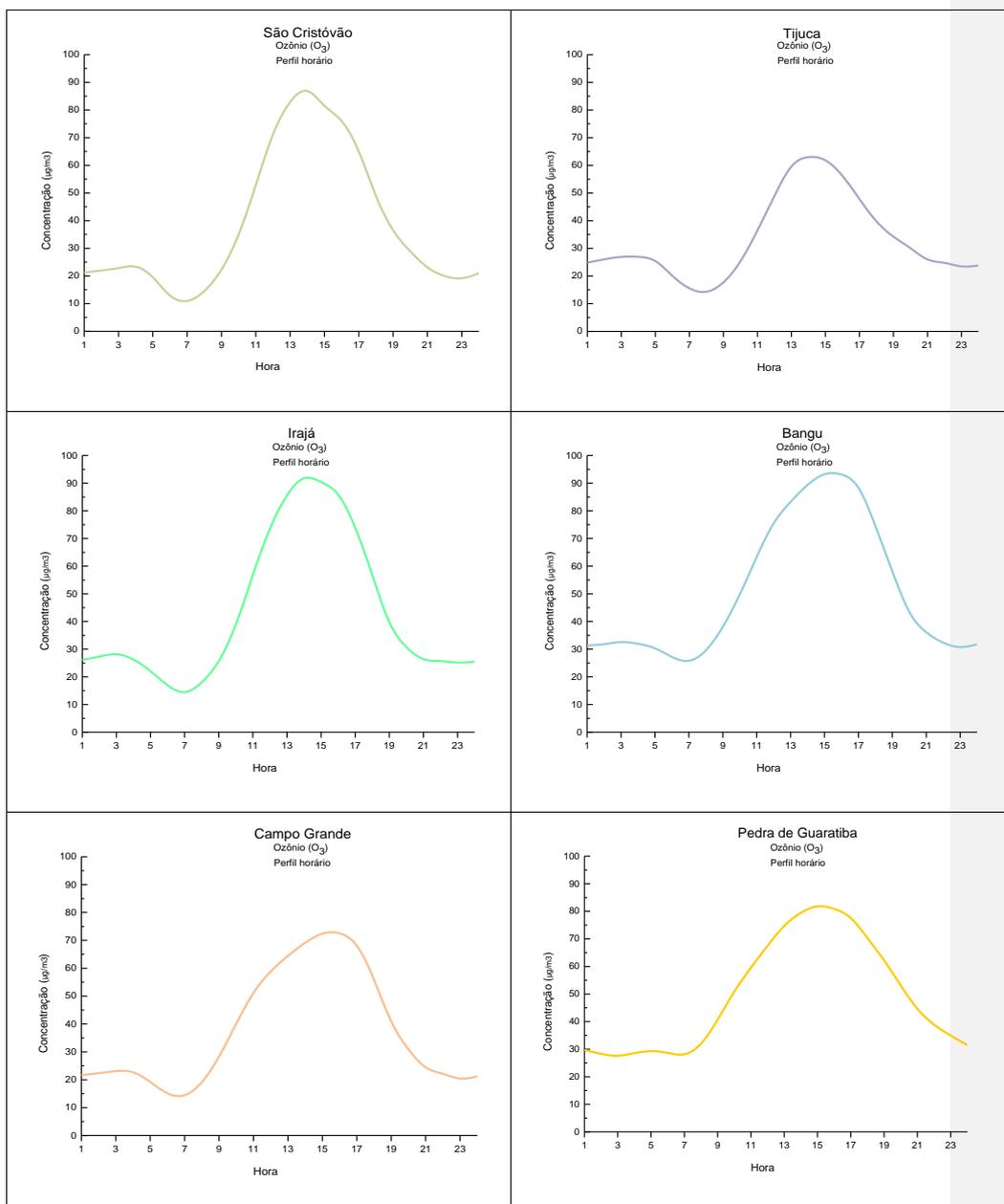
Observam-se comportamentos distintos entre as estações, porque as concentrações de ozônio estão intimamente ligadas à velocidade do vento, radiação solar e concentração de precursores (NO₂ e HCNM).

4.3.1 Análise de perfis horários

Nota-se que os perfis horários para este poluente são bem característicos (Figura 35), ou seja, horários de pico de radiação solar são os horários em que se têm as maiores concentrações de ozônio. As estações São Cristóvão, Irajá e Bangu possuem as maiores médias móveis 8 horas. As médias de Bangu e Irajá são bastantes próximas devido às semelhanças em suas condições meteorológicas, quais sejam, regiões com altas temperaturas e altos índices de radiação solar a maior parte do ano. São Cristóvão também possui elevadas temperaturas, mas acredita-se que a maior influência seja relativa à proximidade com as vias de grande circulação (item 3.4.3). As estações que possuem as menores concentrações são Centro e Copacabana. Atribui-se esse comportamento devido às edificações com vários metros de altura no entorno de ambas. Na estação de Copacabana, as menores médias das oito estações, também conta com sombreamento de copas de árvores.

Figura 35 - Perfil horário de ozônio nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2019.





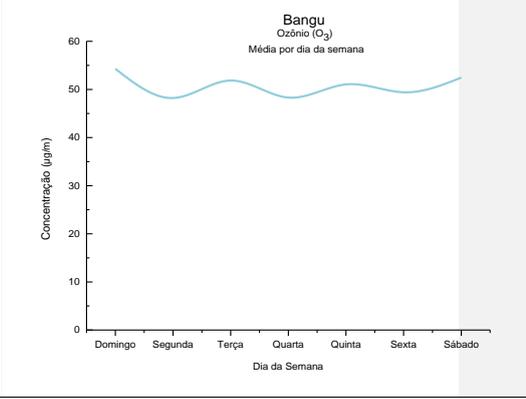
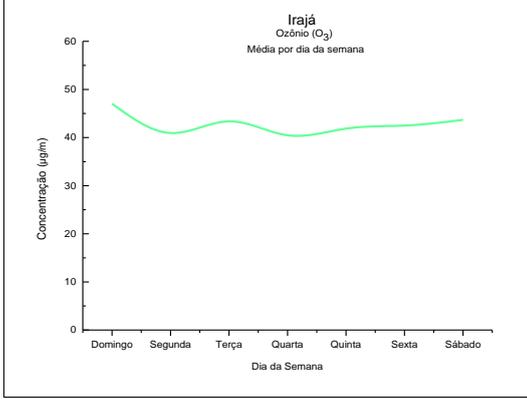
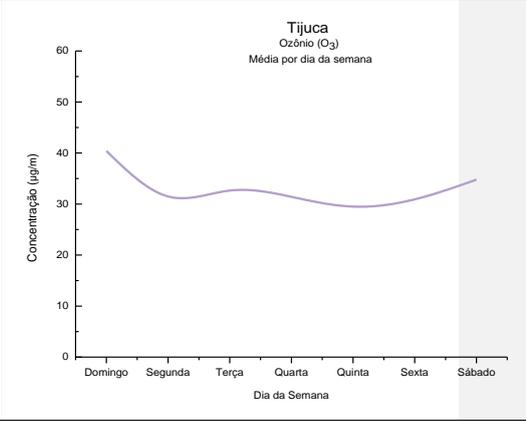
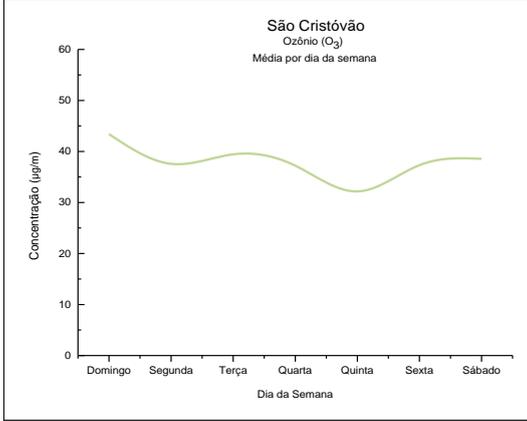
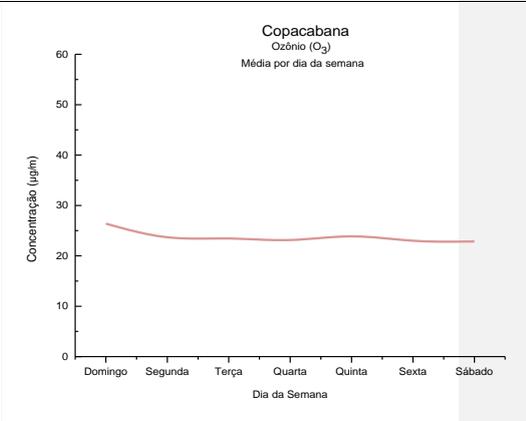
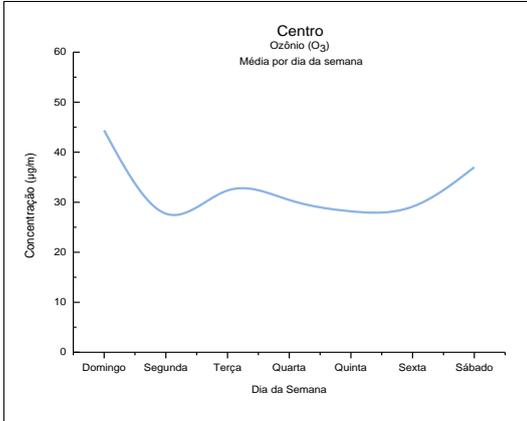
4.3.2 Análise de perfis semanais

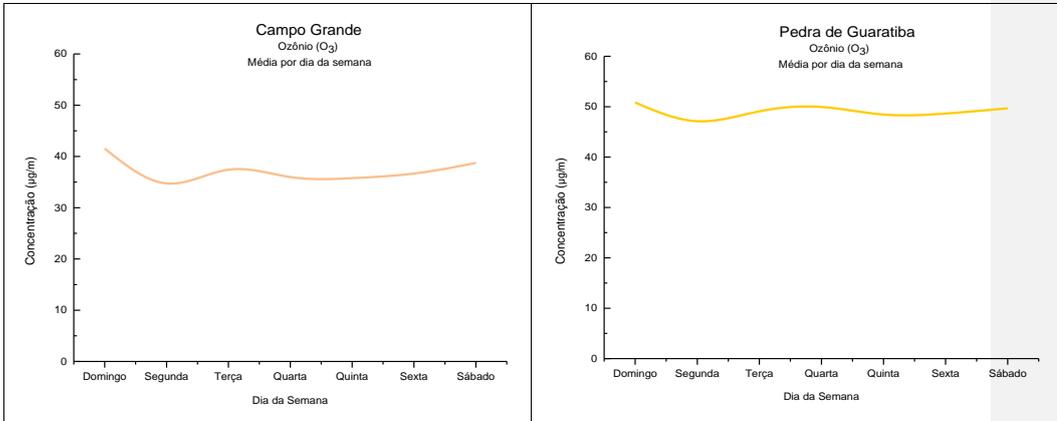
Os perfis semanais para este poluente possuem certa correlação (figura 36). Como não há extrema diferença da

radiação solar diária atribui-se esse comportamento às concentrações de seus precursores. A presença de COVs consome o NO do processo "cíclico" da formação de ozônio e formação de NO₂. Desta forma, nos dias de maior circulação de veículos há maior emissão de COVs acarretando na formação excedente de NO₂. Além disto o NO é consumido pelos COVs deixa de consumir o ozônio, levando a maiores concentrações de O₃.

Como avaliado para o material particulado e no perfil horário de O₃, a estação de Copacabana parece sofrer menor influência das fontes veiculares e mais de seu entorno. Isso explicaria as baixas concentrações de ozônio durante a semana toda, bem como as menores dentre as oito estações.

Figura 36 - Perfil semanal de Ozônio nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba no ano de 2019.

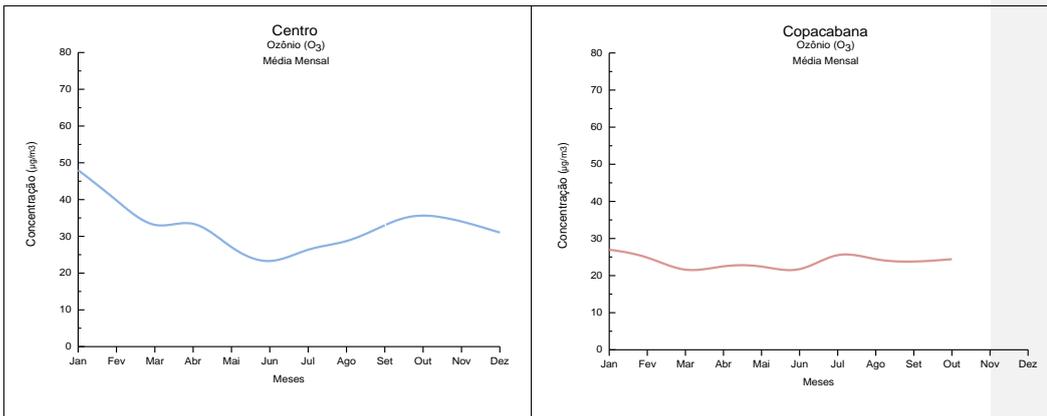


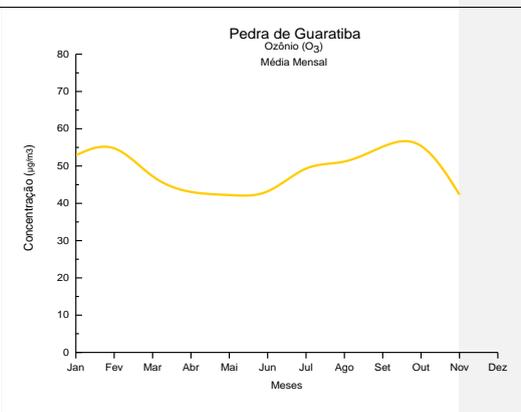
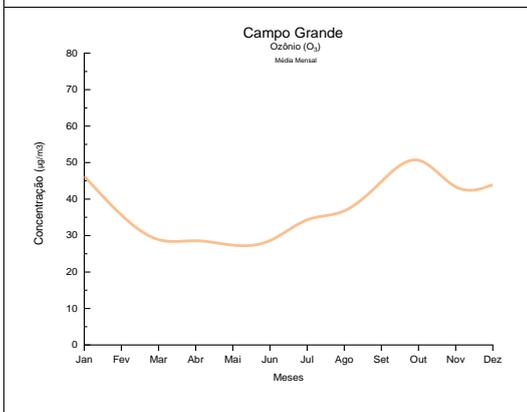
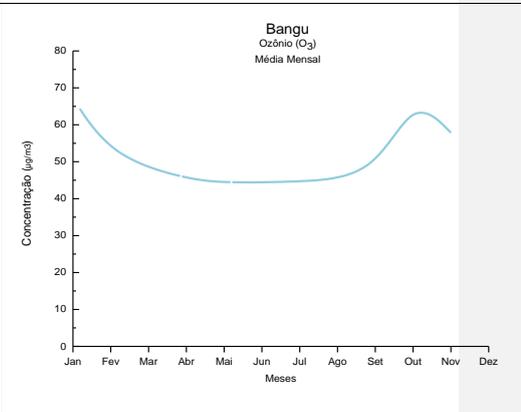
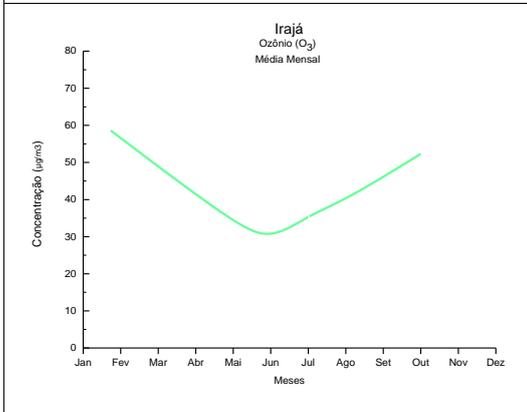
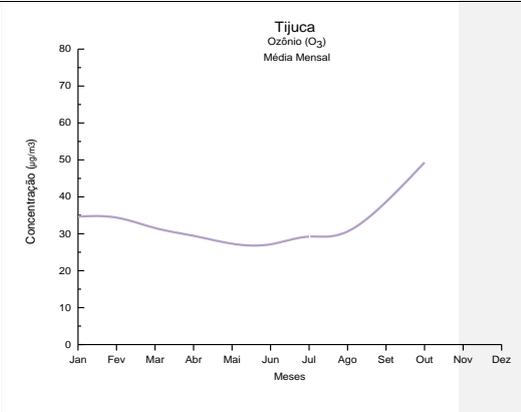
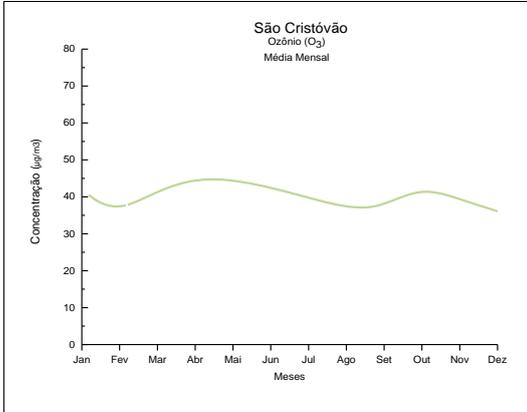


4.3.3 Análise de perfis mensais

Nos perfis mensais o fator preponderante é o índice de radiação solar, que está associado aos sistemas de alta pressão (céu azul). Na figura 37 percebe-se que para as estações Centro, Tijuca, Irajá, Bangu e Pedra de Guaratiba nos meses de pouca radiação solar, principalmente no inverno, as concentrações de ozônio foram menores que no restante do ano. A estação Copacabana, como mencionado anteriormente, está em área sombreada por altas edificações e por copas de árvores. Por isso, possui as menores concentrações dentre as oito estações. A estação de São Cristóvão apresentou comportamento atípico; em agosto, com os dados disponíveis não foi possível explicar o comportamento das suas concentrações. As outras sete estações tiveram as menores concentrações mensais em julho.

Figura 37 - Média mensal de ozônio nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2019.



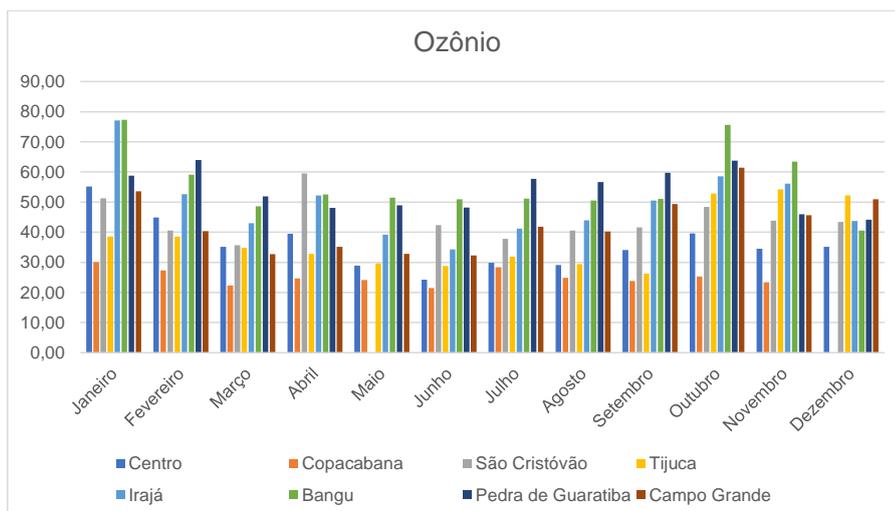


Na figura 38 comparam-se as médias mensais mês a mês para cada estação. Observa-se que para este poluente as maiores médias são para Bangu, Pedra de Guaratiba e Irajá. A estação de Bangu está localizada entre dois maciços, portanto, o bairro é um vale. Esta geografia pode criar uma bolha de ar quente, que facilita a concentração de um determinado poluente, como no caso dos precursores de O₃. Aliado aos mais altos índices de radiação solar gerou as maiores concentrações de O₃ em comparação com as outras estações.

Estes poluentes possuem fontes veiculares diferentes. A principal fonte de NO₂ é a circulação de veículos pesados. Este pico pode ser explicado por um índice de calma maior (Quadro 4) e pela proximidade a dois supermercados (Guanabara e Mundial), onde existe intensa movimentação de carga e descarga, além de um terminal rodoviário, um cemitério e da Avenida Brasil. Em contrapartida, as emissões de HCNM são oriundas, principalmente da circulação de veículos leves.

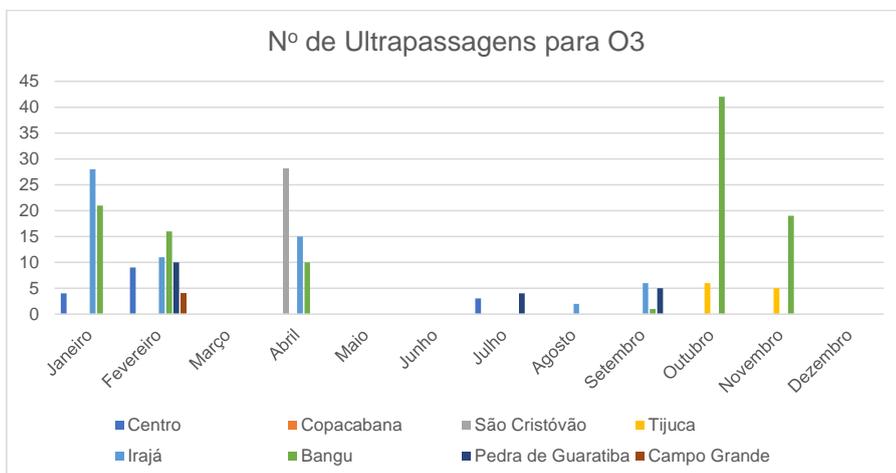
Além disto, como esperado, as maiores médias mensais foram verificadas para o mês de janeiro e outubro, quando houve os maiores índices de radiação solar para este ano.

Figura 38 - Média mensal de Ozônio nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2019.



Na figura 39, observa-se que a estação de Bangu possui o maior número de ultrapassagens do padrão CONAMA, por ficar entre dois maciços que dificultam a dispersão de poluentes e por ser o bairro mais quente da Cidade (maior índice de radiação solar), seguida de Irajá, São Cristóvão e Pedra de Guaratiba. Irajá e São Cristóvão além de receberem alto índice de radiação estão próximas a vias de grande circulação. Pedra de Guaratiba fica longe de centros urbanos e vias movimentadas. Acredita-se que os precursores do O₃ sejam carregados de bairros vizinhos. Contudo, esta suposição só poderá ser verificada por programas de modelagens.

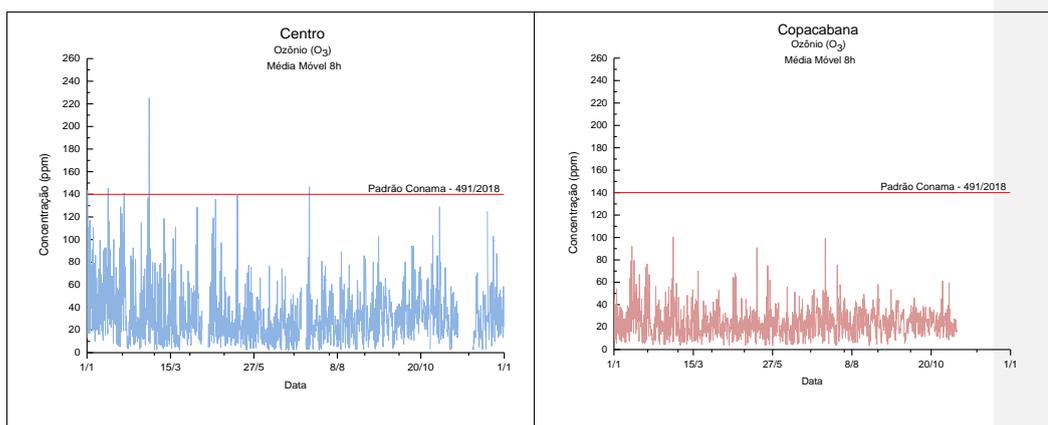
Figura 39 - Número de dias de ultrapassagem do padrão CONAMA 491/2018 para O3 nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2019.

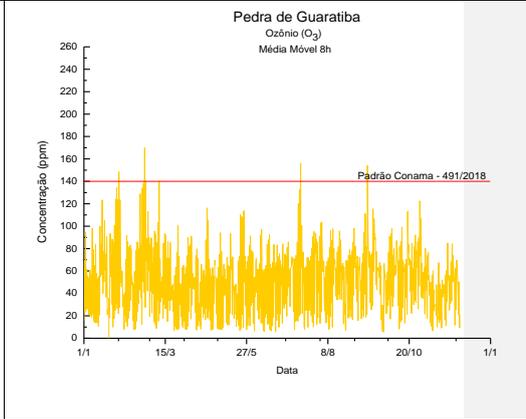
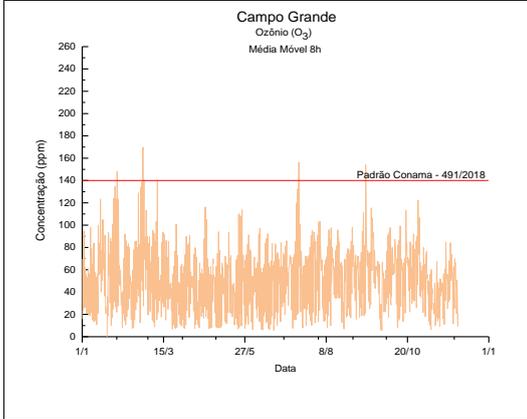
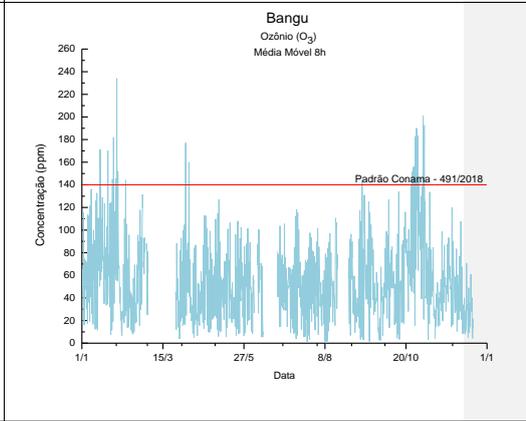
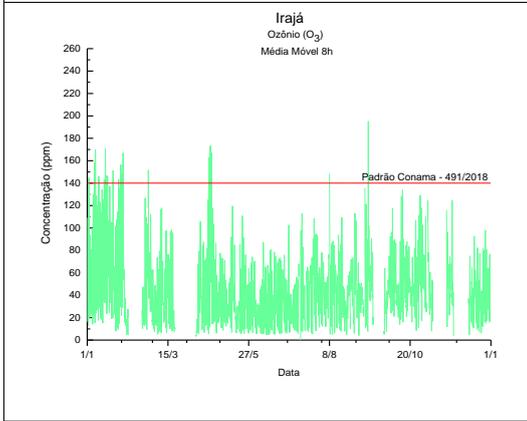
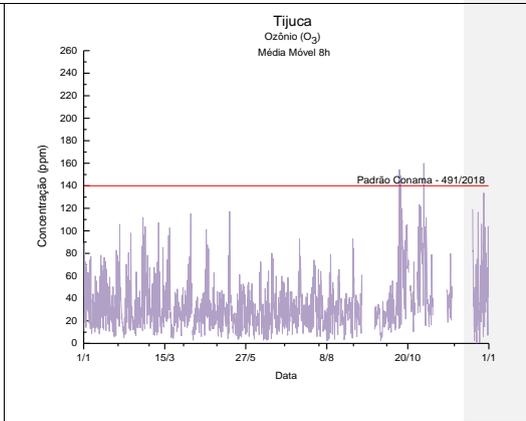
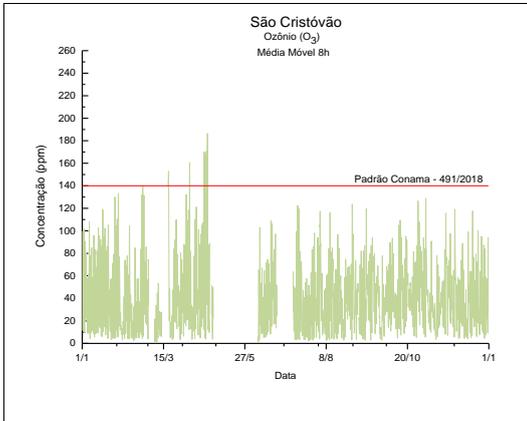


4.3.4 Análise do perfil das médias móveis 8 horas

Na Figura 40, apresentam-se as médias móveis 8 horas de ozônio. Nota-se que a única estação que não ultrapassou o limite estabelecido pelo órgão competente foi a Copacabana. Acredita-se ser devido aos prédios no entorno da estação e às copas das árvores próximas que propiciam sombra na estação durante algumas horas do dia.

Figura 40 - Perfil Média Móvel 8h de Ozônio nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2019.

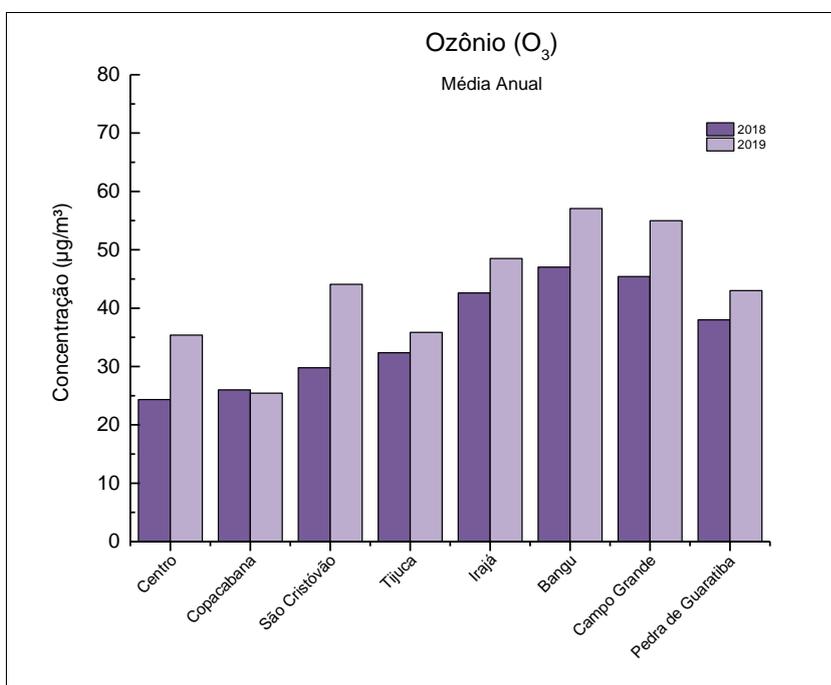




4.3.5 Análise do perfil anual

Para a análise do perfil anual comparou-se somente com o ano de 2018 (Figura 41), devido à mudança de legislação. Para tanto, recalculou-se as médias de 2018, enquadrando-as na nova legislação (médias móveis de 8 horas) e comparando-as com as médias móveis de 2019. As médias móveis 8 horas em 2019 foram que resultaram maiores do que as de 2018, vide figura 41. Isto ocorreu porque de uma forma geral em correspondência direta com os índices de radiação solar, foram maiores em 2019.

Figura 41 - Média anual de ozônio nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2018 e 2019.



4.3.6 Ozônio e seus precursores

Neste subitem optou-se por analisar em blocos, ou seja, avaliou-se os perfis de ozônio, monóxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio e COVs, em conjunto, para melhor entender o comportamento do O₃. Os precursores do ozônio são monitorados nas estações Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande. Somente o dióxido de nitrogênio é legislado pelo CONAMA.

