





Governo do Estado do Espírito Santo

Governador José Renato Casagrande

Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEAMA)

Secretária Diane Mara Ferreira Varanda Rangel

Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA)

Diretor Presidente Tarcísio José Föeger

Ficha técnica

Diretoria técnica: Elias Alberto Morgan

Gerência de Qualidade Ambiental: Mário Stella Cassa Louzada

Qualidade do ar: Alexsander Barros Silveira

Elaboração:

Jane Meri Santos

Engenheira Mecânica

Mestre em Engenharia Mecânica

PhD em Engenharia Química e Tecnologias Ambientais

Neyval Costa Reis Júnior

Engenheiro Mecânico

Mestre em Tecnologias Ambientais

PhD em Engenharia Química e Tecnologias Ambientais

Taciana Toledo de Almeida Albuquerque

Meteorologista

Mestre em Ciências Atmosféricas

Doutora em Ciências Atmosféricas

Leandro Melo de Sá

Físico

Mestre em Engenharia Ambiental

Doutor em Engenharia Ambiental

Elisa Valentim Goulart

Engenheira Civil

Mestre em Engenharia Ambiental

PhD em Meteorologia

Elson Silva Galvão

Engenheiro Ambiental

Mestre em Engenharia Ambiental

Lista de tabelas

Tabela 2.1. Padrões nacionais e estaduais de qualidade do ar e diretrizes da OMS. Entre parênteses aparece o tempo a ser considerado para o cálculo da concentração média prevista.	33
Tabela 2.2. Concentração dos poluentes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para determinação dos níveis de atenção, alerta e emergência (Resolução CONAMA nº 03/90).	35
Tabela 2.3. Descrição das classes, índices e valores limites de concentração (em $\mu\text{g}/\text{m}^3$) para o cálculo do IQA.	36
Tabela 4.1. Emissões dos poluentes para cada grupo de fontes analisados no inventário (Fonte: EcoSoft, 2011).	46
Tabela 5.1. Dados de localização das estações da RAMQAr.	54
Tabela 5.2. Parâmetros monitorados pelas estações da RAMQAr.	55
Tabela 5.3. Descrição da abrangência e fontes monitoradas por cada estação da RAMQAr de acordo com sua concepção original (Fonte: IEMA, 2007).	57
Tabela 5.4. Dados das estações de monitoramento de partículas sedimentadas.	58
Tabela 5.5. Descrição dos critérios de representatividade para os dados de monitoramento utilizados neste relatório.	62
Tabela 7.1. Valores das máximas médias de 24h e da média anual de concentração de MP_{10} em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ano base 2010).	83
Tabela 7.2. Número de ultrapassagem dos valores limites de concentração de MP_{10} considerando o padrão nacional (PQAr) e estadual de qualidade do ar e as diretrizes da OMS (ano base 2010).	86
Tabela 7.3. Valores das máximas médias de 24h e da média anual de concentração de PTS em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ano base 2010).	87
Tabela 7.4. Número de ultrapassagem dos valores limites de concentração de PTS considerando o padrão nacional (PQAr) e estadual de qualidade do ar (ano base 2010).	91

Tabela 7.5. Valores das máximas diárias e da média anual de concentração de SO ₂ em µg/m ³ (ano base 2010).	96
Tabela 7.6. Número de ultrapassagem dos valores limites de concentração de SO ₂ considerando o padrão nacional (PQAr) e estadual de qualidade do ar e as diretrizes da OMS (ano base 2010).	97
Tabela 7.7. Valores das máximas horárias e da média anual de concentração de NO e NO ₂ em µg/m ³ (ano base 2010).	101
Tabela 7.8. Número de ultrapassagens dos valores limites de concentração de NO ₂ considerando o padrão nacional (PQAr) e estadual de qualidade do ar e as diretrizes da OMS (ano base 2010).	103
Tabela 7.9. Valores das máximas diárias de concentração de O ₃ em µg/m ³ (ano base 2010).	104
Tabela 7.10. Número de ultrapassagem dos valores limites de concentração de O ₃ considerando o padrão nacional (PQAr) e estadual de qualidade do ar e as diretrizes da OMS (ano base 2010).	106
Tabela 7.11. Valores das máximas horárias de 8h de concentração de CO em µg/m ³ (ano base 2010).	108
Tabela 7.12. Número de ultrapassagem dos valores limites de concentração de CO considerando o padrão nacional (PQAr) e estadual de qualidade do ar e as diretrizes da OMS (ano base 2010).	110
Tabela 7.13. Valores das máximas diárias e da média anual de concentração de HCNM em ppm (ano base 2010).	113

Lista de figuras

Figura 3.1. Topografia do território na RMGV (Fonte: IJSN, 2014).	38
Figura 3.2. Uso e cobertura do solo na RMGV (Fonte: IJSN, 2014).	39
Figura 3.3. Normais climatológicas do município de Vitória durante o período de 1961 a 1990, para os seguintes parâmetros meteorológicos: precipitação acumulada mensal, temperatura média, temperatura mínima e temperatura máxima (Dados do INMET, 2014).	41
Figura 4.1. Localização das fontes de emissão de poluentes atmosféricos na RMGV: (a) fontes industriais; (b) vias de tráfego primárias consideradas para estimativa das emissões veiculares e (c) manchas urbanas dos municípios da RMGV (Fonte: EcoSoft, 2011).	47
Figura 4.2. Contribuições percentuais de cada grupo de fontes emissoras para as emissões de na RMGV: (a) PTS, (b) MP10, (c) MP _{2,5} , (d) SO ₂ , (e) NO _x , (f) CO e (g) COV (Fonte: EcoSoft, 2011).	49
Figura 4.3. Evolução anual da frota de veículos automotores registrados nos municípios da RMGV de 2003 a 2013 (Fonte: DENATRAN, 2014).	51
Figura 4.4. Evolução anual da taxa de crescimento da frota de veículos automotores registrados na RMGV de 2004 a 2013 (Fonte: DENATRAN, 2014).	52
Figura 5.1. Distribuição espacial das estações da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar (RAMQAr) na RMGV (Adaptado de IJSN, 2014).	55
Figura 5.2. Distribuição espacial dos pontos de coleta de PS na RMGV (Adaptado de IJSN, 2014).	59
Figura 5.3. Coletor de partículas sedimentadas projetado de acordo com a norma ASTM D1739: (a) representação esquemática do coletor e suas dimensões e fotografias (b) do coletor instalado em uma estação da RAMQAr e (c) do detalhe da instalação do recipiente coletor.	60
Figura 6.1. Precipitação acumulada mensal na estação Carapina.	64
Figura 6.2. Temperatura média mensal, máxima e mínima nas estações: (a) Carapina e (b) Cariacica.	65

Figura 6.3. Temperatura média horária por estações do ano nas estações: (a) Carapina e (b) Cariacica.	66
Figura 6.4. Pressão atmosférica média mensal, máxima e mínima na estação Carapina.	67
Figura 6.5. Radiação solar média horária nos períodos de solstício e equinócio do ano na estação Carapina.	68
Figura 6.6. Radiação solar média mensal e máxima na estação Carapina.	68
Figura 6.7. Umidade relativa média horária nos períodos de solstício e equinócio nas estações: (a) Carapina e (b) Cariacica.	69
Figura 6.8. Umidade relativa média mensal, máxima e mínima nas estações: (a) Carapina e (b) Cariacica.	69
Figura 6.9. Evolução mensal da velocidade média, máxima e mínima nas estações: (a) Carapina, (b) Enseada do Suá, (c) Ibés, (d) Cariacica e (e) Aeroporto.	71
Figura 6.10. Rosa dos ventos anual nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibés; e (d) Aeroporto.	72
Figura 6.11. Distribuição de frequência de ocorrência das classes de vento na Estação Aeroporto.	73
Figura 6.12. Rosa dos ventos para o mês de janeiro nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibés; e (d) Aeroporto.	74
Figura 6.13. Rosa dos ventos para o mês de fevereiro nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibés; e (d) Aeroporto.	75
Figura 6.14. Rosa dos ventos para o mês de março nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibés; e (d) Aeroporto.	75
Figura 6.15. Rosa dos ventos para o mês de abril nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibés; e (d) Aeroporto.	76
Figura 6.16. Rosa dos ventos para o mês de maio nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibés; e (d) Aeroporto.	76
Figura 6.17. Rosa dos ventos para o mês de junho nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada	77

do Suá; (c) Ibes; e (d) Aeroporto.

Figura 6.18. Rosa dos ventos para o mês de julho nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibes; e (d) Aeroporto. 77

Figura 6.19. Rosa dos ventos para o mês de agosto nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibes; e (d) Aeroporto. 78

Figura 6.20. Rosa dos ventos para o mês de setembro nas Estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibes; e (d) Aeroporto. 78

Figura 6.21. Rosa dos ventos para o mês de outubro nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibes; e (d) Aeroporto. 79

Figura 6.22. Rosa dos ventos para o mês de novembro nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibes; e (d) Aeroporto. 79

Figura 6.23. Rosa dos ventos para o mês de dezembro nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibes; e (d) Aeroporto. 80

Figura 6.24. Número de horas desfavoráveis à dispersão de poluentes na estação Aeroporto. 81

Figura 7.1. Concentração máxima média de 24h de MP_{10} nas estações da RAMQAr (ano base 2010). PQAr indica o padrão nacional de qualidade do ar. MI1-ES, MI2-ES e MI3-ES são as metas intermediárias. OMS representa a diretriz da Organização Mundial de Saúde para o referido poluente, que equivale ao padrão final preconizado na legislação estadual (PF-ES). Valores destacados com * são considerados não representativos. 83

Figura 7.2. Concentração média anual de MP_{10} nas estações da RAMQAr (ano base 2010). PQAr indica o padrão nacional de qualidade do ar. MI1-ES, MI2-ES e MI3-ES são as metas intermediárias. OMS representa a diretriz da Organização Mundial de Saúde para o referido poluente, que equivale ao padrão final preconizado na legislação estadual (PF-ES). Valores destacados com * são considerados não-representativos. 85

Figura 7.3. Índice de qualidade do ar com referencia ao poluente MP_{10} nas estações da RAMQAr (ano base 2010). 87

Figura 7.4. Perfil de concentração média de MP_{10} nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento** (gráfico de radar): (a) Laranjeiras; (b) Carapina; (c) JardimCamburi; 88

(d) Enseada do Suá; (e) VIX-Centro; (f) Ibes; (g) VV-Centro; e (h) Cariacica.

Figura 7.5. Concentração máxima média de 24h de PTS nas estações da RAMQAr (ano base 2010). PQAr indica o padrão nacional de qualidade do ar. MI1-ES, MI2-ES e MI3-ES são as metas intermediárias e PF-ES é o padrão final preconizado na legislação estadual. Valores destacados com * são considerados não representativos. 89

Figura 7.6. Concentração média anual de PTS nas estações da RAMQAr (ano base 2010). PQAr indica o padrão nacional de qualidade do ar. MI1-ES, MI2-ES e MI3-ES são as metas intermediárias e PF-ES é o padrão final preconizado na legislação estadual. Valores destacados com * são considerados não representativos. 92

Figura 7.7. Índice de qualidade do ar com base no poluente PTS nas estações da RAMQAr (ano base 2010). 92

Figura 7.8. Perfil de concentração média horária de PTS nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento** (gráfico de radar): (a) Laranjeiras; (b) Carapina; (c) Jardim Camburi; (d) Enseada do Suá; (e) VIX-Centro; (f) Ibes e (g) Cariacica. 93

Figura 7.9. Taxa de deposição de partículas ($\text{g}/\text{m}^2/30$ dias) nas estações de monitoramento de PS (ano base 2010). 95

Figura 7.10. Concentração diária máxima de SO_2 nas estações da RAMQAr (ano base 2010). PQAr indica o padrão nacional de qualidade do ar. MI1-ES, MI2-ES e MI3-ES são as metas intermediárias. OMS representa a diretriz da Organização Mundial de Saúde para o referido poluente, que equivale ao padrão final preconizado na legislação estadual (PF-ES). Valores destacados com * são considerados não-representativos. 98

Figura 7.11. Concentração média anual de SO_2 nas estações da RAMQAr (ano base 2010). PQAr indica o padrão nacional de qualidade do ar. MI1-ES, MI2-ES e MI3-ES são as metas intermediárias. Valores destacados com * são considerados não-representativos. 99

Figura 7.12. Índice de qualidade do ar com referência ao poluente SO_2 nas estações da RAMQAr (ano base 2010). 99

Figura 7.13. Perfil de concentração média horária de SO_2 nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento** (gráfico de radar): (a) Laranjeiras; (b) Jardim Camburi; (c) Enseada do Suá; (d) VIX-Centro; (e) Ibes; e (f) VV-Centro; e (g) Cariacica. 100

Figura 7.14. Concentrações horária máximas de NO_2 nas estações da RAMQAr (ano base 2010). OMS representa a diretriz da Organização Mundial de Saúde para o referido poluente, que equivale ao padrão final preconizado na legislação estadual (PF-ES). 101

Figura 7.15. Concentrações médias anuais de NO_2 nas estações da RAMQAr (ano base 2010). PF-ES é o padrão final preconizado na legislação estadual. 102

Figura 7.16. Índice de qualidade do ar referente ao poluente NO_2 nas estações da RAMQAr (ano base 2010). 104

Figura 7.17. Perfil de concentração média horária de NO_2 nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento (gráfico de radar): (a) Laranjeiras**; (b) Jardim Camburi**; (c) Enseada do Suá; (d) VIX-Centro**; (e) Ibes; e (f) Cariacica**. 105

Figura 7.18. Concentração média 8h máxima de O_3 nas estações da RAMQAr (ano base 2010). PQAr indica o padrão nacional de qualidade do ar. MI1-ES, MI2-ES e MI3-ES são as metas intermediárias. OMS representa a diretriz da Organização Mundial de Saúde para o referido poluente, que equivale ao padrão final preconizado na legislação estadual (PF-ES). Valores destacados com * são considerados não-representativos. 106

Figura 7.19. Concentração horária máxima de O_3 nas estações da RAMQAr (ano base 2010). PQAr indica o padrão nacional de qualidade do ar. Valores destacados com * são considerados não-representativos. 107

Figura 7.20. Índice de qualidade do ar com referência ao poluente O_3 nas estações da RAMQAr (ano base 2010). 108

Figura 7.21. Perfil de concentração média horária de O_3 nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento (gráfico de radar): (a) Laranjeiras**; (b) Enseada do Suá** e (c) Ibes; e (d) Cariacica**. 109

Figura 7.22. Concentração média máxima de 8h de CO nas estações da RAMQAr (ano base 2010). 110

Figura 7.23. Concentração horária máxima de CO nas estações da RAMQAr (ano base 2010). 111

Figura 7.24. Índice de qualidade do ar com referência ao poluente CO nas estações da RAMQAr (ano base 2010). 111

Figura 7.25. Perfil de concentração média horária de CO nas estações da RAMQAr com 112
relação à direção do vento (gráfico de radar): (a) Laranjeiras**; (b) Enseada do Suá**;
(c) VIX-Centro**; (d) Ibes** e (e) Cariacica**.

Figura 7.26. Concentração diária máxima de HCNM nas estações da RAMQAr (ano base 113
2010).

Figura 7.27. Concentração média anual de HCNM nas estações da RAMQAr (ano base 114
2010).

Figura 7.28. Perfil de concentração média horária de HCNM nas estações da RAMQAr 114
com relação à direção do vento (gráfico de radar): (a) Enseada do Suá**; e (b) VIX-
Centro**.

Figura 8.1. Sumário dos principais resultados de monitoramento para cada estação na 117
RMGV.

Resumo Executivo

Este documento faz parte de uma série de relatórios de qualidade do ar elaborados para os anos entre 2008 e 2013. Os objetivos deste Relatório de Qualidade do Ar consistem em (i) divulgar ao público as informações relativas à qualidade do ar na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) referente ao ano base 2010, (ii) auxiliar o gerenciamento da qualidade do ar, (iii) subsidiar políticas públicas a fim de melhorar a qualidade do ar na região e (iv) dar transparência às informações geradas pelo monitoramento da qualidade do ar no estado.

Este relatório apresenta o diagnóstico da qualidade do ar na RMGV, a partir dos dados da rede de monitoramento da qualidade do ar referentes ao ano de 2010. O relatório apresenta também informações relativas às condições meteorológicas observadas em 2010 e as principais fontes de emissão.

O Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) divulga diariamente os índices de qualidade do ar na RMGV nos jornais locais e na página eletrônica <http://www.meioambiente.es.gov.br>. Entretanto, a divulgação deste relatório anual é uma oportunidade para identificar as principais tendências da poluição do ar e as desconformidades no monitoramento a fim de propor possíveis ações para a melhoria da qualidade do ar e aprimorar a confiabilidade dos dados monitorados.

Monitoramento da qualidade do ar e das condições meteorológicas

O monitoramento da qualidade do ar e das condições meteorológicas na RMGV é efetuado por 2 conjuntos complementares de estações de monitoramento: (i) a rede automática de monitoramento da qualidade do ar (RAMQAr) e (ii) a rede manual de monitoramento de partículas sedimentadas. Ambas as redes são de propriedade do IEMA, que gerencia a operação e manutenção, e têm como objetivo medir a exposição da população aos poluentes: partículas totais em suspensão (PTS), partículas com diâmetro menor que 10 µm (MP₁₀), dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃) e partículas sedimentadas (ou sedimentáveis, conforme indicado no Decreto Estadual nº 3463-R)(PS). Além dos dados de qualidade do ar são monitorados os seguintes parâmetros meteorológicos: direção e velocidade do vento, temperatura, umidade relativa, radiação solar, pressão atmosférica e precipitação. A RAMQAr tornou-se operacional em 2001, enquanto a rede manual de monitoramento de partículas sedimentadas iniciou sua operação em abril de 2009.

O número e a distribuição das estações de monitoramento de qualidade do ar em operação na RMGV não são suficientes para a caracterização detalhada da poluição do ar em todo o seu território. As estações da RAMQAr e da rede manual de monitoramento de partículas sedimentadas estão localizadas em quatro dentre os sete municípios da RMGV em localizações consideradas estratégicas para o direcionamento de políticas de gestão e de controle.

As principais fontes emissoras na RMGV

Em uma região urbana altamente industrializada em processo de expansão como a RMGV, a qualidade do ar é afetada principalmente por veículos automotores, por empreendimentos industriais e pelas atividades da construção civil. Além disso, a RMGV conta ainda com um complexo sistema portuário. De acordo com os dados fornecidos pelo Inventário de Emissões Atmosféricas da Região da Grande Vitória produzido pela empresa EcoSoft Consultoria e Softwares Ambientais em 2011, a principal fonte emissora de partículas na região são veículos automotores que representa mais de 60% das emissões de partículas estão ligados à ressuspensão de material particulado em vias. O segundo grupo mais importante para a emissão de partículas é o setor industrial minero-siderúrgico. O terceiro grupo mais relevante é o setor logístico que inclui portos e aeroportos. O inventário não contempla as atividades da construção civil.

Para o poluente SO_2 , as principais fontes são: a indústria minero-siderúrgica e o setor de logística (portos e aeroportos). Para o poluente CO, as principais fontes são: a indústria minero-siderúrgica e os veículos automotores. Para os hidrocarbonetos não-metano (HCNM), também denominados compostos orgânicos voláteis não-metano (COVNM), as principais fontes são: os veículos seguidos por atividades residenciais e comerciais seguidas por estocagem e comercialização de combustíveis, indústrias químicas e minero-siderúrgicas. O O_3 é um poluente secundário, proveniente das reações fotoquímicas dos óxidos de nitrogênio na atmosfera, bem como dos HCNM e CO (SEINFELD e PANDIS, 2006). Portanto, as fontes emissoras de NO_x , HCNM e CO são responsáveis indiretas pela presença de O_3 no ambiente.

Com relação ao inventário de emissões atmosféricas, é importante considerar a necessidade de atualização visto que desde quando foram realizadas as medições das emissões nas fontes, houve alteração das emissões veiculares (devido ao aumento da frota) e industriais (devido a expansão, bem como aos processos de controle instalados). Também há de ser considerada a necessidade de inclusão das atividades da construção civil como fonte de emissão de poluentes atmosféricos no inventário.

Condições meteorológicas

A qualidade do ar é diretamente influenciada pela distribuição e intensidade das emissões de poluentes atmosféricos de origem veicular e industrial, além da topografia e das condições meteorológicas. As condições meteorológicas são monitoradas nas estações Enseada do Suá, Ibes, Cariacica e Carapina. Neste relatório também foram utilizados dados da estação meteorológica da rede de meteorologia do comando da aeronáutica (REDEMET) localizada no aeroporto de Vitória para complementar as análises de direção e velocidade do vento em 2010.

Em 2010, a precipitação pluviométrica registrada na estação de Carapina foi de 1384,2 mm, aproximadamente 132 mm acima da normal climatológica (1252,3 mm). Observa-se que, de maneira geral, a precipitação acumulada anual foi bem distribuída ao longo dos meses. Em fevereiro a ocorrência de chuvas foi cerca de 40% abaixo da normal climatológica mensal, apresentando um total pluviométrico de apenas 33,8 mm. Março encerrou o período chuvoso (2009/2010) com um total pluviométrico de 397,2 mm, volume que corresponde 3,7 vezes o valor total do esperado mensal. Durante o período de transição entre outono-inverno, observou-se que o período estiagem na região ocorreu um pouco tardio, iniciando apenas em agosto e finalizando em outubro. Os meses de novembro e dezembro apresentaram precipitações pouco acima das normais mensais. Os dados registrados nas estações de Carapina e Cariacica da variável meteorológica temperatura, umidade relativa e radiação solar apresentaram valores correspondentes às respectivas normais climatológicas. Com relação aos registros de velocidade do vento (Carapina, Cariacica, Enseada do Suá e Ibes) e pressão atmosférica (Carapina), observou-se que estes parâmetros estiveram abaixo da normal climatológica. A velocidade média anual registrada na estação meteorológica do Aeroporto (3,9 m/s) foi um pouco acima da normal climatológica (3,25 m/s). Esta estação por sua vez, possui a melhor posição geográfica da região para avaliação das circulações locais (mesoescala) predominantes, sem interferências da área urbana. Com relação a direção do vento, em 2010 existiu a predominância dos ventos norte-nordeste entre janeiro e fevereiro nas estações de Carapina, Ibes e Aeroporto, porém, na estação da Enseada do Suá as direções predominantes foram nas direções nordeste-leste. A partir de março os ventos começaram a mudar de direção, apresentando ventos oriundos também da direção sul-sudoeste-oeste. A partir de maio observou-se o enfraquecimento dos ventos de norte-nordeste e assim, a estação da Enseada do Suá apresentou comportamento semelhante às demais estações, com ventos predominantes do terceiro quadrante até junho. A partir de julho os ventos de norte começaram a se destacar em conjunto com os ventos de sul. A partir do mês de agosto, a direção predominante do vento torna-se novamente norte e nordeste, mantendo-se até dezembro.

Avaliando as condições de dispersão na RMGV, foram identificados trinta e quatro dias com condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes na atmosfera caracterizadas por pelo menos 25% das horas em calmaria e ausência de precipitação, onde 45% desses dias ficaram concentrados nos meses de maio a julho. O maior número de horas desfavoráveis à dispersão de poluentes ocorreu durante o período seco da região (maio a setembro).

Os poluentes e a legislação

Os poluentes do ar que possuem padrão de qualidade do ar legislado pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (Resolução CONAMA nº 03/90) são: partículas inaláveis (MP_{10}), partículas totais em suspensão (PTS), fumaça, dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de nitrogênio (NO_2), ozônio (O_3) e monóxido de carbono (CO).

Em dezembro de 2013, foi expandida, por meio de Decreto Estadual, a lista de poluentes que possuem padrão de qualidade do ar em relação àqueles legislados na esfera federal e os respectivos valores limites de concentração foram revisados. Estrategicamente, a legislação estadual apresentou três metas intermediárias (MI1, MI2 e MI3) e um padrão final (PF) para cada poluente de interesse, sendo a meta intermediária MI1, o valor referencial legal a partir de dezembro de 2013 e o valor de PF idêntico às diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS) para os poluentes de interesse analisados por essa Organização. Os poluentes com padrões legislados no estado do Espírito Santo são: partículas inaláveis (MP_{10}), partículas totais em suspensão (PTS), dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de nitrogênio (NO_2), ozônio (O_3) e monóxido de carbono (CO), além de partículas respiráveis ($MP_{2,5}$) e partículas sedimentadas (PS).

Os resultados do monitoramento da qualidade do ar na RMGV em 2010 são apresentados abaixo por poluente de interesse.

Partículas inaláveis (MP_{10})

Não houve ultrapassagem do padrão CONAMA de qualidade do ar (PQAr) para curta e longa exposição ao poluente MP_{10} em 2010. A meta intermediária MI1 (atual valor referencial legal no ES) relativa a curta exposição ao MP_{10} (relacionados aos efeitos agudos à saúde) não foi ultrapassada em todas as estações, exceto na estação Cariacica (2 dias de ultrapassagem). A meta MI2, relativa a curta exposição ao MP_{10} foi ultrapassada nas estações Cariacica (36 dias de ultrapassagem), VV-Centro (4 dias), Laranjeiras (2 dias), Enseada do Suá (2 dias) e Ibes (1 dia). Houve, ainda, ultrapassagem da MI3 nas estações Cariacica (101 dias), Laranjeiras (24 dias), Enseada do Suá (18 dias), VV-Centro (8 dias), Carapina (4 dias), Ibes (4 dias) e VIX-Centro (4 dia). Houve, também, ultrapassagem do padrão final estadual PF e da diretriz OMS nas

estações: Cariacica (165 dias), Laranjeiras (56 dias), Enseada do Suá (46 dias), Carapina (20 dias), Ibes (18 dias), VV-Centro (11 dias) e VIX-Centro (10 dias). Não houve ultrapassagem na estação Jardim Camburi. Na estação Cariacica, essas ultrapassagens ocorreram em todos os meses do ano. Nas estações Laranjeiras e Enseada do Suá, as ultrapassagens ocorreram em todos os meses, exceto novembro em Laranjeiras e janeiro na Enseada do Suá. Nas estações Carapina e VV-Centro, as ultrapassagens ocorreram predominantemente entre junho e outubro. Na estação Ibes, as ultrapassagens ocorreram em todo o segundo semestre do ano. Finalmente, na estação VIX-Centro, as ultrapassagens ocorreram de forma distribuída nos meses de março, maio, junho e entre setembro e novembro.

Também não houve ultrapassagem da meta MI1, considerando os valores referenciais para longa exposição ao MP_{10} (relacionados aos efeitos crônicos à saúde). Entretanto, houve ultrapassagem da meta intermediária MI2 nas estações Cariacica e Laranjeiras, da meta MI3 em todas as estações, exceto em Carapina e Jardim Camburi. Houve também, ultrapassagem da diretriz OMS e do padrão final estadual PF (valores idênticos) em todas as estações.

Partículas totais em suspensão (PTS)

Não houve ultrapassagem do PQAr primário relativo à exposição de curto prazo ao PTS em nenhuma das estações em 2010. O PQAr secundário foi ultrapassado nas estações Cariacica (5 dias de ultrapassagem) e Laranjeiras (2 dias de ultrapassagem). Houve ultrapassagem da meta MI1 (2 dias) na estação Cariacica. Houve, ainda, ultrapassagem das metas MI2, MI3 e do padrão final estadual PF para curta exposição ao PTS (efeitos agudos), nas estações Cariacica (respectivamente, 2, 3 e 5 dias de ultrapassagem) e Laranjeiras (respectivamente, 2, 2 e 2 dias de ultrapassagem). Na estação Cariacica, o PQAr secundário foi ultrapassado nos meses de junho e julho. As metas intermediárias estaduais MI1 e MI2 foram ultrapassadas somente no mês de junho, enquanto a meta MI3 e o padrão final estadual PF foram ultrapassados entre junho e julho. Na estação Laranjeiras, todas as ultrapassagens de padrões ocorreram no mês de janeiro.

Considerando os valores referenciais para longa exposição ao poluente, não houve ultrapassagem de nenhum dos valores referenciais.

Partículas sedimentadas (PS)

Houve ultrapassagem do valor limite estabelecido na legislação estadual de 2013 (meta intermediária MI1) para a taxa de deposição de partículas sedimentadas nas estações Laranjeiras em janeiro e dezembro, Banca Central em novembro e dezembro e Enseada do Suá no mês de fevereiro durante o ano de 2010.

Dióxido de enxofre (SO₂)

Não houve ultrapassagem do PQAr e da meta MI1 para curta exposição ao SO₂, em todas as estações. Ocorreram ultrapassagens das metas intermediárias MI2 e MI3 para curta exposição ao SO₂ nas estações Laranjeiras, Jardim Camburi, Enseada do Suá e VIX-Centro, sendo que a meta MI3 foi também ultrapassada na estação Ibes. Houve também, ultrapassagem da diretriz OMS e do padrão estadual PF-ES em todas as estações: Enseada do Suá (340 dias), Jardim Camburi (287 dias), VIX-Centro (238 dias), Laranjeiras (86 dias), Ibes (71 dias) e VV-Centro (2 dias), com exceção da estação Cariacica que não apresentou ultrapassagem dos padrões. Nas estações Enseada do Suá, Jardim Camburi, VIX-Centro e Laranjeiras, essas ultrapassagens ocorreram em todos os meses do ano de 2010. Na estação Ibes, as ultrapassagens ocorreram de janeiro a março e entre agosto e dezembro. Finalmente, na estação VV-Centro, as ultrapassagens ocorreram apenas no mês de janeiro.

Dióxido de nitrogênio

Não houve ultrapassagem do PQAr, nem das metas intermediárias MI1, MI2, MI3 e do PF para curta e longa exposição ao poluente NO₂, em todas as estações, exceto Cariacica onde as metas MI2 (apenas 1 dia) e MI3 (apenas 1 dia) e PF (2 dias) foram ultrapassadas.

Ozônio

Não houve ultrapassagem do PQAr, nem das metas intermediárias MI1 e MI2 em todas as estações para o poluente O₃. Entretanto, houve ultrapassagem de MI3 (1 dia) na estação Ibes e do PF nas estações Laranjeiras (2 dias) e Ibes (5 dias).

Monóxido de carbono

Não houve ultrapassagem do PQAr, nem do PF para 1h e 8h (idêntico a diretriz da OMS) em todas as estações para o poluente CO.

HCNM

Não existem diretrizes ou padrões conhecidos para hidrocarbonetos usados como valores referência para proteção à saúde. Os valores referenciais encontrados na literatura são estabelecidos para determinados hidrocarbonetos ou grupos de hidrocarbonetos.

Epílogo

Os poluentes PS e SO₂ representam problemas de poluição do ar Laranjeiras, Enseada do Suá e Centro de Vitória, pois a meta estadual MI1 foi ultrapassada. A meta MI1 para PS foi ainda

ultrapassada na estação SENAC e para SO_2 em Jardim Camburi. Nas outras estações, o PS e o SO_2 não ultrapassaram os valores referenciais da legislação, entretanto, foi ultrapassado o padrão final para SO_2 e para MP_{10} que devem ser alcançados em futuro próximo em todas as estações e, portanto, devem ser elaborados planos estratégicos para a redução da concentração desses poluentes na RMGV.

Sumário

Ficha técnica.....	3
Lista de tabelas.....	4
Lista de figuras.....	6
Resumo Executivo	12
Sumário	19
1. Introdução	21
2. Poluentes Atmosféricos.....	23
2.1. Descrição dos principais poluentes, seus efeitos e fontes	23
2.1.1 Material particulado	24
2.1.2. Dióxido de enxofre.....	25
2.1.3. Dióxido de nitrogênio.....	26
2.1.4. Ozônio	26
2.1.5. Monóxido de carbono.....	27
2.2. Breve histórico da regulamentação sobre qualidade do ar	27
2.3. Padrões de qualidade do ar.....	32
2.4. Índice de qualidade do ar	34
3. Aspectos Gerais da RMGV	37
3.1. Aspectos sócio-demográficos.....	37
3.2. Aspectos sócio-econômicos	40
3.3. Clima local	40
4. Fontes de Poluição do Ar na RMGV	44
4.1. Descrição do inventário de emissões atmosféricas da RMGV.....	44
4.2. Descrição das fontes de poluição do ar na RMGV	45
4.3. Considerações adicionais sobre as fontes de poluição do ar na RMGV	50
5. Monitoramento da Qualidade do Ar e das Condições Meteorológicas na RMGV	53
5.1. Redes de monitoramento.....	53
5.1.1. Rede automática de monitoramento da qualidade do ar (RAMQAr).....	54

5.1.2. Rede manual de monitoramento de partículas sedimentadas	56
5.2. Métodos de tratamento de dados	58
5.2.1. Representatividade dos dados	61
6. Condições Meteorológicas Observadas na RMGV	63
7. Qualidade do Ar na RMGV	82
7.1. Material particulado	82
7.1.1. Partículas inaláveis (MP ₁₀)	82
7.1.2. Partículas totais em suspensão (PTS)	87
7.1.3. Partículas sedimentadas (PS)	94
7.2. Dióxido de enxofre (SO ₂)	94
7.3. Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	98
7.4. Ozônio (O ₃)	104
7.5. Monóxido de carbono (CO)	108
7.6. Hidrocarbonetos não metano (HCNM)	112
8. Considerações Finais	115
9. Referências	119

1. Introdução

A Organização Mundial de Saúde (OMS) divulgou novas estimativas em 24 de março de 2014, sobre o impacto da poluição do ar na saúde. Essas novas estimativas foram baseadas em dados de mortalidade em 2012 no mundo e novas evidências sobre o risco à saúde causado pela exposição à poluição do ar. A OMS informou que cerca de 3,7 milhões de mortes ocorreram em 2012 associadas à poluição do ar em ambientes externos: isquemia cardíaca (40%), enfarte (40%), obstruções pulmonares crônicas (11%), câncer de pulmão (6%), infecções respiratórias em crianças (3%). Enquanto a poluição do ar em ambientes internos foi associada a 4,3 milhões de mortes por enfarte (34%), isquemia cardíaca (26%), obstruções pulmonares crônicas (22%), infecções respiratórias em crianças (12%) e câncer de pulmão (6%).

Nesse contexto, é importante monitorar os poluentes atmosféricos de forma sistemática a fim de diagnosticar a qualidade do ar nas regiões urbanas e, a partir desse diagnóstico, estabelecer estratégias para garantir a qualidade de vida das populações.

A Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) é uma região urbana altamente industrializada em processo de expansão, sendo a qualidade do ar afetada pela emissão de poluentes provenientes de veículos automotores e de grandes empreendimentos industriais, além do setor de logística devido à existência de um grande complexo portuário e de aeroporto na região. A qualidade do ar é diretamente influenciada pela distribuição e intensidade das emissões de poluentes atmosféricos de origem veicular e industrial, mas as condições meteorológicas e de topografia são determinantes para a distribuição espacial e temporal dos contaminantes na região.

O monitoramento da qualidade do ar e das condições meteorológicas na RMGV é efetuado pela rede automática de monitoramento da qualidade do ar (RAMQAr) e pela rede manual de

monitoramento de partículas sedimentadas. A RAMQAr é composta por 8 estações de monitoramento da qualidade do ar nos bairros de Laranjeiras, Jardim Camburi, Carapina, Enseada do Suá, Centro de Vitória, Cariacica, Ibes e Centro de Vila Velha. Essa rede monitora os seguintes poluentes: partículas totais em suspensão (PTS), partículas com diâmetro menores que 10 μm (MP_{10}), dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos totais e não-metanos (HCT e HCNM), monóxido de carbono (CO) e ozônio (O_3). Além dos dados de qualidade do ar são monitorados parâmetros meteorológicos, como direção e velocidade do vento, temperatura, umidade relativa, radiação solar, pressão atmosférica e precipitação.

Este documento faz parte de uma série de relatórios sobre a qualidade do ar na RMGV para os anos entre 2008 e 2013. O objetivo deste relatório é apresentar o diagnóstico da qualidade do ar na RMGV para o ano de 2013, incluindo as principais tendências da poluição do ar e meteorologia na região. Este relatório visa, ainda, subsidiar a formulação de diretrizes gerenciais e políticas públicas para a melhora da qualidade do ar na RMGV. Assim, além dos dados de qualidade do ar na RMGV em 2013, são também apresentadas informações sobre as fontes presentes na região, as condições meteorológicas observadas e a legislação vigente que regula a qualidade do ar. Para tanto, este documento foi organizado em 9 capítulos. Após este texto introdutório, o Capítulo 2 descreve os principais poluentes atmosféricos e expõe um breve histórico da legislação sobre a poluição do ar, apresentando os padrões nacionais de qualidade do ar e aqueles vigentes no estado do Espírito Santo, além das diretrizes propostas pela Organização Mundial da Saúde (OMS). O Capítulo 3 descreve a RMGV, apresentando e discutindo alguns aspectos relevantes para a gestão qualidade do ar na região. O Capítulo 4 apresenta as principais fontes a partir de dados do inventário de emissões. O Capítulo 5 descreve o monitoramento da qualidade do ar e dos parâmetros meteorológicos realizados pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) e a metodologia empregada para o tratamento dos dados obtidos pelas redes de monitoramento para a construção deste relatório anual de qualidade do ar. O Capítulo 6 descreve as condições meteorológicas observadas na RMGV em 2013 e, finalmente, o Capítulo 7 apresenta e discute os dados de qualidade do ar na RMGV em 2013. As considerações finais são indicadas no Capítulo 8 e as referências da literatura consultada para a construção deste relatório estão listadas no Capítulo 9.

2. Poluentes Atmosféricos

Este capítulo tem o objetivo de fornecer as informações básicas sobre os parâmetros de controle ligados à qualidade do ar, descrevendo principais poluentes atmosféricos e a legislação sobre a poluição do ar. Nesse contexto, este capítulo está dividido em 3 seções principais. A Seção 2.1 descreve os principais poluentes atmosféricos, suas fontes e seus efeitos. A Seção 2.2 introduz um breve histórico da legislação sobre a poluição do ar. A Seção 2.3 apresenta os padrões nacionais de qualidade do ar e aqueles vigentes no estado do Espírito Santo, além das diretrizes propostas pela Organização Mundial da Saúde (OMS). A Seção 2.4 descreve o índice de qualidade do ar, que é uma das formas internacionalmente mais empregadas para simplificar o processo de divulgação da qualidade do ar.

2.1. Descrição dos principais poluentes, seus efeitos e fontes

A legislação brasileira define como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia que tornem o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora e prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade. Essa definição é bastante ampla, pois considera não somente os efeitos deletérios sobre a saúde, fauna, flora e bens materiais, mas também o conceito mais subjetivo de bem-estar público. Assim, são importantes para o estudo da qualidade do ar as substâncias que geram dano à saúde, fauna e flora e as substâncias que estão relacionadas ao incômodo da população, tais como compostos odorantes, por exemplo. Com base nessa definição, o número de substâncias consideradas como poluentes atmosféricos é bastante elevado, incluindo desde poluentes comuns e abundantes em regiões urbanas, como

material particulado ou dióxido de enxofre, até substâncias pouco abundantes e com baixo limite de detecção como compostos radiativos ou alguns hidrocarbonetos.

Nesse contexto, esta seção apresenta descrição dos principais poluentes atmosféricos, suas fontes e efeitos. Devido às limitações de espaço e de escopo deste trabalho, os poluentes aqui apresentados estão limitados àqueles que são contemplados com padrões de qualidade do ar na legislação vigente. Para uma descrição mais aprofundada desses e de outros poluentes não citados aqui, o leitor deve consultar Holgate *et al.* (1999).

2.1.1 Material particulado

O material particulado (MP) pode ser sólido ou líquido, de granulometria, forma e composição química variada de acordo com sua fonte de origem e os processos físicos e químicos de transformação aos quais foi submetido durante seu transporte na atmosfera.

Os efeitos causados à saúde são predominantemente relacionados aos sistemas respiratórios e cardiovasculares e a sensibilidade está associada às condições individuais de saúde e faixa etária, embora toda a população seja afetada. De acordo com a OMS (WHO, 2006), não existem evidências suficientes que indiquem um limite abaixo do qual não ocorram efeitos à saúde humana. Os efeitos à saúde podem ser causados por exposição de longo ou curto prazo ao poluente.

O material particulado, apesar das diferenças em composição química e forma, é principalmente classificado por seu diâmetro aerodinâmico que indica o potencial e o local de deposição da partícula no trato respiratório. O diâmetro aerodinâmico corresponde ao tamanho de uma partícula com densidade absoluta unitária (1 g m^{-3}) e formato esférico que possui as mesmas características aerodinâmicas da partícula de interesse. Assim, o material particulado é usualmente classificado como: partículas totais em suspensão (PTS), partículas com diâmetro aerodinâmico inferior a $10 \text{ }\mu\text{m}$ (ou partículas inaláveis, MP_{10}), partículas finas com diâmetro aerodinâmico inferior a $2,5 \text{ }\mu\text{m}$ (ou partículas respiráveis, $\text{MP}_{2,5}$), partículas ultrafinas com diâmetro aerodinâmico inferior a $0,1 \text{ }\mu\text{m}$ ($\text{MP}_{0,1}$) e partículas sedimentadas (ou sedimentáveis, conforme indicado no Decreto Estadual nº 3463-R) (PS).

Partículas totais em suspensão (PTS) são representadas por todas as partículas em suspensão na atmosfera com larga faixa granulométrica e capazes de serem amostradas pelo equipamento de medição em uso. Tipicamente, o diâmetro aerodinâmico dessas partículas varia desde $0,005 \text{ }\mu\text{m}$ a maiores que $100 \text{ }\mu\text{m}$. MP_{10} são partículas em suspensão na atmosfera com diâmetro aerodinâmico inferior a $10 \text{ }\mu\text{m}$ (incluindo as partículas das modas grossa, fina e ultrafina) que penetram o sistema respiratório e são emitidas, principalmente, por processos mecânicos

existentes nas atividades da construção civil e pela ressuspensão de partículas em vias devido ao tráfego ou à erosão eólica, entre outras. Por outro lado, $MP_{2,5}$ são consideradas partículas finas em suspensão que possuem diâmetro aerodinâmico inferior a $2,5\ \mu m$ produzidas principalmente, em processos de combustão. As $MP_{2,5}$ alojam-se no bronquíolo terminal, enquanto as outras frações de partículas menores que $10\ \mu m$ ficam retidas no nariz e nasofaringe, podendo ser, posteriormente, eliminadas do sistema respiratório pelos mecanismos de defesa do organismo humano (HOLGATE *et al.*, 1999). Existem, ainda, as partículas ultrafinas ($MP_{0,1}$) em suspensão que possuem diâmetro aerodinâmico inferior a $0,1\ \mu m$ cujos efeitos a saúde humana ainda não estão bastante estudados (WHO, 2006).

O material particulado pode ficar em suspensão na atmosfera por longos períodos e se depositar em diferentes distâncias da fonte emissora dependendo do seu diâmetro. Quanto maior o diâmetro das partículas mais próximo à fonte ocorre a sedimentação. Assim, além das partículas em suspensão, as partículas sedimentadas (PS) constituem outra importante classe de partículas no que concerne ao incômodo causado à população. Um estudo realizado recentemente por Conti *et al.* (2009) na RMGV identificou diversas frações de partículas presentes no material particulado sedimentado, que variaram de 5 a $100\ \mu m$ em sua maioria, mas também foi detectada a presença de partículas menores que $5\ \mu m$. O material particulado sedimentado causa incômodos à população, justificando as reações das populações afetadas. As reações mais comuns dizem respeito à impossibilidade de gozo pleno da propriedade e ao desconforto causado pelo incômodo da sujeira gerada pela deposição de material sobre as superfícies de uso cotidiano. Dentre as possíveis fontes emissoras de PS, podem ser citadas: pilhas de estocagem de material granulado, processos de pelotização e siderurgia, cimenteiras e atividades da construção civil, ressuspensão de partículas depositadas ou constituintes de vias pavimentadas e não pavimentadas, veículos (escapamentos e frenagem) e fontes naturais como o mar que emite partículas de sais, além das queimadas, por exemplo.

2.1.2. Dióxido de enxofre

Em áreas urbanas industrializadas, as principais fontes de emissão de dióxido de enxofre estão associadas a queima de combustíveis fósseis (que contém enxofre) para geração de energia, para o processamento industrial ou em veículos automotores.

O dióxido de enxofre (SO_2) é um gás incolor e solúvel em água que pode ser oxidado durante seu transporte na atmosfera e gerar SO_3 que por sua vez, na presença de água, pode formar ácido sulfúrico. A absorção do dióxido de enxofre nas membranas mucosas do nariz e do trato respiratório superior ocorre como resultado da sua solubilidade em meio aquoso. O SO_2

presente na atmosfera pode causar alterações na função pulmonar e em sintomas respiratórios em asmáticos mesmo em baixas concentrações e curtos períodos de exposição.

2.1.3. Dióxido de nitrogênio

O dióxido de nitrogênio (NO_2) é um poluente altamente reativo que pode ser emitido diretamente em ambientes urbanos e industriais por processos de combustão em fontes estacionárias (indústrias), móveis (veículos automotores e navios em áreas portuárias) ou formado como um poluente secundário a partir da oxidação de monóxido de nitrogênio pelo ozônio troposférico. O NO_2 é, geralmente, encontrado na atmosfera em associação com outros poluentes primários, incluindo as partículas ultrafinas.

O NO_2 é, ainda, um precursor do ozônio troposférico. O dióxido de nitrogênio é um gás odorante com coloração castanha que depende da sua concentração. O dióxido de nitrogênio reage facilmente com o vapor d'água presente na atmosfera para formar o ácido nítrico, por exemplo. Além do ácido nítrico e do ozônio troposférico, o dióxido de nitrogênio é também precursor de nitrato na forma de material particulado. Esse poluente pode causar redução da capacidade de defesa do sistema respiratório e, portanto, causar injúria e inflamação. Além dos efeitos a saúde humana, o dióxido de nitrogênio pode afetar a visibilidade no horizonte.

2.1.4. Ozônio

O ozônio (O_3) não constitui um poluente emitido diretamente por uma fonte primária. O ozônio troposférico é um oxidante fotoquímico formado a partir de reações químicas na atmosfera originadas pela presença de dióxido de nitrogênio e radiação proveniente do sol. Além do dióxido de nitrogênio, os hidrocarbonetos (HC), também conhecidos como compostos orgânicos voláteis (COV) são importantes precursores do ozônio na baixa troposfera.

De modo simplificado, as reações de formação do ozônio troposférico se iniciam pela fotodissociação do dióxido de nitrogênio em monóxido de nitrogênio e oxigênio atômico, então, o oxigênio atômico reage como o oxigênio molecular presente no ar e forma o ozônio. Posteriormente, o ozônio reage com o óxido de nitrogênio para formar o dióxido de nitrogênio e oxigênio molecular, fechando o ciclo fotoquímico.



onde, $h\nu$ representa radiação solar com comprimento de onda inferior a 424 nm. Assim, o ozônio é formado por uma reação fotoquímica na atmosfera e requer a presença de precursores e também de radiação solar.

Apesar de ilustrativas, é importante notar que somente as reações entre NO, NO₂ e O₃ não explicam totalmente os altos níveis de ozônio formados na baixa atmosfera, pois não há produção líquida de O₃. Reações adicionais envolvendo COV na atmosfera consomem NO e o transformam em NO₂, gerando mais O₃. Dessa forma, a presença de COV na atmosfera aumenta significativamente os níveis de O₃.

Os COV são emitidos na atmosfera em ambientes urbanos e industriais por diversas fontes como combustão incompleta de combustíveis fósseis, plásticos e outros compostos de carbono e evaporação de reservatórios, entre outras. A relação entre COV e óxidos de nitrogênio (NO + NO₂ = NO_x) entre 4 e 10, favorece a formação de ozônio. Assim, a concentração de ozônio na troposfera depende da presença de outros poluentes e das condições meteorológicas (intensidade da radiação solar, altura da camada de inversão térmica, estabilidade atmosférica, entre outros).

O O₃ pode causar efeitos agudos aos sistemas pulmonares (inflamação e redução das defesas pulmonares) e cardiovasculares além de efeitos crônicos como redução da função pulmonar, desenvolvimento de arteriosclerose e asma.

2.1.5. Monóxido de carbono

O monóxido de carbono (CO) é emitido, principalmente, em processos de combustão e por processos siderúrgicos. O CO pode interferir no transporte de oxigênio pelo sangue, combinando-se com as moléculas de hemoglobina e reduzir a capacidade aeróbia do organismo além de agravar doenças cardiovasculares. A exposição a concentrações muito elevadas pode ser letal.

2.2. Breve histórico da regulamentação sobre qualidade do ar

No âmbito internacional, dentro do sistema da Organização das Nações Unidas (ONU), a Organização Mundial de Saúde (OMS) representa o organismo diretor e coordenador nos assuntos relacionados à saúde entre os países participantes do sistema das Nações Unidas com objetivo de promover a agenda da pesquisa científica na área da saúde, diagnosticar as tendências mundiais e auxiliar o estabelecimento de normas e diretrizes, entre outros. A OMS publicou pela primeira vez em 1987, um relatório contendo diretrizes para qualidade do ar relativas às partículas em suspensão, ozônio, dióxido de enxofre e dióxido de nitrogênio baseadas na compilação de estudos científicos realizados no mundo. As diretrizes de qualidade

do ar foram projetadas para oferecer orientações aos líderes políticos visando reduzir os impactos da poluição atmosférica sobre a saúde. Essas diretrizes foram revisadas em 1997 e 2005 com base no conhecimento científico vigente.

No âmbito nacional, considerando, entre outras, a necessidade de se estabelecer estratégias para o controle, preservação e recuperação da qualidade do ar válida para todo o território nacional, conforme previsto na Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938, de 31/08/81), a Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989 instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR) como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e bem-estar das populações e melhoria da qualidade de vida a fim de permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, com vistas a melhoria na qualidade do ar, atendimento aos padrões estabelecidos e não comprometimento da qualidade do ar em áreas consideradas não degradadas.

A estratégia básica do PRONAR é limitar, no âmbito nacional, as emissões por tipologia de fontes e poluentes prioritários, reservando o uso dos padrões de qualidade do ar como ação complementar de controle. Além dessa estratégia fundamental, foram estabelecidas outras: adoção de padrões nacionais de qualidade do ar, prevenção de deterioração significativa da qualidade do ar (pela classificação do uso pretendido da área), monitoramento da qualidade do ar, gerenciamento do licenciamento de fontes de poluição do ar, inventário nacional de fontes e poluentes do ar, gestões políticas no intuito de se manter um permanente canal de comunicação entre órgãos da administração pública direta ou indireta, federais, estaduais ou municipais e entidades privadas, desenvolvimento nacional na área de poluição do ar por meio da capacitação técnica dos órgãos ambientais e do desenvolvimento tecnológico na área de poluição do ar. Além disto, foram estabelecidas ações de curto, médio e longo prazo para implantação do PRONAR.

Anteriormente a criação do PRONAR, já havia a Resolução CONAMA nº 18, de 6 de maio de 1986 que dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) que visa estabelecer os limites máximos de emissão de monóxido

de carbono, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos para os motores e veículos automotores novos dependendo do motor e modelo do veículo¹.

Por meio da Portaria Normativa nº 348 de 14/03/90, o IBAMA estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar e os respectivos métodos de referência para medição da concentração dos poluentes, ampliando o número de parâmetros anteriormente regulamentados por meio da Portaria GM nº 231 de 27/04/76. Os padrões estabelecidos por essa portaria foram submetidos ao CONAMA e transformados na Resolução CONAMA nº 03 de 28 de junho de 1990.

A Resolução CONAMA nº 03/90 definiu como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar: I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; II - inconveniente ao bem-estar público; III - danoso aos materiais, à fauna e flora. IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Essa resolução estabeleceu os padrões primários de qualidade do ar definidos como as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população e os padrões secundários de qualidade do ar como as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral, sendo que esses padrões serão o objetivo a ser atingido mediante à estratégia de controle fixada pelos padrões de emissão e deverão orientar a elaboração de planos regionais de controle de poluição do ar. A Resolução CONAMA nº 03/90 prevê ainda a aplicação diferenciada de padrões primários e secundários de acordo com o uso pretendido do território. Além dos padrões, foram estabelecidos também os níveis de atenção, alerta e emergência. Foram contemplados nessa resolução apenas sete poluentes: material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte igual a 10 µm, partículas totais em suspensão, ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e fumaça². As condições de medição e os equipamentos referenciais a serem utilizados para o monitoramento também foram definidos com a ressalva de que podem ser adotados

¹ Complementando a resolução CONAMA nº 18/86 que instituiu o PROCONVE, a resolução CONAMA nº 08 de 31 de agosto de 1993 estabeleceu limites máximos de emissão de poluentes (incluindo fumaça e partículas) para os motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados; enquanto a resolução CONAMA nº 297 de 26 de fevereiro de 2002 estabeleceu os limites para emissões de gases poluentes por ciclomotores, motocicletas e veículos similares novos. Posteriormente, a resolução CONAMA nº 415 de 25 de setembro de 2009 estabeleceu também limites máximos de emissão de material particulado e aldeídos para veículos leves novos.

² Fumaça é definida como o aerossol formado por partículas oriundas de processos de combustão incompleta, consistindo principalmente de carbono e outros materiais combustíveis, sendo presente em quantidade suficiente para ser observável, independentemente da presença de outras partículas sólidas (SEINFELD e PANDIS, 2006).

métodos equivalentes, desde que aprovados pelo IBAMA, visto que o monitoramento do ar é atribuição dos Estados.

A Resolução CONAMA nº 08 de 06 de dezembro de 1990 estabeleceu limites máximos de emissão de poluentes do ar (padrões de emissão) para processos de combustão externa em fontes novas fixas de poluição com potências nominais totais até 70 MW (setenta megawatts) e superiores. Foram estabelecidos limites máximos de emissão para partículas totais em suspensão e dióxido de enxofre, expressos em peso de poluentes por poder calorífico superior do combustível e densidade colorimétrica, de forma consonante com a classificação de uso pretendido do território.

A Resolução CONAMA nº 382 de 26 de dezembro de 2006, estabeleceu os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para diversas fontes fixas novas. Os limites foram fixados considerando o poluente e a tipologia da respectiva fonte emissora. Posteriormente, a Resolução CONAMA nº 436 de 26 de dezembro de 2011 estabeleceu limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007.

Recentemente, o Governo do Estado do Espírito Santo, por meio do Decreto nº 3463-R, de 16 de dezembro de 2013, estabeleceu os padrões estaduais de qualidade do ar. Foram incluídos além daqueles poluentes já previstos pela Resolução CONAMA nº 03/90, com exceção da fumaça, o material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte igual a 2,5 µm e as partículas sedimentadas (poeira sedimentada). O Decreto introduz o conceito de Metas Intermediárias (MI), que são estabelecidas como valores temporários a serem cumpridos em etapas, visando à melhoria gradativa da qualidade do ar, e Padrões Finais (PF), que representam os alvos de longo prazo. Foram criadas 3 MI que levam ao gradual atendimento do PF, estabelecido com base nas diretrizes da OMS para os poluentes de interesse investigados por essa Organização. Estratégia semelhante à adotada pelo estado de São Paulo em abril de 2013.