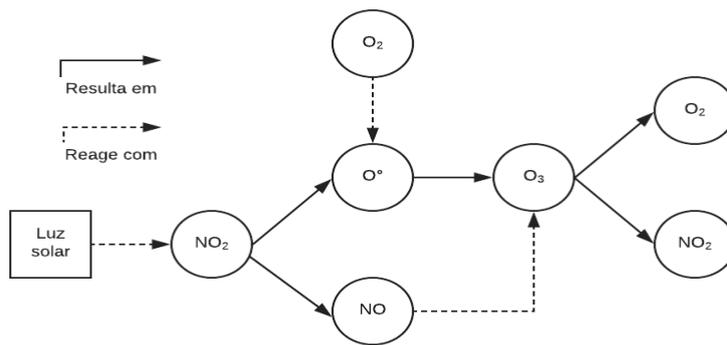
Simplificando, a formação do ozônio troposférico depende de três componentes: luz solar, óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis (COV).

Os óxidos de nitrogênio, NO e NO₂, são lançados na atmosfera pelos processos de combustão (veículos pesados

e industrial). Já os compostos orgânicos voláteis são emitidos por veículos leves e, também, pelos processos evaporativos de compostos orgânicos voláteis.

O processo pode ser resumido pelo fluxograma a seguir:

Fluxograma 2 - Processo de formação e decomposição do ozônio na atmosfera.

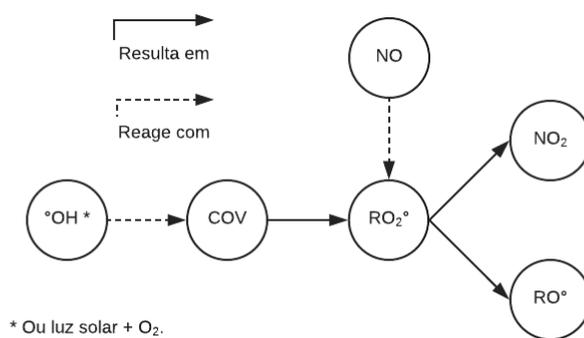


Fonte: CETESB

Considerando que se não existissem outras reações o processo seria cíclico, iniciando pela fotólise do NO₂, que também é o produto final. Caso não houvesse interações com outros componentes químicos a concentração de ozônio não subiria tanto em dia com alta radiação solar.

Esse processo, por exemplo, deixa de ser cíclico quando existe a produção de NO₂ partindo de compostos orgânicos voláteis (COV).

Fluxograma 3 - Processo de formação de NO₂ a partir de COVs.



* Ou luz solar + O₂.

Fonte: CETESB.

Os COVs e NO podem reagir para formar NO₂, resumidamente, quebrando o ciclo de formação de ozônio. Assim, o NO pode reagir tanto com o ozônio, como com os peroxi radicais (RO₂), gerando mais NO₂ e consumindo NO (Fluxogramas 2 e 3). Ao gerar mais NO₂ na presença de luz solar, este sofre fotólise, gerando mais radicais O[•] e consequentemente gerando mais ozônio. Além disto, o ozônio adicional tem menos NO na atmosfera para reagir (Fluxograma 2) e forma NO₂.

Resumidamente, interações entre esses dois processos (fluxograma 2 e 3) acarretaria num o aumento de concentração de ozônio troposférico.

A seguir analisou-se como estes gases se comportam ao longo do dia, da semana e do mês.

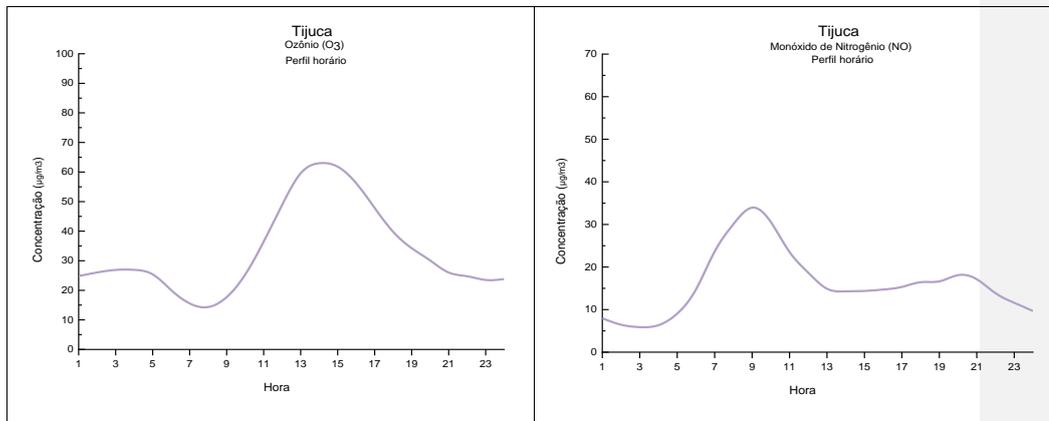
4.3.6.1 Análise do perfil horário

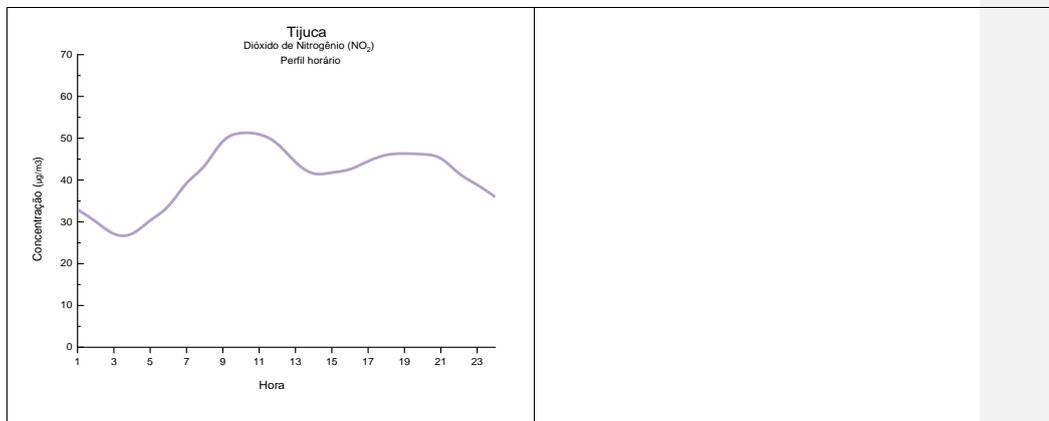
Buscou-se correlação entre ozônio e seus precursores ao longo do dia para as quatro estações onde foram monitorados.

Estação Tijuca

Nesta estação não são monitorados os COVs, logo a análise foi teórica.

Figura 42 - Perfil horário de ozônio, Monóxido de Nitrogênio e dióxido de nitrogênio na estação Tijuca - 2019.



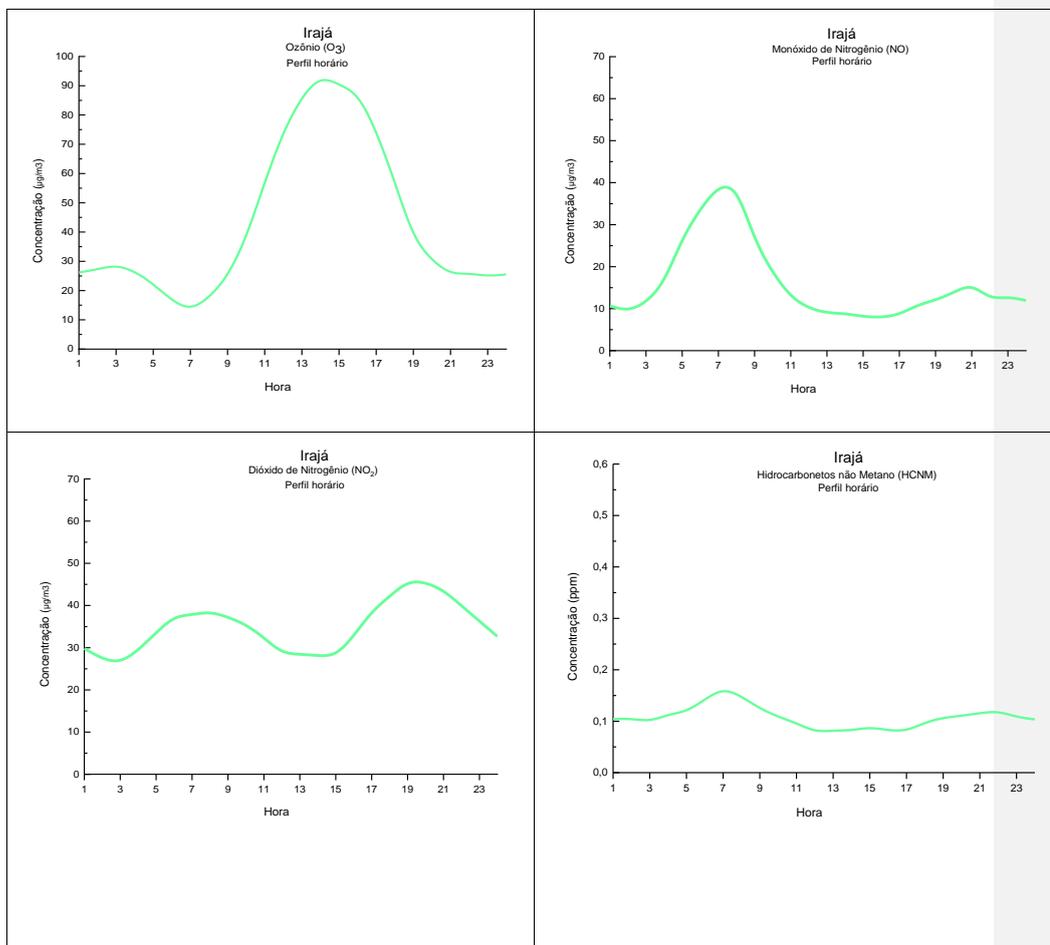


Nota-se que a concentração de ozônio aumenta quando ocorre declínio de concentração de NO e NO₂ (Figura 42). Pode-se perceber, também, que o decaimento de concentração de NO é bem maior do que de NO₂, sugerindo que este poluente, provavelmente, está sendo consumido nos dois processos, formando O₃ e NO₂ (Fluxogramas 2 e 3). Estes dados são um forte indicativo que realmente ocorre interação entre estes dois processos.

A seguir verificou-se se esse comportamento ocorre nas outras estações (Figuras 43, 44, e 45 e 45).

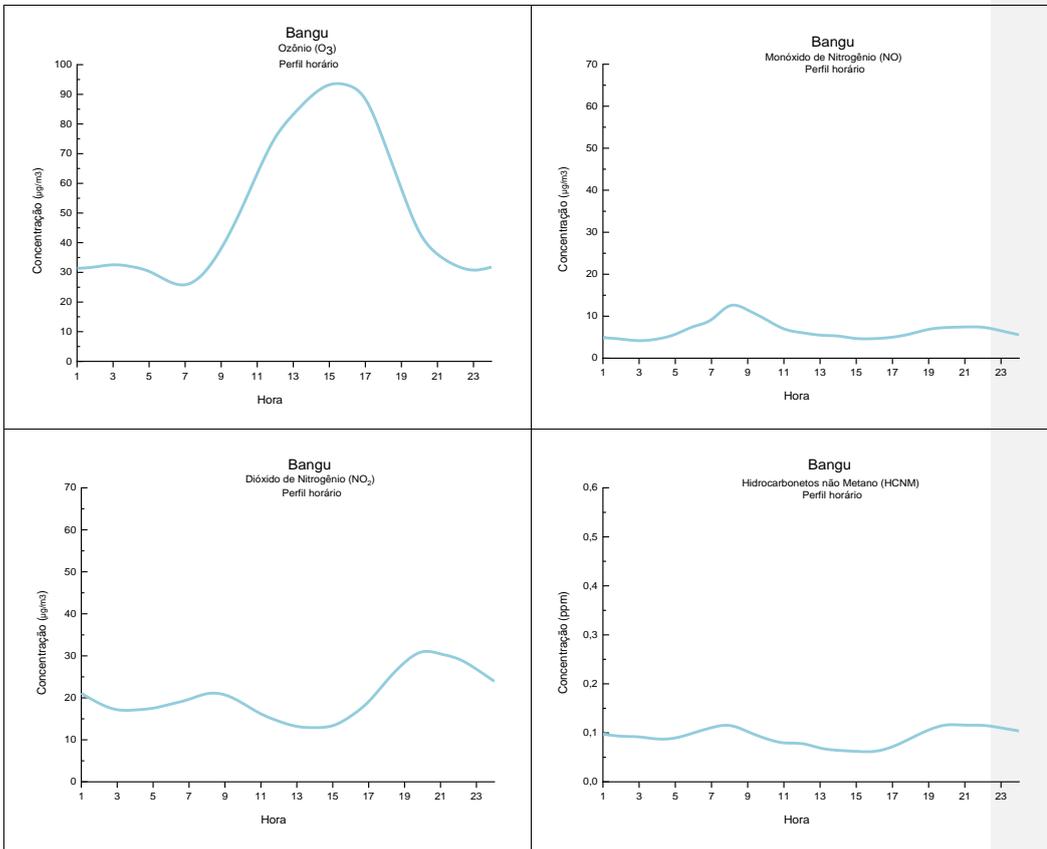
- Estação Irajá

Figura 43 - Perfil horário de ozônio, Monóxido de Nitrogênio, dióxido de nitrogênio e hidrocarboneto não metano na estação Irajá - 2019.



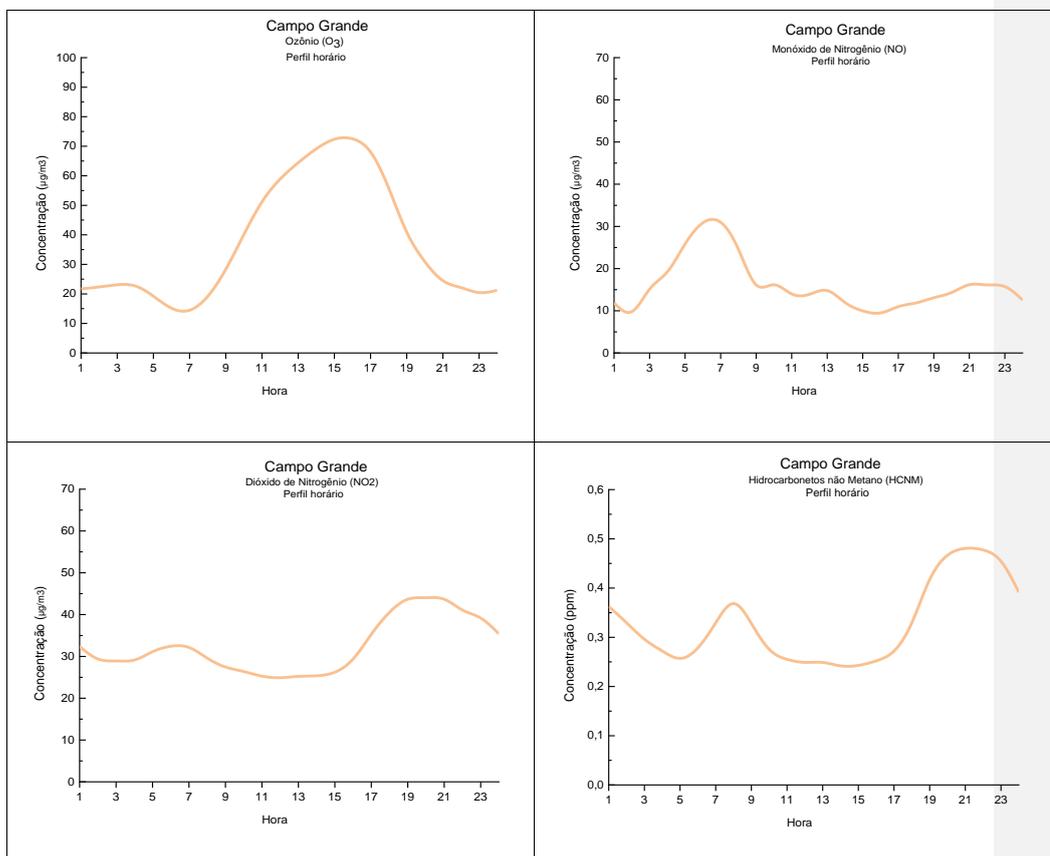
- Estação Bangu

Figura 44 - Perfil horário de ozônio, Monóxido de Nitrogênio, dióxido de nitrogênio e hidrocarboneto não metano na estação Bangu - 2019.



- Estação Campo Grande

Figura 45 - Perfil horário de ozônio, monóxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio e hidrocarboneto não metano na estação Campo Grande - 2019.

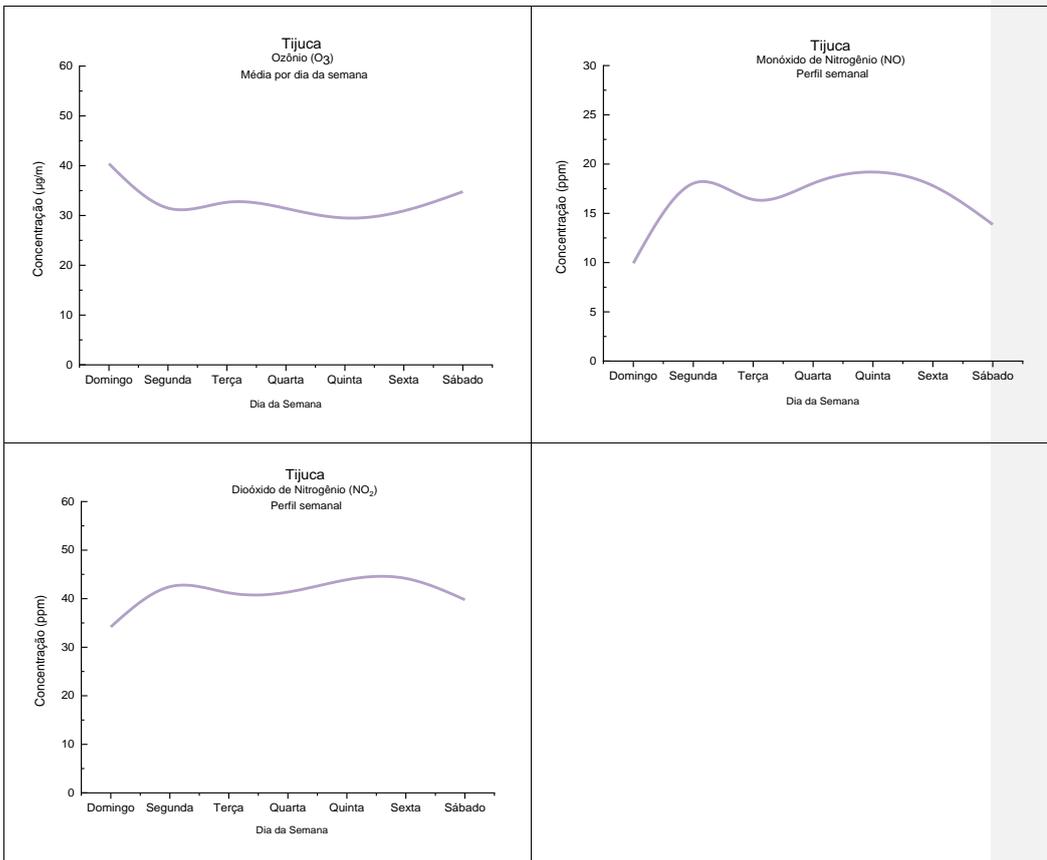


Verificou-se que existe um padrão de comportamento bastante semelhante nas quatro estações. As diferenças estão nos níveis de NO, possivelmente devido à diferença de circulação veicular de cada local. Para melhor compreensão focou-se no ponto de 11 horas, pois, assim foi possível perceber que quando a concentração de NO₂ decai, as concentrações NO e COVs também decaem. Nota-se, também, que quando a concentração de COVs decai logo em seguida geram NO₂. Foi possível perceber que a concentração de NO decai mais rapidamente que a concentração de NO₂, corroborando a análise teórica vista nos Fluxogramas 2 e 3.

4.3.6.2 Análise do perfil semanal

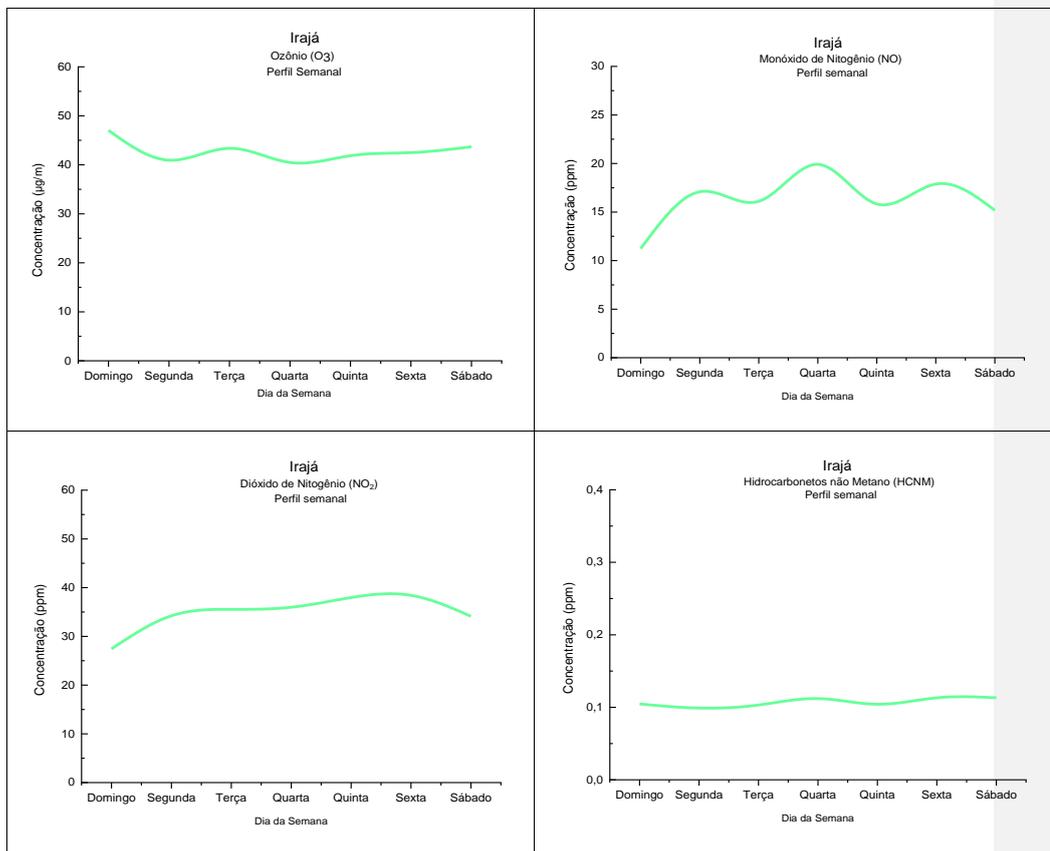
- Estação Tijuca

Figura 46 - Perfil semanal de ozônio, monóxido de nitrogênio e dióxido de nitrogênio na estação Tijuca - 2019.



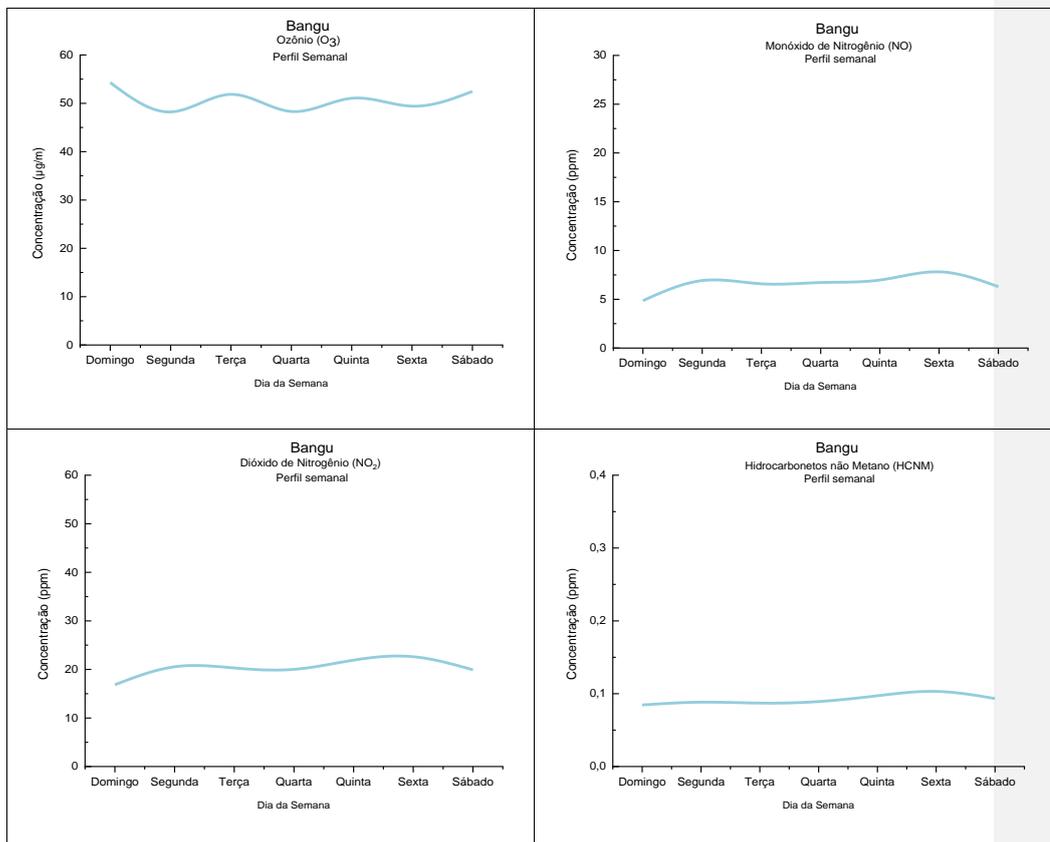
- Estação Irajá

Figura 47 - Perfil semanal de ozônio, monóxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio e hidrocarbonetos não metano na estação Irajá - 2019.



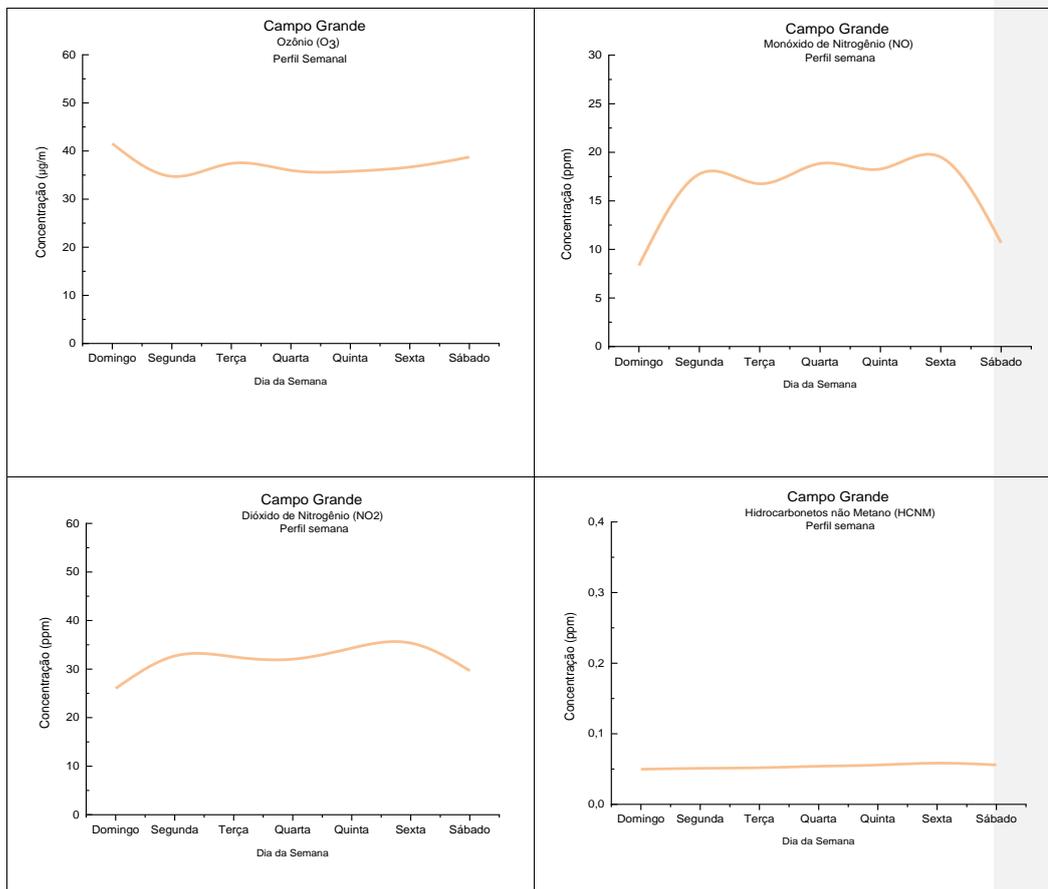
- Estação Banqu

Figura 48 - Perfil semanal de ozônio, monóxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio e hidrocarbonetos não metano na estação Bangu - 2019.



- Estação Campo Grande

Figura 49 - Perfil semanal de ozônio, monóxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio e hidrocarbonetos não metano na estação Campo Grande - 2019.



Nota-se o mesmo padrão nas figuras 46 a 49, ou seja, quando as concentrações de ozônio aumentam as concentrações de NO e NO₂ diminuem. E quando as concentrações de HCNM aumentam formam maior quantidade de NO₂.

4.3.6.3 Análise do perfil mensal

Figura 50 - Perfil mensal de ozônio, monóxido de nitrogênio e dióxido de nitrogênio na estação Tijuca - 2019.

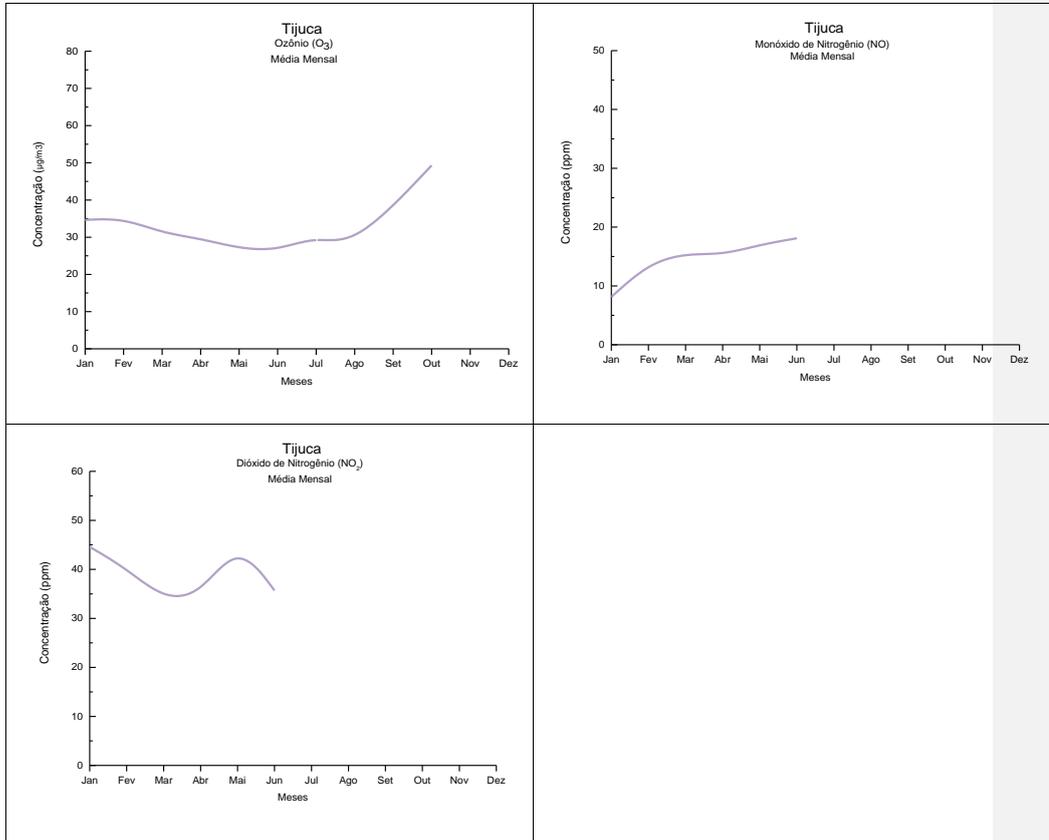


Figura 51 - Perfil mensal de ozônio, monóxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio e hidrocarboneto na estação Irajá - 2019.