Os padrões e diretrizes citados são estabelecidos com base nos danos causados à saúde. Entretanto, as partículas sedimentadas (PS) estão associadas ao incômodo causado às populações. As reações mais comuns dizem respeito à impossibilidade de gozo pleno da propriedade e ao desconforto que pode gerar tensões psicológicas devido ao sentimento de incômodo causado pela sujeira gerada pela deposição de material sobre as superfícies de uso cotidiano (VALLACK e SHILLITO, 1998; FARFEL *et al.*, 2005). Essas partículas, conforme observado por Conti *et al.* (2009), incluem majoritariamente frações que variaram de 5 a 100 µm, mas incluem também partículas menores que 5 µm e, portanto, quando ressuspensas, podem ocasionar efeitos à saúde humana. Além do incômodo, as partículas podem ainda se

depositar sobre a vegetação, os materiais, edificações e monumentos podendo ocasionar modificação das propriedades óticas das folhas e a consequente diminuição da atividade fotossintética das plantas, a descoloração e a decomposição de materiais de construção, entre outros efeitos (HU *et al.*, 2006).

Vários países possuem padrões referenciais para o valor limite da taxa de deposição de PS, que quando ultrapassados, poderão causar incômodo à população, entre outros: Argentina, Estados Unidos, Espanha e Finlândia. Os valores limites adotados para a taxa de deposição de PS variam entre os diferentes países, e muitas vezes entre regiões de um mesmo país; por exemplo, nos EUA e Canadá, existem padrões diferentes para os estados. De maneira geral, os valores limites adotados para a taxa de deposição de PS estão entre 3,0 e 15 g/m²/30 dias, variando em áreas residenciais, comerciais ou industriais, sendo a maioria dos padrões empregados entre 5,0 e 10 g/m²/30 dias – Argentina, Estados Unidos, Espanha, Finlândia e Austrália (VALLACK e SHILLITO, 1998; DECNY, 2009; DEQM, 2007). No Brasil, foram encontrados padrão para partículas sedimentadas: (i) no estado de Minas Gerais (médias mensais) cujos valores foram adotados em função do uso do solo: 10 g/m²/30 dias em áreas industriais e 5 g/m²/30 dias nas demais áreas inclusive residenciais e comerciais (Deliberação Normativa COPAM nº 01 de 26 de maio de 1981); (ii) no estado do Amapá cujos valores são idênticos aos do estado de Minas Gerais (Lei Ambiental do Município de Macapá nº 948/98, Capítulo V, Seção III, Art. 89) e (iii) no estado do Rio de Janeiro (NT 603.R-4 de 15 de março de 1978).

É importante notar que outros poluentes também estão presentes na atmosfera, entretanto, não constam das listas de poluentes com padrões legislados devido a: (i) não existirem evidências científicas significativas sobre a relação entre a concentração do poluente numa dada exposição com o efeito à saúde que permitam a elaboração de um padrão de qualidade do ar; (ii) haver dentre os poluentes com padrões legislados um poluente que sejam indicador de outro poluente por fazer parte das suas transformações na atmosfera ou por ser emitido pelo mesmo tipo de fonte; ou ainda a (iii) dificuldades técnicas na amostragem ou medição do poluente.

Por exemplo, os hidrocarbonetos totais (HCT) e os hidrocarbonetos não-metano (HCNM) não possuem padrão de qualidade do ar estadual ou federal, mas são monitorados pela maioria dos órgãos de controle ambientais, inclusive pelo IEMA. As fontes de hidrocarbonetos incluem vegetação, veículos automotores, tanques de estocagem de combustíveis e postos de abastecimento de combustíveis, lavagem de tecidos à seco, aviões e fontes difusas em plantas industriais, entre outras. O metano contribui para o efeito estufa, enquanto os HCNM participam da formação do ozônio na atmosfera e causam efeito à saúde dependendo da sua especiação. Assim, devem ser constantemente monitorados, mesmo não havendo um padrão de qualidade do ar associado a esse poluente.

2.3. Padrões de qualidade do ar

A Tabela 2.1 apresenta os padrões nacionais e estaduais de qualidade do ar e diretrizes da OMS para os poluentes atmosféricos regulados.

Os padrões de qualidade do ar CONAMA são divididos em primários e secundários. De acordo com a Resolução CONAMA nº 03/90, padrões primários de qualidade do ar se referem a concentrações de poluentes que, se ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população e devem ainda se considerados como metas a atingir em curto e médio prazos. Os padrões secundários de qualidade do ar se referem a concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano a fauna e a flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes e devem ser considerados como metas a serem alcançadas em longo prazo. Entretanto, devem ser adotados apenas os padrões primários enquanto cada Estado não deferir o enquadramento das áreas de acordo com seu uso pretendido conforme Resolução CONAMA nº 005/89.

É possível observar a grande diferença entre os valores previstos pelos padrões CONAMA e as diretrizes da OMS. Essa discrepância se deve principalmente ao fato que os padrões CONAMA foram estabelecidos em 1990 com base no conhecimento vigente à época. As diretrizes da OMS, revisadas em 2005, já refletem o conhecimento acumulado nos diversos estudos científicos realizados mais recentemente, que indicam que os efeitos deletérios dos poluentes atmosféricos sobre a saúde humana são percebidos em concentrações muito menores que aquelas previstas anteriormente. Por exemplo, o padrão CONAMA apresenta valor limite para MP_{10} três vezes superior a diretriz da OMS.

Conforme citado anteriormente, o Governo do Estado do Espírito Santo estabeleceu novos padrões de qualidade do ar por meio do Decreto nº 3463-R de 16 de dezembro de 2013. Esses padrões estaduais incluem dois poluentes que não possuíam padrões específicos na Resolução CONAMA nº 03/90, estes são: material particulado com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 μm ($MP_{2,5}$) e partículas sedimentadas (PS). Além disso, foram estabelecidas metas intermediárias (MI1, MI2 e MI3) como valores temporários a serem cumpridos em etapas visando a melhoria gradativa da qualidade do ar e a implementação de um padrão final (PF) para que seja preservada ao máximo a saúde da população em relação ao danos causados pela poluição atmosférica. Esse decreto indica também que o valor referencial que deve ser respeitado a partir da sua publicação é a meta intermediária MI1, sendo as datas para alteração das metas intermediárias ainda a serem definidas.

Tabela 2.1. Padrões nacionais e estaduais de qualidade do ar e diretrizes da OMS. O tempo de média considerado para o cálculo da concentração do poluente está indicado entre parênteses.

			MP _{2,5} [µg/m³]	MP ₁₀ [µg/m³]	PTS [µg/m³]	PS [g/m². 30 dias]	SO ₂ [µg/m³]	NO ₂ [µg/m³]	O ₃ [µg/m³]	CO [µg/m³]	Fumaça [µg/m³]
Padrão Nacional (CONAMA nº 03/90)	Curta exposição	Padrão primário	-	150 * (24h)	240* (24h)	-	365* (24h)	320 (1h)	160* (1h)	10.000* (8h) 40.000* (1h)	150 * (24h)
		Padrão secundário	-	150 * (24h)	150* (24h)	-	100* (24h)	190 (1h)	160* (1h)	10.000* (8h) 40.000* (1h)	100* (24h)
	Longa exposição	Padrão primário	-	50 (Ano♣)	80 (Ano♦)	-	80 (Ano♣)	100 (Ano♣)	-	-	60 (Ano♣)
		Padrão secundário	-	50 (Ano♣)	60 (Ano♦)	-	40 (Ano♣)	100 (Ano♣)	-	-	40 (Ano♣)
Metas e Padrão Estadual (Decreto nº 3463-R 2013)	Curta exposição	MI1-ES	-	120 (24h)	180 (24h)	14	60 (24h)	240 (1h)	140 (8h)	-	-
		MI2-ES	50 (24h)	80 (24h)	170 (24h)	-	40 (24h)	220 (1h)	120 (8h)	-	-
		MI3-ES	37 (24h)	60 (24h)	160 (24h)	-	30 (24h)	210 (1h)	110 (8h)	-	-
		PF-ES	25 (24h)	50 (24h)	150 (24h)	-	20 (24h)	200 (1h)	100 (8h)	10.000 (8h) 30.000 (1h)	-
	Longa exposição	MI1-ES	-	45 (Ano♣)	65 (Ano♦)	-	40 (Ano♣)	50 (Ano♣)	-	-	-
		MI2-ES	20 (Ano♣)	33 (Ano♣)	63 (Ano♦)	-	30 (Ano♣)	45 (Ano♣)	-	-	-
		MI3-ES	15 (Ano♣)	25 (Ano♣)	62 (Ano♦)	-	20 (Ano♣)	42 (Ano♣)	-	-	-
		PF-ES	10 (Ano♣)	20 (Ano♣)	60 (Ano♦)	-	-	40 (Ano♣)	-	-	-
Diretriz OMS	Curta exposição	25 (24h)	50 (24h)	-	-	20 (24h) 500 (10min)	200 (1h)	100 (8h)	10.000 (8h) 30.000 (1h)	-	
	Longa exposição	10 (Ano♣)	20 (Ano♣)	-	-	-	40 (Ano♣)	-	-	-	

*Não pode ser excedido mais que uma vez por ano. ♣ Média Aritmética Anual. ♦ Média Geometria Anual

Tanto as diretrizes da OMS, quanto os padrões nacionais e estaduais de qualidade do ar, apresentam valores referenciais associados aos efeitos à saúde causados pela curta e longa exposição a cada poluente a fim de prevenir efeitos agudos e crônicos, respectivamente. Entretanto, para os poluentes O_3 e CO são estabelecidos apenas valores referenciais para curta exposição. Apesar de existirem evidências científicas sobre os efeitos à saúde devido a longa exposição ao O_3 , essas evidências ainda não são suficientes para sustentar a indicação de uma diretriz ou padrão associado à média anual. Quanto ao CO, estudos científicos indicam que durante exposição a concentrações invariáveis de CO, a concentração de carboxihemoglobina no sangue aumenta rapidamente e atinge regime permanente após 6 a 8 horas de exposição sendo que qualquer valor calculado com tempo de média igual a 8 horas seria representativo de exposições mais longas.

Além dos padrões de qualidade do ar, a Resolução CONAMA nº 03/90 estabeleceu níveis de qualidade do ar para que estados e municípios pudessem elaborar um plano de emergência para episódios críticos de poluição do ar com o objetivo de prevenir grave e iminente risco à saúde da população. Um episódio crítico de poluição do ar está definido como a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos. São três, estes níveis: atenção, alerta e emergência. Esses níveis estão também previstos no Decreto Estadual nº 3463-R de 16 de dezembro de 2013, mas os valores limites de concentração serão definidos em novo decreto a ser publicado em 2014.

Para a definição desses três níveis são considerados os seguintes parâmetros: concentrações de dióxido de enxofre, partículas totais em suspensão, produto entre a concentração de partículas totais em suspensão e a concentração de dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, partículas inaláveis, fumaça, dióxido de nitrogênio, bem como as condições meteorológicas. Os níveis de atenção, alerta ou emergência são declarados quando, prevendo-se a manutenção das emissões bem como as condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas vinte e quatro horas subsequentes for atingida, respectivamente, uma ou mais das condições apresentadas na Tabela 2.2.

2.4. Índice de qualidade do ar

O IEMA/SEAMA divulga diariamente informações sobre a qualidade do ar na RMGV. Essas informações são apresentadas por meio do índice e da classificação de qualidade do ar. O objetivo do índice e da classificação da qualidade do ar é indicar o atendimento aos padrões ou metas vigentes. A divulgação do índice é efetuada utilizando o índice mais elevado dentre todos os poluentes medidos em cada estação. Portanto, a qualidade do ar em uma dada estação é

indicada a partir do pior resultado dentre os poluentes monitorados naquela estação. A classificação da qualidade do ar varia desde boa e regular a inadequada, má, péssima e crítica (seis classes) sendo também representada segundo uma escala de cores a fim de facilitar a compreensão.

Tabela 2.2. Concentração dos poluentes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para determinação dos níveis de atenção, alerta e emergência (Resolução CONAMA nº 03/90).

	MP ₁₀ (24h)	PTS (24h)	SO ₂ (24h)	SO ₂ × PTS (24h)	NO ₂ (1h)	O ₃ (1h)	CO (8h)	Fumaça (24h)
Atenção	250	375	800	65.000	1.130	400	17.000 (15ppm)	250
Alerta	420	625	1.600	261.000	2.260	800	34.000 (30ppm)	420
Emergência	500	875	2.100	393.000	3.000	1.000	46.000 (40ppm)	500

A Tabela 2.3 apresenta as faixas de concentração e de índice para cada poluente para definição da classificação (boa, regular, inadequada, má, péssima ou crítica). As faixas de concentração, associadas às faixas dos índices, apresentam limites inferiores e superiores baseados em valores referenciais de qualidade do ar para longa e curta exposição, seguidos pelos níveis de atenção, alerta e emergência. Neste relatório foram considerados como valores de referência para longa e curta exposição, as metas intermediárias MI1 para longa e curta exposição, de acordo com o Decreto Estadual nº 3463-R/2013. Os níveis de atenção, alerta e emergência foram considerados idênticos aqueles da Resolução CONAMA nº 03/1990, pois ainda não foram definidos novos valores na legislação estadual.

O índice de qualidade do ar é representado por um valor numérico que varia de zero a 500, sendo 100 o índice associado a MI1 para curta exposição ao poluente. O índice de valor 50 está associado a MI1 para longa exposição ao poluente (MP₁₀, PTS, SO₂ e NO₂) ou à metade do valor de MI1 para curta exposição ao poluente (CO e O₃). Assim, esse índice pode ser calculado a partir de funções lineares descontínuas em seis faixas de valores sendo os pontos de inflexão associados as MI1 (curta e longa exposição) e níveis de atenção alerta e emergência. Para cada uma destas seis faixas do índice está associada uma classificação da qualidade do ar.

Exemplificando para melhor compreensão da construção da Tabela 2.3, considere o poluente MP₁₀, o limite inferior da faixa de classificação boa corresponde a 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que representa a MI1 para longa exposição ao poluente MP₁₀ e o limite superior da mesma faixa, corresponde a 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que representa a MI1 para curta exposição ao poluente MP₁₀. Isso significa que, caso mantida a média de 24 horas de MP₁₀ abaixo de 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a MI1 para curta exposição estará sendo obedecida e a MI1 para longa exposição também será garantida. Assim, a qualidade do ar

pode ser classificada como boa. Por outro lado, se a média de 24 horas de MP_{10} estiver acima de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mas ainda abaixo de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a $MI1$ para curta exposição está sendo obedecida, mas a $MI1$ para longa exposição não será garantida. Assim, a qualidade do ar é classificada como regular, mas ainda adequada. A qualidade do ar somente será classificada como inadequada, se a $MI1$ para curta exposição for ultrapassada.

Para o poluente O_3 que não possui meta ou padrão para longa exposição, o limite inferior da faixa de classificação boa corresponde a $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que representa a metade do valor de $MI1$ para curta exposição (8 horas) ao poluente O_3 e o limite superior da mesma faixa, corresponde a $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que representa a $MI1$ para curta exposição (8 horas) ao poluente.

Para o poluente CO que também não possui meta ou padrão para longa exposição, mas que possui $MI1$ para médias de 1 hora e 8 horas, o limite inferior da faixa de classificação boa corresponde a média horária igual a $5.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que representa a metade do valor de $MI1$ para exposição de 8 horas ao poluente CO e o limite superior da mesma faixa, corresponde a $10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que representa a $MI1$ para exposição de 8 horas ao poluente. Nesses casos, se a média horária for inferior ao valor de $MI1$ para exposição de 8 horas, então essa $MI1$ não será ultrapassada e a qualidade do ar pode ser considerada adequada (boa ou regular).

Tabela 2.3. Descrição das classes, índices e valores limites de concentração (em $\mu\text{g}/\text{m}^3$) para determinação do IQA.

Faixas de classificação e índice	MP_{10} (24h)	PTS (24h)	SO_2 (24h)	NO_2 (1h)	O_3 (8h)	CO (1h)
Bom (0-50)	0-45	0-65	0-40	0-50	0-70	0-5.000
Regular (51-100)	46-120	66-180	41-60	51-240	71-140	5.001-10.000
Inadequada (101-199)	121-250	181-375	61-800	241-1.130	141-200	10.001-17.000
Má (200-299)	251-420	376-625	801-1.600	1131-2260	201-800	17.001-34.000
Péssima (300-399)	421-500	626-875	1.601-2.100	2261-3000	801-1000	34.001-46.000
Crítica Acima de 400	501-600	876-1.000	2.101-2.620	3001-3750	1001-1200	46.001-50.000

3. Aspectos Gerais da RMGV

A Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) é formada pelos municípios de Vitória, Vila Velha, Serra, Cariacica, Viana, Guarapari e Fundão. A designação foi criada pela Lei 58/1995, considerando inicialmente apenas os municípios de Vitória, Vila Velha, Serra, Cariacica e Viana. Em 1999, e posteriormente em 2001, a designação foi revisada, incorporando os municípios de Guarapari e Fundão. A RMGV está localizada na parte central do estado com fronteiras ao leste com o oceano atlântico. O relevo é caracterizado por maciços rochosos, serras e morros, áreas de baixada, além de grandes planícies (Figura 3.1). A ocupação do solo é variada, com grandes extensões cobertas pela mancha urbana e outras por vegetação, que é constituída por fragmentos de mata atlântica, restingas, várzeas, manguezais, vegetação rupestre, campos e pastagens (Figura 3.2).

3.1. Aspectos sócio-demográficos

A população da RMGV é de cerca de 1.664.328 habitantes que representa 48% da população total do estado do Espírito Santo e sendo que 98% dessa população vivem em região urbana. A RMGV é constituída pelos seguintes municípios: Vitória, Vila Velha, Serra, Cariacica, Fundão, Viana e Guarapari. De acordo com dados do Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN), aproximadamente 24,5% da população da RMGV vive em Vila Velha, 24% na Serra, 22% em Cariacica, 19% em Vitória e os outros 10,5% da população vivem em Guarapari, Viana e Fundão. Quase metade da população da RMGV é proveniente de outros estados brasileiros. Cerca de 90% da população da RMGV reside em habitações com alguma forma de tratamento de esgoto e também 90% dessa população reside em áreas onde o lixo urbano é coletado regularmente. A média de anos de estudo da população da RMGV é de cerca de 7,4 anos sendo 24,4% dessa população identificada como analfabeta ou analfabeto funcional.

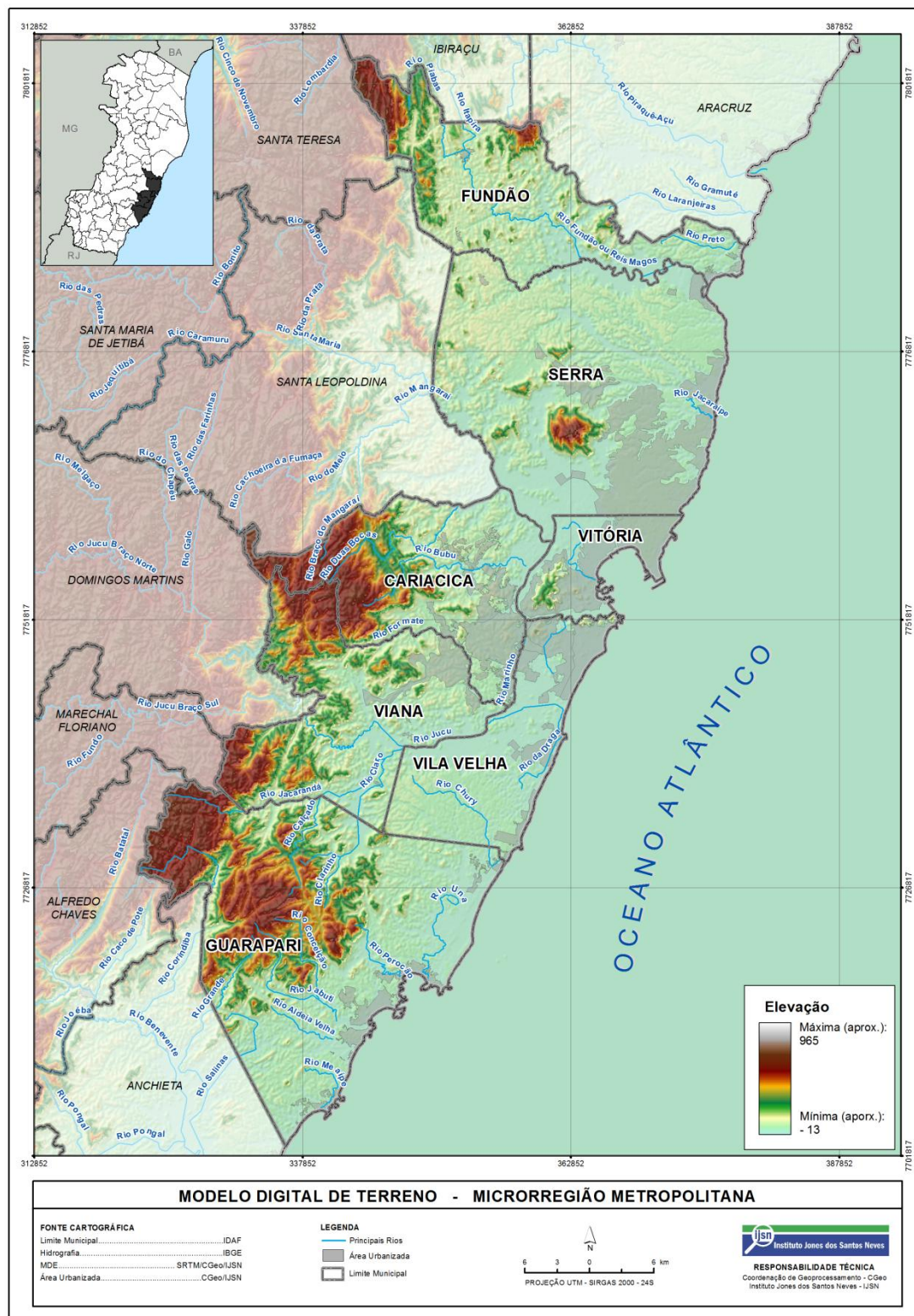


Figura 3.1. Topografia do território na RMGV (Fonte: IJSN, 2014).

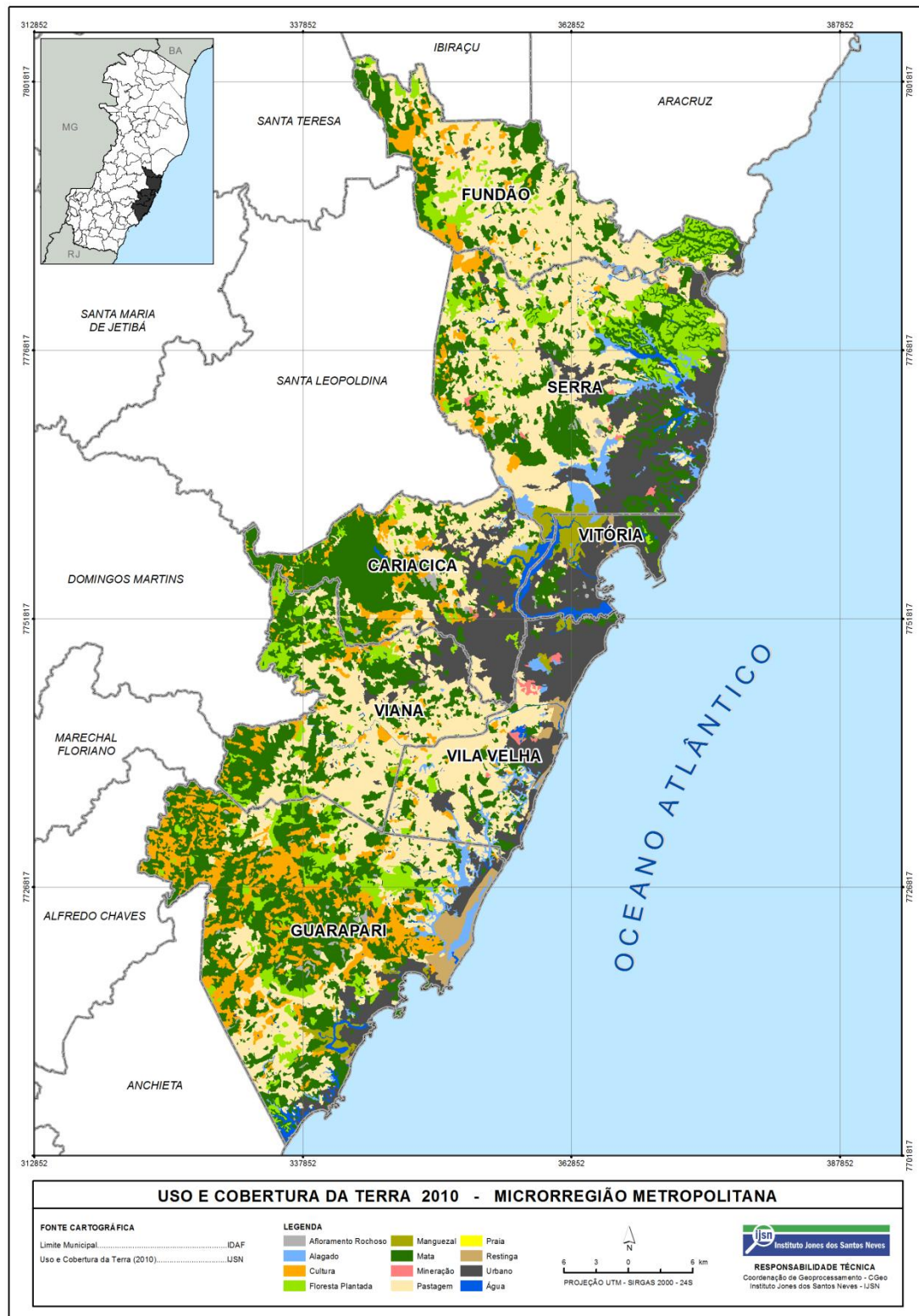


Figura 3.2. Uso e cobertura do solo na RMGV (Fonte: IJSN, 2014).

3.2. Aspectos sócio-econômicos

O produto interno bruto (PIB) do Espírito Santo registrou R\$ 97,693 bilhões em 2011 (IJSN, 2013). O PIB per capita do Espírito Santo foi de R\$ 27.542,00 ocupando a 4ª posição nacional em 2011. A participação do Estado na economia nacional é de cerca de 2,4%. O setor secundário tem importante participação na geração de riqueza do Estado, sendo a indústria extrativa mineral uma das atividades mais importantes. Entretanto, o setor produtivo predominante entre os 78 municípios do estado é o terciário (55,2%), seguido pelo secundário (38,6%) e primário (6,2%). Os cinco maiores PIB municipais (Vitória, Serra, Vila Velha, Cariacica e Anchieta) concentraram em torno de 61% da economia estadual, quatro deles localizados na RMGV. Apesar de sua força econômica, a RMGV apresenta acentuado quadro de desigualdades sociais, que se manifestam a partir de sua estrutura territorial, com áreas de alto nível de renda e desenvolvimento humano e outras com condições urbanas ainda precárias.

O índice de desenvolvimento humano do município (IDHM) calculado pelo Instituto Jones dos Santos Neves para a RMGV em 2000 é de 0,798, portanto, próximo ao corte para o alto desenvolvimento humano (0,800) que supera o do Brasil (0,766). De acordo com o IJSN, as disparidades em desenvolvimento humano entre os municípios brasileiros são também reproduzidas entre os municípios da RMGV. Em 2000, o IDHM das unidades da RMGV apresentava valores entre 0,664 para Cidade Nova da Serra/Parque Residencial Nova Almeida/TIM (Serra) e 0,968 para Praia da Costa (Vila Velha) sendo essa variação maior que aquela encontrada entre os índices dos municípios do ES, onde a diferença entre o maior e menor índice (Vitória com 0,856 e Água Doce do Norte com 0,659) é de 0,197 (IJSN, 2009). Ainda em 2000, o município de Vitória ocupava o 18º lugar entre os municípios brasileiros e o 4º lugar entre as capitais.

3.3. Clima local

O clima e as condições meteorológicas de uma região são fortemente condicionados pela localização geográfica (latitude) e relevo que, em ação conjunta com os grandes sistemas atmosféricos, controlam a distribuição pluviométrica, evaporação, temperatura, umidade do ar e regime de ventos da região (VIANELLO e ALVES, 1991). A RMGV está localizada entre os paralelos de 10° e 23°26'S, ou seja, na zona tropical, sofrendo influência tanto de sistemas tropicais como de latitudes médias, com estação seca bem definida no inverno e estação chuvosa de verão com chuvas convectivas. Essa região possui uma característica climática diversificada devido a sua topografia, sua posição geográfica e aspectos dinâmicos da atmosfera que incluem os sistemas meteorológicos de micro, meso e macro escalas e que atuam direta ou indiretamente no regime pluvial (MINUZZI *et al.*, 2007).

De acordo com a classificação climática de Köppen, o Espírito Santo possui duas tipologias climáticas que variam também de acordo com o relevo local. Na baixada litorânea do Espírito Santo predomina o clima tropical quente com estação seca no inverno (Aw) e na região serrana o clima é tropical de altitude (Cwb). A classificação dos tipos climáticos de Köppen considera a sazonalidade e os valores médios anuais e mensais de temperatura do ar e de precipitação.

Por estar situada na região litorânea, a RMGV apresenta clima tropical quente (Aw), possuindo inverno ameno e seco, e verão chuvoso e quente. O período quente se estende aproximadamente de outubro a abril, com maior intensidade em dezembro e janeiro. No inverno, a temperatura média mensal mais baixa ocorre em julho, sendo a sensação de frio verificada esporadicamente quando há ocorrência de frentes frias. A Figura 3.3 apresenta as normais climatológicas (1961 a 1990) das variáveis meteorológicas, precipitação acumulada, temperatura média, temperatura máxima e temperatura mínima, monitoradas pela estação climatológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) - (INMET, 2014). Vale ressaltar que a Organização Meteorológica Mundial (OMM) define o termo normal climatológica como valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas (WMO, 1984). Portanto, os valores apresentados na Figura 3.3 representam a média histórica de cada variável para a região.

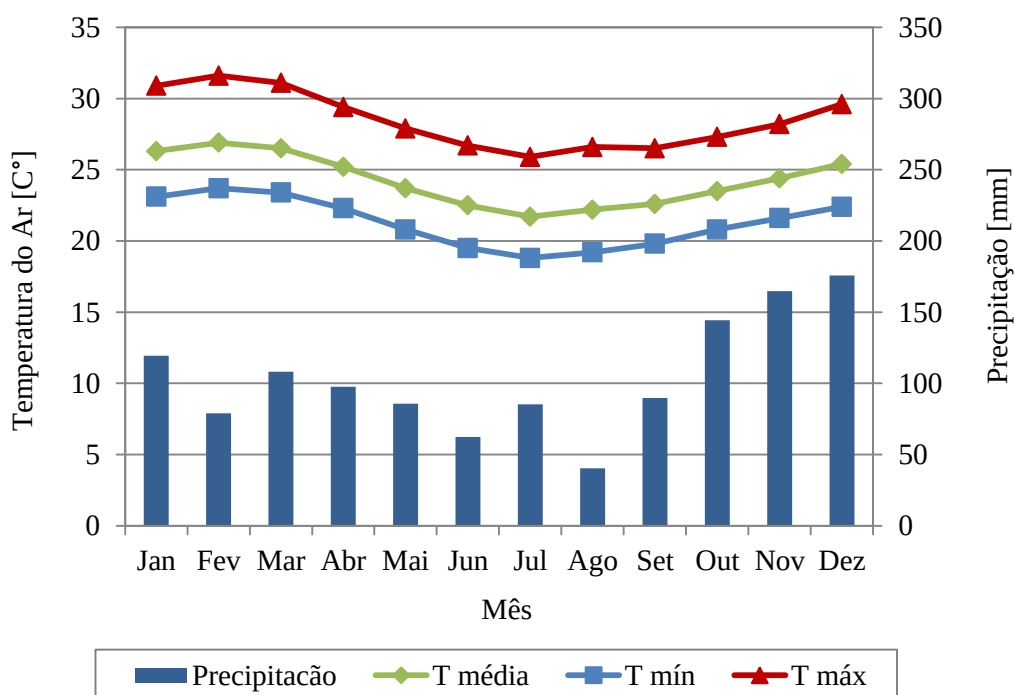


Figura 3.3. Normais climatológicas do município de Vitória durante o período de 1961 a 1990, para os seguintes parâmetros meteorológicos: precipitação acumulada mensal, temperatura média, temperatura mínima e temperatura máxima (INMET, 2014).

Observa-se que, historicamente, a temperatura média na cidade de Vitória não varia consideravelmente ao longo do ano, sendo a temperatura média anual igual a 24,2°C, com leve queda nos meses do inverno e suave aumento durante o verão. Avaliando os valores extremos da temperatura do ar, observa-se que o mês de julho é, climatologicamente, o mês mais frio (18,8°C) e o mês de fevereiro é o mês, historicamente, mais quente com média das temperaturas máximas igual a 31,6°C.

Em relação à precipitação, nota-se que o inverno é o período mais seco, sendo que no mês de agosto ocorre a menor incidência de precipitação (40,3 mm). Essa característica climatológica da região durante o inverno ocorre devido a influência dos sistemas de alta pressão subtropical, localizados climatologicamente em torno da latitude de 30 °C nos principais oceanos do planeta. No Atlântico Sul, a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) é de grande importância para o clima da América do Sul e afeta o clima do Brasil tanto no inverno quanto no verão. Durante o período de inverno, a ASAS inibe a entrada de frentes e favorece a formação de inversão térmica, concentrando os poluentes nas camadas mais próximas à superfície dos principais centros urbanos das regiões sul e sudeste. A dinâmica desse sistema também favorece a formação de nevoeiros e geadas nas regiões sul e sudeste. O total anual climatológico de precipitação é de 1252,3 mm em Vitória.

A partir do mês de outubro, inicia-se o período chuvoso na região, o qual se estende até meados de abril. Nessa época do ano, a atuação dos sistemas frontais e de zonas de convergência de umidade favorece o aumento de precipitação, ocasionando enchentes, e causando danos e perdas para a população que vive nessas áreas. O mês de dezembro é o que possui maior ocorrência de eventos de chuva, com média de precipitação acumulada mensal de 175,8 mm. Esse comportamento médio da precipitação durante o final da primavera e verão ocorre porque o sistema de alta pressão encontra-se mais ao sul e deslocado zonalmente mais para leste (sobre a região central do oceano Atlântico). Nessa época do ano, uma banda de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste desenvolve-se periodicamente sobre o sudeste do Brasil, coincidindo com a estação chuvosa da região. A permanência dessa banda convectiva por vários dias caracteriza a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A ZCAS e os sistemas frontais que se deslocam sobre a região sudeste e em seguida sobre o oceano atingem a porção oeste da alta subtropical e, como resultado, esse sistema de alta pressão é frequentemente dividido, ficando em média, enfraquecido quando comparado a situação do inverno (CAVALCANTI *et al.*, 2009).

Ao longo do litoral dos estados da região sudeste os ventos são predominantemente de NE favorecendo o transporte de umidade do oceano Atlântico Equatorial para o ramo oceânico da ZCAS. As características do regime de vento na RMGV são influenciadas também por

circulações de vento locais bastante distintos, como as brisas marinhas e terrestres (devido a proximidade com o oceano) e brisas de vale e montanha (devido a topografia acidentada), configurando variações significativas na meso e microescala, enquanto os principais fenômenos meteorológicos em escala sinótica que influenciam a variabilidade do tempo na RMGV são: Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Sistemas Frontais (SF) e o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) (SANT'ANNA NETO, 2005; VAREJÃO-SILVA, 2006; MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

4. Fontes de Poluição do Ar na RMGV

Em uma região urbana altamente industrializada e em processo de expansão, como a RMGV, a qualidade do ar é afetada por veículos automotores e pelos empreendimentos industriais. Este capítulo descreve as principais fontes de emissão de poluentes da região, especificando sua localização, quantidade de poluentes emitidos e hierarquizando os grupos de fonte com base na magnitude de suas contribuições. Os dados de emissão apresentados constituem uma síntese construída a partir do documento “Inventário de Emissões Atmosféricas da Região da Grande Vitória”, produzido pela empresa EcoSoft Consultoria e Softwares Ambientais (EcoSoft) em parceria com o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) em 2011. Essa síntese contém as informações necessárias para o entendimento dos resultados e análises apresentados neste relatório. Uma descrição detalhada do inventário e sua metodologia de elaboração podem ser obtidas em seu texto original, disponível em www.meioambiente.es.gov.br/download/RTC10131_R1.pdf.

4.1. Descrição do inventário de emissões atmosféricas da RMGV

O inventário de emissões atmosféricas da Região da Grande Vitória apresenta os resultados do trabalho desenvolvido por meio do Acordo de Cooperação Técnica firmado entre a Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEAMA), por intermédio de IEMA, e a empresa EcoSoft, objetivando a elaboração do inventário de fontes emissoras de poluentes atmosféricos da RMGV, abrangendo os municípios de Serra, Vitória, Cariacica, Vila Velha e Viana.

Silveira (2014) informou que o inventário realizado pela EcoSoft representa as emissões atmosféricas médias referentes aos anos de 2009 e 2010³. Os seguintes poluentes tiveram suas emissões quantificadas: PTS, MP₁₀, MP_{2,5}, SO₂, NO_x, CO e hidrocarbonetos (HC) ou compostos orgânicos voláteis (COV).

As emissões industriais consideram as 88 empresas mais significativas quanto ao potencial de emissão de poluentes atmosféricos, estando incluídas empresas de pequeno, médio e grande porte, que representam aproximadamente 91% das emissões de poluentes atmosféricos de origem industrial na RMGV. A Figura 4.1(a) mostra a localização das fontes industriais consideradas.

As emissões atmosféricas provenientes de veículos automotores foram consideradas como: (i) processo de combustão, que gera gases e partículas emitidos diretamente pelo escapamento, (ii) evaporação de compostos orgânicos, (iii) processo de frenagem e desgaste de pneus e (iv) ressuspensão das partículas depositadas nas vias.

Veículos automotores são considerados fontes móveis e suas emissões são localizadas nas vias de tráfego. No inventário, as vias foram consideradas em duas diferentes formas de representação. As vias de maior fluxo de tráfego, definidas como vias primárias, com as suas respectivas localizações coincidentes com o traçado das vias, indicado na Figura 4.2(b). As vias secundárias e de menor fluxo de tráfego foram representadas como fontes emissoras do tipo área, coincidentes com as manchas urbanas dos municípios da RMGV, indicadas na Figura 4.2(c).

As emissões domésticas e comerciais, relacionadas à combustão de gás liquefeito de petróleo (GLP) e gás natural e à utilização de produtos contendo compostos orgânicos voláteis, também foram consideradas como coincidentes com as manchas urbanas dos municípios da RMGV, indicadas na Figura 4.2(c). Além dos grupos de fontes descritos anteriormente, foram também considerados no inventário 04 grupos de fontes específicas: (i) aterros sanitários; (ii) estocagem, transporte, e comercialização de combustíveis; (iii) logística (portos e aeroporto) e (iv) emissões biogênicas.

4.2. Descrição das fontes de poluição do ar na RMGV

Na Tabela 4.1 são apresentados os totais de emissões dos poluentes para cada grupo de fontes analisados no inventário. É possível observar 2 grupos como os principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos na RMGV: (i) veículos e (ii) indústria minero-siderúrgica. O terceiro

³ Informação fornecida por Alexander Barros Silveira, responsável pelo Centro Supervisório da Gerência de Qualidade Ambiental, IEMA, em abril de 2014 em Vitória, ES.

grupo com níveis de emissão significativos é o grupo que representa as operações de portos e aeroportos, principalmente quanto às contribuições para os níveis de SO₂ e NO_x.

Tabela 4.1. Emissões dos poluentes para cada grupo de fontes analisado no inventário (Fonte: EcoSoft, 2011).

Atividade	Taxa de Emissão [kg/h]						
	PTS	MP ₁₀	MP _{2,5}	SO ₂	NO _x	CO	COV
Industrial – Alimentícia	4,8	3,7	3,1	3,1	19,0	9,0	0,7
Industrial – Produtos Minerais	78,5	43,5	15,5	9,4	22,8	40,7	2,7
Industrial – Química	9,9	9,3	3,7	20,2	6,8	66,1	269,6
Industrial – Minero – Siderúrgica	954,4	538,2	271,5	2.536,0	2.369,8	15.841,3	256,1
Total de Emissões Industriais	1.047,5	594,7	293,8	2.568,7	2.418,4	15.957,0	529,0
Veiculares - Escapamento e Evaporativa	107,0	107,0	107,0	46,2	1.663,0	15.965,8	1.960,7
Veiculares - Desgaste de Pneus	41,9	41,9	41,9	-	-	-	-
Veiculares – Ressuspensão de Partículas	2.742,7	1.904,2	944,2	-	-	-	-
Total de Emissões Veiculares	2.891,6	2.053,1	1.093,1	46,2	1.663,0	15.965,8	1.960,7
Logística (Portos e Aeroportos)	98,6	97,3	96,8	740,3	853,9	146,5	75,8
Estoque e Distribuição de Combustíveis	-	-	-	-	-	-	293,2
Emissões Residenciais e Comerciais	2,0	1,1	1,1	2,0	32,0	20,9	752,5
Aterros Sanitários	0,5	0,5	0,5	-	0,7	46,1	43,2
Outras Emissões	3,0	2,6	2,1	1,2	9,0	11,2	0,8
Total de Emissões - RMGV	4.043,1	2.749,3	1.487,5	3.358,4	4.976,9	32.147,6	3.655,2

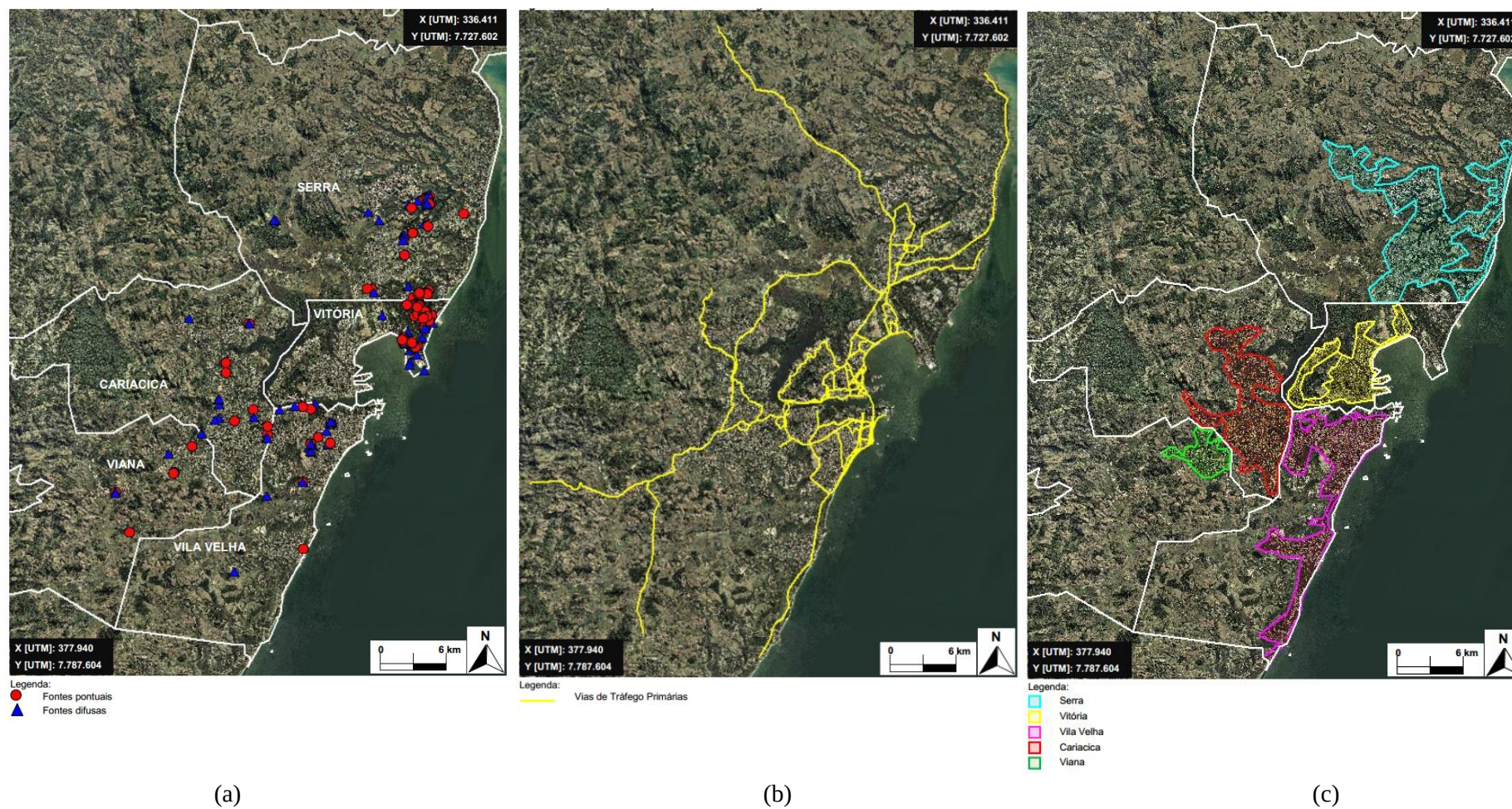


Figura 4.1. Localização das fontes de emissão de poluentes atmosféricos na RMGV: (a) fontes industriais; (b) vias de tráfego primárias consideradas para estimativa das emissões veiculares e (c) manchas urbanas dos municípios da RMGV (Fonte: EcoSoft, 2011).

Segundo o inventário, a principal fonte emissora de partículas na região são veículos automotores. As Figuras 4.2(a), 4.2(b) e 4.2(c) apresentam as contribuições percentuais de cada grupo de fontes emissoras para as emissões de PTS, MP_{10} e $MP_{2,5}$. Pode-se observar que os dados do inventário indicam que entre 63,5% e 69,3% das emissões de partículas para a atmosfera da RMGV estão ligadas a ressuspensão, dependendo do tamanho das partículas (67,8% das emissões de PTS, 69,3% das emissões de MP_{10} e 63,5% das emissões de $MP_{2,5}$). Emissões de escapamento e desgaste de pneus contribuem com percentuais entre 2,6% e 10% das emissões de partículas para a atmosfera da RMGV estão efetivamente ligadas a veículos, dependendo do tamanho das partículas (2,6% das emissões de PTS, 3,9% das emissões de MP_{10} e 10% das emissões de $MP_{2,5}$).

É importante notar que, segundo o inventário, 95% das emissões veiculares estão ligados à ressuspensão de partículas já depositadas nas vias e não à emissão direta nos gases de escapamento, um problema que pode ser minimizado com a diminuição da sujidade das vias. A ressuspensão de partículas em vias representa um interessante acoplamento entre a poluição gerada por veículos automotores e outras fontes de poluição, visto que a composição das partículas presentes na ressuspensão de vias apresentam componentes ligados a solos e partículas presentes em emissões industriais e outras fontes, conforme identificado no estudo efetuado por Santos e Reis (2011), sobre a composição das partículas sedimentadas na RMGV. De fato, as partículas relacionadas à ressuspensão em vias possuem elevados níveis de alumínio e silício, que são típicos na composição do solo, mas possuem níveis mais elevados de sódio, cloro, magnésio, ferro e cálcio que as amostras de solo da região. Tais elementos químicos poder ser relacionados a aerossol marinho e a fontes industriais na região.

Apesar da taxa de emissão ligada à ressuspensão de partículas já depositadas nas vias estar distribuída ao longo de uma grande área urbana, e não concentrada pontualmente como emissões industriais, por exemplo, as taxas de emissão são significativamente elevadas, mesmo quando comparado a outros centros urbanos, tais como São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Recife (ANDRADE *et al.*, 2012), Nova Delhi-Índia (GUTTIKUNDA e CALORI, 2013) e Barcelona-Espanha (AMATO *et al.*, 2009). Tal magnitude indica que esse é um tema que requer mais estudo para a região.

O segundo grupo mais importante para a emissão de partículas é o setor industrial minero-siderúrgico, que contribui com 23,6% das emissões de PTS, 19,6% das emissões de MP_{10} e 18,3% das emissões de $MP_{2,5}$, segundo o inventário. Essas emissões estão concentradas principalmente na Ponta de Tubarão, o que constitui um problema relevante para algumas zonas da RMGV quando é considerada a direção predominante N-NE dos ventos.

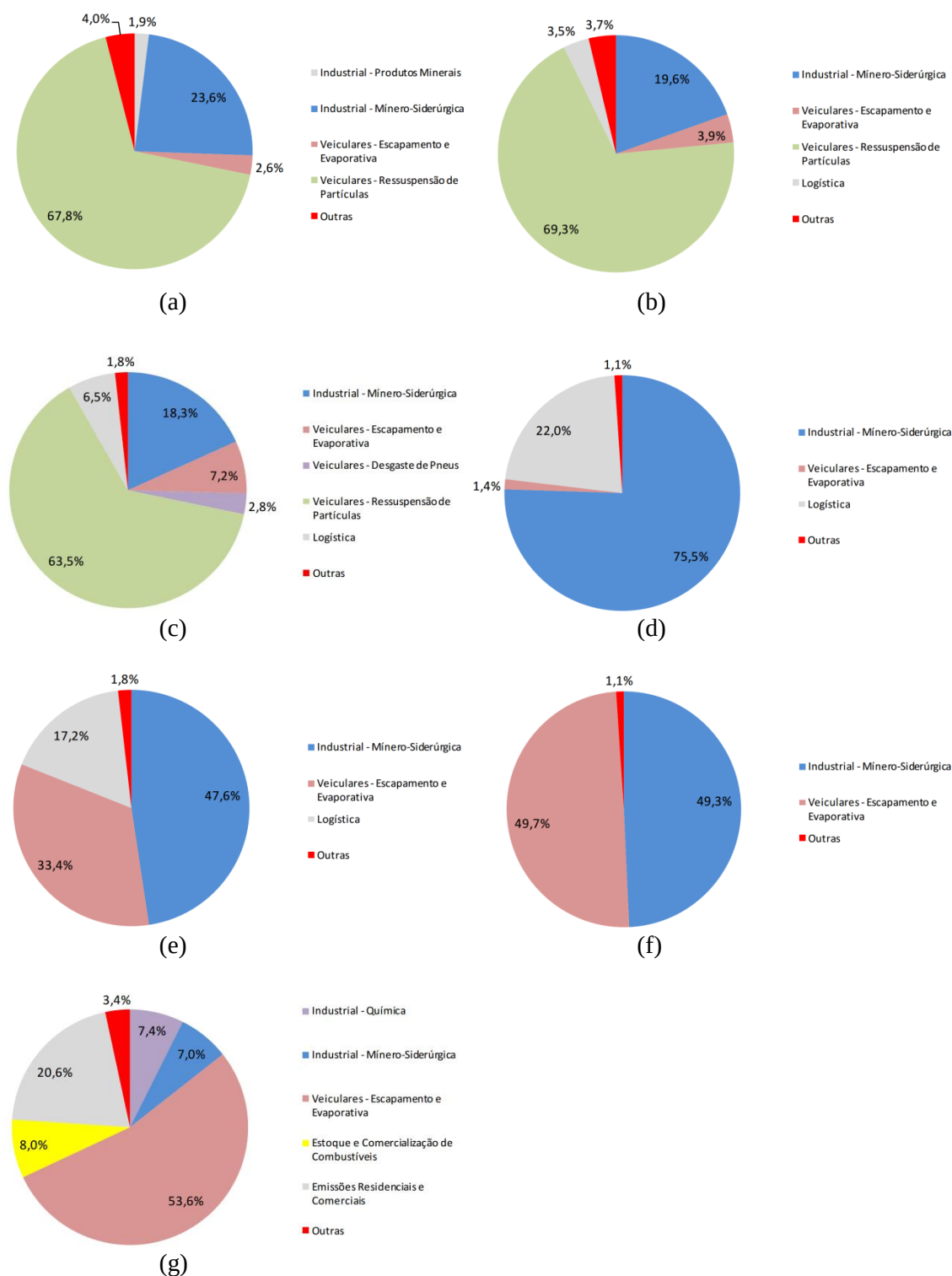


Figura 4.2. Contribuições percentuais de cada grupo de fontes emissoras para as emissões de na RMGV: (a) PTS, (b) MP₁₀, (c) MP_{2,5}, (d) SO₂, (e) NO_x, (f) CO e (g) COV (Fonte: EcoSoft, 2011).

A Figura 4.2(d) apresenta as contribuições percentuais de cada grupo de fontes para as emissões de SO₂ na RMGV. Diferentemente das emissões de partículas para a atmosfera, as emissões de SO₂ estão fortemente relacionadas aos setores da indústria minero-siderúrgica e de logística

(portos e aeroportos). O setor industrial minero-siderúrgico é responsável por 75,5% das emissões, principalmente pelo uso de carvão mineral e outros combustíveis fósseis com elevado teor de enxofre como insumos de produção. A presença de enxofre nos insumos gera a emissão de óxidos de enxofre após sua queima. Novamente, convém ressaltar que essas emissões estão concentradas principalmente na Ponta de Tubarão, o que constitui um problema relevante para algumas zonas da RMGV quando é considerada a direção predominante N-NE dos ventos.

O segundo maior contribuinte para a emissão de SO_2 na RMGV é o setor de logística, mais notadamente as operações portuárias, que operam com combustíveis fósseis com elevado teor de enxofre.

A Figura 4.2(e) apresenta as contribuições percentuais de cada grupo de fontes para as emissões de NO_x na RMGV. Pode-se observar que a principal fonte das emissões de NO_x na região são as indústrias minero-siderúrgicas (47,6%), novamente com concentração das emissões na Ponta de Tubarão. Em segundo lugar aparecem as emissões veiculares (33,4%) e, em terceiro, atividade logística (17,2%).

A Figura 4.2(f) apresenta as contribuições percentuais de cada grupo de fontes emissoras para as emissões de CO na RMGV. É possível notar que as emissões estão quase igualmente divididas entre as indústrias minero-siderúrgicas e veículos automotores.

A Figura 4.2(g) apresenta as contribuições percentuais de cada grupo de fontes emissoras para as emissões de COV na RMGV. As emissões de veículos automotores (escapamento + evaporativas) correspondem a 53,6% das emissões. Em segundo as emissões comerciais e residências são responsáveis por 20,6 % das emissões. O restante das emissões é atribuído a estoque e comercialização de combustíveis (8,0%), indústrias químicas (7,4%), indústrias minero-siderúrgicas (7,0%) e outras (3,4%). É importante salientar que não há padrões de qualidade do ar estabelecidos para COV, entretanto as emissões de COV induzem a formação de O_3 , que é um poluente secundário bastante nocivo e regulado pelos padrões de qualidade do ar.