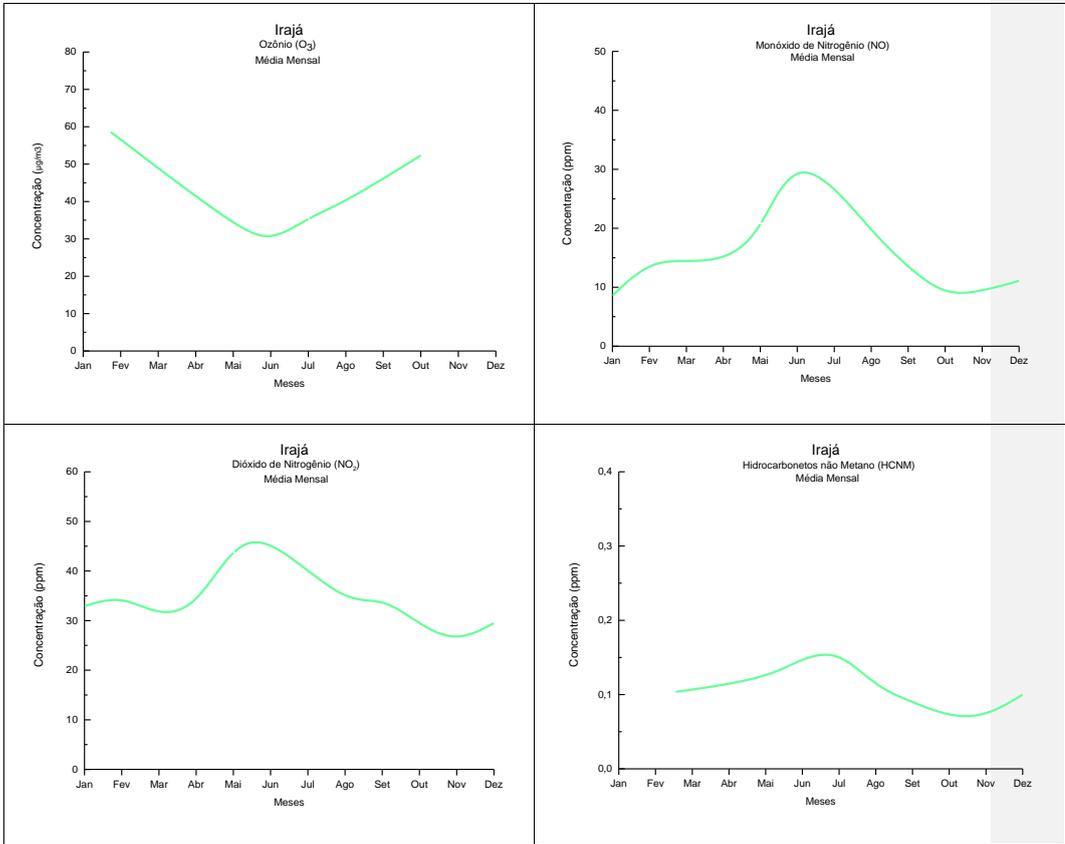


Figura 52 - Perfil mensal de ozônio, monóxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio e hidrocarboneto na estação Bangu - 2019.

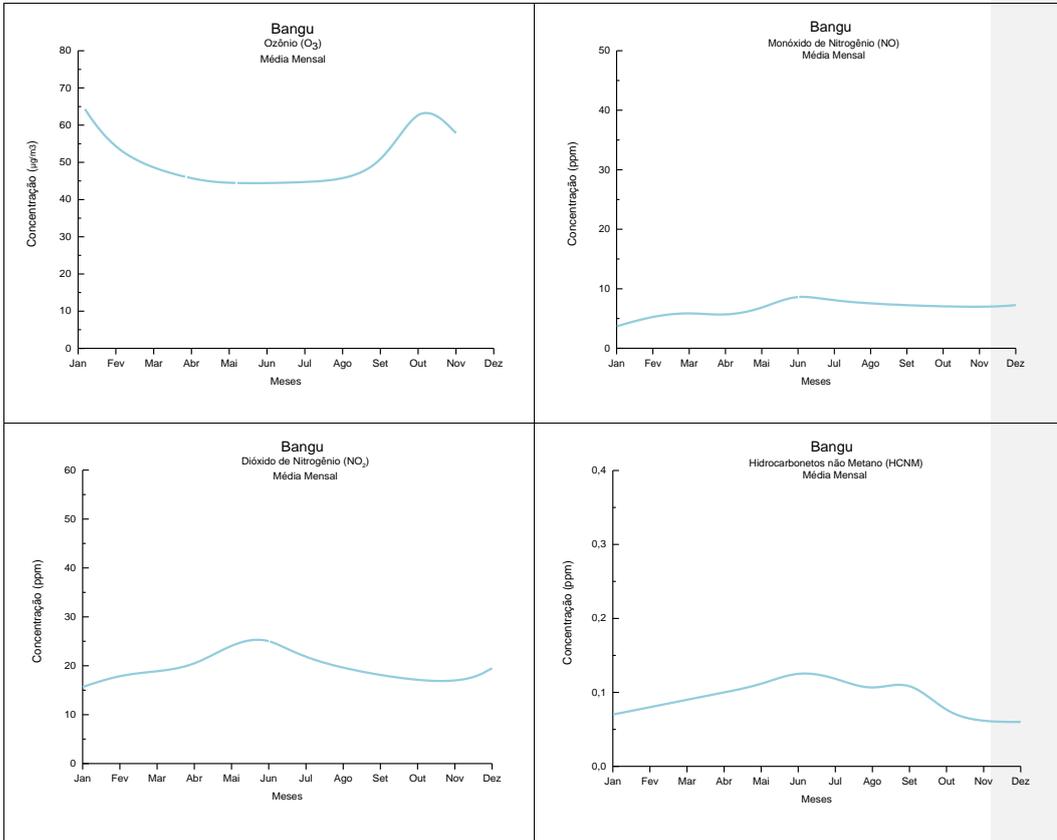
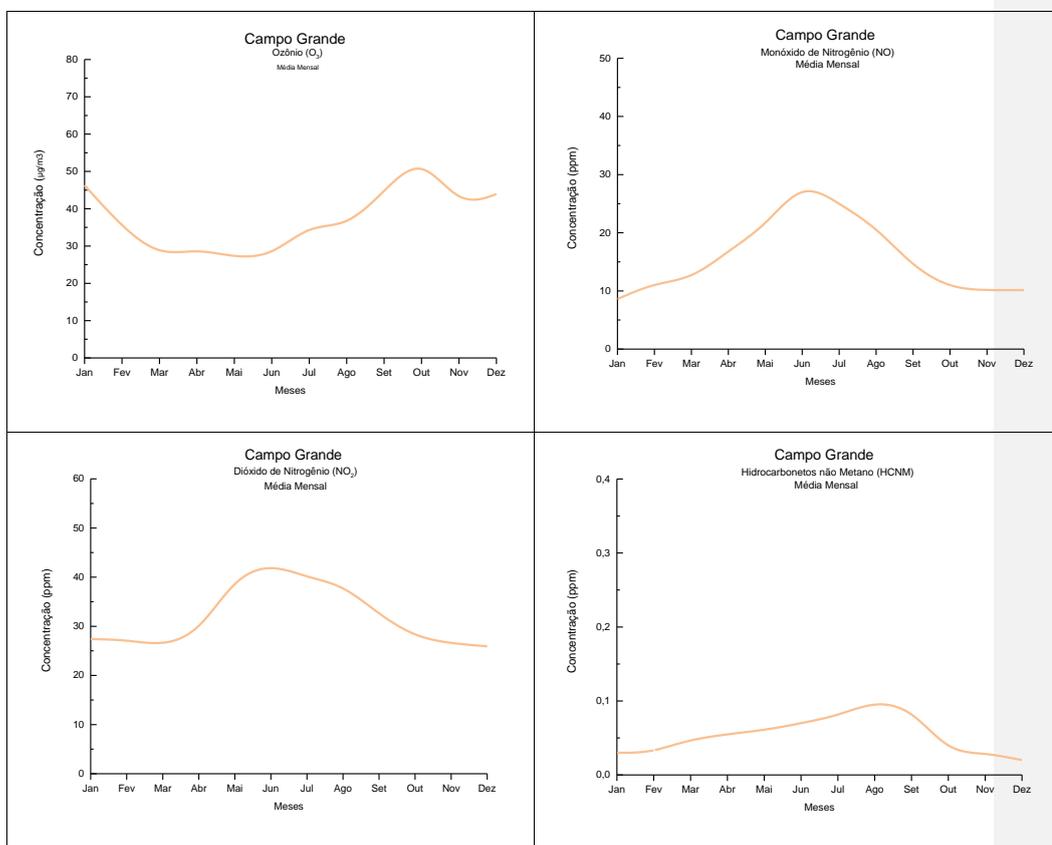


Figura 53 - Perfil mensal de ozônio, monóxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio e hidrocarboneto na estação Campo Grande - 2019.

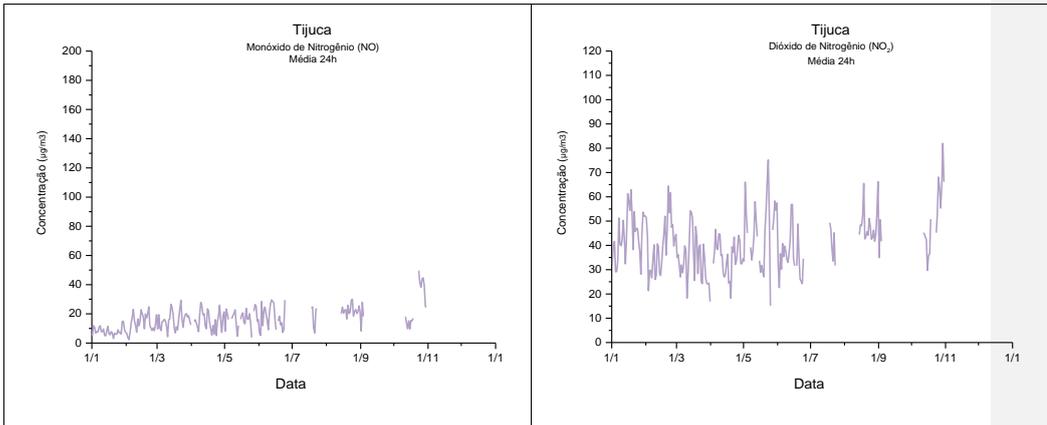


O perfil mensal (Figuras 50-53) apresenta o mesmo padrão para as quatro estações, ou seja, nos meses de pouca radiação solar (inverno) verificou-se as menores concentrações de ozônio. Apesar de as concentrações de seus precursores serem mais altas no mesmo período, devido às condições meteorológicas menos favoráveis à dispersão de poluentes.

4.3.6.3 Análise das médias de 24 horas

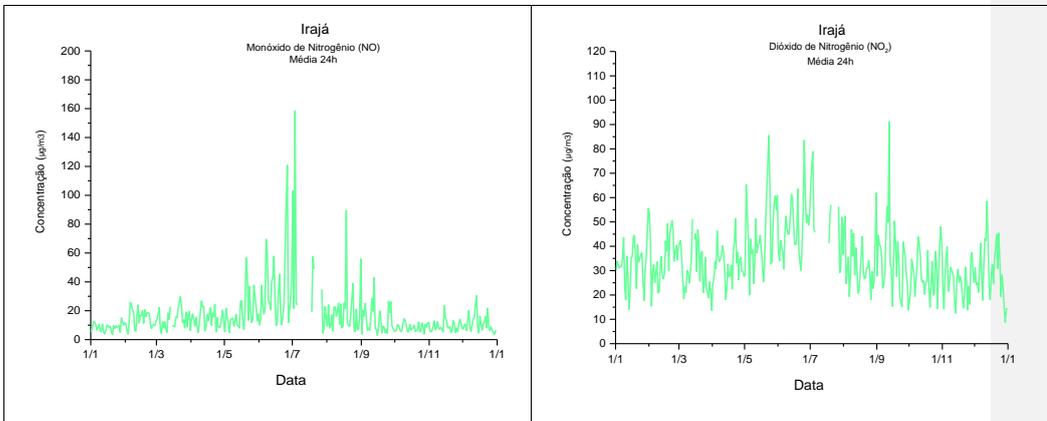
- Estação Tijuca

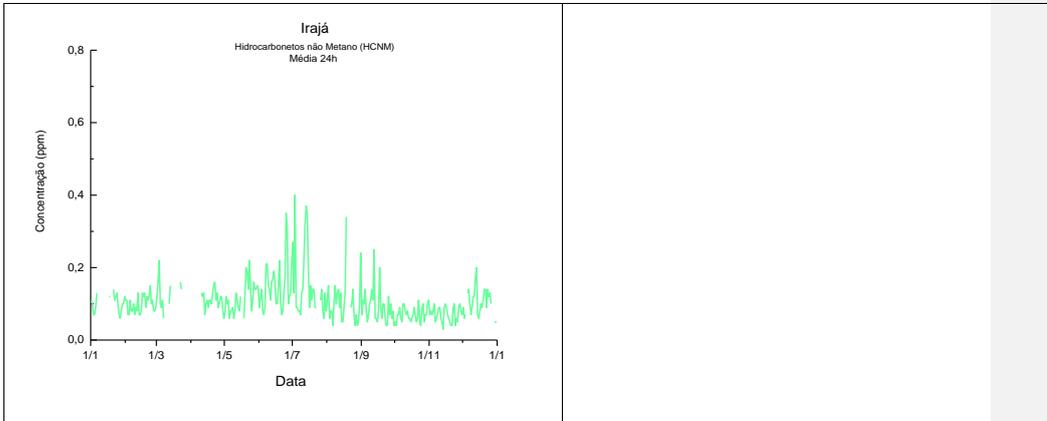
Figura 54 - Média de 24h de monóxido e dióxido de nitrogênio na estação Tijuca - 2019.



- Estação Irajá

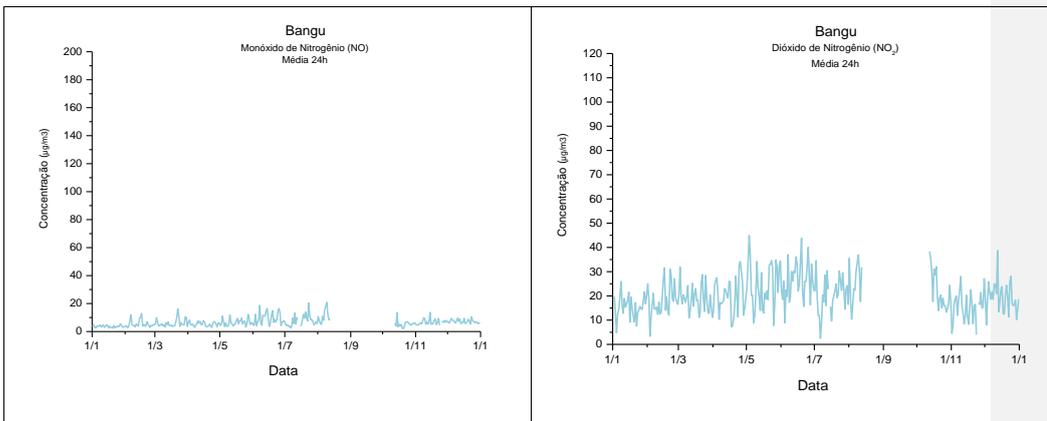
Figura 55 - Média de 24h de monóxido e dióxido de nitrogênio e hidrocarboneto não metano na estação Irajá - 2019.

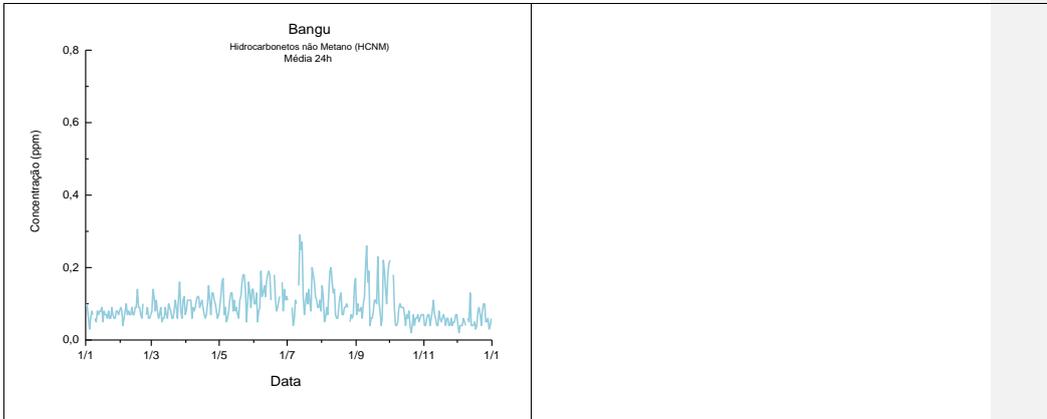




- Estação Bangu

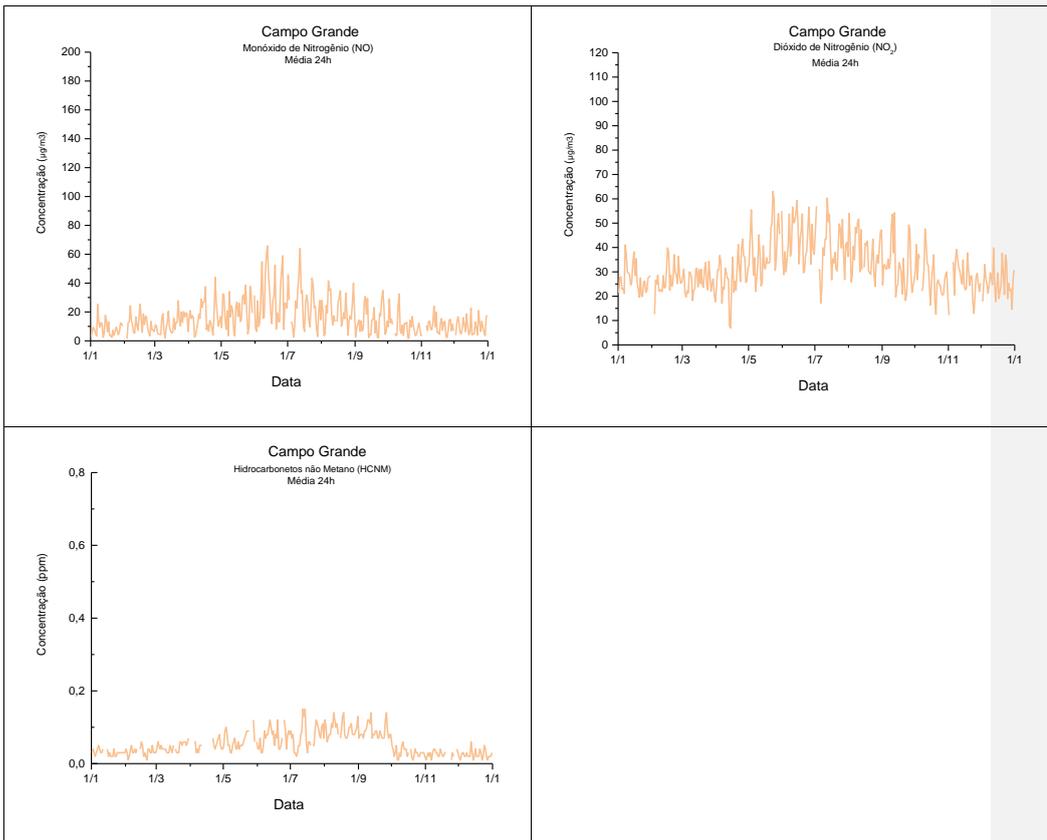
Figura 56 - Média de 24h de monóxido e dióxido de nitrogênio e hidrocarboneto não metano na estação Bangu - 2019.





- Estação Campo Grande

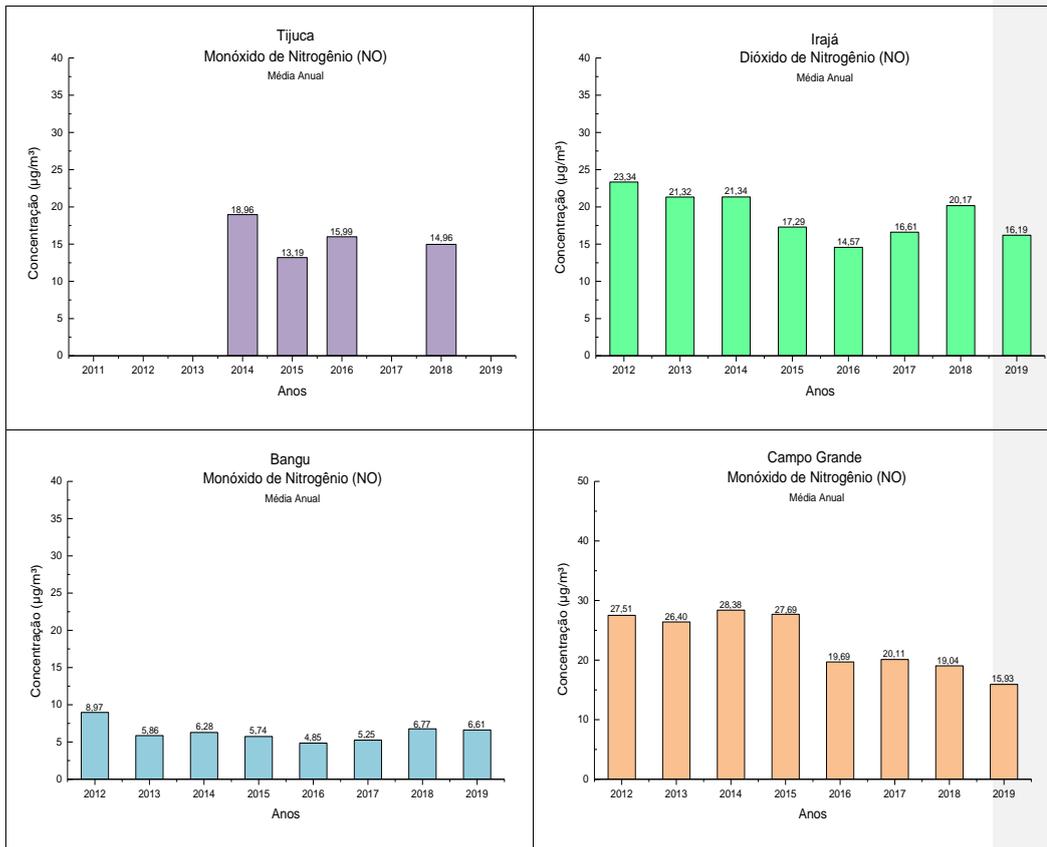
Figura 57 - Média de 24h de monóxido e dióxido de nitrogênio e hidrocarboneto não metano na estação Campo Grande - 2019.



.3.6.4 Análise das médias anuais

Verificou-se tendência a decréscimo das concentrações anuais, haja visto que a frota veicular aumenta a cada ano, conforme figura 58.

Figura 58 - Média anual de monóxido de nitrogênio nas estações Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019.

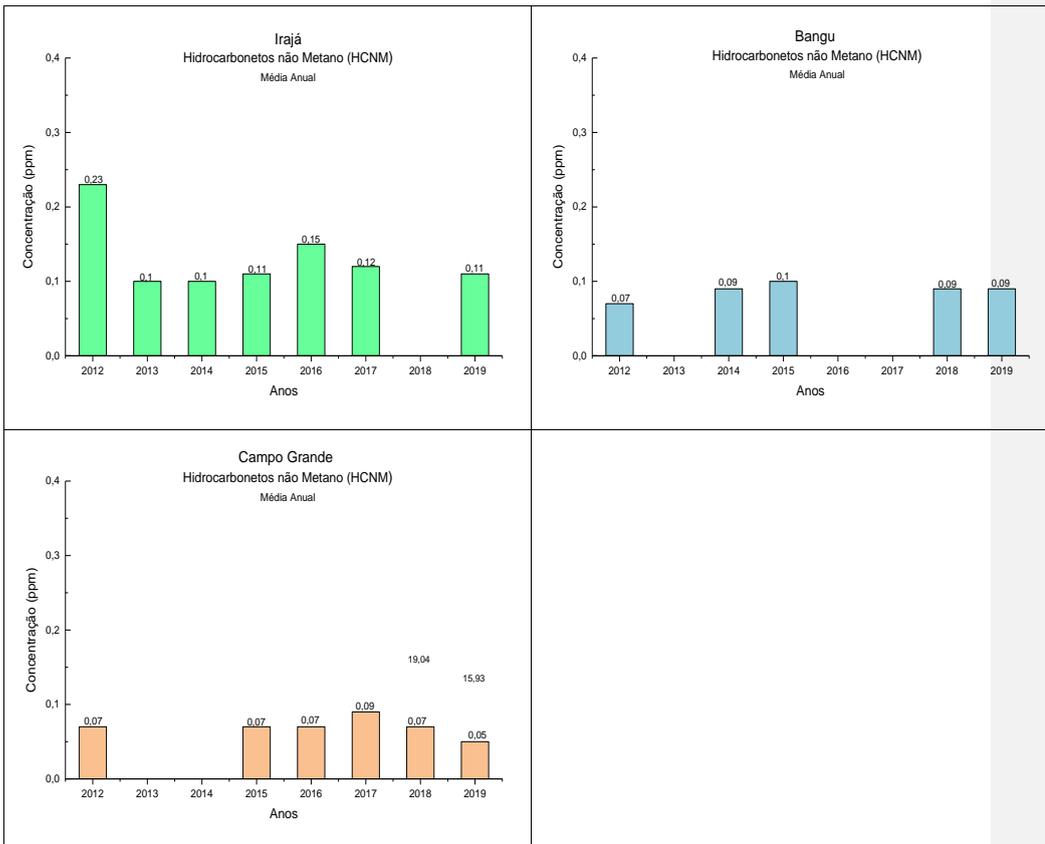


4.5 HIDROCARBONETOS

4.5.2 Média anual

Verificou-se tendência a decréscimo das concentrações anuais médias, conforme figura 59, haja visto que a frota veicular aumenta a cada ano.

Figura 59 - Média de 24h de hidrocarbonetos não metano nas estações Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019.



4.6 DIÓXIDO DE NITROGÊNIO

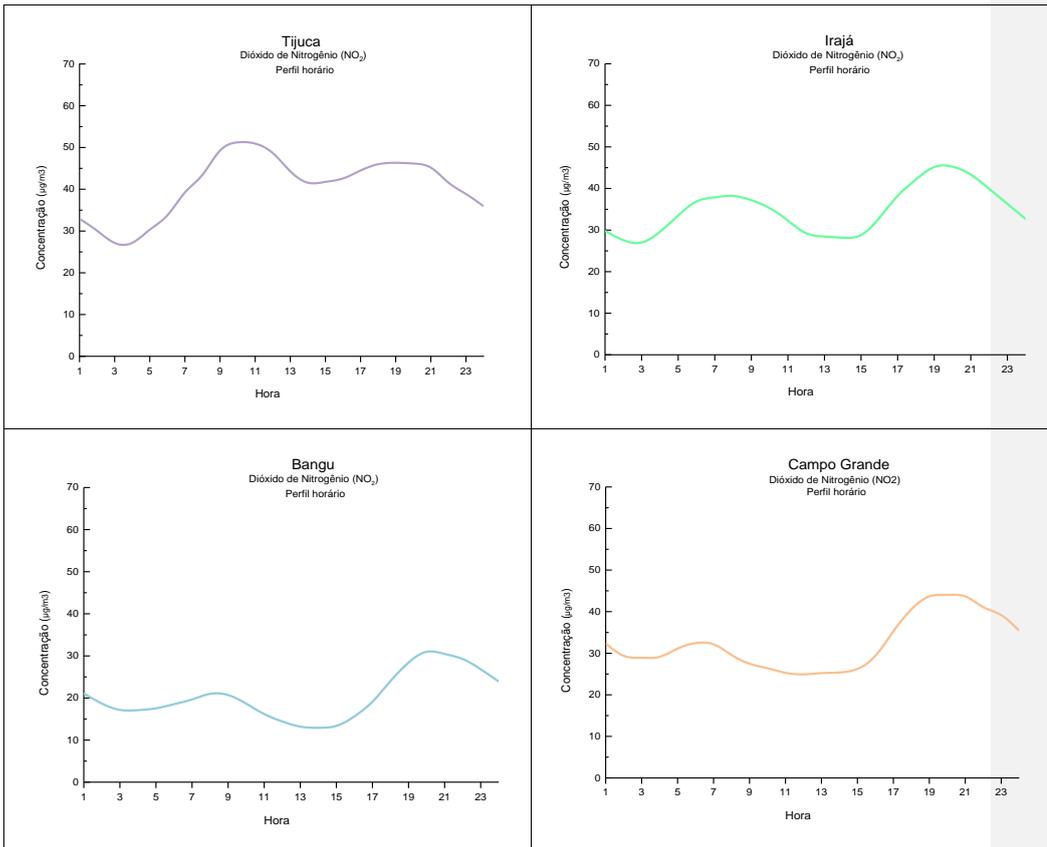
As medições de NO_2 estão sempre abaixo do limite estabelecido pela CONAMA 491/2018. Contudo, monitorar este poluente é de suma importância para melhor entender o comportamento do ozônio troposférico. Este poluente é monitorado nas estações Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande.

Como não se obteve 75% de representatividade não foi avaliado o NO_2 na estação Tijuca.

4.6.1 Análise do perfil diário

Na figura 60 observa-se que nos horários de maior radiação solar mais fotólise (fluxograma 2) sobre o NO_2 , consequentemente sua concentração decai. No final da tarde a concentração de NO_2 aumenta, provavelmente devido às reações do fluxograma 3.

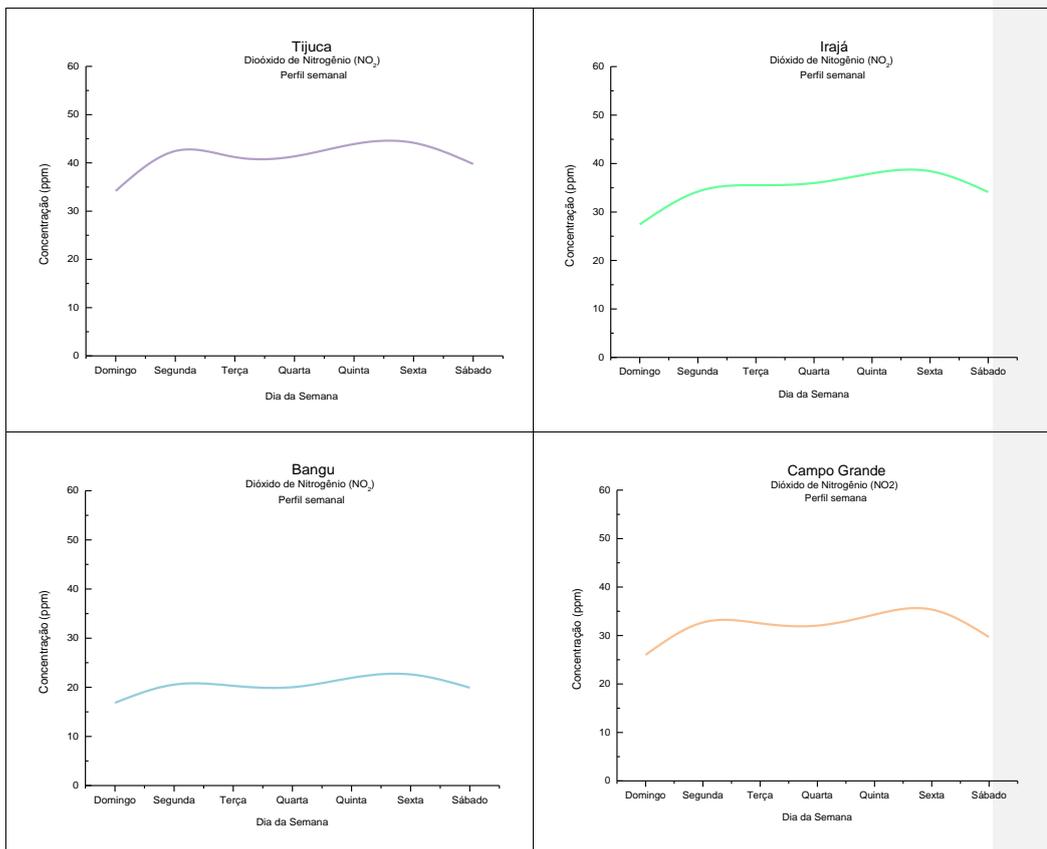
Figura 60 - Perfil horário de dióxido de nitrogênio nas estações Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019.



4.6.2. Análise do perfil semanal

Observa-se que quando a circulação veicular decresce, as concentrações de NO₂ também decrescem.

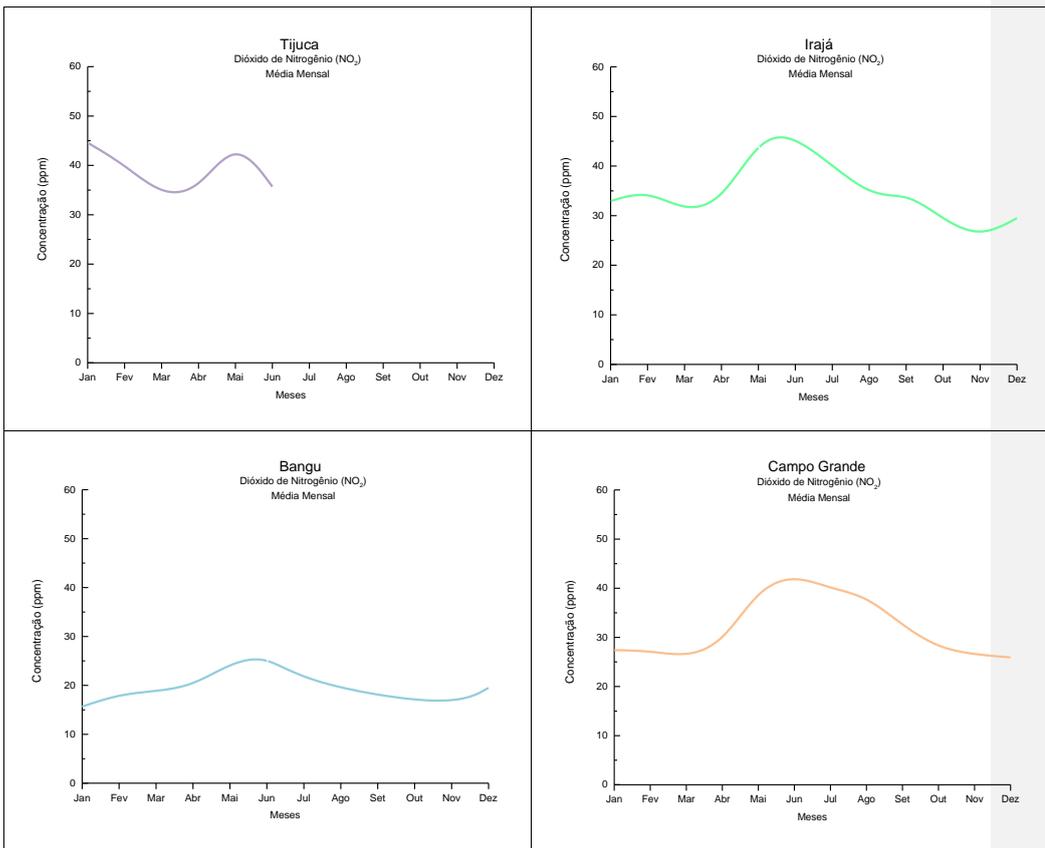
Figura 61 - Perfil semanal de dióxido de nitrogênio nas estações Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019.



4.6.3 Análise do perfil mensal

As medições das médias mensais para NO₂ resultaram conforme esperado, ou seja, maiores concentrações nos meses de inverno, vide figura 62.

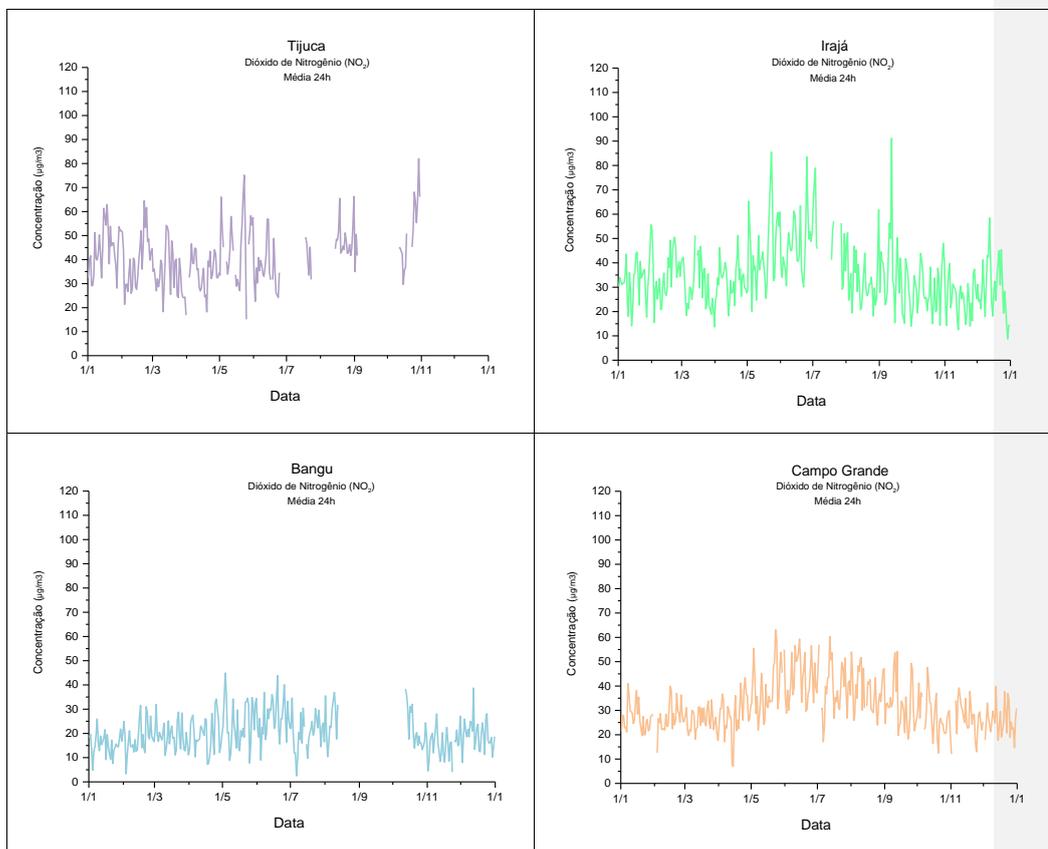
Figura 62 - Média mensal de dióxido de nitrogênio nas estações Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019.



4.6.4 Análise das médias de 24 horas

Conforme figura 63 não foi ultrapassado o limite de 260 µg/m³ em nenhuma das quatro estações onde é monitorado.

Figura 63 - Média de 24h de dióxido de nitrogênio nas estações Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019.

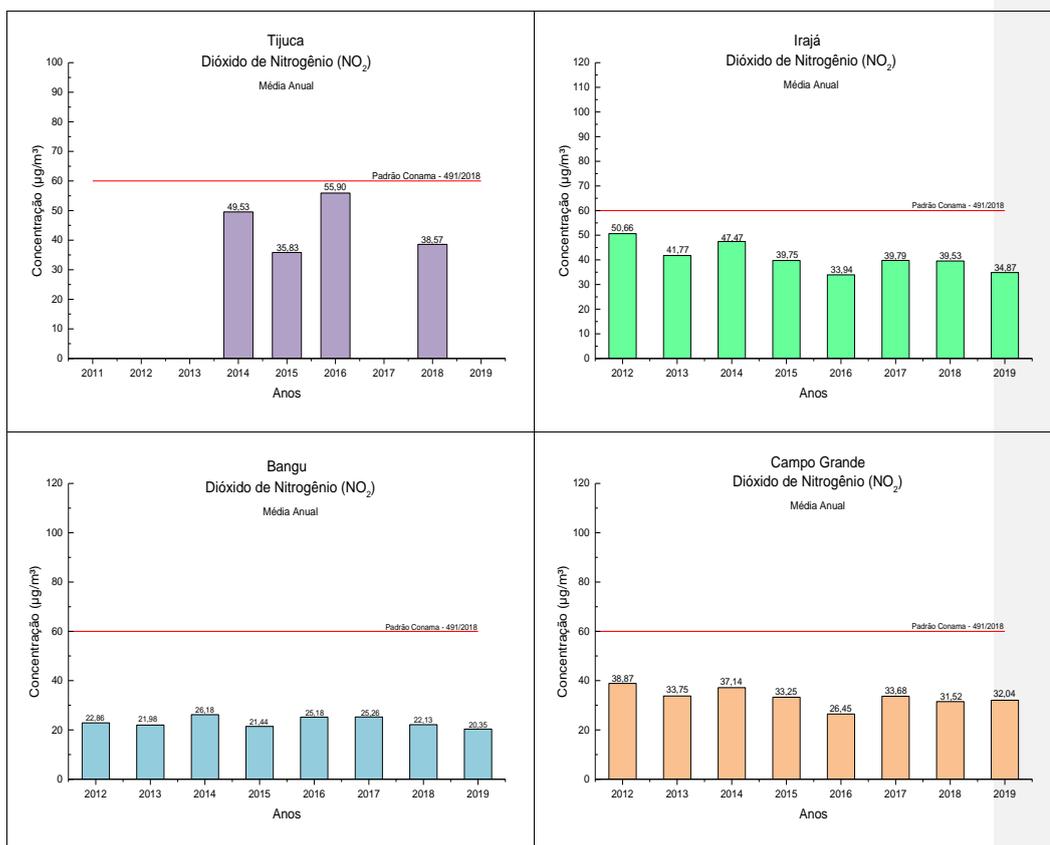


4.6.5 Análise das médias anuais

Na figura 64 percebe-se que há a tendência ao decréscimo das concentrações de NO₂ para as quatro estações. Muito embora a frota veicular aumente a cada ano, verifica-se que a concentração anual não acompanhou esse

movimento.

Figura 64 - Média anual de dióxido de nitrogênio nas estações Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019.



4.7 MONÓXIDO DE CARBONO

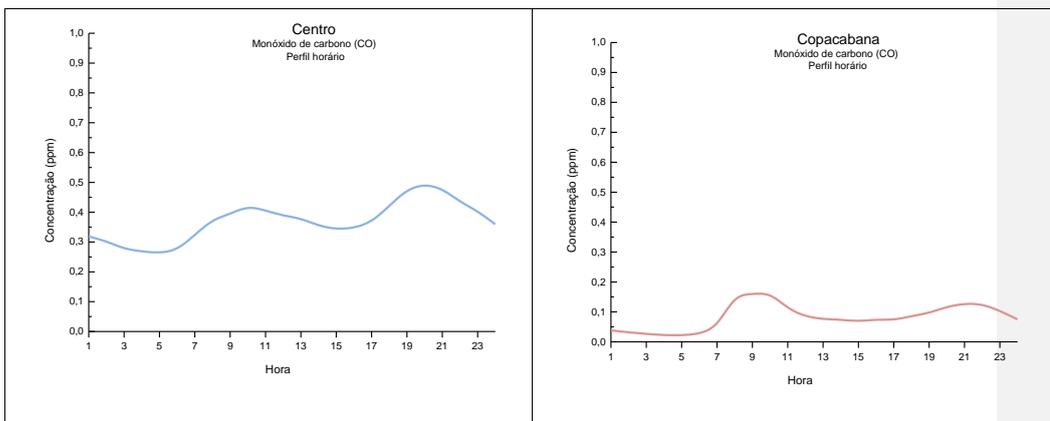
Exceto na estação Pedra de Guaratiba, este poluente é monitorado nas demais sete estações fixas: Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande. Na maior parte do tempo as médias móveis

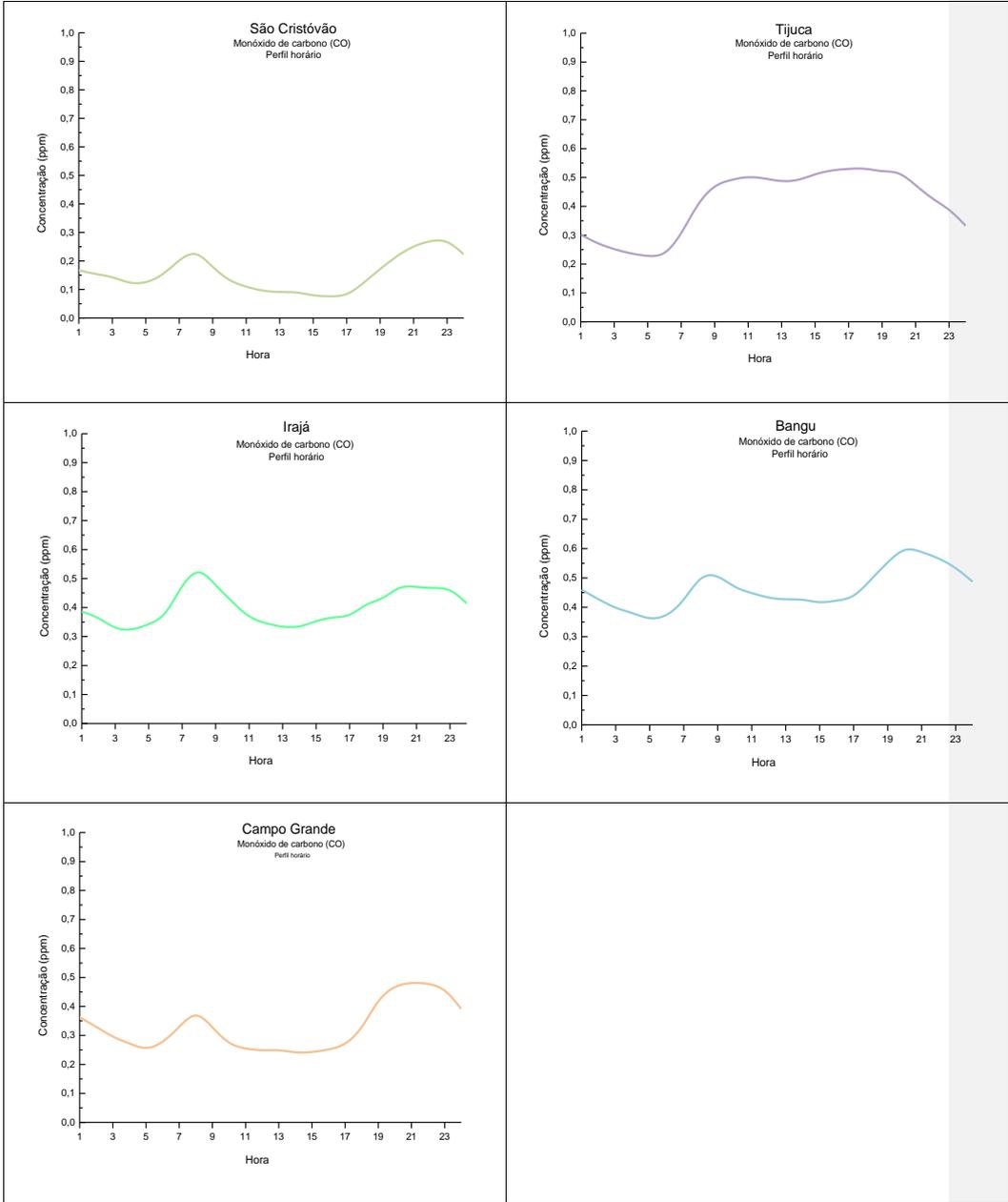
de 8 horas estiveram abaixo de 1 ppm, ou seja, aproximadamente 10% do padrão estabelecido (9ppm). Ressalta-se que as estações de Copacabana e São Cristóvão registraram as menores emissões de CO.

4.7.1 Análise de perfis horários

É possível observar nos gráficos de perfil horário de cada estação que as emissões de monóxido de carbono no entorno de seis estações são bem caracterizadas pelos horários de *rush* na Cidade, a exceção é a da Tijuca que mantém praticamente constante as emissões de CO durante o dia, vide figura 65. Isto ocorre devido ao intenso comércio, intensa movimentação de transeuntes e de veículos leves e pesados (ônibus) durante todo o dia. Além disso, a direção do vento é predominante no quadrante sul ao Maciço da Tijuca e possui longos períodos de calma devido à grande quantidade de edificações. As estações de Campo Grande, Bangu e São Cristóvão registraram as maiores concentrações de CO no horário do *rush* noturno, enquanto que Copacabana e Irajá no horário do *rush* diurno. As emissões de CO da Tijuca aumentam por volta de 7 horas e permanecem constantes o dia todo, provavelmente, devido à proximidade de uma via de mão dupla.

Figura 65 - Perfil horário de monóxido de carbono nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande – 2019.

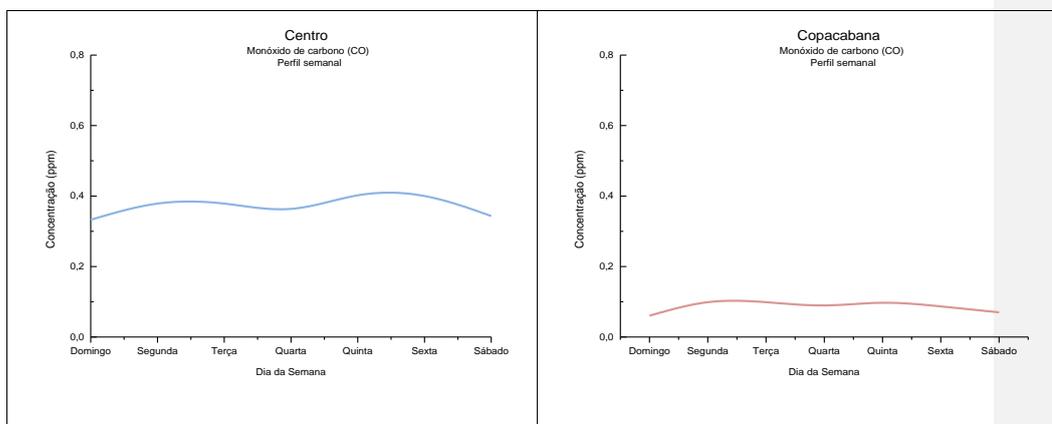




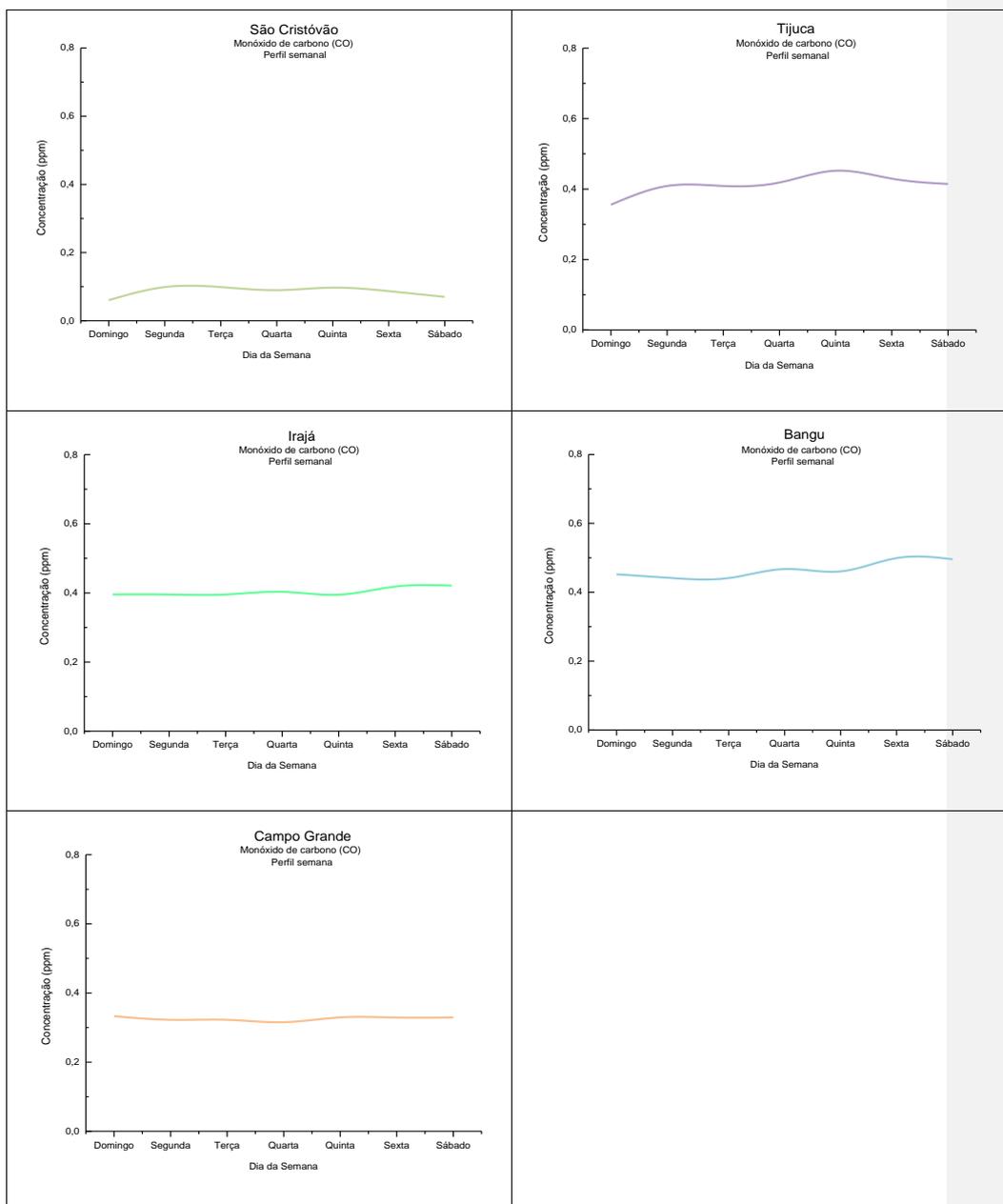
4.7.2 Análise de perfis semanais

Observa-se na figura 66 que o perfil semanal deste poluente é praticamente linear em todas as estações. Existe um leve declínio nas concentrações no meio da semana para as estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca e Campo Grande. Possivelmente, devido à menor circulação de veículos no meio da semana, conforme costume dos motoristas da cidade. As estações de Bangu e Irajá não apresentam esse pequeno declínio provavelmente, por estar a estação Irajá localizada próximo ao cemitério e a dois supermercados (Mundial e Guanabara), e a estação Bangu perto do shopping Bangu e ao mercado Assaí. Desta forma, o movimento de veículos é constante durante toda semana. Novamente a Estação Tijuca é a exceção, pois suas concentrações são maiores na quinta e sexta e sábado, presumivelmente devido a uma feira de artesanato que ocorre toda sexta e sábado⁸.

Figura 66 - Perfil semanal de Monóxido de Carbono nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019.



⁸ <http://www.rio.rj.gov.br/calouste/feirartes.htm>

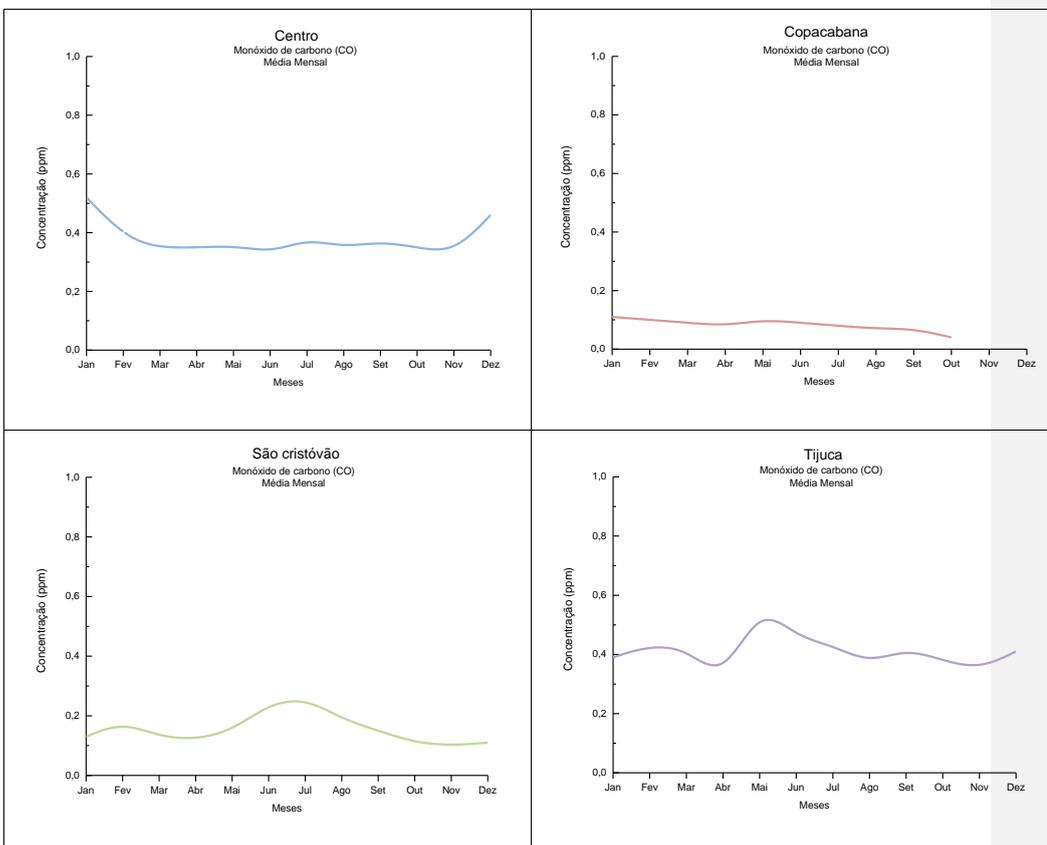


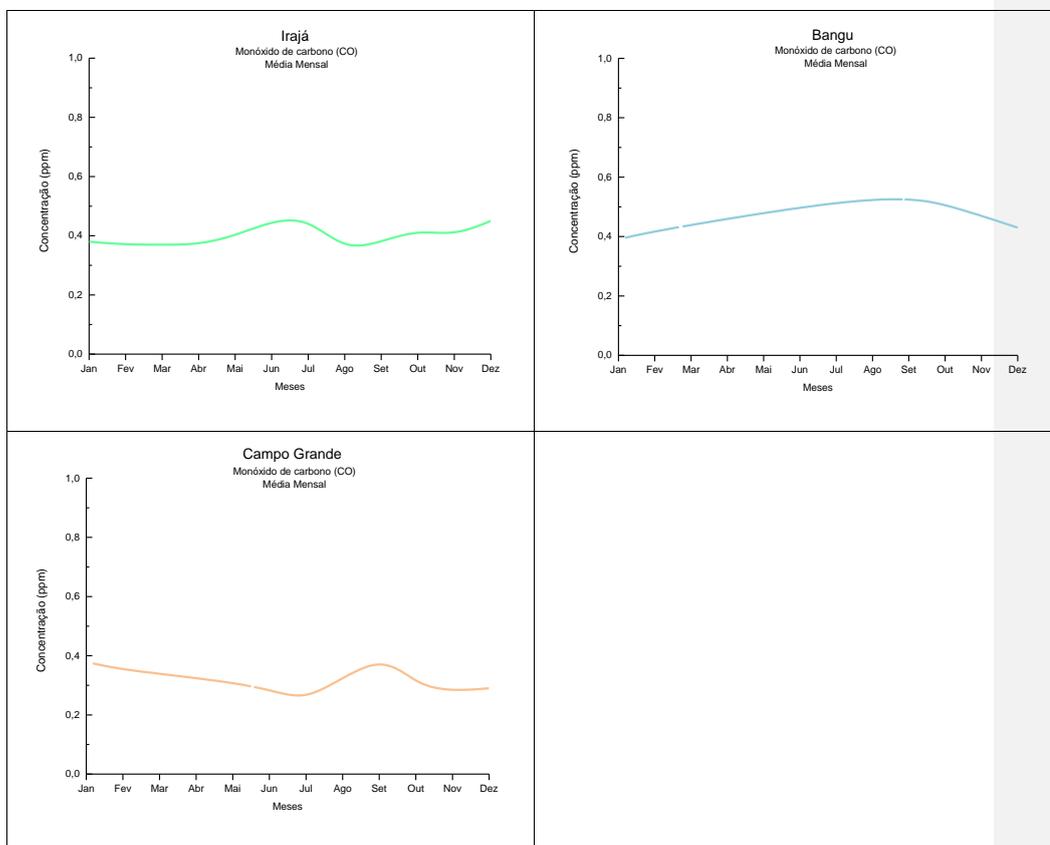
4.7.3 Análise de perfis mensais

O comportamento do perfil mensal difere de uma estação para outra. Na estação de Copacabana as emissões

são baixas e praticamente lineares ao longo do ano, indicando circulação veicular constante na localidade. As estações São Cristóvão, Tijuca, Irajá e Bangu apresentam maiores concentrações no inverno, pois esse período do ano é caracterizado pela calma dos ventos e pequeno gradiente de temperatura no ar atmosférico, assim dificultando a dispersão dos poluentes. A estação Centro mediu maiores concentrações em janeiro e dezembro; neste mês atribuiu-se esta diferença à maior circulação de veículos devido ao período festivo. Quanto ao mês de janeiro foi considerado atípico. No próximo relatório anual será importante averiguar se o comportamento persiste ou se pode ser considerado um fato isolado. Da mesma forma na estação Campo Grande que apresentou comportamento atípico com maiores concentrações em setembro, vide figura 67.

Figura 67 - Perfil mensal de monóxido de carbono nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019.