4.3. Considerações adicionais sobre as fontes de poluição do ar na RMGV

É importante ressaltar que o inventário existente representa as emissões nos anos de 2009 e 2010, conforme informado por Silveira (2014)⁴. Dessa forma, os dados apresentados neste documento requerem uma revisão para incorporar as variações nas emissões desde sua

⁴ Informação fornecida por Alexander Barros Silveira, responsável pelo Centro Supervisório da Gerência de Qualidade Ambiental, IEMA, em abril de 2014 em Vitória, ES.

elaboração, que podem estar relacionadas a alterações nas emissões de origem industrial ou veicular.

Por exemplo, o crescimento da frota veicular da RMGV tem sido bastante significativo. As Figuras 4.3 e 4.4 apontam que a taxa de crescimento teve seu auge nos anos de 2007 e 2008, alcançando um crescimento de 12% ao ano, mas vem desacelerando desde então e chegando ao nível de crescimento de 6% ao ano em 2013. Mantida essa taxa de crescimento, é possível projetar um aumento da frota veicular em mais de 50% até o ano de 2020, que além de causar grandes dificuldades ao transporte urbano, pode causar significativa deterioração na qualidade do ar da região a exemplo de diversas metrópoles brasileiras que sofrem com esse problema.

Ao mesmo tempo, o setor da construção civil também não foi incluído no presente inventário e sua taxa de emissão é bastante significativa para a qualidade do ar, principalmente no que se refere aos níveis de emissão de material particulado. Santos e Reis (2011) encontraram elevada contribuição do setor construção civil na taxa de deposição mensal de partículas mensurada pela rede manual de monitoramento de partículas sedimentadas na RMGV.

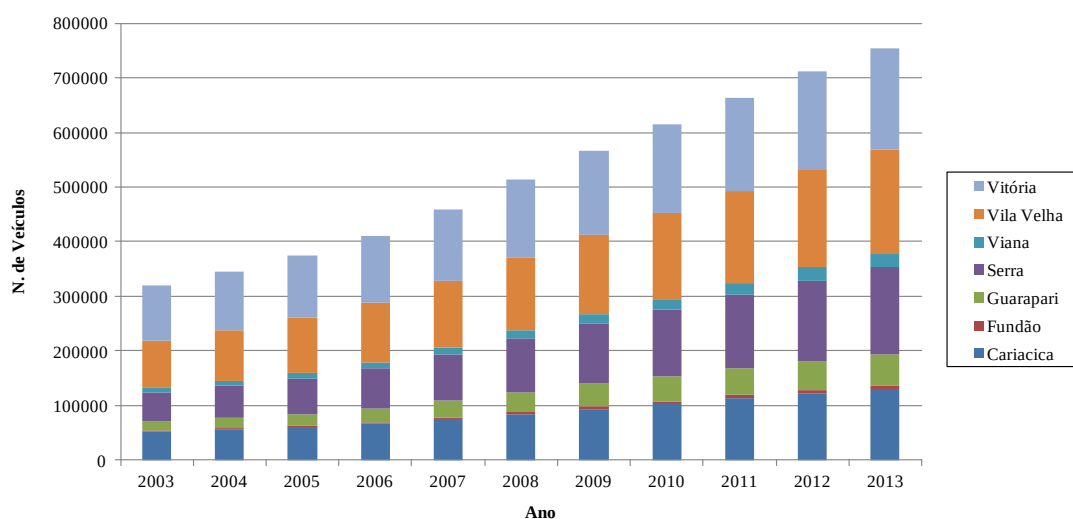


Figura 4.3. Evolução anual da frota de veículos automotores registrados nos municípios da RMGV de 2003 a 2013 (Fonte: DENATRAN, 2014).

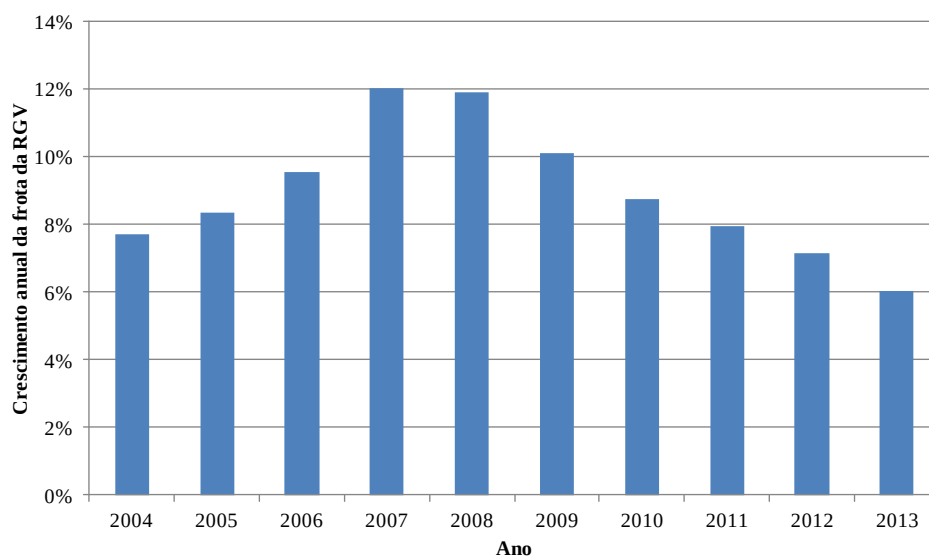


Figura 4.4. Evolução anual da taxa de crescimento da frota de veículos automotores registrados na RMGV de 2004 a 2013 (Fonte: DENATRAN, 2014).

5. Monitoramento da Qualidade do Ar e das Condições Meteorológicas na RMGV

Este capítulo descreve o monitoramento da qualidade do ar e das condições meteorológicas na RMGV, estando dividido em 2 seções principais. A Seção 5.1 descreve a rede de estações de monitoramento da qualidade do ar e das condições meteorológicas operada pelo IEMA, indicando a localização e os parâmetros monitorados por cada estação. A Seção 5.2 descreve a metodologia empregada para o tratamento dos dados obtidos pela rede de monitoramento para a construção do relatório anual de qualidade do ar, incluindo os critérios empregados para a análise de representatividade dos dados.

5.1. Redes de monitoramento

O monitoramento da qualidade do ar e das condições meteorológicas na RMGV é efetuado por 2 conjuntos complementares de estações de monitoramento: (i) a rede automática de monitoramento da qualidade do ar (RAMQAr) e (ii) a rede manual de monitoramento de partículas sedimentadas. O número e a distribuição das estações de monitoramento de qualidade do ar em operação na RMGV não são suficientes para a caracterização detalhada da poluição do ar em todo o seu território. As estações da RAMQAr e da rede manual de monitoramento de partículas sedimentadas estão localizadas em quatro dentre os sete municípios da RMGV em localizações consideradas estratégicas para o direcionamento de políticas de gestão e de controle.

5.1.1. Rede automática de monitoramento da qualidade do ar (RAMQAr)

A RAMQAr é composta por 8 estações de monitoramento da qualidade do ar. A Tabela 5.1 e a Figura 5.1 apresentam a localização das estações de monitoramento.

Tabela 5.1. Dados de localização das estações da RAMQAr.

Nome da estação	Localidade/Bairro	Município
Laranjeiras – RAMQAr 01	Hospital Dório Silva / Laranjeiras	Serra
Carapina – RAMQAr 02	ArcelorMittal Tubarão / Carapina	Serra
J. Camburi – RAMQAr 03	Unidade de Saúde / Jardim Camburi	Vitória
Enseada do Suá – RAMQAr 04	Corpo de Bombeiros / Enseada do Suá	Vitória
Vitória Centro – RAMQAr 05	Ministério da Fazenda / Centro	Vitória
Ibes – RAMQAr 06	4º Batalhão da Polícia Militar / Ibes	Vila Velha
VV Centro – RAMQAr 07	Ao lado do Colégio Marista N. S. da Penha / Centro	Vila Velha
Cariacica – RAMQAr 08	CEASA / Coord. da Defesa Agropecuária / Vila Capixaba	Cariacica

A RAMQAr tornou-se operacional em 2001, e foi viabilizada por meio de condicionantes das Licenças de Instalação da Usina VII da CVRD (LI-198/98) e Alto Forno II da CST (LI-192/98). Essa rede é de propriedade de IEMA, que gerencia sua operação e manutenção, e tem como objetivo principal medir a exposição da população da RMGV aos poluentes: material particulado total em suspensão (PTS), partículas com diâmetro menores que 10 µm (MP₁₀), dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO) e ozônio (O₃). Em sua concepção original a RAMQAr possui 8 estações de monitoramento. A Tabela 5.2 apresenta os parâmetros meteorológicos e de qualidade do ar monitorados por cada estação da RAMQAr.

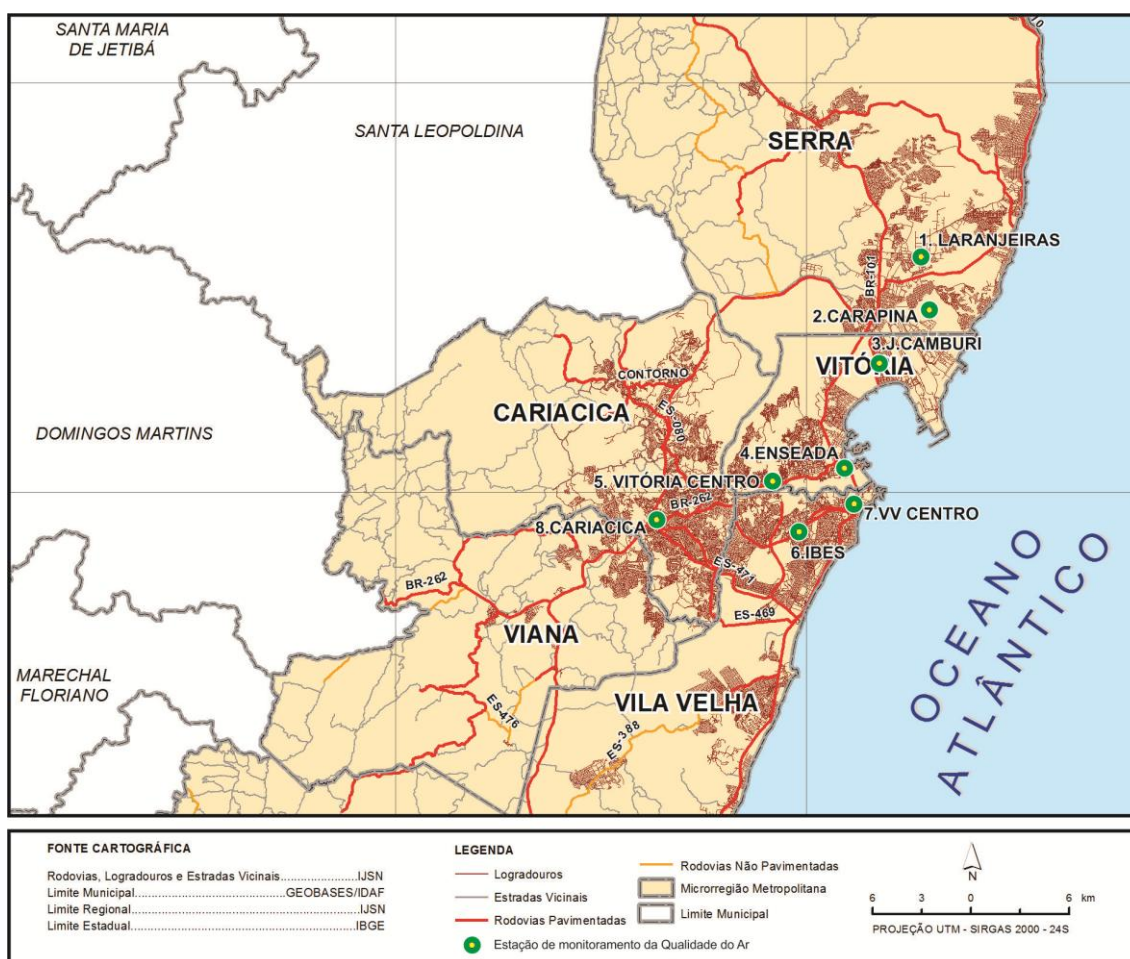


Figura 5.1. Distribuição espacial das estações da rede automática de monitoramento da qualidade do ar (RAMQAr) na RMGV (Adaptado de IJSN, 2014).

Tabela 5.2. Parâmetros monitorados pelas estações da RAMQAr.

Nome da estação	PTS	MP ₁₀	SO ₂	CO	NO _x [*]	HC	O ₃	Meteorologia
Laranjeiras – RAMQAr 01	X	X	X	X	X		X	
Carapina – RAMQAr 02	X	X						DV, VV, UR, PP, P, T, I
J. Camburi – RAMQAr 03	X	X	X		X			
Enseada do Suá – RAMQAr 04	X	X	X	X	X	X	X	DV, VV
Vitória Centro – RAMQAr 05	X	X	X	X	X	X		
Ibés – RAMQAr 06	X	X	X	X	X	X	X	DV, VV
VV Centro – RAMQAr 07		X	X					
Cariacica – RAMQAr 08	X	X	X	X	X		X	DV, VV, T

DV = Direção do Vento, VV = Velocidade do Vento, UR = umidade Relativa, PP = Precipitação Pluviométrica, P = Pressão, T = Temperatura, I = Insolação. (*) As estações que monitoram NO_x apresentam dados de NO e NO₂.

A Tabela 5.3 apresenta uma descrição da abrangência esperada e fontes de influência por cada estação da RAMQAr em sua concepção original. É importante ressaltar o crescimento da RMGV e as alterações relacionadas às principais fontes da região requerem revisões do desenho original. Por exemplo, as estações que atualmente monitoram os níveis de O_3 encontram-se muito próximas de regiões de tráfego intenso, que são caracterizadas pelas significativas emissões de NO_x , que reduzem as concentrações atmosféricas locais de O_3 . Um monitoramento mais adequado das concentrações de O_3 deveria considerar a presença de estações mais afastadas de vias de tráfego intenso, visto que a dinâmica de formação desse poluente conduz a níveis mais elevados de concentração em regiões mais afastadas das fontes de emissão de NO_x .

Outro fator relevante que leva a necessidade de revisão é a construção de edificações próximas às estações que prejudicam não apenas o monitoramento da qualidade do ar, mas principalmente, o monitoramento das variáveis meteorológicas. Tais pontos serão abordados nos Capítulos 6 e 7 que apresentam e discutem os resultados do monitoramento.

5.1.2. Rede manual de monitoramento de partículas sedimentadas

A rede manual de monitoramento de partículas sedimentadas atualmente em operação foi implantada em 2009, iniciando seu funcionamento no mês de abril de 2009 com 9 pontos de monitoramento. Em dezembro de 2009, a rede foi ampliada para 11 pontos de monitoramento, sendo que 8 estão localizados nas estações da RAMQAr, dois pontos na Ilha do Boi (SENAC e Clube Ítalo Brasileiro) e um ponto adicional no Centro de Vitória na Banca Cultura localizada na esquina da Av. Jerônimo Monteiro com a Rua Governador José Sette (este ponto adicional foi desativado em fevereiro de 2013 conforme solicitação do proprietário da Banca Cultura). O posicionamento das estações foi determinado com base nas recomendações da norma ASTM D1739-98 (*reapproved* 2004), quanto ao espaçamento entre estações (de 5 a 8 km) e proximidade com estruturas e edificações e presença de árvores (foi realizada a poda das árvores próximas às estações). A Tabela 5.4 e a Figura 5.2 apresentam a localização dos pontos de monitoramento.

Cada ponto de monitoramento conta com 4 coletores ASTM D1739-98(2004) para permitir que amostras possam ser rejeitadas, se necessário, e possibilitar a verificação dos dados de quantificação da massa depositada. A Figura 5.3 apresenta o coletor de partículas sedimentadas, que consiste basicamente de um recipiente de coleta de 25 cm de diâmetro e 50 cm de profundidade protegido por uma barreira para minimizar a influência da velocidade do vento sobre as medições. A existência de quatro coletores em cada estação permite, ainda, que a quantidade de massa coletada seja suficiente para uma posterior caracterização química das partículas, visto que são necessários 1 a 2 gramas para a realização das análises químicas.

Tabela 5.3. Descrição da abrangência e fontes de influência em cada estação da RAMQAr de acordo com sua concepção original (Fonte: IEMA, 2007).

Nome da estação	Descrição de abrangência e fontes de influência
Laranjeiras RAMQAr 01	Capta influências diretas das indústrias da Ponta de Tubarão e demais indústrias do CIVIT, sendo representativa de níveis de <i>background</i> principalmente relacionado a emissões veiculares para as condições meteorológicas predominantes na região de estudo.
Carapina RAMQAr 02	Incluída na rede para abranger locais não cobertos por outras estações. A RAMQAr 02 capta influências das indústrias da Ponta de Tubarão em determinadas condições de vento, podendo registrar influência relativa de veículos e outras fontes da Serra e Vitória e até níveis de <i>background</i> em outros momentos. No que diz respeito ao monitoramento meteorológico, essa é a estação mais completa.
J. Camburi RAMQAr 03	Cobre áreas diretamente influenciadas pelas emissões de indústrias da Ponta de Tubarão, Serra e Vitória. A mesma, ainda, sofre influência de fontes móveis circulando em áreas nos seus arredores.
Enseada do Suá RAMQAr 04	É apresentada como a principal estação na rede de medição instalada, pois se localiza em um ponto estratégico da Grande Vitória e proporciona grande área de cobertura espacial. Além disso, ela é diretamente influenciada pelas emissões de origem industrial da Ponta de Tubarão e pelas fontes móveis que convergem para aquela área de passagem natural da região.
Vitória Centro RAMQAr 05	Localizada em ponto estratégico da Grande Vitória, a RAMQAr 05 proporciona cobertura espacial de áreas diretamente influenciadas pelas emissões de veículos, recebendo ainda contribuições de atividades portuárias e fontes industriais dos municípios de Vila Velha e Cariacica.
Ibes RAMQAr 06	Cobre áreas diretamente influenciadas pelas emissões de veículos, indústrias da Ponta de Tubarão, Vitória, Vila Velha e Cariacica. A mesma, ainda, reúne todas as condições físicas para medição adequada dos parâmetros meteorológicos.
VV Centro RAMQAr 07	Proporciona cobertura espacial de áreas diretamente influenciadas pelas emissões de veículos, indústrias da Ponta de Tubarão e outras de Vitória e Vila Velha.
Cariacica RAMQAr 08	A estação apresenta uma alta cobertura na parte sudoeste da região de estudo, com baixa redundância entre outras estações da rede. A RAMQAr 08 cobre ainda áreas diretamente influenciadas pelas emissões de veículos e indústrias de Cariacica. Essa ainda reúne todas as condições físicas para medição adequada dos parâmetros meteorológicos.

* A descrição das fontes e área de influência monitoradas por cada estação foi extraída de IEMA (2007).

Para a quantificação da taxa de deposição de poeira sedimentada em cada ponto de monitoramento também são empregados os procedimentos descritos na norma ASTM D1739-98 (2004), que consistem em deixar o recipiente coletor exposto por 30 dias e caracterizar gravimetricamente seu conteúdo, após a secagem da amostra em estufa. Conhecendo a massa de partículas depositadas e a área do recipiente, determina-se o fluxo de deposição em $\text{g/m}^2/30$ dias. Os dados divulgados representam a média dos fluxos de deposição calculados entre os 4 coletores instalados em cada ponto de monitoramento.

Tabela 5.4. Dados das estações de monitoramento de partículas sedimentadas.

Nome da estação	Localidade/Bairro	Município
Laranjeiras – Estação 01	Hospital Dório Silva / Laranjeiras – RAMQAr 01	Serra
Carapina – Estação 02	ArcelorMittal Tubarão / Carapina – RAMQAr 02	Serra
J. Camburi – Estação 03	Unidade de Saúde / Jardim Camburi – RAMQAr 03	Vitória
Enseada do Suá – Estação 04	Corpo de Bombeiros / Enseada do Suá – RAMQAr 04	Vitória
Vitória Centro – Estação 05	Ministério da Fazenda / Centro – RAMQAr 05	Vitória
Vitória Centro (Banca) – Estação 06	Banca de Jornais Cultura / Em frente a C&A / Centro	Vitória
Ibes – Estação 07	4º Batalhão da Polícia Militar / Ibes – RAMQAr 06	Vila Velha
VV Centro – Estação 08	Ao lado do Colégio Marista N. S. da Penha / RAMQAr 07	Vila Velha
Cariacica – Estação 09	CEASA / Coord. da Defesa Agropecuária / Vila Capixaba – RAMQAr 08	Cariacica
SENAC – Estação 10	Hotel SENAC Ilha do Boi / Ilha do Boi	Vitória
Clube Ítalo – Estação 11	Clube Ítalo Brasileiro do Espírito Santo / Ilha do Boi	Vitória

5.2. Métodos de tratamento de dados

Os dados brutos utilizados para elaboração deste relatório são as concentrações médias horárias para cada um dos poluentes e variáveis meteorológicas monitoradas. A partir desses dados são calculadas as concentrações médias aritméticas anuais (MP_{10} , NO_2 e SO_2), médias geométricas anuais (PTS), médias móveis de 24 horas (PTS, MP_{10} e SO_2), médias móveis de 8 horas (CO e O_3) e médias horárias (CO , O_3 e NO_2).

As médias móveis das concentrações para tempos de média de 8 horas e 24 horas são utilizadas para a realização das comparações com os padrões previstos na Resolução CONAMA nº 03/1990, com as diretrizes da OMS e com os limites previstos pelo Decreto n. 3463-R 12/2013, que estabelece novos padrões de qualidade do ar para o estado do Espírito Santo. As médias móveis representam a melhor estratégia para a verificação da exposição ao poluente monitorado em estações automáticas, pois a exposição ocorre em horas consecutivas e não de acordo com as horas do relógio em um dia. Por exemplo, a exposição de 24 horas, não corresponde necessariamente a exposição ocorrida entre 00:00 horas de um determinado dia e 23:59 horas do dia posterior, mas a exposição de 24 horas consecutivas, seja entre 01:00 hora e 00:59 hora do dia posterior ou entre 02:00 horas e 01:59 horas do dia posterior, e assim, consecutivamente.

Desse modo, existem 23 médias móveis de 24 horas em 1 dia e a exposição ao poluente pode ser verificada continuamente. Outro modo interessante de avaliar a importância do uso da média móvel, consiste em perceber que a média de 24 horas entre 00:00 horas e 23:59 horas pode ser menor que a média de 24 horas calculada entre 12:00 horas e 11:59 do dia posterior, entretanto, a exposição de 24 horas ao poluente ocorreu tanto entre 00:00 horas e 23:59 horas como entre 12:00 horas e 11:59 horas.

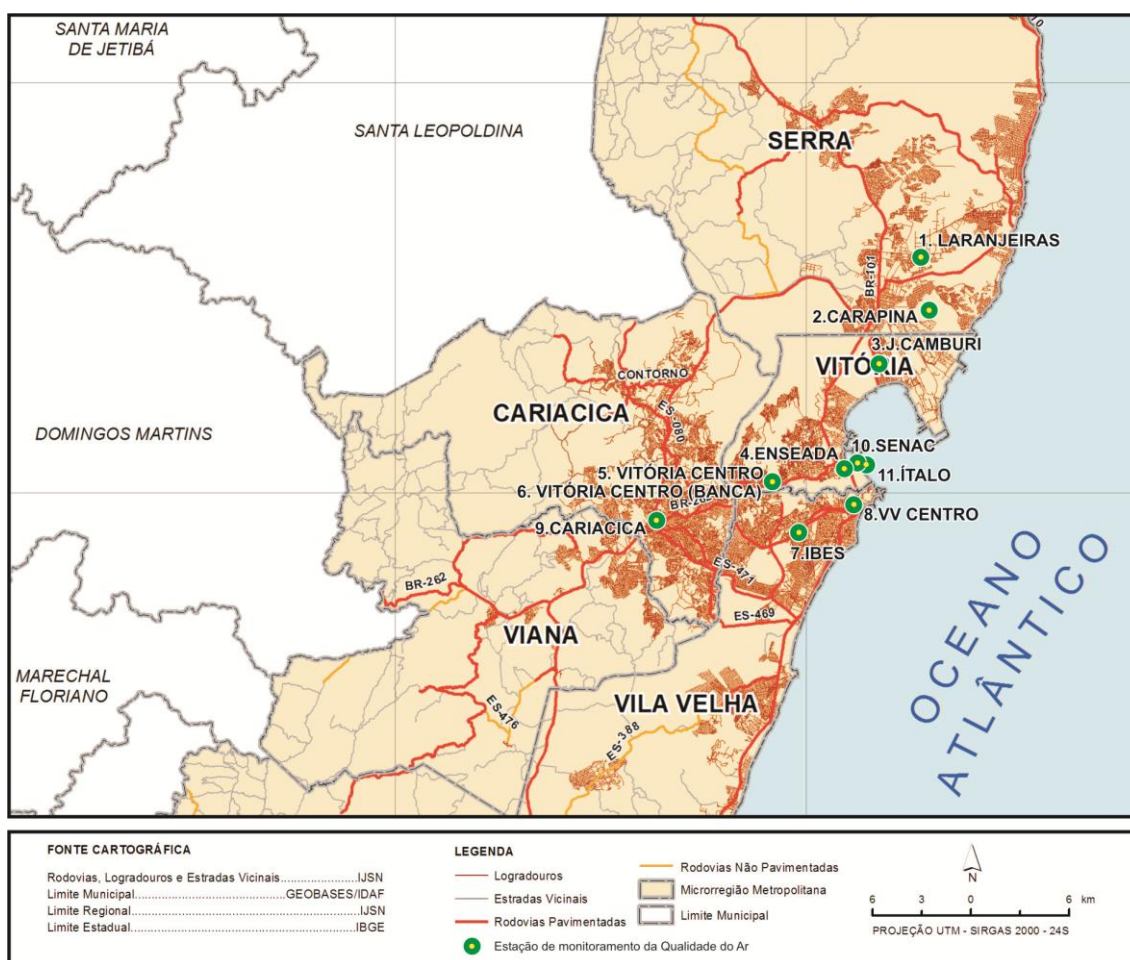


Figura 5.2. Distribuição espacial dos pontos de coleta de PS na RMGV(Adaptado de IJSN, 2014).