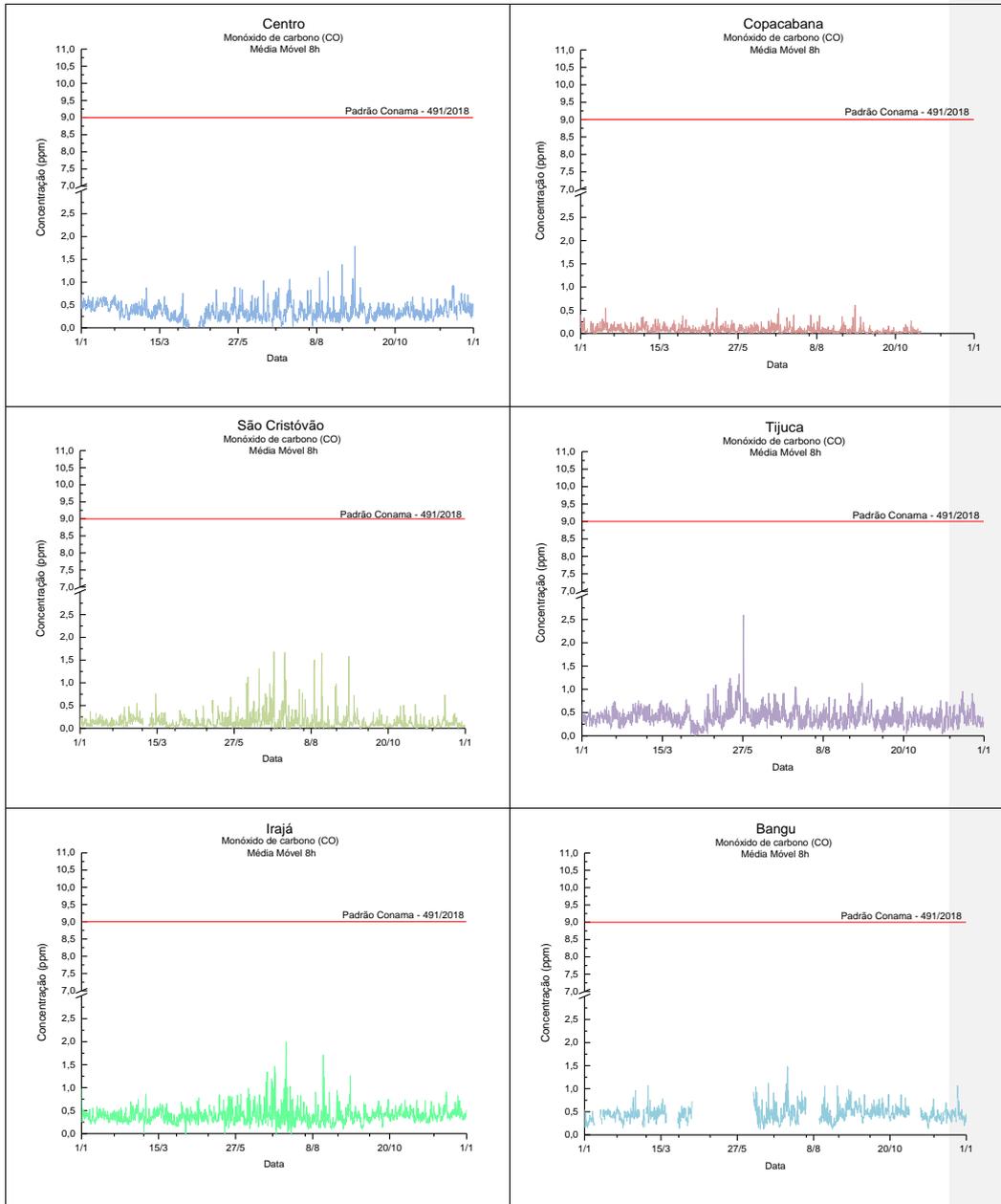


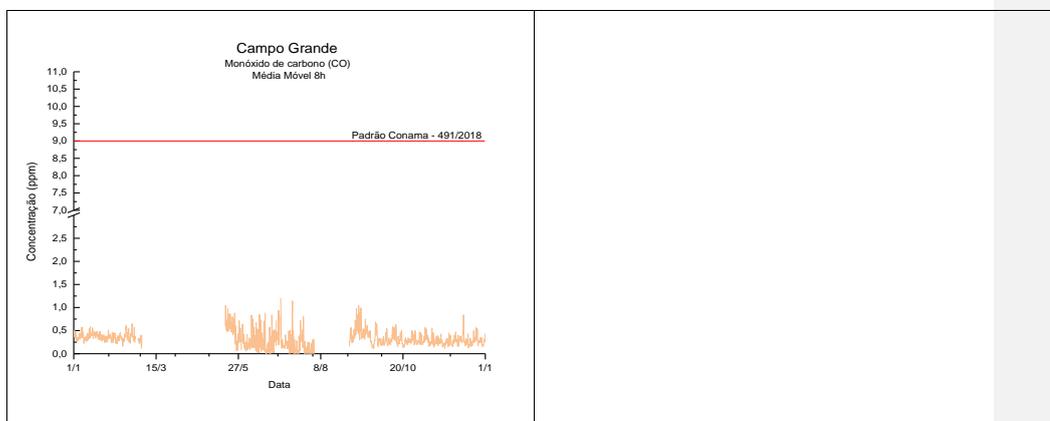


4.7.4 Análise média móvel 8 horas

Conforme demonstrado na figura 68 as médias móveis de 8 horas para o monóxido de carbono estiveram bem abaixo do limite estabelecido pelo CONAMA 491/2018. A maioria das concentrações variou entre 0 e 1 ppm. A máxima média móvel de 8 horas observada foi de 3,86 ppm em Irajá em 01 de junho. Ao analisar a rosa dos ventos (anexo E) para esta localidade percebe-se que os períodos de calma foram bastante prolongados, desfavorecendo a dispersão de poluentes.

Figura 68 - Perfil média móvel 8h de monóxido de carbono nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande – 2019.





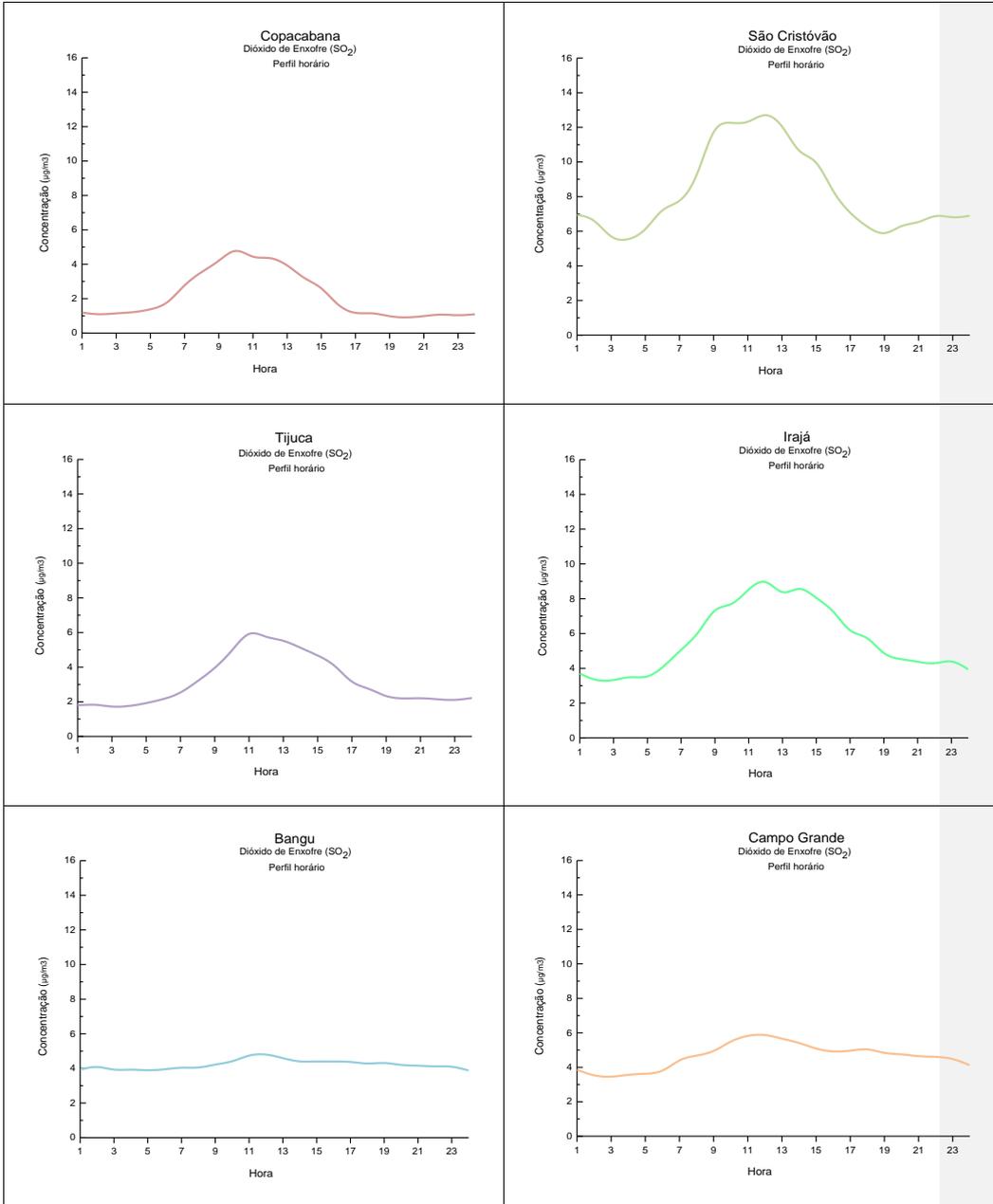
4.8 DIÓXIDO DE ENXOFRE

O SO₂ é monitorado em seis estações: Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande. Durante o ano as concentrações medidas estiveram muito abaixo do limite estabelecido pelo CONAMA 491/2018.

4.8.1 Análise do perfil diário

Na figura 69 nota-se que as maiores concentrações diárias são nos horários de maior temperatura. Como o SO₂ reage com o vapor d'água formando o H₂SO₄, nos horários mais quentes existe menos vapor d'água disponível e, conseqüentemente maior concentração de dióxido de enxofre.

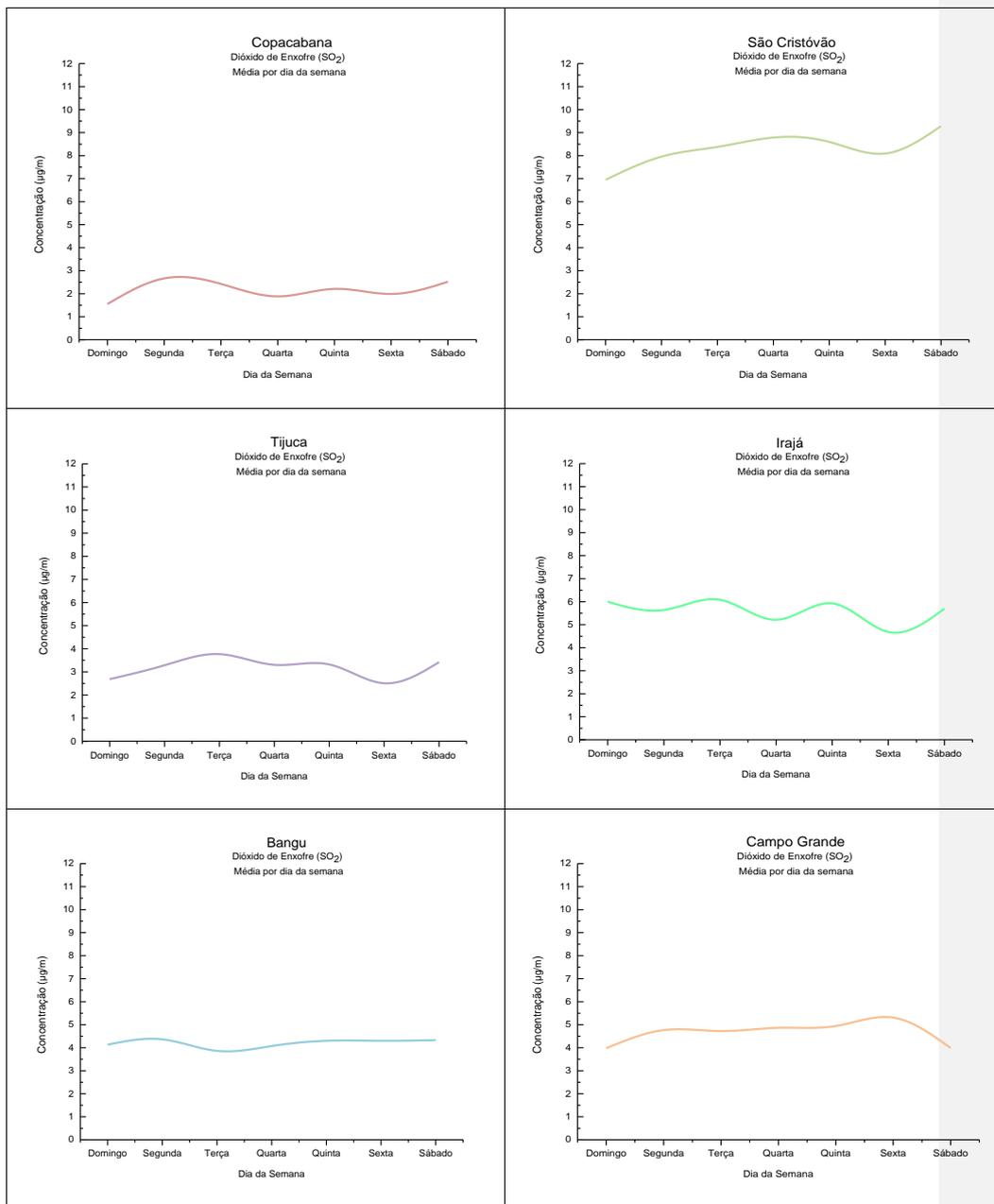
Figura 69 - Perfil horário de dióxido de enxofre nas estações Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019.



4.8.2 Análise do perfil semanal

Na figura 70 nota-se que as concentrações de SO₂ durante a semana são praticamente constantes.

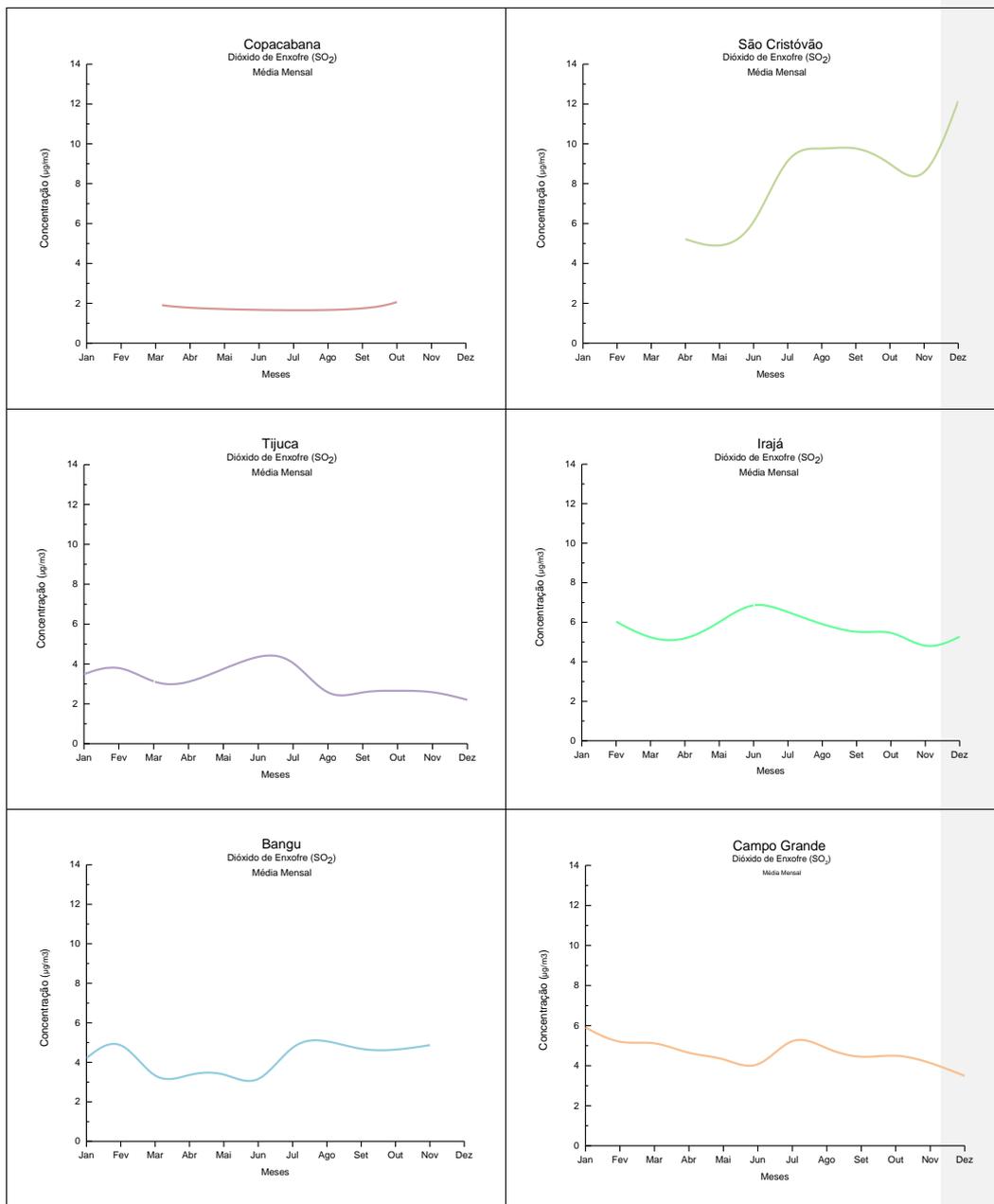
Figura 70 - Perfil semanal de Dióxido de Enxofre nas estações Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019.



4.8.3 Análise do perfil mensal

Assim como os outros poluentes primários as maiores concentrações foram verificadas no inverno, onde as condições meteorológicas são desfavoráveis à dispersão dos poluentes, conforme figura 71.

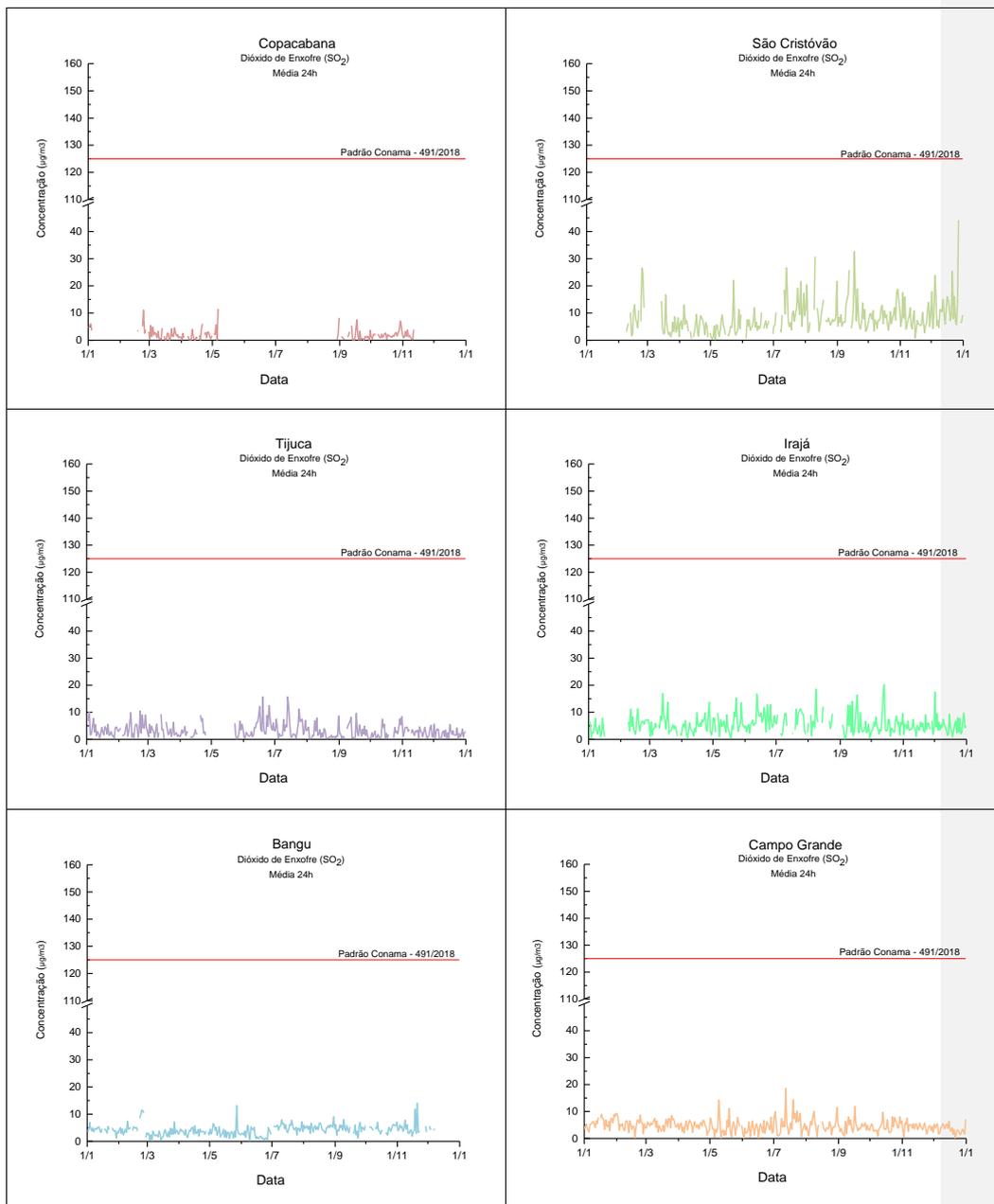
Figura 71 - Média mensal de dióxido de enxofre nas estações Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019.



4.8.4 Análise das médias de 24 horas

Na figura 72 observa-se que não houve ultrapassagem do padrão em nenhuma das estações. Pelo contrário, as concentrações medidas estiveram bem abaixo do limite durante o ano todo.

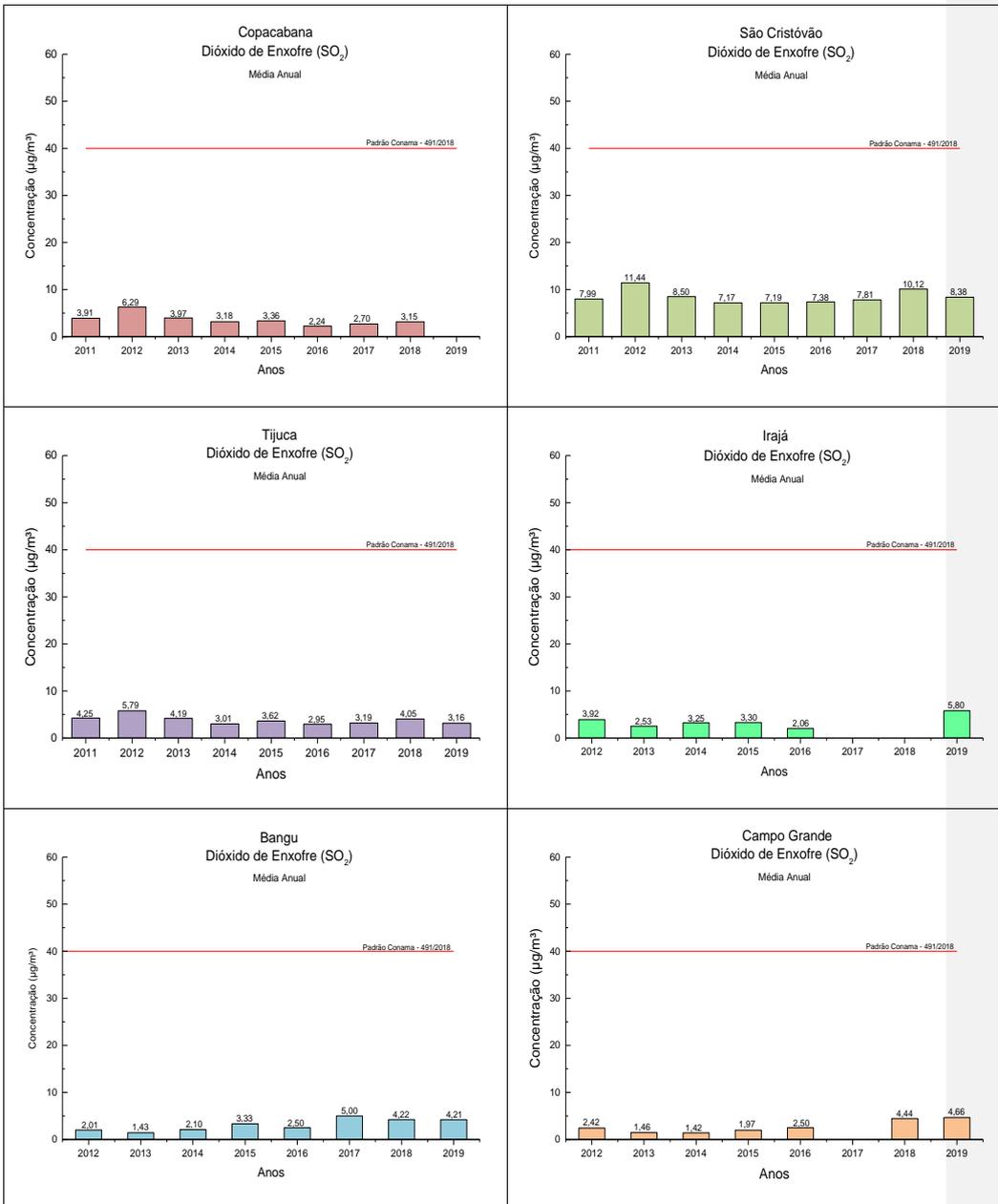
Figura 72 - Média de 24h de dióxido de enxofre nas estações Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu e Campo Grande - 2019.



4.8.4 Análise das médias anuais

Verificou-se tendência de decréscimo ao longo dos anos, haja visto que a frota veicular aumenta anualmente e as concentrações medidas pouco sofreram variação.

Figura 73 - Média anual de dióxido de enxofre nas estações Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba - 2019.



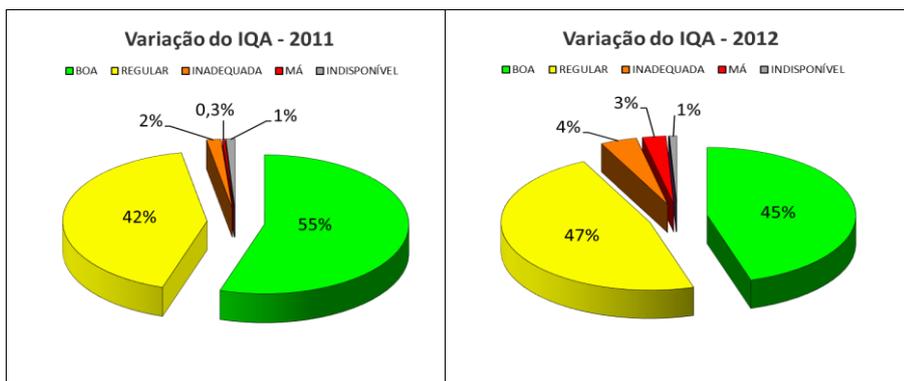
4.9 IQA

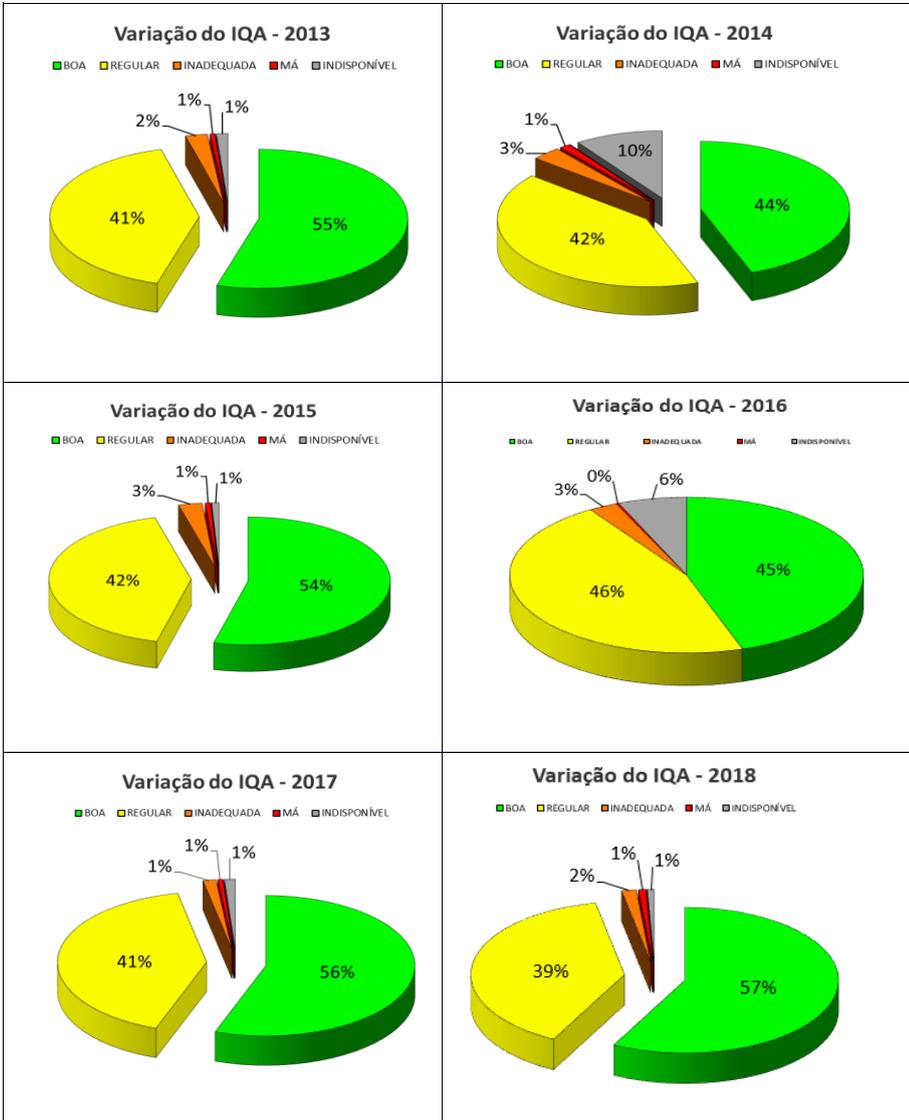
Embora a rede de monitoramento do ar do Programa MonitorAr – Rio possua oito estações fixas, determinar uma classificação geral para a qualidade do ar no município do Rio de Janeiro apresenta sérias dificuldades. Cada região sofre influência de variáveis distintas que afetam tanto a emissão quanto a dispersão dos poluentes atmosféricos.

Na tentativa de comparar os resultados observados nos últimos anos, e de acordo com o CONAMA 03/90, foram inseridos os gráficos constantes das Figuras 74 e 75. Nota-se a alternância da classificação anual da qualidade do ar BOA, com a diminuição da porcentagem de dias com de 55% em 2011 para 44% em 2014, aumento para 54% em 2015, um declínio para 45% em 2016, em 2017 e 2018 aumento a cada ano chegando a 57%, finalizando com uma queda acentuada em 2019 de 11 pontos percentuais. Houve aumento no número de dias com classificação REGULAR e INADEQUADA em 2011 e 2012, se mantendo estável nos anos de 2013 a 2015 com leve aumento de 4% em 2016. Nos anos de 2017 e 2018 ocorreu uma redução significativa chegando em 39% na classificação REGULAR, todavia o ano de 2019 apresentou um aumento com 44%. Em compensação a classificação MÁ subiu de menos de 1%, em 2011, para 3% em 2012 e diminuiu de 2012 para 2018. Somente no ano de 2019 voltou a subir chegando a 4%, sendo esse o valor máximo de todos os anos. (Figura 74).

Logo, a conclusão referente à mudança na distribuição dos Índices de Qualidade do Ar entre 2011 e 2019 é que as quatro estações inauguradas em dezembro de 2011, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba, estão situadas em regiões que sofrem maior impacto da poluição atmosférica em comparação com as demais estações da rede. Tal fator reforça a importância da instalação destas quatro estações, nos locais selecionados, para confrontação com as quatro estações instaladas inicialmente, Centro, Copacabana, Tijuca e São Cristóvão e avaliação das condições atmosféricas e de qualidade do ar no município.