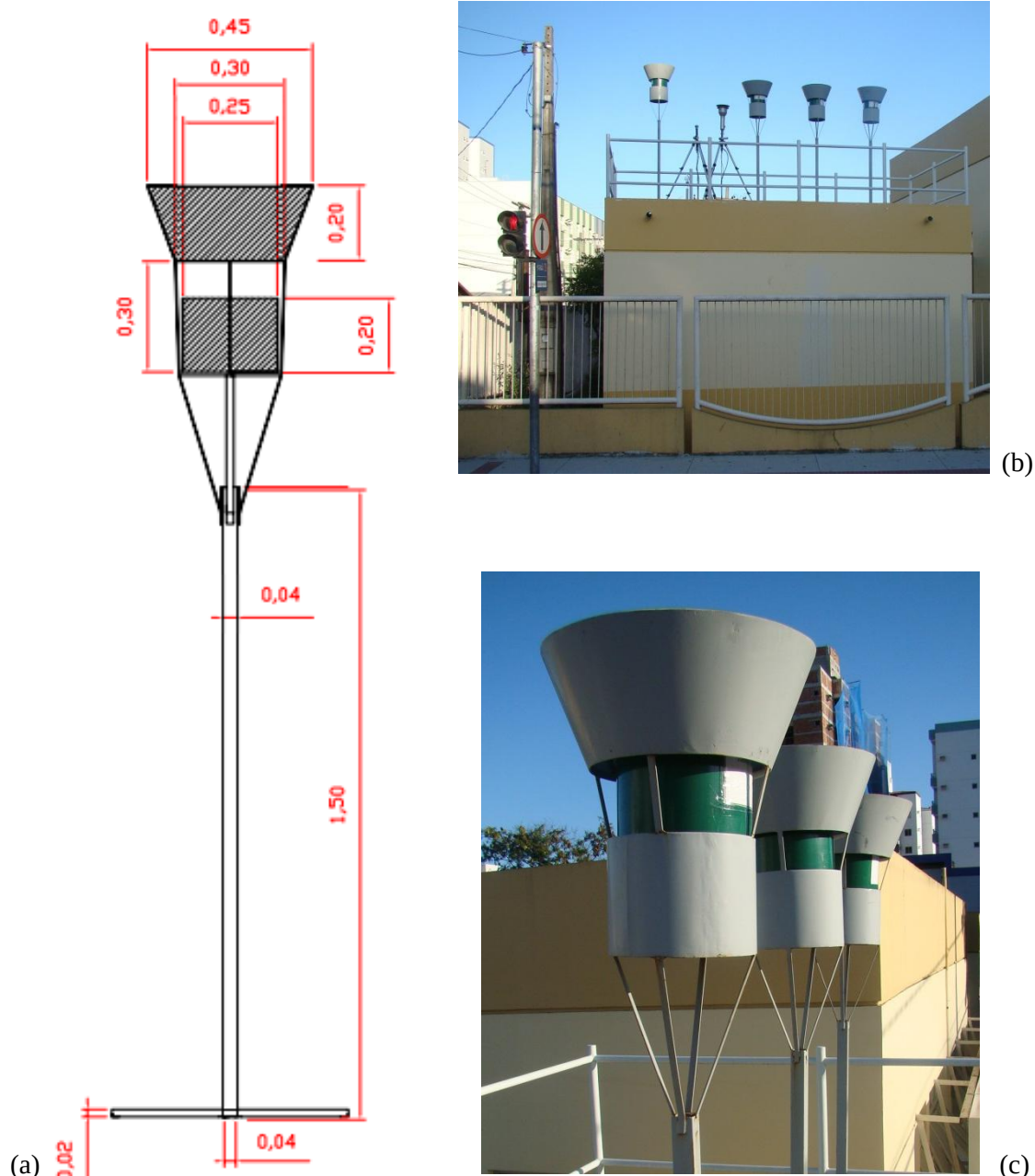


Figura 5.3. Coletor de partículas sedimentadas projetado de acordo com a norma ASTM D1739: (a) representação esquemática do coletor e suas dimensões e fotografias (b) do coletor instalado em uma estação da RAMQAr e (c) do detalhe da instalação do recipiente coletor.

As comparações com os limites previstos pelo Decreto nº 3463-R 12/2013 são de vital importância para o gerenciamento da qualidade do ar na RMGV, pois o decreto estabelece metas intermediárias que devem ser alcançadas em 3 etapas até o atingir os padrões finais de qualidade esperados, que estão alinhados com as diretrizes de qualidade do ar preconizadas pela OMS.

Adicionalmente, são apresentados os IQA para o período analisado e número de dias com excedência dos padrões de qualidade CONAMA e Decreto nº 3463-R e das diretrizes da OMS.

5.2.1. Representatividade dos dados

A análise da representatividade dos dados de monitoramento é muito importante para garantir a validade das comparações entre os dados de monitoramento e os padrões de qualidade do ar. Por exemplo, se uma estação de monitoramento possui dados válidos de medição somente em metade dos meses de um ano, a média anual da concentração de poluentes calculada com os dados dessa estação pode não ser representativa da qualidade do ar daquela região. Esse problema pode ser mais grave se os dados excluírem períodos críticos ou de condições meteorológicas desfavoráveis, como os meses de inverno, por exemplo. Nesse caso a concentração média anual calculada seria significativamente diferente da concentração média anual real, pois poderia excluir diversos dados com elevados valores de concentração. Nesse contexto, a definição de critérios de representatividade de dados é de extrema importância para avaliar a validade das análises efetuadas. O não atendimento desses critérios para uma determinada estação ou período significa que as falhas de medição ocorridas ou interrupções no funcionamento das estações podem comprometer a interpretação do resultado obtido.

A representatividade, ou não, de um parâmetro de monitoramento calculado (tais como médias anuais, mensais ou de 24 horas) é avaliada com base no percentual de dados brutos válidos que foi utilizado em seu cálculo. Ao processar os dados brutos, são considerados como dados disponíveis/válidos os dados que não são invalidados pelo sistema de captura/armazenamento de dados ou pelo gestor do sistema. O percentual de ocorrência de cada uma dessas situações é explicitado no *Addendum* a este relatório.

Com o objetivo de uniformizar os critérios de representatividade utilizados por órgãos ambientais estaduais no Brasil, o presente relatório utiliza os mesmos critérios empregados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2013) e Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro (INEA-RJ, 2013). A representatividade dos dados é testada com base no número de dados brutos disponíveis/válidos para o cálculo de médias horárias, diárias, mensais e anuais. A Tabela 5.5 apresenta os critérios de representatividade dos parâmetros monitorados utilizados neste relatório.

Tabela 5.5. Descrição dos critérios de representatividade dos parâmetros monitorados utilizados neste relatório.

Parâmetro a ser calculado	Critério de representatividade
Médias horárias	75% de dados válidos durante a hora
Médias de 24 horas	2/3 das medias horárias válidas durante as 24 horas
Media Mensal	2/3 das medias diárias válidas no mês
Media anual	1/2 das medias de 24 horas válidas para os quadrimestres janeiro-abril, maio-agosto e setembro-dezembro

Somente os resultados considerados representativos serão considerados nas análises neste relatório. Os resultados que não atendem aos critérios de representatividade não foram levados em consideração para as análises efetuadas, mas são apresentados nos gráficos e tabelas com a indicação “não representativos”.

6. Condições Meteorológicas Observadas na RMGV

Os poluentes atmosféricos estão sujeitos a processos de transporte e transformação afetados pelas condições meteorológicas que desempenham papel importante na caracterização dos eventos de poluição do ar, podendo influenciar o aumento ou diminuição das concentrações dos poluentes na atmosfera. O período em que se observa uma piora no índice de qualidade do ar nas regiões urbanas situadas no sudeste do Brasil, como mencionado anteriormente, é o período de inverno devido à atuação das Altas Subtropicais do Atlântico Sul (ASAS) inibindo a convecção na região e também atuando muitas vezes como bloqueio dos sistemas frontais que poderiam modificar as condições de dispersão da região.

Para a caracterização meteorológica da RMGV durante ano de 2010, foram utilizados os dados medidos nas estações meteorológicas RAMQAr. Apenas a estação Carapina (RAMQAr 4) possui estação meteorológica completa que possibilita a medição das seguintes variáveis: temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica, radiação solar, precipitação, direção e velocidade do vento. As estações Cariacica, VV-Centro, Ibes e Enseada do Suá monitoram a direção e velocidade do vento e a estação Cariacica monitora também temperatura e umidade relativa do ar.

A análise estatística descritiva dos dados meteorológicos medidos pela rede RAMQAr durante o ano de 2010 indicou a ausência de dados válidos para direção do vento registrada na estação de Cariacica. De acordo com os critérios de representatividade dos dados monitorados apresentados na Tabela 5.5, não são apresentadas as análises de dados de direção do vento considerando essa estação. Contudo, optou-se por incluir a estação meteorológica de superfície (EMS) do Aeroporto de Vitória (SBVT 83649, Lat 20,25°S; Lon 40,28°W) que além de

apresentar 99,9% dos dados de direção e velocidade do vento válidos em 2010, possui sua localização de acordo com os padrões e normas da Organização Meteorológica Mundial (OMM). Isso implica que essa estação pode ser considerada isenta de qualquer alteração na direção e velocidade do vento devido à presença de barreiras ou edificações nas suas vizinhanças.

A Figura 6.1 apresenta a evolução mensal de chuva acumulada na estação Carapina em 2010. Observa-se que a precipitação mensal foi bastante balanceada, apresentando totais mensais dentro da normal climatológica para a cidade de Vitória (Figura 3.3). Em janeiro, a estação de Carapina não apresentou registros válidos de precipitação, portanto, estes dados foram excluídos destas análises. No mês de fevereiro a ocorrência de chuvas foi cerca de 40% abaixo da normal climatológica mensal, apresentando um total pluviométrico de apenas 33,8 mm. O mês de março encerrou o período chuvoso (2009/2010) com um total pluviométrico de 397,2 mm, chuva que corresponde a 3,7 vezes o valor do esperado mensal. Durante o período de transição entre outono-inverno, observou-se que o período estiagem na região ocorreu um pouco tardio, iniciando apenas em agosto e finalizando em outubro. Os meses de novembro e dezembro apresentaram precipitações pouco acima das normais mensais. A partir de outubro, a atuação dos sistemas sinóticos favorece o aumento de precipitação em toda a região do sudeste brasileiro. A precipitação total anual em 2010 foi 1384,2 mm, aproximadamente 132 mm acima da normal climatológica da região.

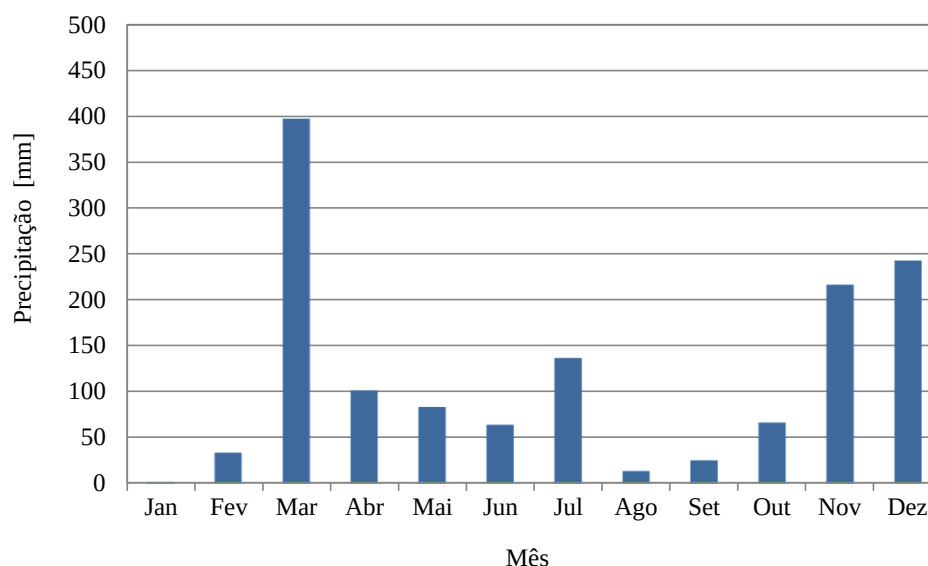
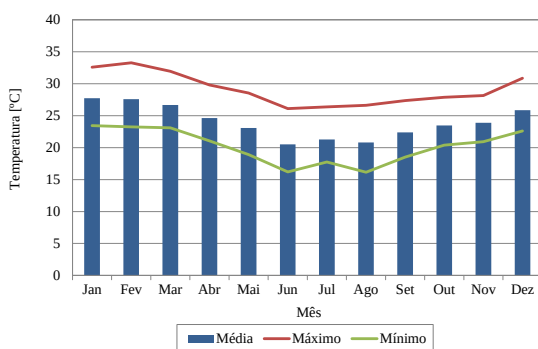


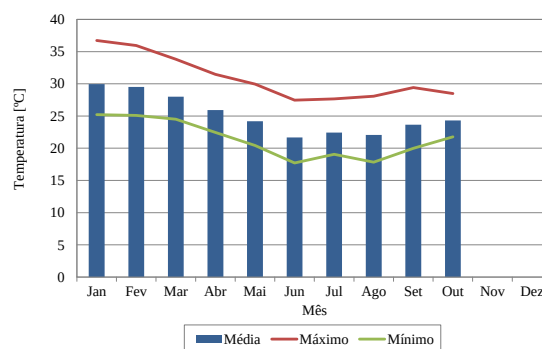
Figura 6.1. Precipitação acumulada mensal na estação Carapina.

Segundo o Boletim de Monitoramento e Análise Climática do CPTEC (CLIMANÁLISE, 2010) em março de 2010, o episódio de ZCAS que se configurou no início de março favoreceu o aumento das chuvas na maior parte do Sudeste, com anomalias positivas em praticamente todo o Estado de Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo. Destacaram-se os totais diários de chuva registrados em São Mateus-ES (151,8 mm, no dia 01) e Vitória-ES (109 mm, no dia 02 e 109 mm, no dia 06), segundo dados do INMET. Durante a segunda quinzena de março, a formação de mais duas regiões de convergência de umidade e a proximidade de sistemas frontais que se deslocaram pelo oceano também contribuíram para a formação de áreas de instabilidade na região. Considerando os totais mensais de chuva, destacou-se o valor acumulado em Vitória-ES (368,5 mm), que excedeu a climatologia em 260,3 mm, segundo dados do INMET.

As Figuras 6.2(a) e 6.2(b) apresentam os valores médios mensais de temperatura média, máxima e mínima horária para as estações Carapina e Cariacica, respectivamente. A estação de Cariacica não possui dados válidos para novembro e dezembro de 2010, logo estes resultados não serão discutidos no presente relatório. As médias mensais da temperatura do ar ao longo de 2010 não apresentam grandes variações, a temperatura média anual em Carapina foi 24°C, apenas 0,2°C abaixo da normal climatológica (24,2°C), e em Cariacica foi 25,2°C, superior à normal climatológica. Essa variação de temperaturas observada entre as duas estações ocorre devido a posição geográfica das estações que são afetadas de forma diferente pelas circulações meteorológicas locais. A estação Carapina está localizada na região litorânea da RMGV, ou seja, sofre influência direta da brisa marítima que atua na região costeira e intensifica a velocidade do vento, traz umidade do oceano e, conseqüentemente, diminui a temperatura do ar no continente.



(a)



(b)

Figura 6.2. Temperatura média mensal, máxima e mínima nas estações: (a) Carapina e (b) Cariacica.

As médias mensais das temperaturas máximas horárias em 2010 estiveram acima da média histórica na estação de Carapina e Cariacica. As maiores máximas foram registradas na estação de Cariacica, apresentando uma média de 36,7 °C para o mês de janeiro, o equivalente a 5,8 °C acima da normal climatológica para temperatura máxima em Vitória no mês de Janeiro. Em Carapina, as maiores temperaturas ocorreram em fevereiro com média de 33,3°C, o equivalente a 1,7 °C acima da normal climatológica para temperatura máxima do mês de fevereiro.

As médias mensais das temperaturas mínimas horárias em 2010 estiveram abaixo da média histórica na estação de Carapina e Cariacica. As menores temperaturas mínimas foram registradas na estação de Carapina, apresentando média de 16,1°C no mês de agosto, o equivalente a 3,1°C abaixo da normal climatológica para o mês de agosto em Vitória. Em Cariacica, as temperaturas mínimas ocorreram em junho (17,7°C), o equivalente a 1,8°C abaixo da normal climatológica. Vale ressaltar que a estação de Cariacica não possui uma série de dados completa. Esses eventos extremos mais intensos podem ser consequência das mudanças do uso do solo e da ação antropogênica.

Devido à localização da RMGV em região tropical, as maiores diferenças de temperatura são observadas entre as estações de inverno e verão (Figura 6.3). Ao longo do dia, a estação de Cariacica apresentou as maiores amplitudes térmicas, cerca de 10°C, entre as estações de verão e inverno. Já em Carapina as diferenças de temperatura entre as estações do ano não foram tão acentuadas. Os valores máximos de temperatura durante todo o ano ocorrem entre 12 h e 14h, período que coincide com a maior incidência de radiação solar na superfície.

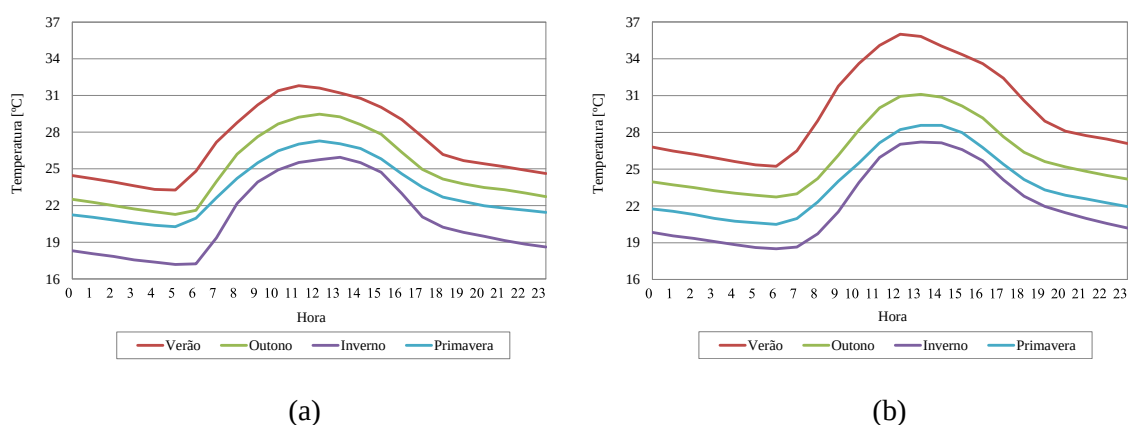


Figura 6.3. Temperatura média horária por estações do ano nas estações: (a) Carapina e (b) Cariacica.

A variação média mensal da pressão atmosférica apresenta comportamento sazonal, com altas pressões sobre a região durante o período de inverno que está relacionado a migração dos centros de alta pressão do oceano para o continente e as pressões mais baixas ocorrem nos

meses de verão quando acontece a migração dos centros de alta pressão no sentido inverso (Figura 6.4).

A pressão atmosférica média (1006,1 mbar) registrada na estação de Carapina ao longo do ano de 2010 foi abaixo da normal climatológica (1011,8 mbar). As variações médias mensais da pressão atmosférica (média, máxima e mínima) foram inferiores a 8 mbar em 2010. Esse foi um ano em que a pressão atmosférica esteve abaixo da normal climatológica (1011,8 mbar) durante todos os meses, apresentando valores médios de pressão atmosférica anual de 1006,1 mbar, máximo de 1007,9 e mínimo de 1004,2 mbar.

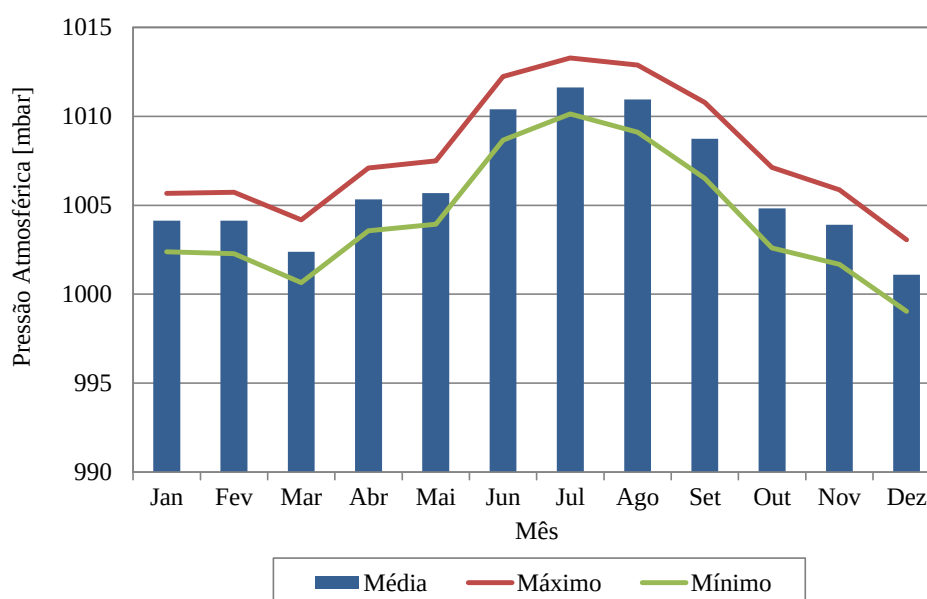


Figura 6.4. Pressão atmosférica média mensal, máxima e mínima na estação Carapina.

A radiação solar indica o fluxo de energia solar incidente sobre uma determinada área. As Figuras 6.5 e 6.6 apresentam, respectivamente, as médias horárias e mensais de radiação solar, monitoradas na estação Carapina. Observa-se um comportamento típico, com máximos que ocorrem em torno do meio dia durante o verão (valor máximo de 933 W/m^2) e com mínimos durante o inverno na estação de Cariacica (valor máximo de 555 W/m^2). O fluxo de radiação médio incidente em Carapina foi 204 W/m^2 . A diferença entre os valores extremos do fluxo de radiação solar foi de 438 W/m^2 , entre os meses de janeiro que ocorreram os valores máximos (933 W/m^2) e junho que ocorreram os valores mínimos (555 W/m^2).

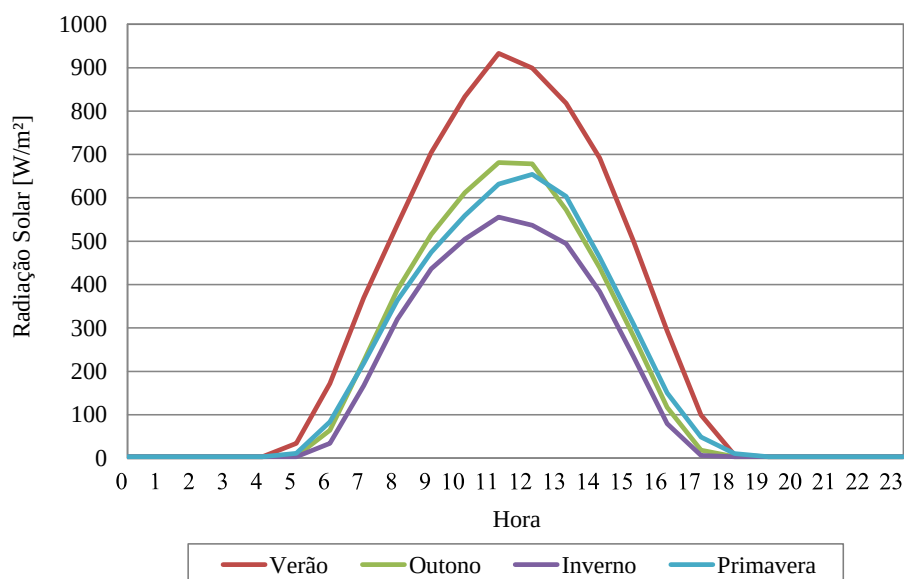


Figura 6.5. Radiação solar média horária nos período de solstício e equinócio do ano na estação Carapina.

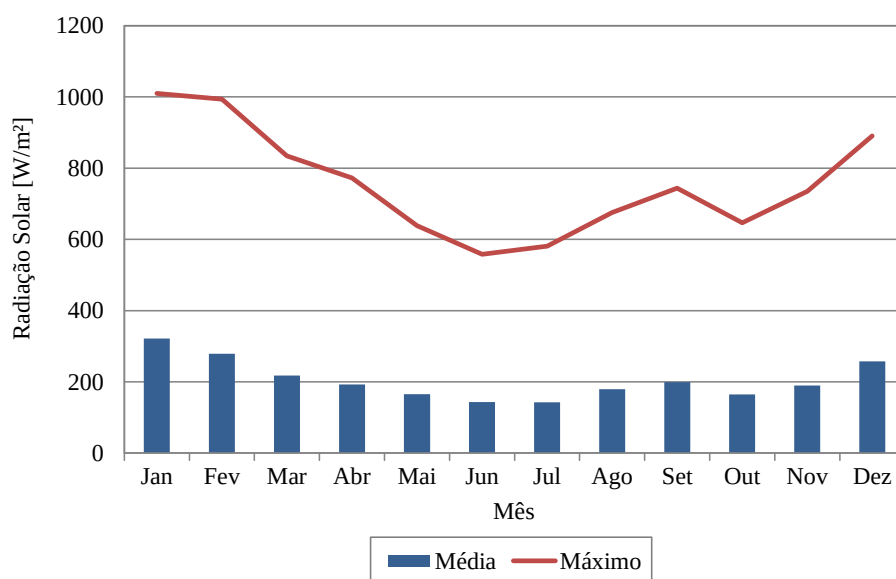
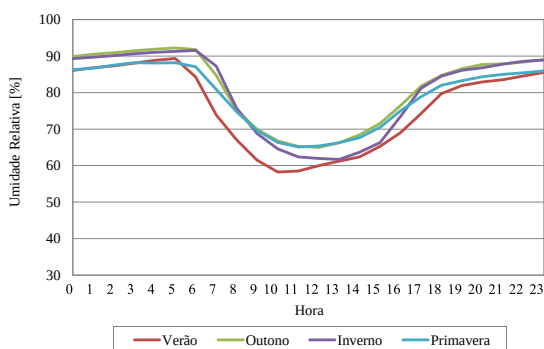


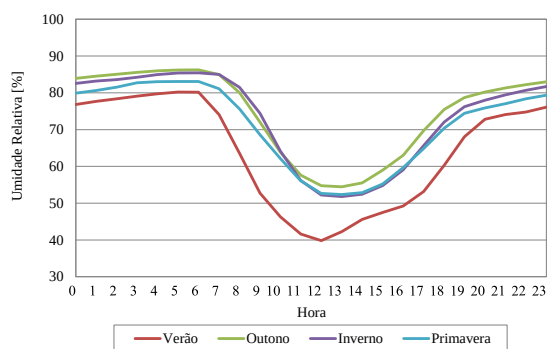
Figura 6.6. Radiação solar média mensal e máxima na estação Carapina.

As Figuras 6.7 e 6.8 apresentam, respectivamente, as análises de umidade relativa (UR) média horárias nos período de solstício e equinócio do ano de 2010 e as médias e máximas mensais nas estações Carapina e Cariacica. A estação de Cariacica não possui dados válidos de UR para os meses de novembro e dezembro, logo estes dois meses serão avaliados apenas considerando a estação de Carapina. A umidade relativa do ar mantém-se elevada durante todo o ano na RMGV, condição típica de região litorânea e tropical, apresentando média anual igual a 79,2% em Carapina, acima da normal climatológica (77%) e 71,8 % em Cariacica, abaixo da normal.

O ciclo horário da umidade relativa do ar varia de forma inversamente proporcional ao ciclo horário de temperatura, com valores mais altos durante o período noturno e mínimos durante o período de maior insolação, em torno do meio dia. Diferentemente dos outros parâmetros analisados anteriormente, a umidade relativa do ar não apresenta comportamento sazonal definido nessa região devido a sua posição geográfica. Verifica-se que a diferença de umidade relativa do ar horária entre os períodos de solstício e equinócio é muito pequena na estação de Carapina, apresentando maiores diferenças (10%) entre a primavera e as demais estações do ano. Já na estação de Cariacica, a máxima diferença de umidade relativa do ar ocorreu entre o verão e o inverno, com 15,8% a mais de umidade relativa ocorrida em média durante o verão.

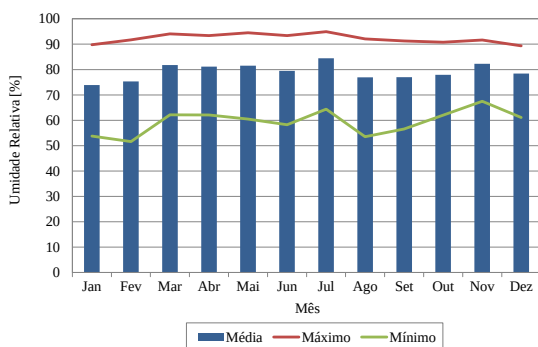


(a)

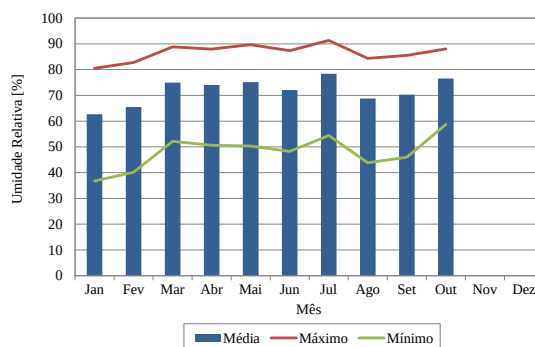


(b)

Figura 6.7. Umidade relativa média horária nos períodos de solstício e equinócio nas estações: (a) Carapina e (b) Cariacica.



(a)



(b)

Figura 6.8. Umidade relativa média mensal, máxima e mínima nas estações: (a) Carapina e (b) Cariacica.

A diferença de umidade relativa registrada entre as duas estações ocorre devido à proximidade da estação de Carapina ao oceano. A média mensal dos valores de UR máxima variou entre 89,4

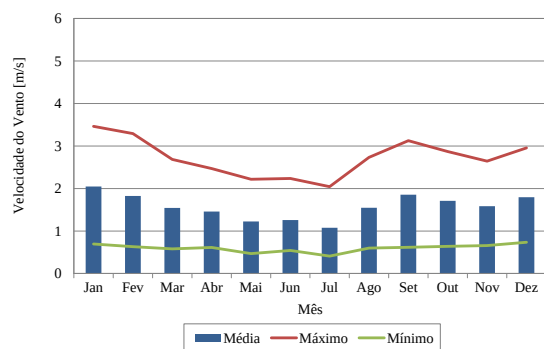
e 94,9 % na estação Carapina e 80,5 a 91,3% em Cariacica. Com relação a média mensal dos valores mínimos, foi observado que a estação de Carapina registrou valores variando entre 51,6 e 67,5% e a estação de Cariacica observou valores de UR mínima variando entre 36,8 e 58,7%. Esses meses com baixa umidade relativa do ar e pouca chuva, podem promover piora significativa nos níveis de poluição atmosférica, além de agravar doenças respiratórias e inflamações nos olhos.

A seguir será apresentado um diagnóstico do regime de ventos na RMGV para o ano de 2010, por meio dos dados medidos na estação Cariacica e na estação meteorológica de superfície do Aeroporto de Vitória (SBVT 83649). Vale ressaltar que durante todo o ano a estação de Cariacica não apresentou dados válidos para o parâmetro direção do vento. De acordo com os critérios adotados para análise da representatividade dos dados de monitoramento apresentados na Tabela 5.5, não são apresentadas neste relatório as análises dos dados medidos na estação de Cariacica referentes à direção do vento.

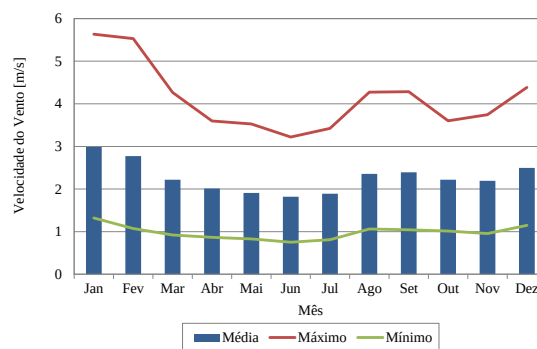
A Figura 6.9 apresenta a variação da velocidade média do vento ao longo do ano para as estações Carapina, Enseada do Suá, Ibes, Cariacica e Aeroporto. As velocidades médias nessas cinco estações foram 1,6 m/s, 2,3 m/s, 2,5 m/s, 1,9 m/s e 3,9 m/s, respectivamente. Observa-se que a estação Aeroporto apresenta velocidades maiores que as outras estações, isso ocorre devido à posição da estação Aeroporto que não está influenciada por barreiras físicas e rugosidade urbana. Apesar da estação de Carapina estar próxima ao oceano, ela está rodeada por plantações que atuam como uma barreira ao vento. A estação da Enseada do Suá apesar de estar próxima ao oceano sofre influências das edificações ao seu entorno, principalmente por estar ao lado da ponte Deputado Darcy Castello de Mendonça (Terceira Ponte). A estação Cariacica e Ibes, mais afastada da região litorânea, sofre a influência da rugosidade que a região urbana exerce sobre o vento.

Ao longo do ano, observa-se uma variação sazonal da velocidade do vento. Nota-se que em média durante os meses de inverno, as velocidades são menores, isso decorre da climatologia local, devido à presença da ASAS próximo do continente que favorecem a predominância de ventos calmos, subsidência e inversão térmica.

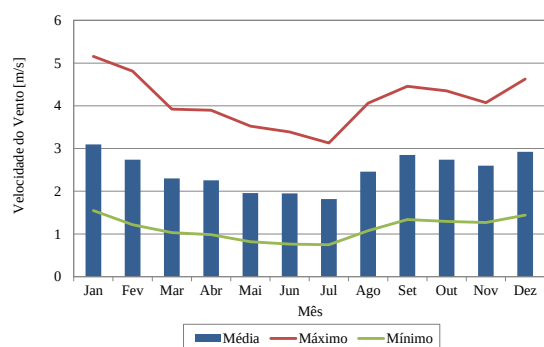
As velocidades médias mensais máximas ocorreram na estação Aeroporto em janeiro e foram aproximadamente três vezes maiores que as máximas registradas na estação Carapina e Cariacica. Os valores médios das máximas registradas em janeiro foram: 10,8 m/s na estação do Aeroporto, 5,2 m/s na estação Ibes, 5,6 m/s na estação da Enseada do Suá e 3,5 m/s nas estações de Cariacica e Carapina.



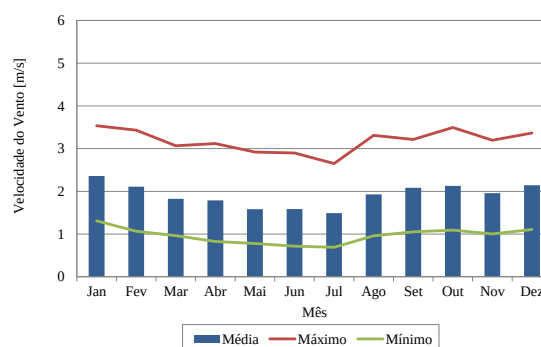
(a)



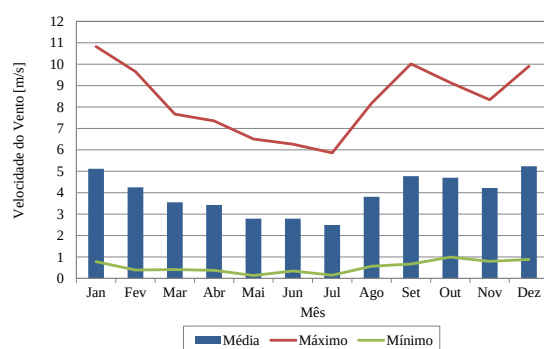
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 6.9. Evolução mensal da velocidade média, máxima e mínima nas estações: (a) Carapina, (b) Enseada do Suá, (c) Ibes, (d) Cariacica e (e) Aeroporto.

A Figura 6.10 apresenta as rosas dos ventos anual obtidas das análises das séries temporais de direção e velocidade do vento, medidos nas estações Carapina, Enseada do Suá, Ibes e Aeroporto. Vale ressaltar que a estação de Cariacica foi excluída desta análise por não possuir dados válidos de direção do vento. As estações do Aeroporto, Ibes e Carapina apresentaram comportamentos semelhantes com relação à direção predominante do vento anual, com direções predominantes e velocidades maiores variando entre as direções norte-nordeste e ventos de sudoeste com menor frequência e intensidade.

Apesar do comportamento semelhante com relação a direção do vento, a estação Aeroporto apresentou velocidades superiores a 11,1 m/s, Carapina apresentou velocidades até 5,7 m/s e a estação Ibes apresentou velocidades entre 8,8 e 11 m/s, todas na direção NE. É importante destacar nessa análise, que a estação Aeroporto, conforme discutido anteriormente, apresenta velocidades maiores, devido à atuação da brisa marítima (ventos de Nordeste- Leste) e ausência de barreiras de vento, e porcentagem de ventos mais calmos predominante de Noroeste (NW) que ocorre durante o período noturno, originados pela atuação da brisa terrestre. Velocidades maiores provenientes da direção sul e sudeste podem ser ocasionadas pela passagem de sistemas sinóticos como as frentes frias e a ZCAS. A estação Enseada do Suá foi a única que apresentou direções predominantes variando entre as direções nordeste-leste com velocidades mais intensas e ventos de sudoeste menos intensos. É importante destacar que este comportamento diferente das demais estações pode estar relacionado ao posicionamento da estação da Enseada do Suá, por estar próxima a ponte Deputado Darcy Castello de Mendonça e à grandes vias de tráfego, que por sua vez podem estar influenciando nesta alteração da direção predominante dos ventos de norte característico da região.

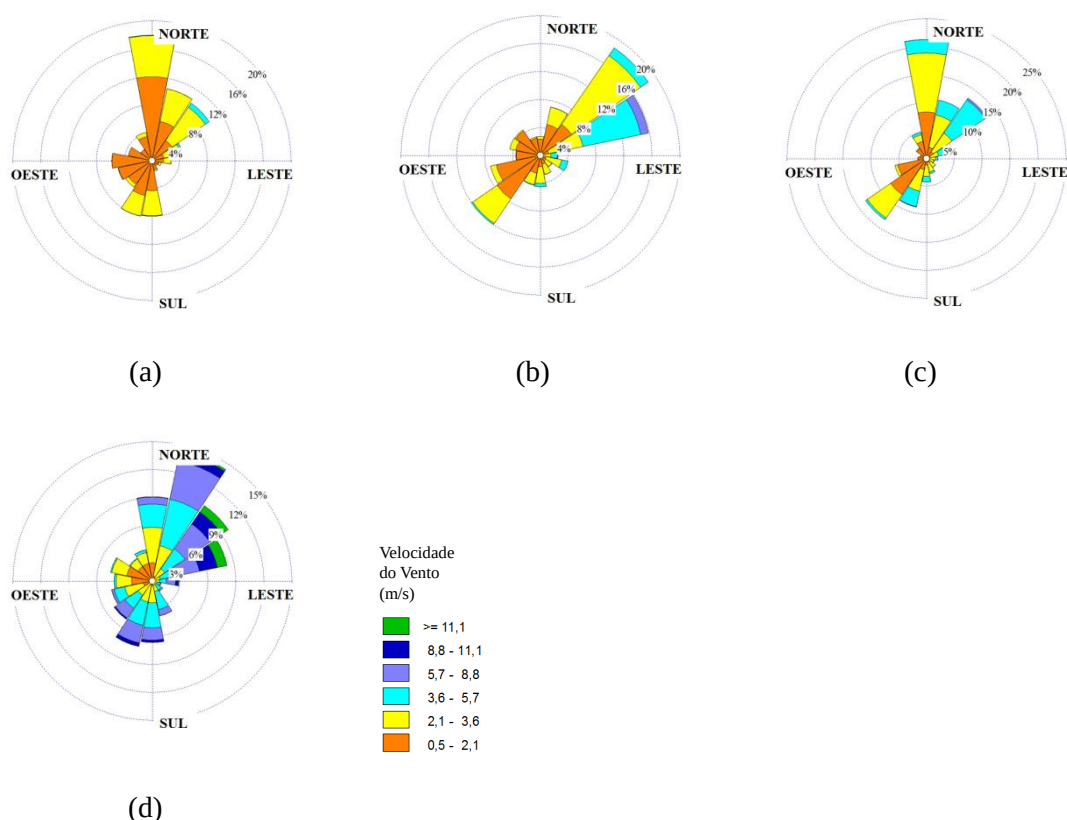


Figura 6.10. Rosa dos ventos anual nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibes; e (d) Aeroporto.

É possível observar na Figura 6.11, a frequência de ocorrência de velocidade do vento em 2010 na RMGV. Optou-se por utilizar apenas a estação do Aeroporto que representa uma melhor condição de vento para análises de circulações locais (mesoescala) e sem interferências da área urbana. Observa-se que em 2010 houve a predominância de ventos em quatro faixas de velocidade: 15,4% se encontram entre as velocidades 0,5 e 2,1 m/s, 23 % entre 2,1 e 3,6 m/s, 24% entre 3,6 e 5,7 m/s e em menor proporção, aproximadamente 17% das velocidades se encontram entre 5,7 e 8,8 m/s. Cerca dos 20% restantes estão distribuídos entre calmaria e velocidades acima de 8,8 m/s. De acordo com a classificação de intensidade dos ventos de Beaufort, a velocidade média do vento da Estação Aeroporto (3,9 m/s) apresenta grau 3, classificada como brisa fraca.

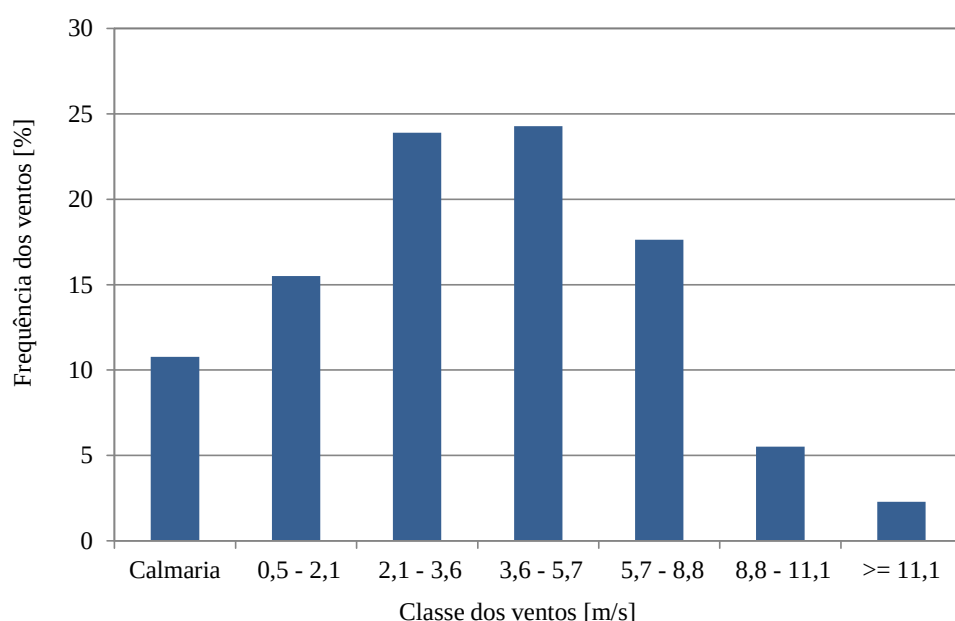


Figura 6.11. Distribuição de frequência de ocorrência das classes de vento na Estação Aeroporto.

As Figuras 6.12 a 6.23 apresentam as rosas dos ventos para os meses de janeiro a dezembro de 2010. Pode-se notar a predominância dos ventos norte-nordeste entre janeiro e fevereiro nas estações de Carapina, Ibes e Aeroporto, já a estação da Enseada do Suá as direções predominantes foram nas direções nordeste-leste. A partir de março os ventos começaram a mudar de direção, apresentando ventos oriundos também da direção sul-sudoeste-oeste. A climatologia local apresenta ventos de nordeste entre janeiro e março, ventos de sudoeste entre abril e julho e ventos de nordeste de agosto a dezembro. Com o enfraquecimento dos ventos de norte-nordeste a partir de abril, a estação da Enseada do Suá apresentou comportamento semelhante às demais estações, com ventos predominantes do terceiro quadrante. Apenas em

julho as altas frequências nas direções predominantes norte e sul começam a surgir (Figura 6.17).

A partir do mês de agosto, a direção predominante do vento torna-se novamente norte e nordeste, mantendo-se até dezembro (padrão climatológico da região). Essa variação no regime de vento local acontece devido às alterações das características climatológicas da ASAS.

Segundo Cavalcanti *et al.* (2009), a alta subtropical oscila meridionalmente em função da época do ano, seguindo a marcha anual da radiação solar. No verão, esse sistema encontra-se mais ao sul e deslocado zonalmente para leste, menos intenso, e com valor médio de 1009 mbar, favorecendo a predominância das direções N-NE. No inverno, a situação é oposta, a ASAS encontra-se mais intensa, com valores médios máximos de 1023 mbar e o centro deslocado mais para o norte e oeste, atingindo assim a costa do Brasil. Esse comportamento climatológico da variação da direção predominante do vento pode ser observado em todas as estações avaliadas neste relatório. Porém, é necessário alguns cuidados ao considerar o uso das estações da RAMQAr para avaliar as condições meteorológicas médias da RMGV, devido o crescimento urbano dos últimos anos, muitas estações estão situadas em locais que causam interferência no monitoramento das variáveis meteorológicas, como a presença física de edificações e barreiras naturais que alteram a dinâmica local dos ventos.

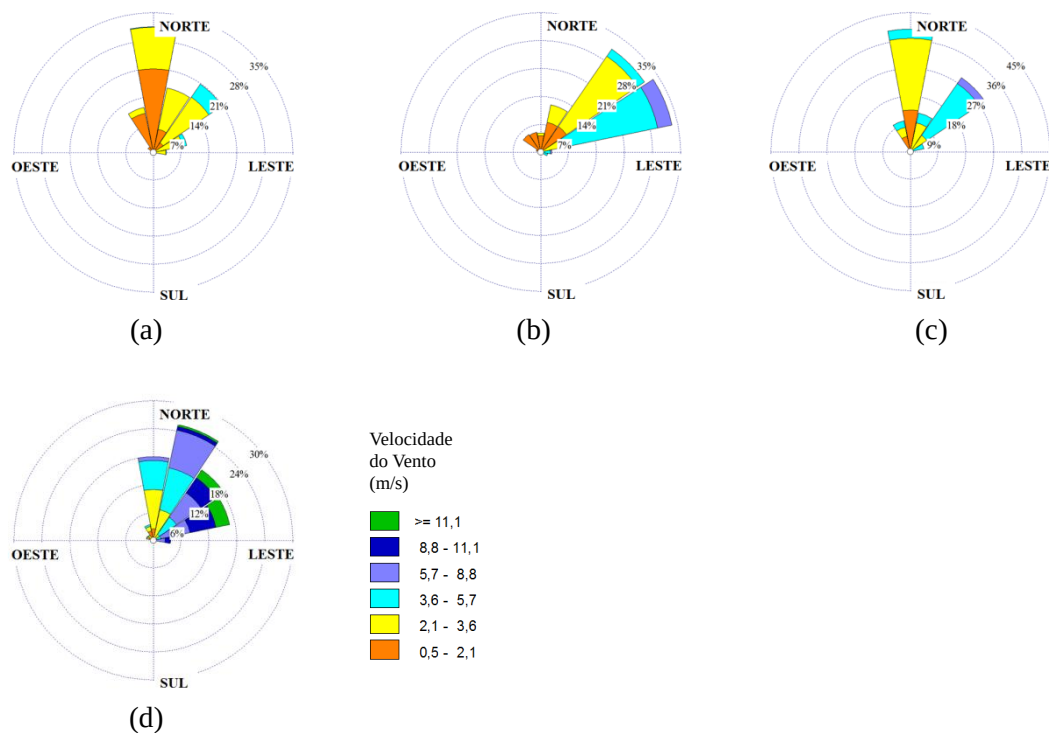


Figura 6.12. Rosa dos ventos para o mês de janeiro nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibex; e (d) Aeroporto.

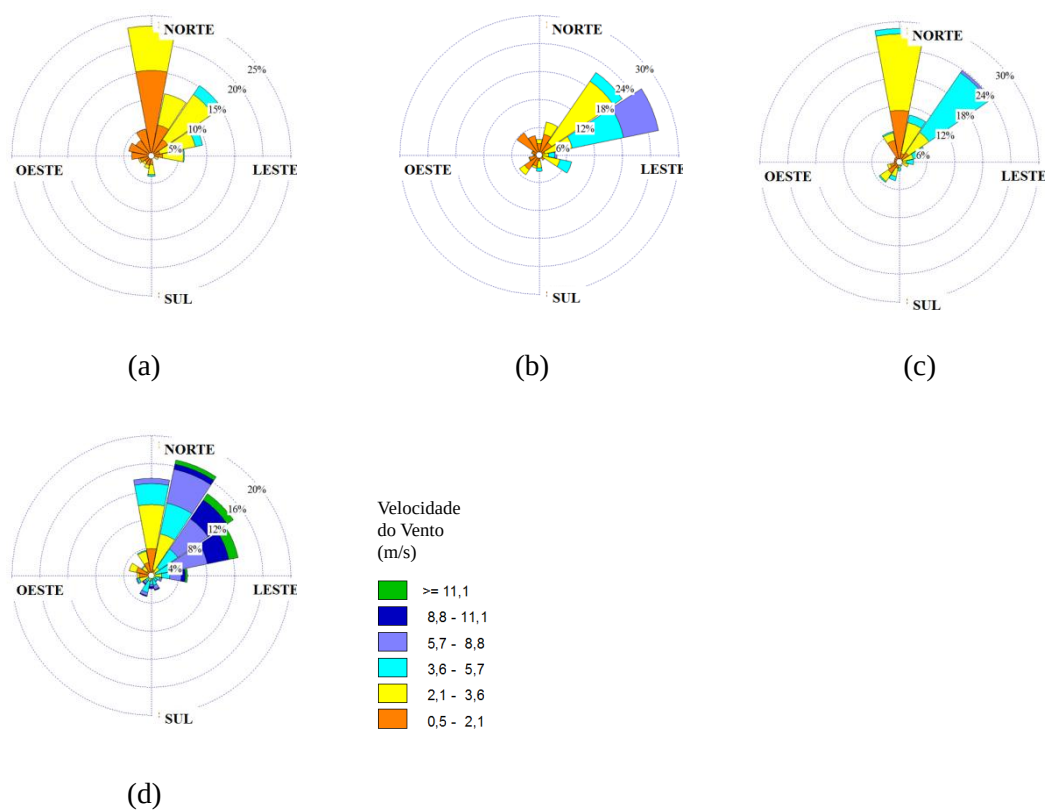


Figura 6.13. Rosa dos ventos para o mês de fevereiro nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibes; e (d) Aeroporto.

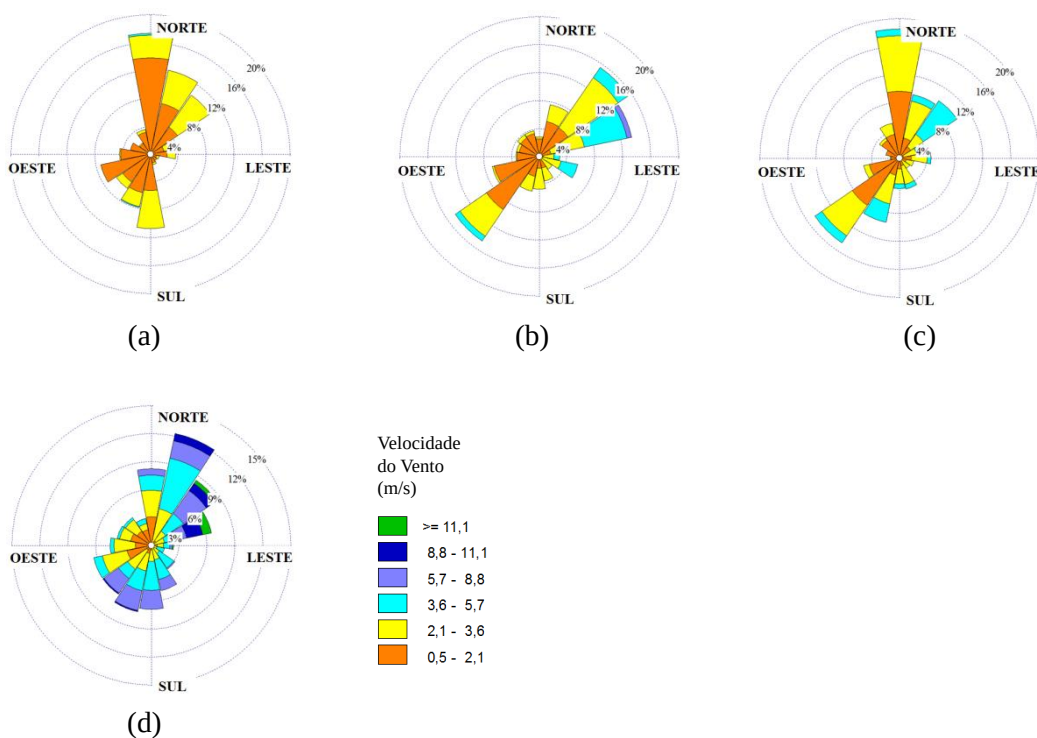


Figura 6.14. Rosa dos ventos para o mês de março nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibes; e (d) Aeroporto.

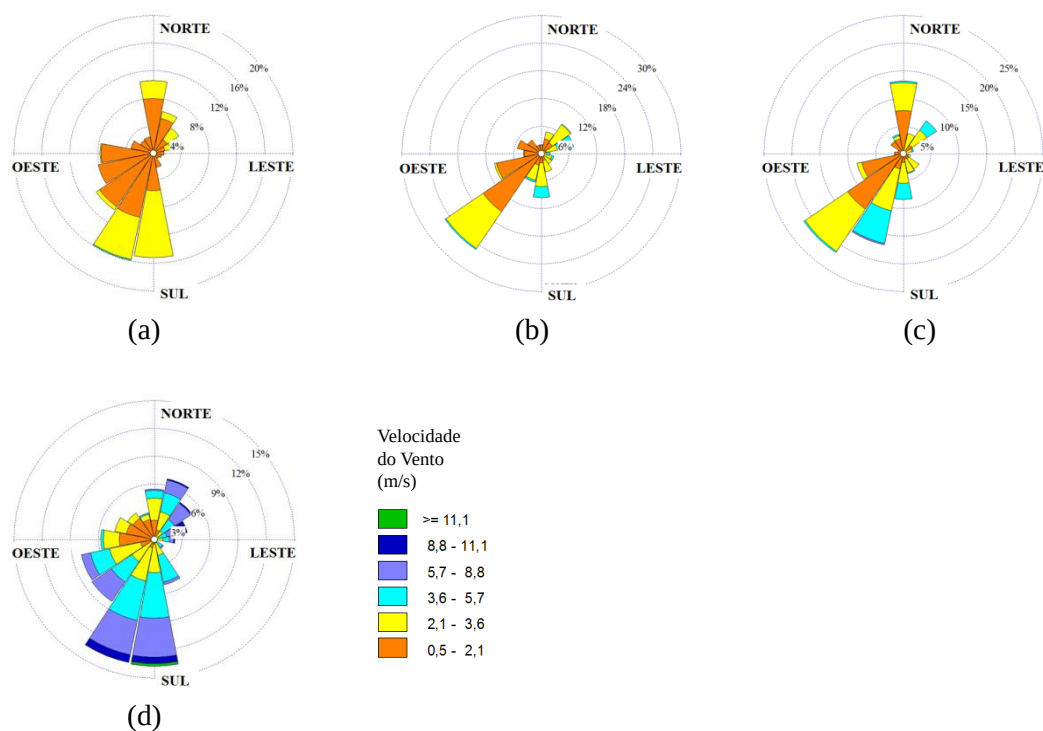


Figura 6.15. Rosa dos ventos para o mês de abril nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibes; e (d) Aeroporto.