Figura 74 - Distribuição dos poluentes responsáveis por indicar a classificação da qualidade do ar.



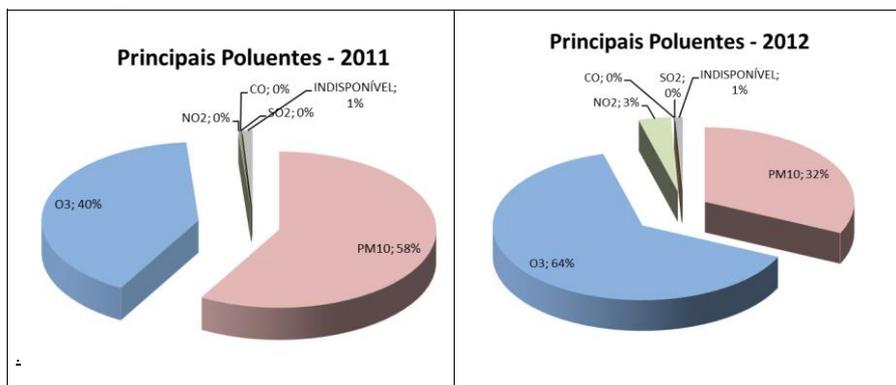


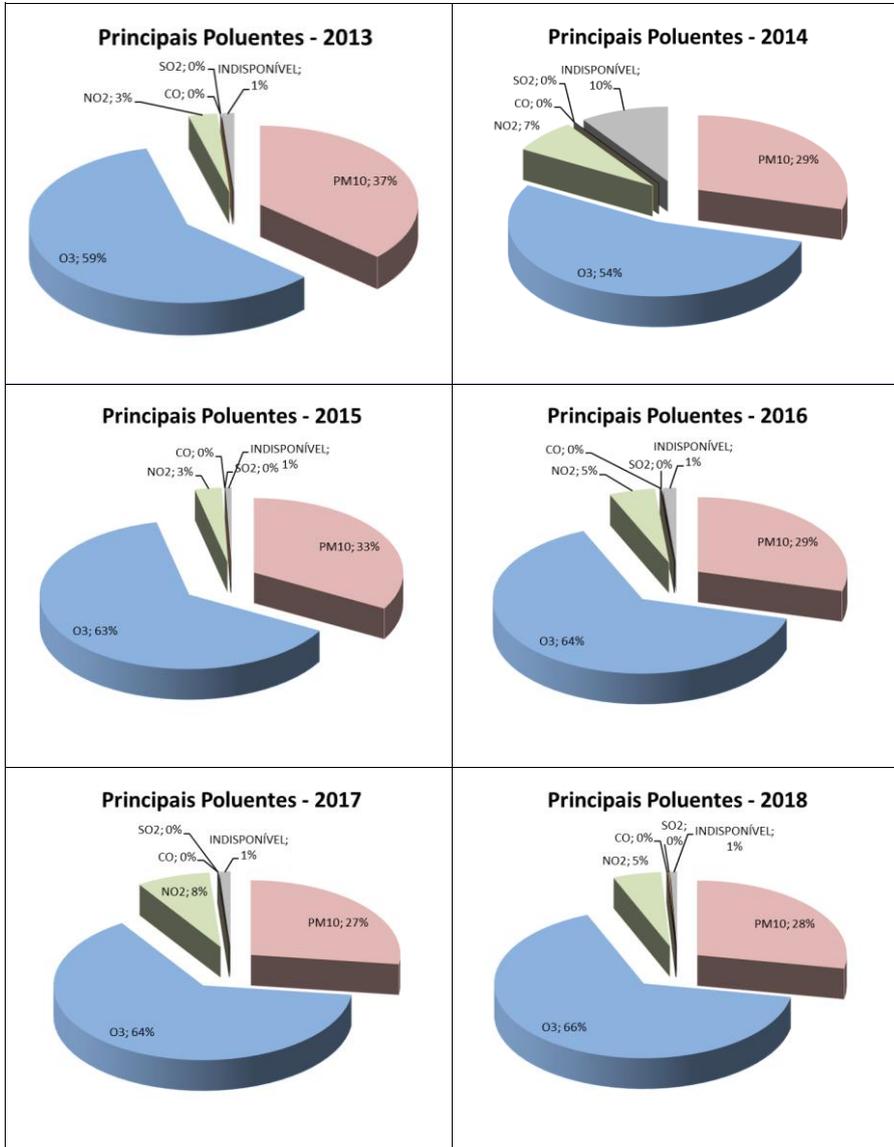


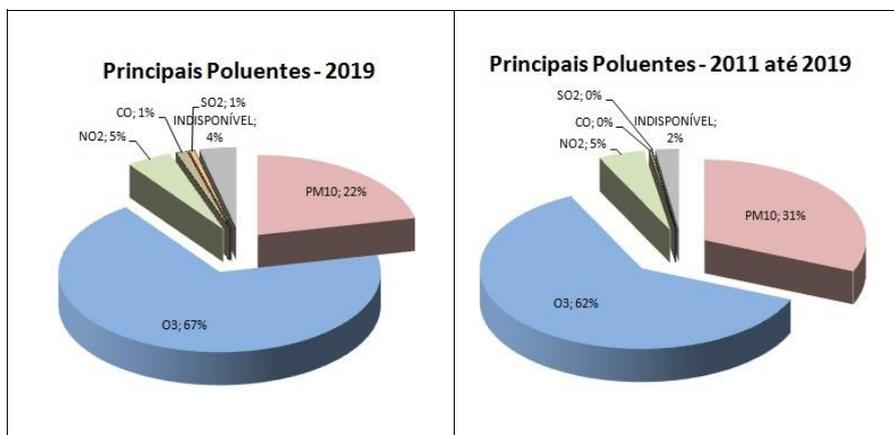
4.10 CLASSIFICAÇÃO POR POLUENTE

O balanço dos poluentes que definiram o Índice de Qualidade do Ar nos boletins divulgados para os anos de 2011 a 2019 se encontra na forma dos gráficos da Figura 75. Em síntese, as partículas inaláveis foram o poluente responsável por classificar a qualidade do ar em maior número de dias ao longo de 2011 e o ozônio nos demais anos de 2012 a 2019. Considerando os resultados observados em Irajá, Bangu e Campo Grande, entre 2012 e 2019 o ozônio passou a ser o maior responsável por classificar a qualidade do ar de 2012 em diante. Outra diferença entre os anos de monitoramento foi a presença dos analisadores de óxidos de nitrogênio, responsáveis por indicar a classificação em 5% do total de dias monitorados ao longo dos anos de 2011 a 2019, respectivamente.

Figura 75 - Distribuição dos poluentes responsáveis por indicar a classificação da qualidade do ar.







Nos Quadros 19, 20 e 21 estão apresentadas as médias anuais das partículas inaláveis, dióxido de enxofre e dióxido de nitrogênio, respectivamente, durante o período de 2011 a 2019.

Em acordo com o CONAMA 491/18, o padrão anual para as partículas inaláveis é de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dentre todas as estações destaca-se a de Copacabana, cujos registros apontam violações ao padrão ao longo de todos os anos de monitoramento. Nas demais estações, tal violação ocorre, porém em menor quantidade.

Não foram observadas ultrapassagem ao padrão CONAMA 491/18 para os poluentes SO_2 e NO_2 , onde os padrões pela nova legislação são 40 e 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

Quadro 19 - Média Anual De Partículas Inaláveis Observada Na Rede Poluentes E De Qualidade Do Ar - Monitorar-Rio - 2011 a 2019.

| Estações | Partículas inaláveis (média anual - $\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | | | | | | | |
|--------------------|--|------|------|------|------|------|------|-------|-------|---------------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | |
| | CONAMA 03/90 | | | | | | | | | Conama 491/18 |
| | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 40 |
| Centro | 39,7 | 41,5 | 33,1 | 35,1 | 34,5 | 30,3 | 25,6 | 31,8 | 28,49 | |
| Copacabana | 59,3 | 54,5 | 54,2 | 53,2 | 55,5 | 60,8 | 55 | 47,53 | 52,82 | |
| São Cristóvão | 41,5 | 37,5 | 36,4 | 39,6 | 35,2 | 28,4 | 29,9 | 28,91 | - | |
| Tijuca | 38,3 | 35,5 | 30 | 35,1 | 35,6 | 35,2 | 30,7 | 30,56 | 29,64 | |
| Irajá | 33,7 | 37,7 | 37,6 | 41,1 | 37,9 | 41,6 | 33,7 | 36,68 | 34,49 | |
| Bangu | 24,2 | 32,9 | 29,2 | 49,7 | 40,8 | 36,5 | 32,7 | 32,2 | 42,76 | |
| Campo Grande | 26,5 | 36,5 | 35,3 | 33,3 | 35,5 | 37,4 | 32,1 | 29,83 | 31,17 | |
| Pedra de Guaratiba | 29,4 | 34,1 | 31 | 36,4 | 34,9 | 33,2 | 35,2 | 32,38 | 34,24 | |

Quadro 20 - Média Anual De Dióxido De Enxofre Observado Na Rede De Poluentes e De Qualidade Do Ar - Monitorar-Rio - 2011 a 2019.

| Estações | Dióxido de Enxofre (média anual - $\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | | | | | | |
|---------------|--|------|------|------|------|------|------|-------|---------------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| | CONAMA 03/90 | | | | | | | | Conama 491/18 |
| | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 40 |
| Centro | 5 | 7,3 | 7,1 | 5,5 | 4,6 | ND | ND | ND | ND |
| Copacabana | 3,9 | 6,3 | 4 | 3,2 | 3,4 | 2,2 | 2,7 | 3,15 | - |
| São Cristóvão | 8 | 11,4 | 8,5 | 7,2 | 7,2 | 7,3 | 7,8 | 10,12 | 8,38 |
| Tijuca | 4,3 | 5,8 | 4,2 | 3 | 3,6 | 3 | 3,2 | 4,05 | 3,16 |
| Irajá | 10,5 | 3,9 | 2,5 | 3,3 | 3,3 | 2,9 | ND | ND | 5,8 |
| Bangu | 2,1 | 2,4 | 1,5 | 1,4 | 3,3 | 2 | 5 | 4,22 | 4,21 |
| Campo Grande | 0,5 | 2 | 1,4 | 2,1 | 2 | 2,5 | ND | 4,44 | 4,66 |

Quadro 21 - Média Anual De Dióxido De Nitrogênio Observado Na Rede De Poluentes E De Qualidade Do Ar - Monitorar-Rio - 2012 a 2019.

| Estações | Dióxido de Nitrogênio (média anual - $\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | | | | | |
|--------------|---|------|------|------|------|-------|-------|---------------|
| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| | CONAMA 03/90 | | | | | | | Conama 491/18 |
| CONAMA 03/90 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 60 |
| Tijuca | 34,5 | 19,4 | 49,5 | 35,8 | 55,5 | ND | 38,57 | - |
| Irajá | 50,7 | 41,8 | 47,5 | 39,8 | 33,8 | 39,79 | 39,57 | 34,87 |
| Bangu | 22,9 | 22 | 26,2 | 21,4 | 24,9 | 25,26 | 22,13 | 20,35 |
| Campo Grande | 38,9 | 33,8 | 37,1 | 33,3 | 26,2 | 33,68 | 19,04 | 32,04 |

Para o poluente ozônio foram observadas várias violações durante os anos de 2011 a 2019, em todas as estações. Lembrando que para o ano 2019 foi considerado a legislação CONAMA 491/18, cujo padrão é $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para médias móveis de 8 horas. Conforme supracitado no relatório, Bangu por possuir condições geográficas diferenciadas dando característica de vale para o bairro e, portanto, desfavorecendo a dispersão de poluentes. Além de ser o bairro mais quente da cidade. Fica evidenciado que estas condições influenciam sobremaneira na qualidade do ar em Bangu. Em Irajá, acredita-se que a proximidade a 2 supermercados e garagem de ônibus são as causas do número de ultrapassagens neste bairro.

Quadro 22 - Violação De Ozônio Observado Na Rede Poluentes e de Qualidade Do Ar - Monitorar-Rio - 2012 a 2019.

| Estações | Violações de ozônio | | | | | | | | |
|--------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|---------------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| | CONAMA 03/90 | | | | | | | | Conama 491/18 |
| Centro | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 |
| Copacabana | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 4 | 0 |
| São Cristóvão | 11 | 17 | 1 | 1 | 17 | 3 | 0 | 5 | 34 |
| Tijuca | 13 | 33 | 2 | 9 | 28 | 6 | 1 | 10 | 11 |
| Irajá | 0 | 163 | 21 | 52 | 56 | 23 | 7 | 42 | 62 |
| Bangu | 1 | 113 | 100 | 207 | 88 | 99 | 90 | 54 | 109 |
| Campo Grande | 15 | 69 | 3 | 4 | 14 | 4 | 14 | 4 | 20 |
| Pedra de Guaratiba | 10 | 58 | 26 | 34 | 5 | 14 | 10 | 6 | 4 |

Quadro 23 - Média Anual De Ozônio Observado Na Rede de Poluentes e De Qualidade Do Ar - Monitorar-Rio - 2011 a 2019.

| Estações | Ozônio (média anual - µg/m3) | | | | | | | | |
|--------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| | CONAMA 03/90 | | | | | | | | Conama 491/18 |
| Centro | 18,29 | 18,18 | 14,54 | 14,12 | 17,44 | 19,68 | 23,61 | 22,26 | 35,40 |
| Copacabana | 16,13 | 16,32 | 15,6 | 17,14 | 19,46 | 18,54 | 22,38 | 24,51 | 25,43 |
| São Cristóvão | 21,72 | 21,98 | 16,3 | 19,94 | 24,31 | 22,51 | 22,08 | 25,38 | 44,09 |
| Tijuca | 29,07 | 31,17 | 23,9 | 28,23 | 30,9 | 25,3 | 26,65 | 29,83 | 35,85 |
| Irajá | | 35,89 | 30,27 | 32,77 | 33,13 | 31,85 | 32,78 | 37,18 | 48,51 |
| Bangu | | 44,24 | 44,86 | 51,01 | 43,95 | 50,24 | 51,24 | 45,14 | 57,08 |
| Campo Grande | | 33,91 | 28,1 | 29,81 | 29,74 | 37,16 | 34,42 | 33,39 | 54,99 |
| Pedra de Guaratiba | | 49,02 | 50,35 | 46,82 | 40,33 | 42,01 | 49,82 | 41,22 | 43,02 |

Quadro 24 - Média Anual De Monóxido de Carbono Observado na Rede De Poluentes e De Qualidade Do Ar - Monitorar-Rio - 2011 a 2019.

| Estações | Monóxido de Carbono (média anual - ppm) | | | | | | | | |
|---------------|---|------|------|------|------|------|------|------|---------------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| | CONAMA 03/90 | | | | | | | | Conama 491/18 |
| Centro | 0,42 | 0,27 | 0,47 | 0,43 | 0,35 | 0,4 | 0,47 | 0,46 | 0,37 |
| Copacabana | 0,27 | 0,28 | 0,2 | 0,21 | 0,11 | 0,08 | 0,09 | 0,08 | 0,09 |
| São Cristóvão | 0,28 | 0,33 | 0,34 | 0,32 | 0,26 | 0,25 | 0,17 | 0,19 | 0,14 |
| Tijuca | 0,18 | 0,43 | 0,51 | 0,44 | 0,45 | 0,43 | 0,46 | 0,41 | 0,43 |
| Irajá | | 0,54 | 0,47 | 0,46 | 0,47 | 0,41 | 0,38 | 0,41 | 0,40 |
| Bangu | | 0,39 | 0,32 | 0,34 | 0,36 | 0,34 | 0,34 | 0,43 | 0,46 |
| Campo Grande | | 0,43 | 0,36 | 0,39 | 0,38 | 0,29 | 0,39 | 0,46 | 0,30 |

5 . CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na cidade do Rio de Janeiro as características topográficas, favorecem estagnação atmosférica, pois os maciços litorâneos da Tijuca, Pedra Branca e Gericinó-Mendanha (1024 m, 1021 m e 887 m de altitude, respectivamente) posicionados no sentido oeste - leste da RMRJ dificultam a entrada da brisa marítima na RMRJ, enquanto a Serra do Mar dificulta a circulação do vento de nordeste climatológico. Esta estagnação dificulta a dispersão de poluentes, contribuindo para elevação de concentração de poluentes na atmosfera.

Em contrapartida, com a entrada de frente fria, a Baía de Guanabara canaliza a brisa marítima, e as montanhas excitam a convecção profunda, facilitando a diluição e o transporte de poluentes da RMRJ para outras regiões.

Entre setembro e abril a atmosfera da RMRJ é menos estável e os sistemas convectivos são mais atuantes devido ao encontro das massas de ar quente e frio, como também devido as ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul), torna a atmosfera menos estável favorecendo o transporte dos poluentes das áreas fontes de emissão para outras regiões. Podendo ser a explicação para concentrações elevadas de ozônio na madrugada.

Durante o período de maio a setembro (principalmente entre junho e julho) os sistemas de alta pressão (Alta Semi-Permanente do Atlântico Sul) favorecem a inversão térmica (estagnação atmosférica) desfavorecendo a dispersão de poluentes. Por esta razão, as concentrações para a maioria dos poluentes são maiores nesse período.

Períodos de inversão térmica (estabilidade atmosférica) em grandes áreas fonte de poluentes atmosféricos favorecem o acúmulo dos poluentes próximo às fontes. Os poluentes emitidos abaixo da camada de inversão térmica sofrem pouca mistura ao longo da camada propiciando mais tempo aos processos fotoquímicos e outras reações químicas geradoras de poluentes secundários na atmosfera, por exemplo o ozônio.

Mesmo não havendo forte influência por fontes fixas nas Estações de Monitoramento do Ar da cidade, os resultados observados contribuíram para identificar perfis divergentes na concentração dos poluentes atmosféricos nos diferentes bairros da cidade.

A Estação Copacabana foi a que identificou as maiores concentrações de partículas inaláveis. Apesar de estar perto de intensa circulação veicular as concentrações de outros poluentes são as menores comparadas as outras 7 estações. Por esta razão acredita-se que a poluição veicular não seja preponderante nesta localidade. Serão necessários estudos mais aprofundados para diagnosticar a fonte geradora. Contudo, uma possibilidade é a proximidade com a saída do Metrô.

A estação Bangu apresentou os mais altos níveis de Ozônio em toda a rede. A característica de ser um poluente secundário confere dificuldade em identificar os fatores de emissão que levaram a formação do poluente na atmosfera. O fluxo veicular na Avenida Brasil pode ser apontado como a principal fonte de compostos precursores de ozônio, e a predominância de vento nos quadrantes Leste/oeste corroboraram para o comportamento observado. Estes registros tendem a estar relacionados com os resíduos de ozônio oriundos da Estação Campo Grande que, por sua vez, é impactada por resíduos provenientes da Estação de Pedra de Guaratiba. Contudo,

somente um modelo de dispersão atmosférica poderá identificar as plumas de poluentes atmosféricos.

As concentrações de dióxido de enxofre permaneceram bem abaixo do limite estabelecido, bem como nos anos anteriores. Como a manutenção desse analisador é bem alta, estudar uma possível mudança de configuração dos parâmetros monitorados é bastante pertinente.

Da mesma forma, para os analisadores de monóxido de carbono. Um novo dimensionamento das estações pode contribuir para melhor entendimento dos perfis dos poluentes atmosféricos.

Finalizando, para que se possa realizar um planejamento estratégico para a melhoria da qualidade do ar é de suma importância estudar a possibilidade de realização de prognósticos através do AERMOD. Plataforma gratuita que roda em Linux.

6. BIBLIOGRAFIA

- ALVIM D. S.; GATTI L. V.; SANTOS M. H.; YAMAZAKI A. **Estudos dos compostos orgânicos voláteis precursores de ozônio na cidade de São Paulo**. Rev. de Eng. San. e Amb., v. 16, p. 1-8, 2011
- CIDE, 2001. **Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro. Centro de Informações de Dados do Rio de Janeiro**/Secretaria de Estado de Planejamento e Controle-SECPLAN/Governo do Estado do Rio de Janeiro.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB– **Informações básicas. Descrição dos poluentes**. In: Descrição dos poluentes. São Paulo, SP. CETESB. 2013. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/Informa??es-B?sicas/21-Poluentes#mp>. Acesso em 14.03.2013.
- DAMILANO, D. C. R. **Estudo da Influência da Poluição Atmosférica e das Condições Meteorológicas na Saúde em São José dos Campos**. Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica. São José dos Campos, (Brasil): INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, jul. 2006.
- FEEMA, 2004, **Inventário de Fontes Emissoras de Poluentes Atmosféricos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**.
- FIRJAN, 2002, **A Gestão Ambiental nas Industriais do Estado do Rio de Janeiro**, Súmula Ambiental, Edição Especial (Jun.), pp. 1-12.
- HOSHI, J.; AMANO, S.; SASAKI, Y.; KORENAGA, T. **Investigation and estimation of emission sources of volatile organic compounds in ambient air in tokyo**. Atmospheric Environment, v. 42, n. 10, p. 2383–2393, 2008.
- INEA, 2016, **Inventário de Puição Veicular Região Metropolitana do Rio de Janeiro**.
- LOUREIRO, L. N. **Panorâmica sobre emissões atmosféricas: estudo de caso: avaliação do inventário emissões atmosféricas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro para fontes móveis**. 2005. 171 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- MAIA, L.F.P.G., MARTINS, E., MONCUNIL, D.F., FREITAS, P.R.C., 1990, **Alguns Aspectos Climatológicos do Ar Superior no Rio de Janeiro**. In: Anais do IV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Salvador, Bahia, v. 1, pp 399-404.
- MAIA, L.F.P.G., 2003, **Avaliação das Variações Climáticas no Estado do Rio de Janeiro**. In: Índice de Qualidade dos Municípios – Verde II. Fundação CIDE, Governo do Estado do Rio de Janeiro.
- MAIA, L.F.P.G., 1997a, **Estudo de Dimensionamento da Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar para Cidade do Rio de Janeiro**. Parte I: Estudo Dinâmico Climatológico. Departamento de Meteorologia-UFRJ/Secretaria Municipal de Meio Ambiente/Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- MAIA, L.F.P.G., 1997b, **Estudo de Dimensionamento da Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar para Cidade do Rio de Janeiro**. Parte II: Dimensionamento Qualitativo, Quantitativo e Definição Locacional da Rede de Monitoramento. Departamento de Meteorologia-UFRJ/Secretaria Municipal de Meio Ambiente/Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- MAIA, L.F.P.G., 2000, **Relatório Final do I Seminário do Ar limpo na Bacia Aérea III da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**: Plano de Ação para Melhoria da Qualidade do Ar na Bacia Aérea III da RMRJ. Banco Mundial/Secretaria Municipal de Meio Ambiente do Rio de Janeiro.

MAIA, L.F.P.G.,2001,*Urban Air Quality Monitoring in Rio de Janeiro – Brazil by Diffusive Sampling*.In: Proceedings on International Conference Measuring Air Pollutants by Diffusive Sampling,ERLAP.Montpellier.

MARTINS, L. *Sensibilidade da formação do ozônio troposférico às emissões veiculares na Região Metropolitana de São Paulo*. 2006. Disponível em: Acesso em: 30 de setembro de 2020.

PIRES, Dilson Ojeda. *Inventário De Emissões Atmosféricas de Fontes Estacionárias e Sua Contribuição Para a Poluição do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro*. 2005. 188 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Coppe, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: . Acesso em: 29 jun. 2018.

Plano de Controle de Poluição Veicular do Estado de São Paulo PCPV 2011 /2013

RUSSO, Paulo Roberto. *A qualidade do ar no município do Rio de Janeiro: análise espaço-temporal de partículas em suspensão na atmosfera*. Revista de C. Humanas, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p.78-93, jan./jun. 2010.

Secretaria de Meio Ambiente do Rio de Janeiro – *Qualidade do Ar na Cidade do Rio de Janeiro* – Relatório da Rede MonitorAR- Rio 2011-2012.

Stull, Roland B. (1991). *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*, Kluwer Academic Publishers, Holanda.

Vaz, J.L.L. *Estudo da Dispersão do Particulado na Atmosfera Considerando-se Meio Florestal e sua Topografia*. 2008. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

VILLELA, G. *Avenida Brasil foi inaugurada na década de 40 para ligar o Rio a todo o país*. O Globo, Rio de Janeiro, 16 abr. 2014. Disponível em: Acesso em: 18 abr. 2014.

ANEXOS



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

RESOLUÇÃO N. 491, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018

Correlação:

Revoga a Resolução Conama nº 03/1990 e os itens 2.2.1 e 2.3 da Resolução Conama nº 05/1989

Dispõe sobre padrões de qualidade do ar.

O **CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA**, no uso das competências que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de julho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno e o que consta do Processo Administrativo nº 02000.002704/2010-22, e

Considerando que os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar são parte estratégica do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR, como instrumentos complementares e referenciais ao PRONAR;

Considerando como referência, os valores guia de qualidade do ar recomendados pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2005, bem como seus critérios de implementação, resolve:

Art. 1º Esta Resolução estabelece padrões de qualidade do ar.

Art. 2º Para efeito desta resolução são adotadas as seguintes definições:

I - poluente atmosférico: qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade;

II - padrão de qualidade do ar: um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, determinado como valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica;

III - padrões de qualidade do ar intermediários - PI: padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas;

IV - padrão de qualidade do ar final - PF: valores guia definidos pela Organização Mundial da Saúde – OMS em 2005;

V - episódio crítico de poluição do ar: situação caracterizada pela presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos;

VI - Plano de Controle de Emissões Atmosféricas: documento contendo abrangência, identificação

de fontes de emissões atmosféricas, diretrizes e ações, com respectivos objetivos, metas e prazos de implementação, visando ao controle da poluição do ar no território estadual ou distrital, observando as estratégias estabelecidas no Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR;

VII - Material Particulado MP10: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 micrômetros;

VIII - Material Particulado MP2,5: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 micrômetros;

IX - Partículas Totais em Suspensão - PTS: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 50 micrômetros;

X - Índice de Qualidade do Ar - IQAR: valor utilizado para fins de comunicação e informação à população que relaciona as concentrações dos poluentes monitorados aos possíveis efeitos adversos à saúde.

Art. 3º Ficam estabelecidos os Padrões de Qualidade do Ar, conforme Anexo I.

§ 1º O Chumbo no material particulado é um parâmetro a ser monitorado em áreas específicas, em função da tipologia das fontes de emissões atmosféricas e a critério do órgão ambiental competente.

§ 2º As Partículas Totais em Suspensão - PTS e o material particulado em suspensão na forma de fumaça - FMC são parâmetros auxiliares, a serem utilizados em situações específicas, a critério do órgão ambiental competente.

§ 3º Ficam definidas como condições de referência a temperatura de 25°C e a pressão de 760 milímetros de coluna de mercúrio (1.013,2 milibares).

§ 4º Adota-se como unidade de medida de concentração dos poluentes atmosféricos o micrograma por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) com exceção do Monóxido de Carbono que será reportado como partes por milhão (ppm).

Art. 4º Os Padrões de Qualidade do Ar definidos nesta Resolução serão adotados sequencialmente, em quatro etapas.

§ 1º A primeira etapa, que entra em vigor a partir da publicação desta Resolução, compreende os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários PI-1.

§ 2º Para os poluentes Monóxido de Carbono - CO, Partículas Totais em Suspensão - PTS e Chumbo - Pb será adotado o padrão de qualidade do ar final, a partir da publicação desta Resolução.

§ 3º Os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários e Final - PI-2, PI-3 e 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, conforme os artigos 5º e 6º, respectivamente.

§ 4º Caso não seja possível a migração para o padrão subsequente, prevalece o padrão já adotado.

§ 5º Caberá ao órgão ambiental competente o estabelecimento de critérios aplicáveis ao licenciamento ambiental, observando o padrão de qualidade do ar adotado localmente.

Art. 5º Os órgãos ambientais estaduais e distrital deverão elaborar, em até 3 anos a partir da entrada em vigor desta Resolução, um Plano de Controle de Emissões Atmosféricas que deverá ser definido em regulamentação própria.

§ 1º O Plano de Controle de Emissões Atmosféricas deverá considerar os Padrões de Qualidade definidos nesta Resolução, bem como as diretrizes contidas no PRONAR.

§ 2º O Plano de Controle de Emissões Atmosféricas deverá conter:

I - abrangência geográfica e regiões a serem priorizadas;

II - identificação das principais fontes de emissão e respectivos poluentes atmosféricos; e

III - diretrizes e ações com respectivos objetivos, metas e prazos de implementação.

§ 3º Os órgãos ambientais estaduais e distrital elaborarão, a cada 3 anos, relatório de acompanhamento do plano, indicando eventuais necessidades de reavaliação, garantindo a sua publicidade.

§ 4º O Plano a que se refere o **caput**, juntamente com os resultados alcançados na sua implementação, deverá ser encaminhado ao Ministério do Meio Ambiente no primeiro trimestre do quinto ano da publicação desta Resolução.

Art. 6º Os órgãos ambientais estaduais e distrital elaborarão o Relatório de Avaliação da Qualidade do Ar anualmente, garantindo sua publicidade.

Parágrafo único. O relatório de que trata o **caput** deve conter os dados de monitoramento e a evolução da qualidade do ar, conforme conteúdo mínimo estabelecido no Anexo II, e resumo executivo, de forma objetiva e didática, com informações redigidas em linguagem acessível.

Art. 7º O Ministério do Meio Ambiente deverá consolidar as informações disponibilizadas pelos órgãos ambientais estaduais e distrital referentes ao Plano de Controle de Emissões Atmosféricas e Relatórios de

Avaliação da Qualidade do Ar e apresentá-las ao CONAMA até o final do quinto ano da publicação desta Resolução, de forma a subsidiar a discussão sobre a adoção dos padrões de qualidade do ar subsequentes.

Art. 8º Para fins do monitoramento da qualidade do ar, o Ministério do Meio Ambiente, em conjunto com os órgãos ambientais estaduais e distrital, no prazo de 12 meses após a entrada em vigor desta Resolução, elaborará guia técnico contendo, dentre outros, os métodos de referência adotados e os critérios para utilização de métodos equivalentes, da localização dos amostradores e da representatividade temporal dos dados e sistematização do cálculo do índice de qualidade do ar, conforme estabelecido no Anexo IV.

Parágrafo único. Os órgãos ambientais competentes definirão os métodos de medição da qualidade do ar até a publicação do guia técnico mencionado no **caput**.

Art. 9º O Ministério do Meio Ambiente elaborará relatório anual de acompanhamento e o apresentará na última reunião ordinária do CONAMA.

Art. 10. Os órgãos ambientais estaduais e distrital deverão elaborar, com base nos níveis de atenção, de alerta e de emergência, um Plano para Episódios Críticos de Poluição do Ar, a ser submetido à autoridade competente do estado ou do Distrito Federal, visando medidas preventivas com o objetivo de evitar graves e iminentes riscos à saúde da população, de acordo com os poluentes e concentrações, constantes no Anexo III.

Parágrafo único. O Plano mencionado no **caput** deverá indicar os responsáveis pela declaração dos diversos níveis de criticidade, devendo essa declaração ser divulgada em quaisquer dos meios de comunicação de massa.

Art. 11. Os níveis de atenção, alerta e emergência a que se refere o art. 10 serão declarados quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 horas subsequentes, for excedida uma ou mais das condições especificadas no Anexo III.

Parágrafo único. Durante a permanência dos níveis acima referidos, as fontes de poluição do ar ficarão, na área atingida, sujeitas às restrições previamente estabelecidas no Plano para Episódios Críticos de Poluição do Ar.

Art. 12. O Ministério do Meio Ambiente e os órgãos ambientais estaduais e distrital deverão divulgar, em sua página da internet, dados de monitoramento e informações relacionados à gestão da qualidade do ar.

Art. 13. Os órgãos ambientais estaduais e distrital deverão divulgar Índice de Qualidade do Ar - IQAR conforme definido no Anexo IV.

§ 1º Para cálculo do IQAR deverá ser utilizada a equação 1 do Anexo IV, para cada um dos poluentes monitorados.

§ 2º Para definição da primeira faixa de concentração do IQAR deverá ser utilizado como limite superior o valor de concentração adotado como PF para cada poluente.

§ 3º As demais faixas de concentração da IQAR e padronizações serão definidas no guia técnico a que se refere o art. 8º.

Art. 14. Fica revogada a Resolução CONAMA nº 03/1990 e os itens 2.2.1 e 2.3 da Resolução CONAMA nº 5/1989.

Art. 15. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

ROMEU MENDES DO CARMO

Presidente do Conselho

**ANEXO I
PADRÕES DE QUALIDADE DO AR**

| Poluente Atmosférico | Período de Referência | PI-1 | PI-2 | PI-3 | PF | |
|--|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----|
| | | µg/m ³ | µg/m ³ | µg/m ³ | µg/m ³ | ppm |
| Material Particulado - MP ₁₀ | 24 horas | 120 | 100 | 75 | 50 | - |
| | Anual ¹ | 40 | 35 | 30 | 20 | - |
| Material Particulado - MP _{2,5} | 24 horas | 60 | 50 | 37 | 25 | - |
| | Anual ¹ | 20 | 17 | 15 | 10 | - |
| Dióxido de Enxofre - SO ₂ | 24 horas | 125 | 50 | 30 | 20 | - |
| | Anual ¹ | 40 | 30 | 20 | - | - |
| Dióxido de Nitrogênio - NO ₂ | 1 hora ² | 260 | 240 | 220 | 200 | - |
| | Anual ¹ | 60 | 50 | 45 | 40 | - |
| Ozônio - O ₃ | 8 horas ³ | 140 | 130 | 120 | 100 | - |
| Fumaça | 24 horas | 120 | 100 | 75 | 50 | - |
| | Anual ¹ | 40 | 35 | 30 | 20 | - |
| Monóxido de Carbono - CO | 8 horas ³ | - | - | - | - | 9 |
| Partículas Totais em Suspensão - PTS | 24 horas | - | - | - | 240 | - |
| | Anual ⁴ | - | - | - | 80 | - |
| Chumbo - Pb ⁵ | Anual ¹ | - | - | - | 0,5 | - |
| ¹ - média aritmética anual | | | | | | |
| ² - média horária | | | | | | |
| ³ - máxima média móvel obtida no dia | | | | | | |
| ⁴ - média geométrica anual | | | | | | |
| ⁵ - medido nas partículas totais em suspensão | | | | | | |

ANEXO II
CONTEÚDO MÍNIMO PARA O RELATÓRIO AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR

1 - Resumo executivo.

1. Descrição das características da região do estado e do Distrito Federal:
 - a) Condições Meteorológicas
 - b) Uso e ocupação do solo
 - c) Outras características consideradas relevantes
2. Descrição da rede de monitoramento
3. Poluentes Atmosféricos monitorados
4. Redes de Monitoramento
5. Tipos de Rede e Parâmetros Monitorados
 - a) Rede Automática
 - b) Rede Manual
6. Metodologia de Monitoramento
7. Metodologia de Tratamento dos Dados
8. Representatividade de Dados
 - a) Rede Automática
 - b) Rede Manual
9. Representatividade espacial das estações
10. Descrição das fontes de poluição do ar
11. Considerações gerais sobre estimativas de emissão de fontes móveis e fontes estacionárias
12. Apresentação dos resultados quanto aos poluentes
13. Medidas de gestão implementadas
14. Referências legais e bibliográficas

ANEXO III

**NÍVEIS DE ATENÇÃO, ALERTA E EMERGÊNCIA PARA POLUENTES E SUAS
CONCENTRAÇÕES**

| Nível | Poluentes e concentrações | | | | | |
|-------------------|--|---|--|----------------------------------|--|---|
| | SO ₂ µg/m ³ (média de 24h) | Material Particulado | | CO ppm (média móvel de 8h) | O ₃ µg/m ³ (média móvel de 8h) | NO ₂ µg/m ³ (média de 1h) |
| | | MP ₁₀ µg/m ³ (média de 24h) | MP _{2,5} µg/m ³ (média de 24h) | | | |
| Atenção | 800 | 250 | 125 | 15 | 200 | 1.130 |
| Alerta | 1.600 | 420 | 210 | 30 | 400 | 2.260 |
| Emergência | 2.100 | 500 | 250 | 40 | 600 | 3.000 |

SO₂ = dióxido de enxofre; MP₁₀ = material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 µm;

MP_{2,5} = material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 µm; CO = monóxido de carbono;

O₃ = ozônio; NO₂ = dióxido de nitrogênio µg/m³; ppm = partes por milhão.

ANEXO IV

| Qualidade | Índice | MP ₁₀ | MP _{2,5} | O ₃ | CO | NO ₂ | SO ₂ |
|-----------|--------|----------------------|----------------------|----------------------|-------|----------------------|----------------------|
| | | (µg/m ³) | (µg/m ³) | (µg/m ³) | (ppm) | (µg/m ³) | (µg/m ³) |
| | | 24h | 24h | 8h | 8h | 1h | 24h |
| N1 – Boa | 0 – 40 | 0 – 50 | 0 – 25 | 0 – 100 | 0 – 9 | 0 – 200 | 0 – 20 |

Equação 1 - Cálculo do Índice de Qualidade do Ar

$$IQAr = I_{ini} + \frac{I_{fin} - I_{ini}}{C_{fin} - C_{ini}} \times (C - C_{ini})$$

Onde:

I_{ini} = valor do índice que corresponde à concentração inicial da faixa.

I_{fin} = valor do índice que corresponde à concentração final da faixa.

C_{ini} = concentração inicial da faixa onde se localiza a concentração medida.

C_{fin} = concentração final da faixa onde se localiza a concentração medida.

C = concentração medida do pol

Anexo B - PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE CONAMA 03/90 E 491/18

| Parâmetro atmosférico | Período de referência | Resolução 03/1990 (µg/m³) | Resolução 491/2018 (µg/m³) |
|---|-----------------------|---------------------------|----------------------------|
| Dióxido de Enxofre – SO₂ | 24 horas | 365 | 125 |
| | Anual | 80 | 40 |
| Dióxido de Nitrogênio – NO₂ | 1 hora | 320 | 260 |
| | Anual | 100 | 60 |
| Ozônio – O₃ | 8 horas | 160 | 140 |
| Fumaça | 24 horas | 150 | 120 |
| | Anual | 60 | 40 |

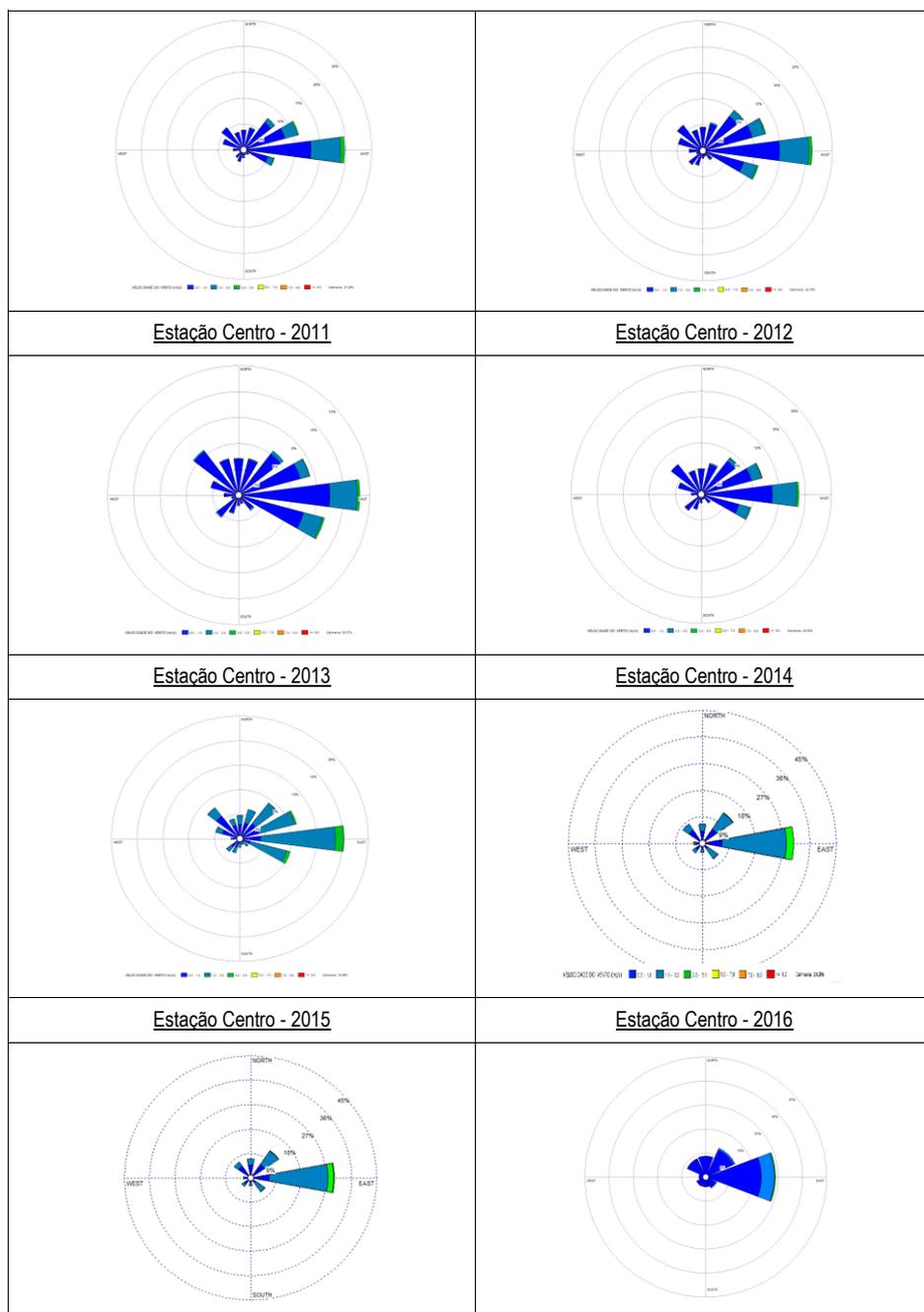
Anexo C - Níveis de qualidade do ar.

| Qualidade | Índice | MP ₁₀ (µg/m ³) 24h | MP _{2,5} (µg/m ³) 24h | O ₃ (µg/m ³) 8h | CO (ppm) 8h | NO ₂ (µg/m ³) 1h | SO ₂ (µg/m ³) 24h | Fumaça (µg/m ³) 24h | Significado |
|-----------------|---------|---|--|--|-------------------|---|--|---------------------------------------|--|
| N1 - BOA | 0 - 40 | 0 - 50 | 0 - 25 | 0 - 100 | 0 - 9 | 0 - 200 | 0 - 20 | 0 - 50 | |
| N2 - MODERADA | 41-80 | >50 - 100 | >25 - 50 | >100 - 130 | >9 - 11 | >200 - 240 | >20 - 40 | >50 - 100 | Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada. |
| N3 - RUIM | 81-120 | >100 - 150 | >50 - 75 | >130 - 160 | >11 - 13 | >240 - 320 | >40 - 365 | >100 - 150 | Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde. |
| N4 - MUITO RUIM | 121-200 | >150 - 250 | >75 - 125 | >160 - 200 | >13-15 | >320 - 1130 | >365 - 800 | >150 - 250 | Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas). |
| N5 - PÉSSIMA | >200 | > 250 | >125 | > 200 | > 15 | > 1130 | >800 | > 250 | Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis. |

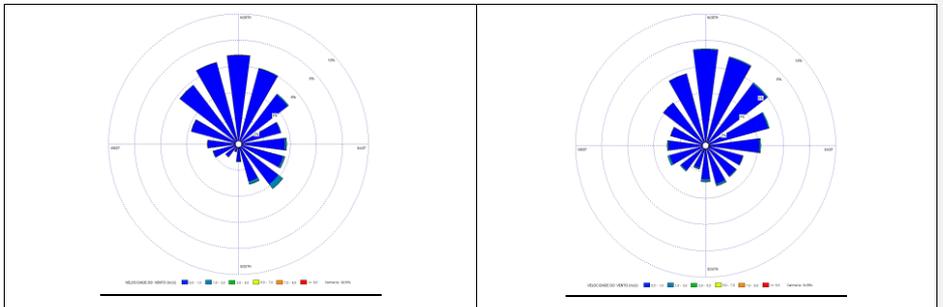
Anexo D - QUALIDADE DO AR E PREVENÇÃO DE RISCOS À SAÚDE.

| Qualidade | Índice | MP _{2.5} (µg/m ³) 24h | MP _{2.5} (µg/m ³) 24h | O ₃ (µg/m ³) 8h | CO (ppm) 8h | NO ₂ (µg/m ³) 1h | SO ₂ (µg/m ³) 24h |
|-----------------|----------|--|---|--|---|---|--|
| N1 - BOA | 0 - 40 | 0 - 50 | 0 - 25 | 0 - 100 | 0 - 9 | 0 - 200 | 0 - 20 |
| N2 - MODERADA | 41 - 80 | >50 - 100 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, procurem reduzir esforço pesado ao ar livre. | >25 - 50 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, procurem reduzir esforço pesado ao ar livre. | >100 - 130 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, procurem reduzir esforço pesado ao ar livre. | >9 - 11 Pessoas com doenças cardíacas, como angina, devem reduzir esforço físico pesado ao ar livre e evitar vias de tráfego intenso. | >200 - 240 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, procurem reduzir esforço pesado ao ar livre. | >20 - 40 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, procurem reduzir esforço pesado ao ar livre. |
| N3 - RUIM | 81 - 120 | >100 - 150 Reduzir o esforço físico pesado ao ar livre, principalmente pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças. | >50 - 75 Reduzir o esforço físico pesado ao ar livre, principalmente pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças. | >130 - 160 Reduzir o esforço físico pesado ao ar livre, principalmente pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças. | >11 - 13 Pessoas com doenças cardíacas, como angina, devem reduzir esforço físico pesado ao ar livre e evitar vias de tráfego intenso. | >240 - 320 Reduzir o esforço físico pesado ao ar livre, principalmente pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças. | >40 - 365 Reduzir o esforço físico pesado ao ar livre, principalmente pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças. |
| N4 - MUITO RUIM | 121-200 | >150 - 250 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar esforço físico pesado ao ar livre; o restante da população deve reduzir o esforço físico pesado ao ar livre. | >75 - 125 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar esforço físico pesado ao ar livre; o restante da população deve reduzir o esforço físico pesado ao ar livre. | >160 - 200 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar esforço físico pesado ao ar livre; o restante da população deve reduzir o esforço físico pesado ao ar livre. | >13 - 15 Pessoas com doenças cardíacas, como angina, devem evitar esforço físico e vias de tráfego intenso. | >320 - 1130 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar esforço físico pesado ao ar livre; o restante da população deve reduzir o esforço físico pesado ao ar livre. | >365 - 800 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar esforço físico pesado ao ar livre; o restante da população deve reduzir o esforço físico pesado ao ar livre. |
| N5 - PÉSSIMA | >200 | >250 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre; o restante da população deve evitar o esforço físico pesado ao ar livre. | >125 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre; o restante da população deve evitar o esforço físico pesado ao ar livre. | >200 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre; o restante da população deve evitar o esforço físico pesado ao ar livre. | >15 Pessoas com doenças cardíacas, como angina, devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre e vias de tráfego intenso. | >1130 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre; o restante da população deve evitar o esforço físico pesado ao ar livre. | >800 Pessoas com doenças cardíacas ou pulmonares, idosos e crianças devem evitar qualquer esforço físico ao ar livre; o restante da população deve evitar o esforço físico pesado ao ar livre. |

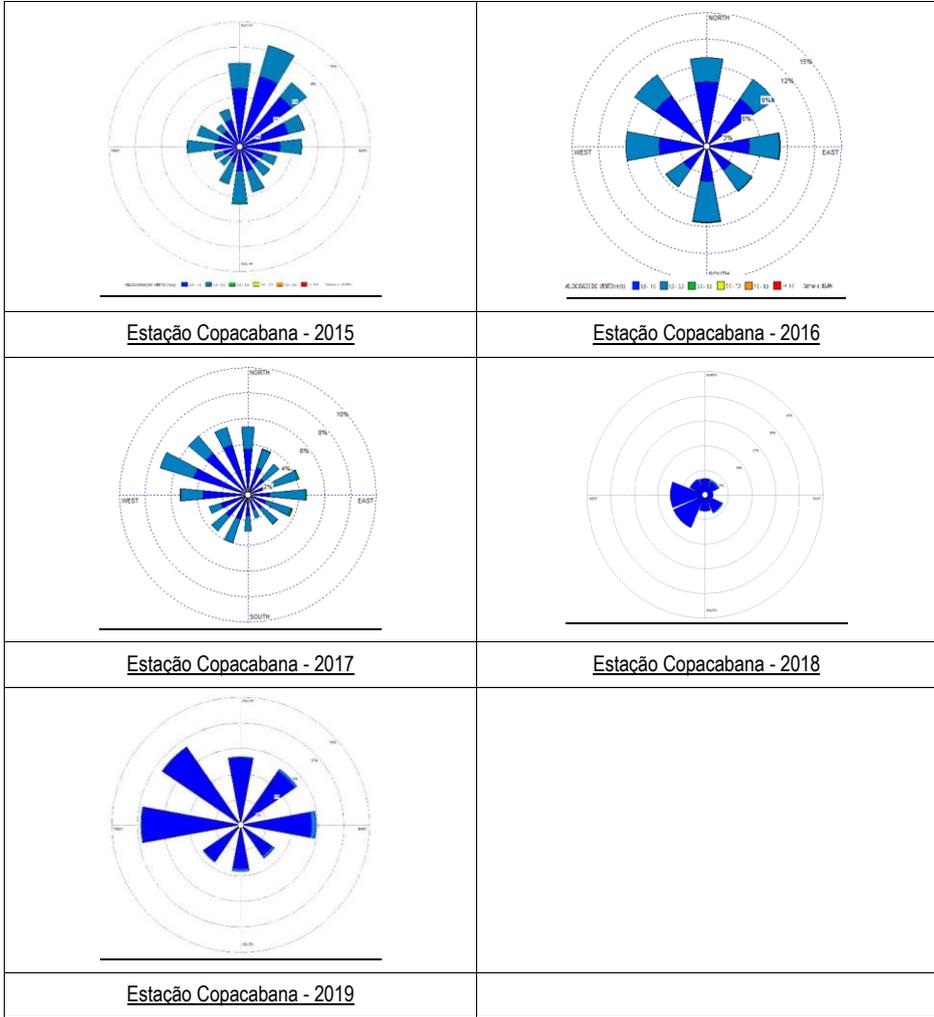
Anexo E - ROSAS DOS VENTOS.

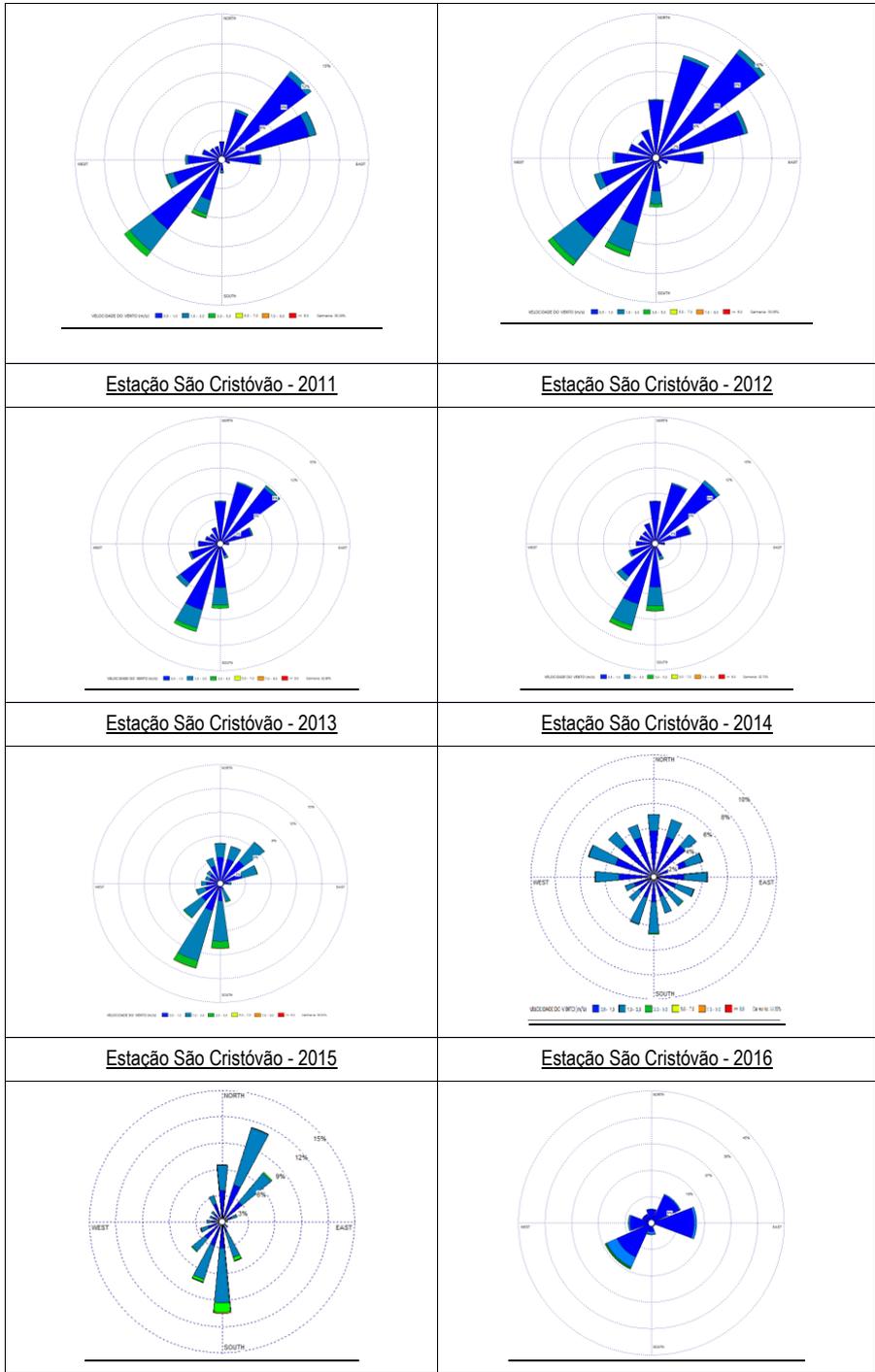


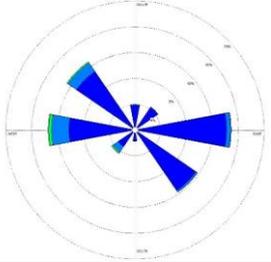
| | |
|--|--|
| <p align="center"><u>Estação Centro - 2017</u></p> | <p align="center"><u>Estação Centro - 2018</u></p> |
| | |
| <p align="center"><u>Estação Centro - 2019</u></p> | |

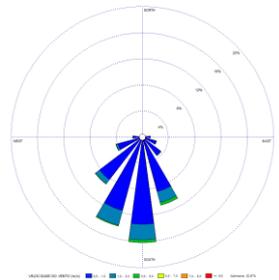
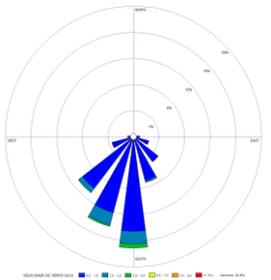
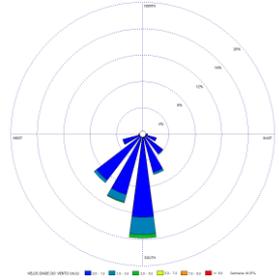
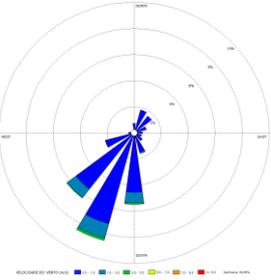


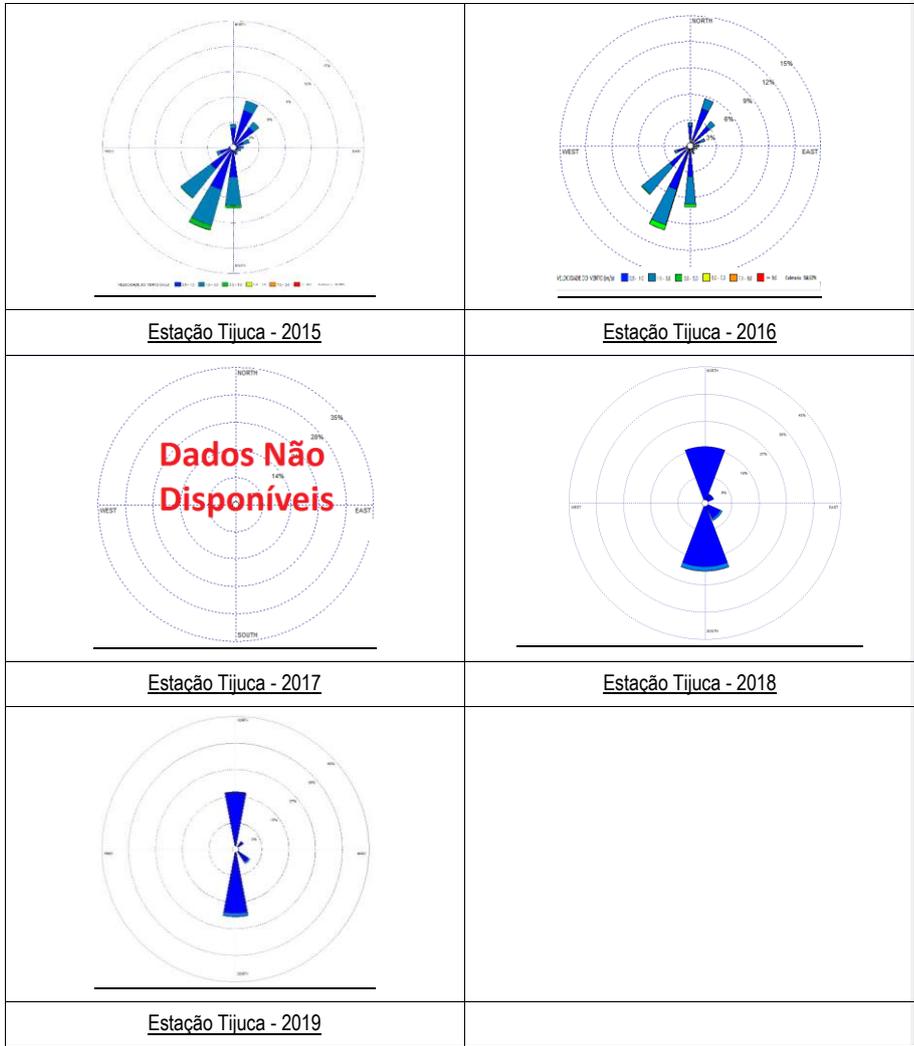
| | |
|--|--|
| <p align="center"><u>Estação Copacabana - 2011</u></p> | <p align="center"><u>Estação Copacabana - 2012</u></p> |
| | |
| <p align="center"><u>Estação Copacabana - 2013</u></p> | <p align="center"><u>Estação Copacabana - 2014</u></p> |

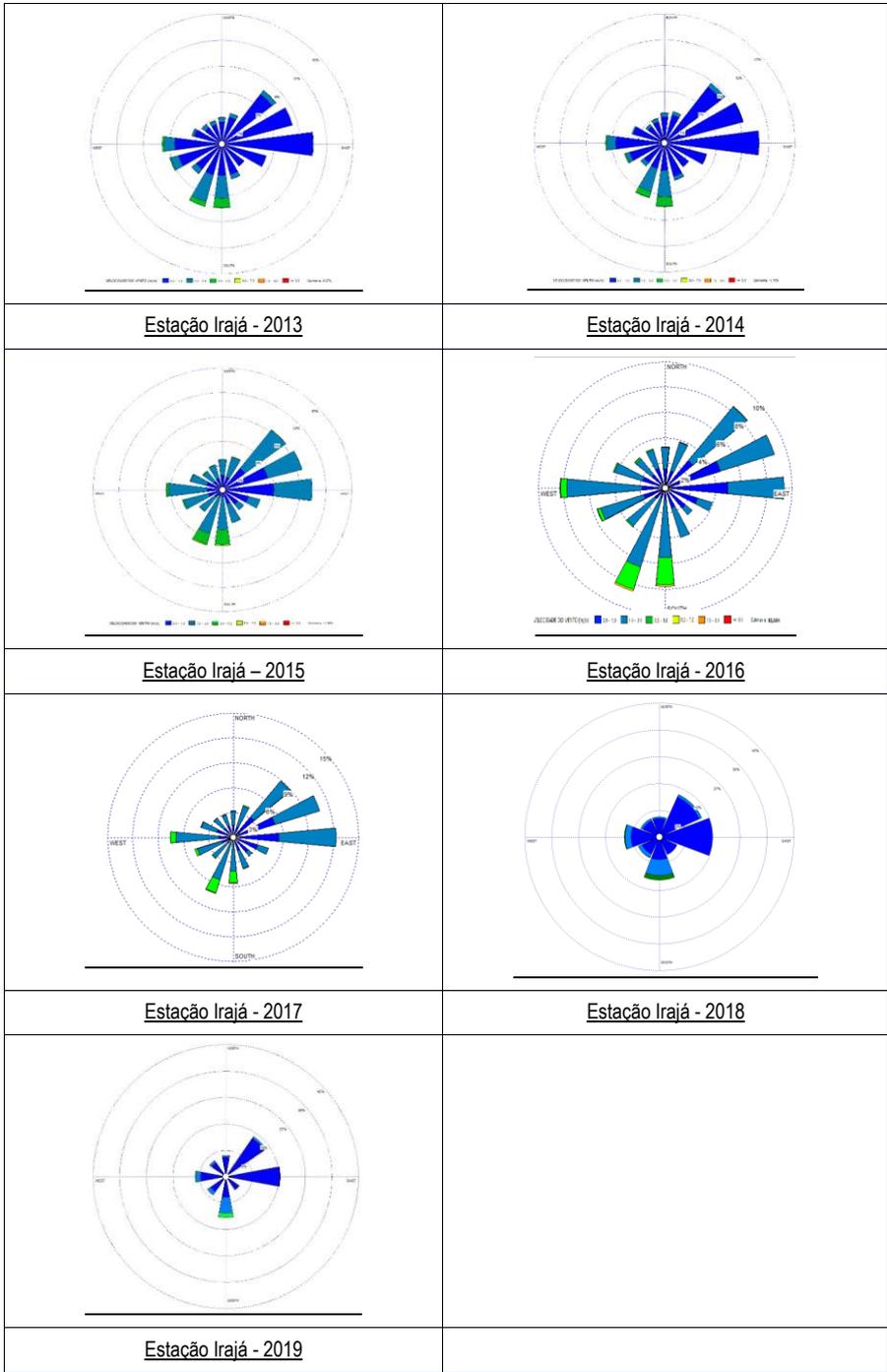


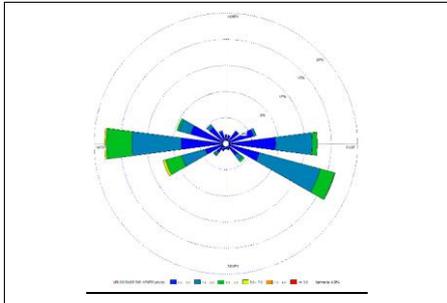


| | |
|---|--|
| <p><u>Estação São Cristóvão - 2017</u></p> | <p><u>Estação São Cristóvão - 2018</u></p> |
|  | |
| <p><u>Estação São Cristóvão - 2019</u></p> | |

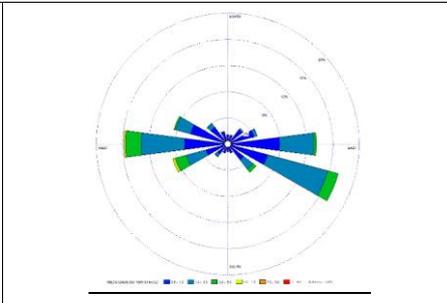
| | |
|---|---|
|  |  |
| <p><u>Estação Tijuca - 2011</u></p> | <p><u>Estação Tijuca - 2012</u></p> |
|  |  |
| <p><u>Estação Tijuca - 2013</u></p> | <p><u>Estação Tijuca - 2014</u></p> |



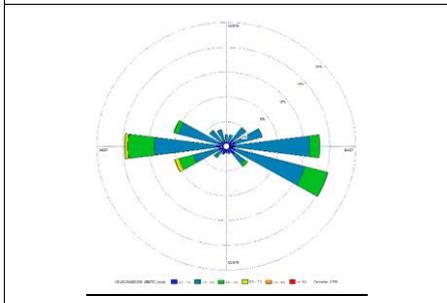




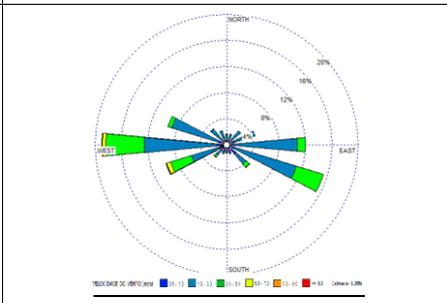
Estação Banqu - 2013



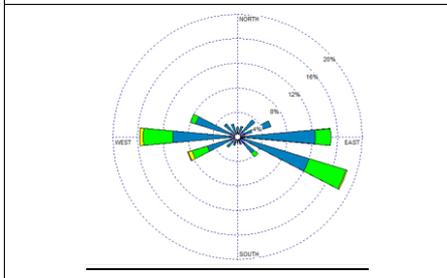
Estação Banqu - 2014



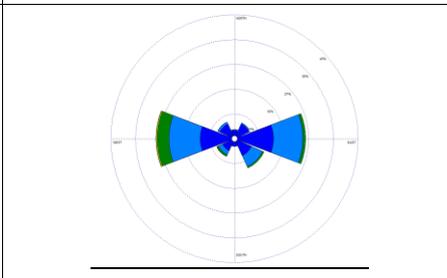
Estação Banqu - 2015



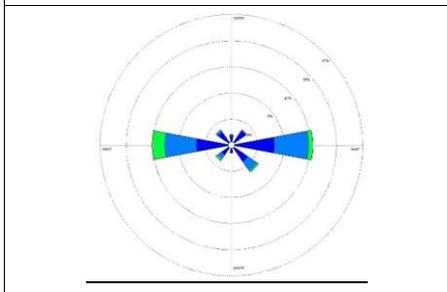
Estação Banqu - 2016



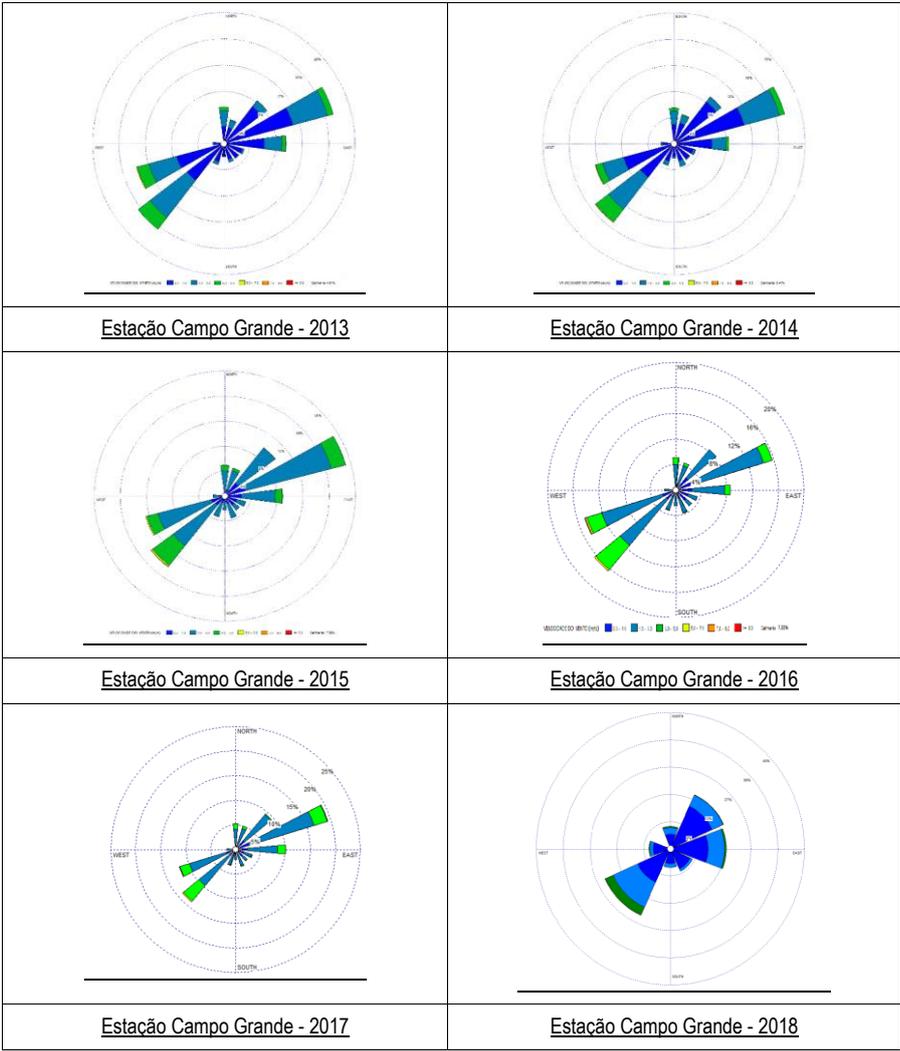
Estação Banqu - 2017

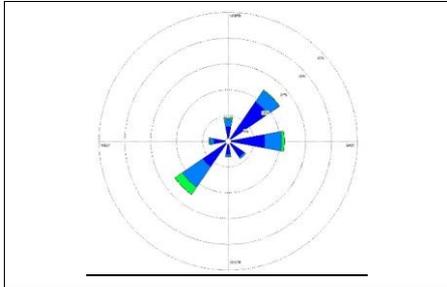


Estação Banqu - 2018

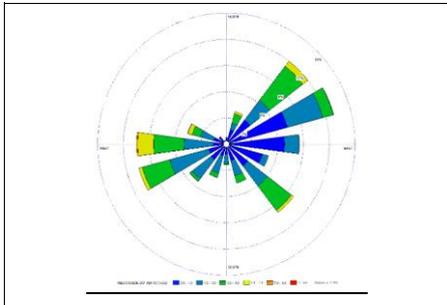
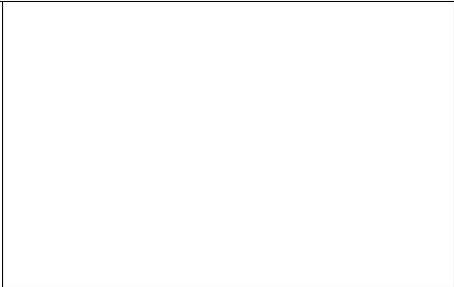


| | |
|----------------------|--|
| Estação Bangu – 2019 | |
|----------------------|--|

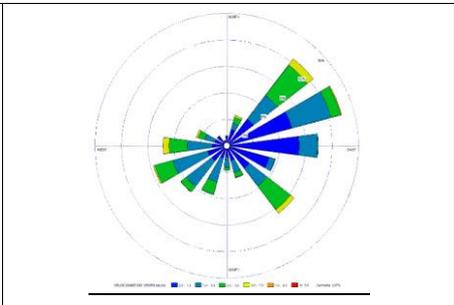




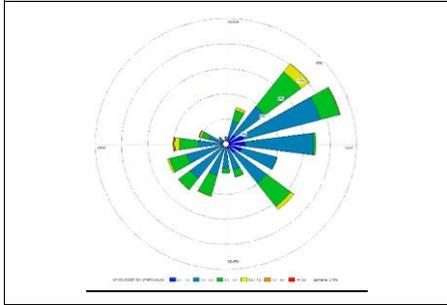
Estação Campo Grande - 2019



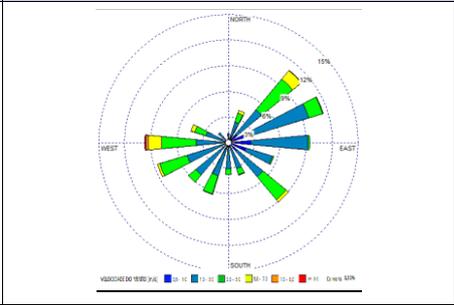
Estação Pedra de Guaratiba - 2013



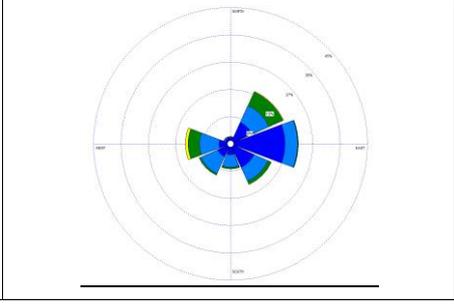
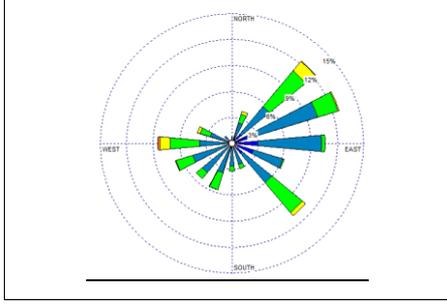
Estação Pedra de Guaratiba - 2014



Estação Pedra de Guaratiba - 2015



Estação Pedra de Guaratiba - 2016



| Estação Pedra de Guaratiba - 2017 | Estação Pedra de Guaratiba - 2018 |
|---|-----------------------------------|
|  | |
| Estação Pedra de Guaratiba - 2019 | |

- 13. Medidas de gestão implementadas
- 14. Referências legais e bibliográficas



MonitorAR Rio
Programa de Monitoramento
da Qualidade do Ar

**PROCEDIMENTOS DE VALIDAÇÃO E INVALIDAÇÃO DOS DADOS
DA REDE DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR DA
PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO**



Sumário

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | PROCEDIMENTO DE VALIDAÇÃO E INVALIDAÇÃO DOS DADOS DE QUALIDADE DO AR | 3 |
| 1.1 | Verificação e validação dos dados no software ATMOS. | 3 |
| 1.2 | Verificação/Calibração do Equipamento | 4 |
| 1.3 | Comportamento da estação com Multi Estações | 4 |
| 1.4 | Dados persistentes | 4 |
| 1.5 | Crerios utilizados por parâmetros para validação | 6 |
| 2 | PROCEDIMENTO DE VALIDAÇÃO E INVALIDAÇÃO DOS DADOS METEOROLÓGICOS | 8 |
| 2.1 | Rede Meteorológica | 8 |
| 2.2 | Procedimentos | 9 |
| 2.2.1 | Precipitação | 9 |
| 2.2.2 | Radiação Solar | 9 |
| 2.3.3 | Temperatura e Umidade Relativa do Ar | 9 |
| 2.2.4 | Direção e Velocidade do Vento | 10 |
| 2.2.5 | Pressão Atmosférica | 11 |
| 2.3 | Resumo da Condições de Validação e Invalidação Meteorologia | 11 |

PROCEDIMENTOS DE VALIDAÇÃO E INVALIDAÇÃO DOS DADOS DA REDE DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR DA PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO – MONITORAR - RIO

A avaliação para fins de validação e invalidação dos registros disponíveis do banco de dados de qualidade do ar das estações **MonitorAr-Rio**, de que trata o presente relatório, é realizada pela equipe técnica da COHIDRO lotada no Centro Supervisório (SUBMA) com o uso do software ATMOS.

1. PROCEDIMENTO DE VALIDAÇÃO E INVALIDAÇÃO DOS DADOS DE QUALIDADE DO AR

1.1 Verificação e validação dos dados no software ATMOS.

No software ATMOS seguir o seguinte caminho: → Monitoramento → Medições → Temática (Qualidade do Ar) → Material (Ar Ambiente) → Empresa (Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro) → Opções (Selecionar todas as opções – Completar dados ausentes com fórmulas, ajustar data de medição ao período) → Período (Selecionar o período de interesse) → Entidade (Estação a ser checada) → Parâmetro (Selecionar parâmetro).

Os dois últimos passos podem ser substituídos por um procedimento sobre o grupo de parâmetros já previamente selecionados e salvos em cima das abas Parâmetros Selecionados e Médias Selecionadas. Por exemplo: é possível selecionar o parâmetro ozônio de todas as estações e compará-los em conjunto. Outra possibilidade é analisar todos os parâmetros de uma única estação.

Na verificação dos dados deverá ser considerada a frequência de 10 minutos e horária dos dados brutos (**ppm ou $\mu\text{g}/\text{m}^3$**). O comportamento dos parâmetros deverá ser avaliado na tabela de valores e no gráfico.

OBS: Os dados também poderão ser observados na média de 24h para os parâmetros SO_2 , MP_{10} , $\text{MP}_{2,5}$ e com média de 8h para o CO.

1.2 Verificação/Calibração do Equipamento

Verificar se o analisador foi verificado/calibrado no período inferior a 1 mês, caso não seja identificada a calibração avisar ao responsável pela operação das estações.

1.3 Comportamento da estação com Multi Estações

Plotar os dados da estação com as estações do entorno e verificar se a estação obedece ao perfil da série, para um período de, no mínimo, 7 dias consecutivos. Verificar os valores mínimos e máximos dos parâmetros na série de dados (Tabela 1). Caso seja identificado algum comportamento atípico da série e/ou algum valor que ultrapasse o padrão de qualidade do Ar - Resolução CONAMA 03/90, o analista deverá utilizar outras informações e recursos para a validação dos dados, como os dados meteorológicos e as informações do COR (Centro de Operações Rio) que contém informações complementares de todos os órgãos da Prefeitura ajudando a consolidar a análise de forma mais objetiva (como tráfego, falta de energia, chuva e etc.).

Tabela 1: Valores mínimos e máximos dos parâmetros de qualidade do ar (Adaptado da Resolução CONAMA 03/90).

| PARÂMETROS | SO ₂ | NO ₂ | CO | O ₃ | PI | PTS |
|--|-----------------|-----------------|---------|----------------|------|------|
| Mínimo (µg/m ³) | -2,00 | 0 | -2,00 | 0 | 0 | 0 |
| Máximo (µg/m ³) | 2.620 | 3.750 | 57.500 | 1.200 | 600 | 900 |
| Faixa de valores considerada suspeita (µg/m ³) | >365 | >320 | >10.000 | >160 | >150 | >240 |

Fonte: CONAMA 03/90.

1.4 Dados persistentes

Verificar se um determinado parâmetro apresenta dados constantes (valores repetidos) por um intervalo ou período de tempo superior ao máximo admissível (Tabela 2).

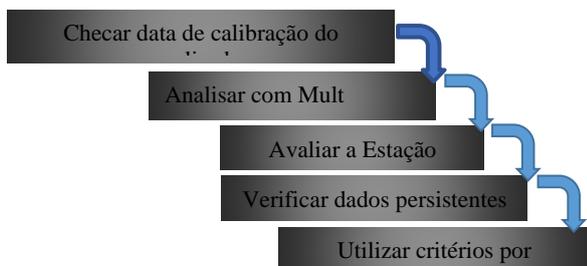
Tabela 2: Período de tempo aceitável para a verificação de persistência de parâmetro.

| PARÂMETROS | SO ₂ * | NO ₂ | CO* | O ₃ | PI | PTS | HC |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------|-----|----------------|----|-----|----|
| Período de 6:00h às 18:00h – dia | 3h | 3h | 4h | 2h | 3h | 3h | 4h |
| Período de 18:01 às 5:59h - noite | 6h | 6h | 8h | 4h | 6h | 6h | 8h |

Fonte: SECONSERMA

OBS: * Para os parâmetros SO₂ e CO, quando os valores persistentes estiverem no intervalo entre -2,00 e 0,0 µg/m³, deverão ser respeitados no máximo 24h de persistência. Se esta

ocorrência for verificada acima deste período, o mesmo deverá ser considerado como dado suspeito.



Fluxograma 1: Etapas para avaliação dos parâmetros de qualidade do ar.

1.5 Critérios utilizados por parâmetros para validação

Tabela 3: Critérios de validação e invalidação dos dados de qualidade do ar da Rede MonitorAr-Rio.

| Parâmetro | Critérios |
|--|---|
| Ozônio (O₃) | <p>Se os valores de concentração forem considerados suspeitos, deverão ser plotados com os dados de radiação e temperatura da estação. Em seguida, avaliar se os valores máximos de concentração de ozônio se correlacionam com os valores máximos de radiação e temperatura. Os dados serão considerados válidos se a correlação for positiva.</p> <p>O ozônio poderá ser transportado de uma região para outra, portanto, após análise, o avaliador poderá considerar as concentrações de ozônio válidas quando ocorridas fora do período considerado como de pico de radiação solar.</p> <p>No período da noite as concentrações medidas de ozônio não devem ser maiores às observadas durante o período do dia. Caso este comportamento seja identificado a série da madrugada deverá ser invalidada.</p> |
| Material Particulado (MP₁₀ e MP_{2,5}) | <p>Se os valores de concentração de MP₁₀ e MP_{2,5} forem considerados suspeitos deve-se cruzá-los com registros de velocidade de vento, precipitação e umidade para melhor avaliação.</p> <p>No ATMOS, quando ocorre um bug no winaqms, o erro aparece no valor -9999, que poderá ser editado com o mesmo valor da média de 10 minutos correspondente a este bloco de dados (média horária). Também poderá ocorrer a edição de dados quando ocorrer o flag IR</p> |

| | |
|---|---|
| | <p>(fora da faixa de leitura) de, no máximo, 2 horas (12 médias de 10 minutos), da seguinte maneira:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Para 06 médias de 10 minutos: O valor a ser editado será a média aritmética dos valores dos blocos (média horária) anterior e posterior às médias com os flags; - Para 12 médias de 10 minutos: O valor editado para as primeiras 06 médias de 10 minutos será o mesmo valor da média horária do bloco anterior e para as demais 06 médias, o valor será a média horária do bloco subsequente ao das médias com os flags. <p>A concentração de MP₁₀ deverá ser maior que a concentração MP_{2,5}. O analista deverá plotar os dois parâmetros para observação. Caso a concentração [MP_{2,5}] > [MP₁₀] os parâmetros deverão ser avaliados separadamente. Ambos os parâmetros poderão ser invalidados caso não seja possível verificar qual dos dois apresentaram problemas.</p> |
| Dióxido de Enxofre (SO₂) | <p>Serão considerados como dados inválidos: a série de dados que não atender aos limites apresentados nas Tabelas 1 e 2.</p> <p>Quando for verificada a persistência de valores no intervalo entre - 2,00 e 0,0 µg/m³ (valor zero com o Flag "<" no ATMOS), acima de 24 horas de ocorrência, atendendo à Tabela 2, o dado será considerado válido se o analisador estiver devidamente calibrado.</p> <p>Deverá ser observada a realização diária do background durante a madrugada. O background é representado pelo Flag "IC" no software ATMOS.</p> |
| Monóxido de Carbono (CO) | <p>Os dados serão considerados inválidos quando não atenderem aos limites apresentados nas Tabelas 1 e 2.</p> <p>Quando for verificada a persistência de valores no intervalo entre - 2,00 e 0,0 µg/m³ (valor zero com o Flag "<" no ATMOS), acima de 24 horas de ocorrência, atendendo à Tabela 2, o dado será considerado válido se o analisador estiver devidamente calibrado.</p> <p>Deverá ser observada a realização diária do background durante a madrugada. O background é representado pelo Flag "IC" no software ATMOS.</p> |
| Óxidos de Nitrogênio, Dióxido de Nitrogênio e Monóxido de Nitrogênio (NO_x, NO₂ e NO) | <p>Os dados serão considerados válidos quando atenderem a relação abaixo: $[NO_2] = [NO_x] - [NO]$</p> <p>Caso a relação não seja atendida as três variáveis deverão ser invalidadas. Verificada a persistência de valores negativos (valor zero com Flag "<" no ATMOS), os dados que não foram invalidados deverão ser considerados suspeitos até a verificação do equipamento.</p> <p>Para estes três parâmetros os dados serão considerados suspeitos quando a persistência de dados negativos ultrapassar o período de 3 horas consecutivas ou 24 horas de dados não consecutivos.</p> |
| Hidrocarbonetos Não Metano, | <p>Os dados serão considerados válidos quando atenderem a relação abaixo: $[HCNM] = [HCT] - [CH_4]$</p> |

| | |
|--|---|
| Hidrocarbonetos Totais e Metano (HCNM, HCT, CH₄) | Caso a relação não seja atendida as três variáveis deverão ser invalidadas. |
|--|---|

- Todos os dados invalidados, validados, editados e dados em análise (suspeitos) no banco de dados do ATMOS deverão ser justificados no campo de observações;
- O critério de dado suspeito servirá para alertar o avaliador no momento da análise do banco de dados. Qualquer dado que foi considerado suspeito durante o processo de avaliação e validação do banco de dados deverá ser considerado válido ou inválido no período máximo de até o primeiro dia do mês subsequente (para a garantia de 100% dos dados validados para a confecção do relatório);
- É importante salientar que todos os critérios descritos estão sujeitos, ainda, a uma avaliação subjetiva em decorrência da localização da estação.
- Quando no período de um mês a representatividade dos dados válidos for muito baixa (aproximadamente 5%), os dados deverão ser invalidados com esta justificativa.

2. PROCEDIMENTO DE VALIDAÇÃO E INVALIDAÇÃO DOS DADOS METEOROLÓGICOS

2.1 Rede Meteorológica

A validação dos dados meteorológicos do programa MonitorAr-Rio baseia-se no contexto de uma rede meteorológica voltada para o monitoramento da qualidade do ar. A Organização Meteorológica Mundial – OMM classifica este tipo de monitoramento como sendo de “uso restrito e exclusivo”, ou seja: as instalações geográficas das estações e dos seus respectivos sensores podem sofrer interferências do ambiente, tais como árvores, muros e outros obstáculos, diminuindo assim, a confiabilidade dos dados coletados. Por outro lado, a rede do MonitorAr-Rio é capaz de gerar informações que subsidiam em tempo real, a análise da qualidade do ar dos locais monitorados dentro da maioria das áreas de planejamento do município do Rio de Janeiro, onde é possível, apontar por meio da análise técnica e especializada, os locais onde a qualidade do ar tem apresentado valores de concentração acima do permitido pela legislação nacional, conforme determina o Decreto Estadual nº 44072 de 18/02/2013.

2.2 Procedimentos

2.2.1 Precipitação

O pluviômetro funciona pelo sistema de básculas, ou seja, cada vez que um lado da báscula se enche de líquido ela registra um valor de 0,2 mm e assim sucessivamente. No sistema ele possui

um contador total que apresenta os registros a cada 10 minutos, e um visualizador para os intervalos.

A validação deste dado se baseia nestes acumulados a cada 10 minutos que produzem um acumulado horário e, por consequência, um acumulado mensal. Os erros mais comuns nestas leituras ocorrem quando há uma inversão de valores entre o visualizador parcial e o total na apresentação que necessitam ser corrigidos diretamente e de forma editável no banco de dados.

2.2.2 Radiação Solar

O sensor de radiação mede de forma direta a luminosidade e/ou radiação que atinge o seu sistema receptor, que fica exposto na estação, porém, em muitos, casos sofre com a influência da luminosidade noturna do entorno da estação de monitoramento, em que se encontra instalado. Assim, os ciclos diurnos e noturnos podem ser afetados. As avaliações são feitas e, caso essa constatação seja observada, corrige-se este fator, tendo em vista o equilíbrio do ciclo. Geralmente quando o erro ocorre por luminosidade externa noturna os valores variam entre 4 e 50 W/m². Os demais erros possivelmente estão atrelados à calibração e/ou algum defeito específico do sensor.

2.2.3 Temperatura e Umidade Relativa do Ar

Grande parte dos sensores que compõem a rede do MonitorAr-Rio são termohigrômetros, ou seja, o mesmo equipamento realiza medições de temperatura do ar e umidade relativa do ar. Um dos problemas associados a este equipamento é que ao ocorrer um problema em um, fatalmente o outro será afetado. Mas suas medições são independentes, assim como sua assimilação pelo banco de dados.

No que tange à temperatura, poucos problemas são registrados na rede. Vez por outra, algumas oscilações mais bruscas são detectadas e quando não estão associados a algum sistema sinótico que esteja produzindo mudanças mais severas à atmosfera, estes dados passam por uma correção média. Essas correções são calculadas observando-se, sempre, o comportamento médio desta variável ao longo das últimas horas naquela determinada estação. Desta forma, objetiva-se a coerência de tal ajuste, tendo em vista que o ciclo da temperatura, em geral, é crescente entre às 05h da manhã e às 14h e/ou 15h quando habitualmente se registram os valores máximos, existindo exceções nestes horários, ainda mais em uma cidade como o Rio de Janeiro. Para a variável Umidade Relativa do Ar, o comportamento sofre impacto direto com a estação do ano (primavera, verão, outono e inverno) e, também, com o sistema sinótico atuante. Por exemplo, ao passar um sistema frontal, ou instabilidades que produzam chuvas, os registros podem se aproximar de 100% que, obviamente, seria o máximo a ser registrado por este equipamento, mas o que muitas vezes se observa, são ultrapassagens a este valor de referência.

Quando isto ocorre estes são ajustados (editados manualmente) para a realidade dos dados, ou seja, os 100%. Outro erro comum que ocorre na rede do MonitorAr-Rio associado a esta variável, está relacionado ao sistema de transmissão de dados, onde um “bug”, infelizmente comum, se apresenta registrando um valor extremamente elevado, implicando na necessidade de ajuste com os valores dos horários próximos, de acordo com o comportamento da variável para aquela localidade, tendo em vista que para cada ponto da Cidade, tal comportamento da Umidade Relativa do Ar pode ser afetado.

2.2.4 Direção e Velocidade do Vento

O sensor de velocidade e direção do vento, em grande parte das estações da rede do MonitorAr-Rio é do tipo sônico, com exceção do existente na estação Tijuca. Os dados representados por este sensor sempre chegam aos pares para serem analisados, sendo a direção em graus (°) e a velocidade em metros por segundo (m/s).

Um erro muito comum que ocorre na Rede é o envio de somente um dos pares, ou seja, ora velocidade sem direção, ou direção sem velocidade. Logo, uma informação sem a outra acaba sendo sem valor, passando a ser um dado invalidado. Outro passo para a consistência destes dados está na análise do gráfico de direção do vento, para que se observe o comportamento histórico desse componente na região, implicando em ajustes que podem ser feitos no sensor propriamente dito, ou através da calibração do mesmo.

2.2.5 Pressão Atmosférica

Os dados de pressão atmosférica da rede MonitorAr-Rio possuem comportamento padrão, assim como os de outras instituições estaduais e federais. O destaque fica por conta desta variável na estação Bangu, onde um comportamento diferenciado ocorre, quando comparado às demais. Porém, como verificado, tal comportamento não é anômalo, e sim uma condição da localidade em si.

Quanto às verificações de validação e invalidação, observa-se o comportamento da variável meteorológica em horários próximos, além da condição geral da atmosfera, de forma que as leituras possam estar compatíveis com o observado, apresentando coerência em seu comportamento. Assim, caso se faça necessário tais dados de pressão atmosférica passam a ser invalidados diretamente no banco de dados.

2.3 Resumo da Condições de Validação e Invalidação Meteorologia

De forma geral, a Tabela 5 apresenta os critérios de definição para a invalidação e/ou suspeita de dados meteorológicos:

Tabela 5: Critérios de validação e invalidação dos dados meteorológicos da Rede MonitorAr-Rio.

| PARÂMETROS METEOROLÓGICOS | CRITÉRIOS DE DEFINIÇÃO PARA INVALIDAÇÃO/SUSPEITA DE DADOS | | | | | | | |
|---------------------------|---|-----------|-------------------|-----------|--------------|--|--|--|
| | INVALIDAÇÃO AUTOMÁTICA | | SUSPEITA DE DADOS | | | | | AÇÕES |
| | | | LIMITES | | ALTERAÇÕES | | OBSERVAÇÃO | |
| TEMPERATURA DO AR | Limite Inferior | <0 °C | Limite Inferior | <5 °C | Persistência | 5 horas sem alteração | Valor muito diferente entre estações próximas pode ser sinal de sombra. Checar ciclo diurno. | Em caso de suspeita de algum parâmetro, comparar com o perfil das demais estações da rede. Depois, comparar com outra estação meteorológica (INMET/REDEMET E ALERTA RIO), localizada num raio máximo de 15 km. |
| | Limite Superior | >70 °C | Limite Superior | >45 °C | Variação | > 5° em 1h < 0,5° por 12h | | |
| DIREÇÃO DO VENTO | Limite Inferior | <0° | Limite Inferior | - | Persistência | 5 horas sem alteração | Valor zero significa calma e deve ser acompanhado do zero na velocidade. | |
| | Limite Superior | >360° | Limite Superior | - | Variação | < 10° em 18h | | |
| VELOCIDADE DO VENTO | Limite Inferior | <0 m/s | Limite Inferior | - | Persistência | 5 horas sem alteração | Valor sempre baixo pode ser sinal de problema no sensor ou alguma barreira. | |
| | Limite Superior | >20 m/s | Limite Superior | >10 m/s | Variação | < 0,5 m/s em 12h | | |
| UMIDADE RELATIVA | Limite Inferior | <0% | Limite Inferior | <10% | Persistência | 5 horas sem alteração no período diurno (6 às 18h) | Checar variação contrária da temperatura. | |
| | Limite Superior | >100% | Limite Superior | - | Variação | - | | |
| PRESSÃO ATMOSFÉRICA | Limite Inferior | <850 hPa | Limite Inferior | <900 hPa | Persistência | 12 horas sem alteração | Os limites descritos são válidos para NMM. Aplicar a correção de 1hPa | |
| | Limite Superior | >1045 hPa | Limite Superior | >1030 hPa | Variação | > 6 hPa em 3h | | |

| | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------|------------------------|-----------------|----------|--------------|--|---|
| | | | | | | | para cada 10m de altitude. |
| RADIAÇÃO SOLAR | Limite Inferior | <0 W/m ² | Limite Inferior | - | Persistência | 3 horas sem alteração | Valor muito diferente entre estações próximas pode ser sinal de sombra. |
| | Limite Superior | >1600 W/m ² | Limite Superior | - | Noturno | Pode se admitir valores entre 0 e 4 W/m ² | |
| PRECIPITAÇÃO | Limite Inferior | <0 mm | Limite Inferior | - | Persistência | - | Ausência de precipitação em evento chuvoso, pode ser entupimento. Registro contínuo pós evento chuvoso pode ser acúmulo sujeira. |
| | Limite Superior | >200 mm/h | Limite Superior | >25 mm/h | Acumulado | > 250mm em 24h < 50 mm em 3 meses | |