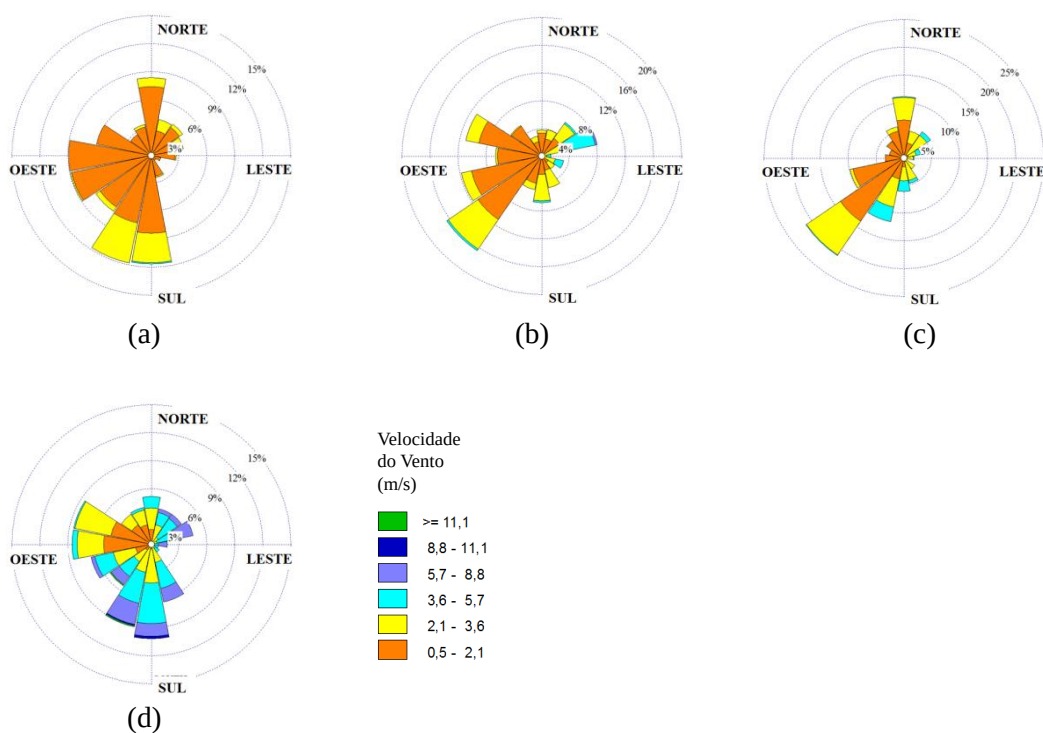


Figura 6.16. Rosa dos ventos para o mês de maio nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibes; e (d) Aeroporto.

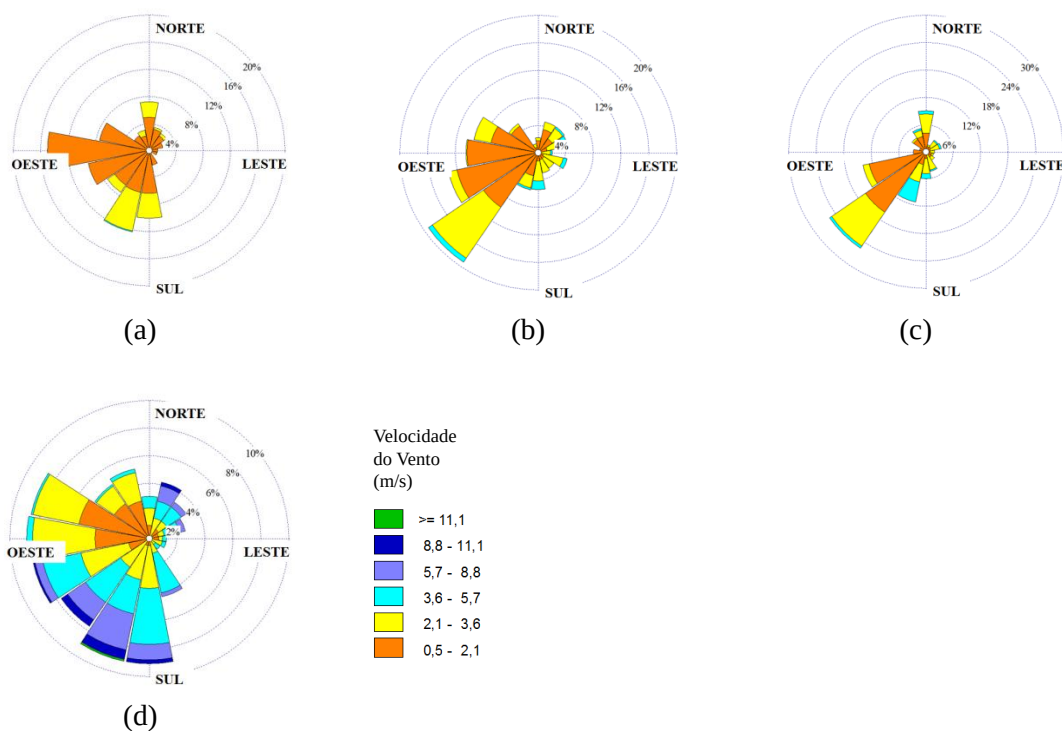


Figura 6.17. Rosa dos ventos para o mês de junho nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibes; e (d) Aeroporto.

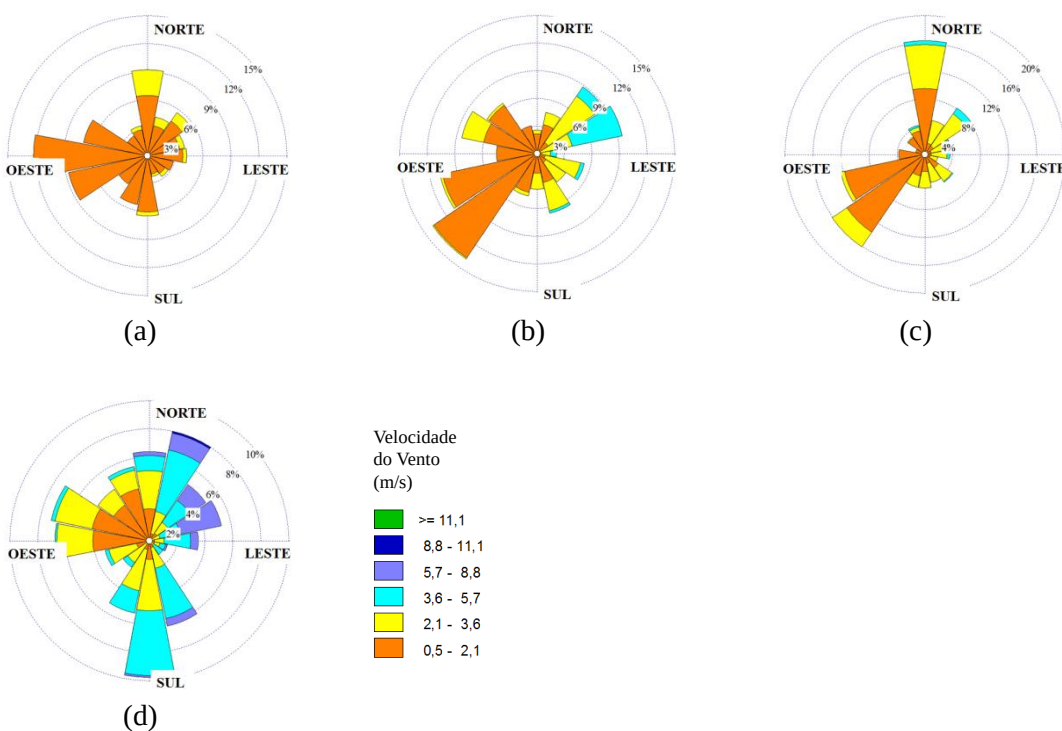


Figura 6.18. Rosa dos ventos para o mês de julho nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibes; e (d) Aeroporto.

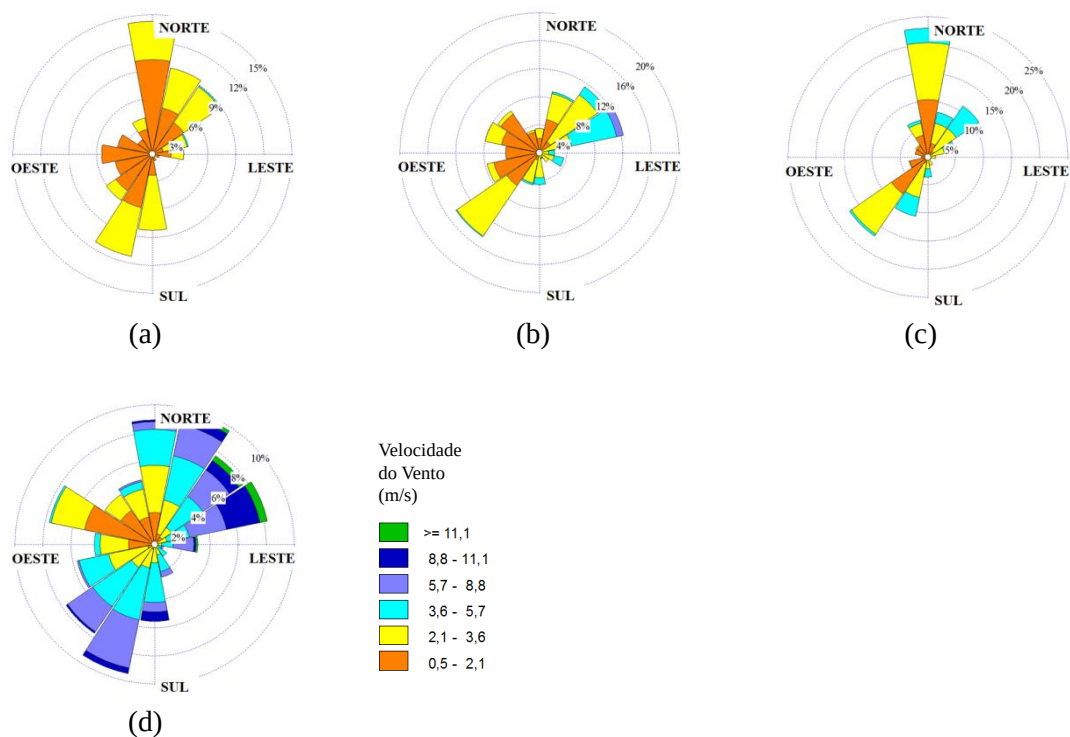


Figura 6.19. Rosa dos ventos para o mês de agosto nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibés; e (d) Aeroporto.

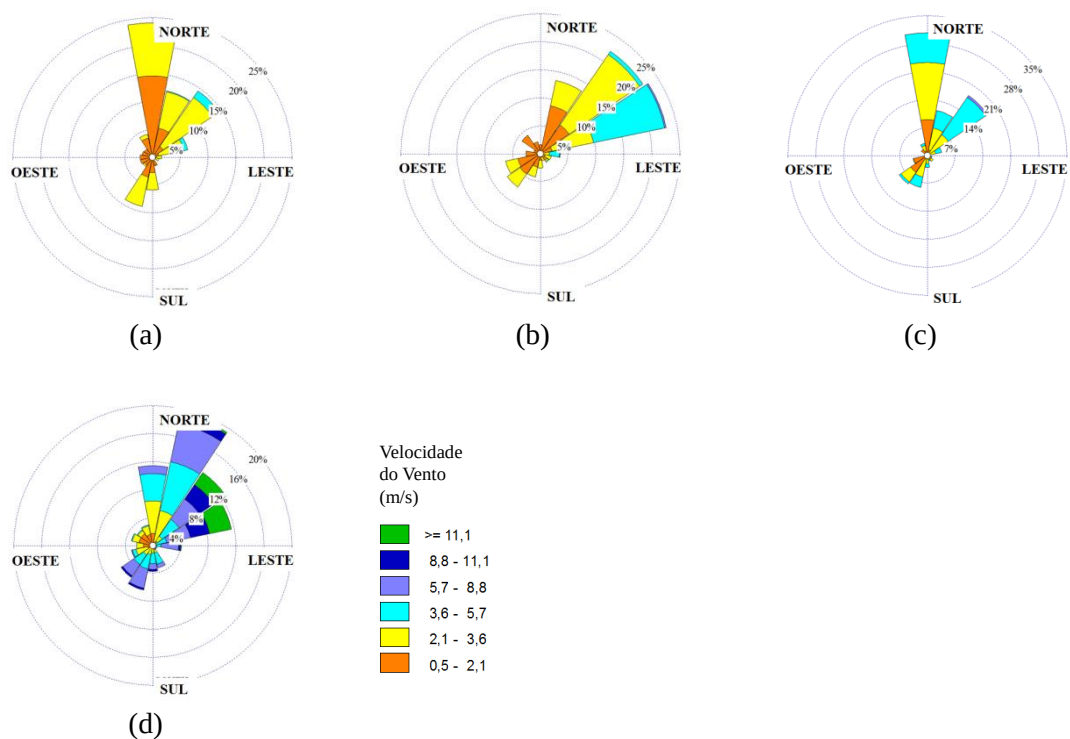


Figura 6.20. Rosa dos ventos para o mês de setembro nas Estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibés; e (d) Aeroporto.

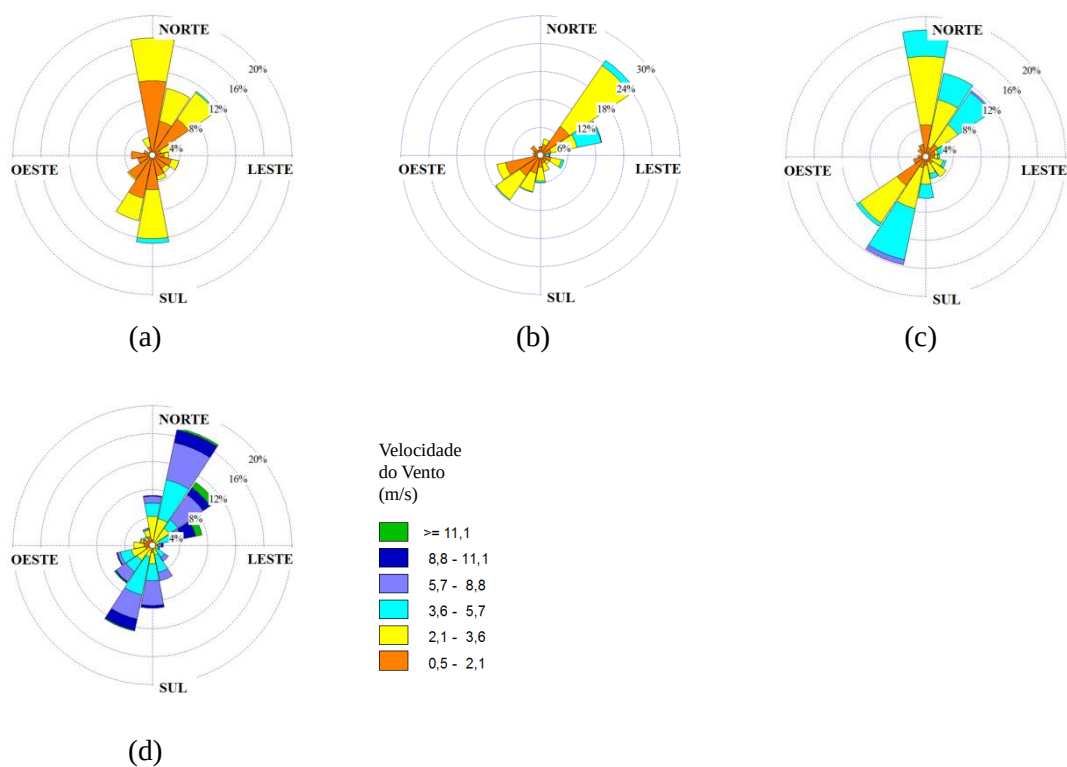


Figura 6.21. Rosa dos ventos para o mês de outubro nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibes; e (d) Aeroporto.

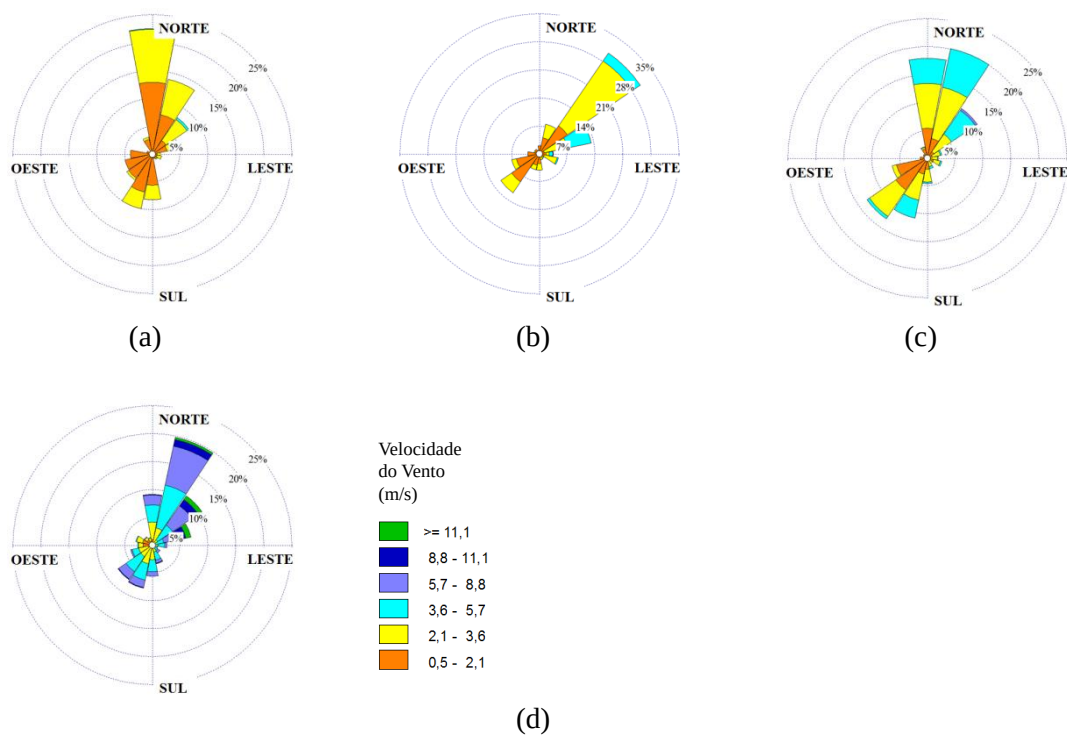


Figura 6.22. Rosa dos ventos para o mês de novembro nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibes; e (d) Aeroporto.

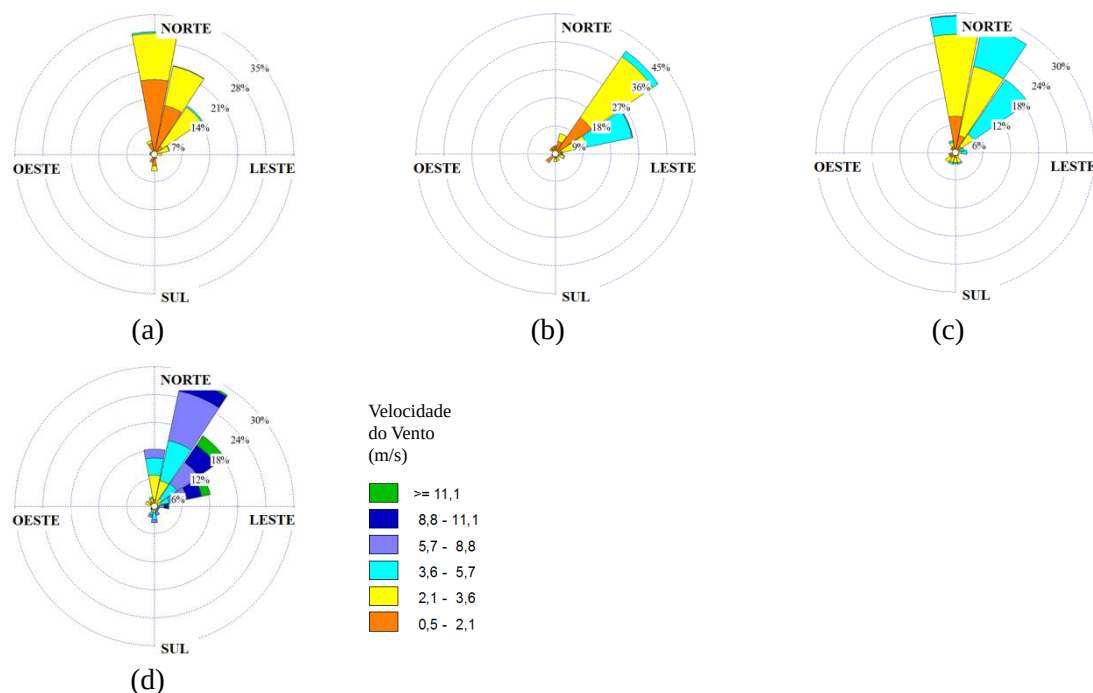


Figura 6.23. Rosa dos ventos para o mês de dezembro nas estações: (a) Carapina; (b) Enseada do Suá; (c) Ibes; e (d) Aeroporto.

Com o objetivo de identificar as condições de dispersão atmosférica na RMGV em 2010, foi elaborada uma metodologia baseada nos critérios utilizados pela CETESB (2013) para a classificação de dias desfavoráveis, a qual considera apenas as condições meteorológicas para dispersão de poluentes primários. Os critérios para identificar dias desfavoráveis à dispersão adotados neste relatório são: (i) porcentagem de calmaria (velocidade do vento inferior a 0,5 m/s) durante o dia maior ou igual 25%; (ii) ausência de precipitação; e (iii) ambos os critérios devem ser atendidos simultaneamente.

Considerando os critérios acima descritos, foram identificados 34 dias desfavoráveis à dispersão de poluentes na RMGV durante o ano de 2010, sendo as maiores ocorrências nos meses de inverno. Em maio foram registrados cinco dias desfavoráveis (dias 13, 17, 24, 25, 30), seis dias em junho (dias 17, 18, 21, 22, 25, 29) e cinco dias em julho (dias 6, 7, 20, 30, 31) (Figura 6.24).

Como esperado, o período de inverno apresentou maior número de horas desfavoráveis à dispersão de poluentes. Lembrando que 2010 choveu aproximadamente 130 mm acima da normal climatológica e o período com deficiência hídrica foi de agosto a outubro. Os meses que apresentaram o maior número de horas desfavoráveis foram maio, junho, julho e agosto, meses que são considerados secos, apresentando menos água no solo, consequentemente, menos evaporação, menos chuva, diminuição de movimentos turbulentos e redução da altura da camada limite que contribuem para a deterioração da qualidade do ar.

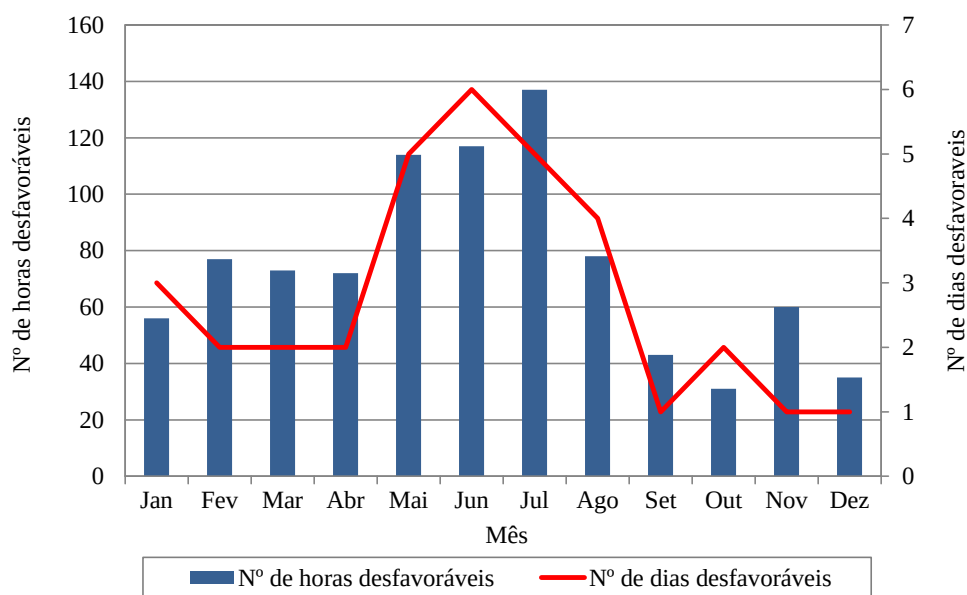


Figura 6.24. Número de horas e dias desfavoráveis à dispersão de poluentes na estação Aeroporto.

7. Qualidade do Ar na RMGV

Este capítulo apresenta e discute os dados de qualidade do ar na RMGV em 2010, estando dividido em 6 seções principais. A Seção 7.1 apresenta os resultados e discussões para material particulado, incluindo os resultados para MP_{10} , PTS e PS. A Seção 7.2 apresenta os resultados e discussões para SO_2 . A Seção 7.3 apresenta os resultados e discussões para NO_2 . A Seção 7.4 apresenta os resultados e discussões para O_3 . A Seção 7.5 apresenta os resultados e discussões para CO. Finalmente, a Seção 7.6 apresenta os resultados e discussões para HC.

7.1. Material particulado

7.1.1. Partículas inaláveis (MP_{10})

Os valores máximos das médias de 24 h (curta exposição) de concentração de MP_{10} foram mais elevados na estação Cariacica ($144,7 \mu g/m^3$), seguida das estações Laranjeiras ($108,9 \mu g/m^3$) e VV-Centro ($100,5 \mu g/m^3$) e mais baixos em Jardim Camburi ($48,6 \mu g/m^3$) (Tabela 7.1 e Figura 7.1). A estação Ibes não apresentou valores representativos das máximas médias calculadas. É importante notar que a diretriz da OMS para curta exposição a MP_{10} é $50 \mu g/m^3$.

Os valores de média anual (longa exposição) também foram mais elevados na estação Cariacica ($44,3 \mu g/m^3$) seguida da estação Laranjeiras ($33,0 \mu g/m^3$) e mais baixos em Jardim Camburi ($22,1 \mu g/m^3$) (Tabela 7.1 e Figura 7.2). Nas estações Ibes e VV-Centro, esses valores não foram representativos devido ao baixo número de dados válidos para o cálculo das médias anuais. É importante notar que a diretriz da OMS para longa exposição a MP_{10} é de $20 \mu g/m^3$ com o qual se verificam menor efeito à saúde.

Tabela 7.1. Valores das máximas médias de 24h e da média anual de concentração de MP_{10} em $\mu g/m^3$ (ano base 2010).

	Laranjeiras	Carapina	Jardim Camburi	Enseada do Suá	VIX-Centro	Ibes	VV - Centro	Cariacica
1a Max.	108,9	70,7	48,6	93,0	76,2	82,1(*)	100,5	144,7
2ª Max.	108,6	70,6	48,4	92,0	74,8	81,6(*)	99,9	143,3
Média aritmética anual	33,0	23,0	22,1	32,2	27,8	31,5(*)	25,3(*)	44,3

(*) valores não representativos.

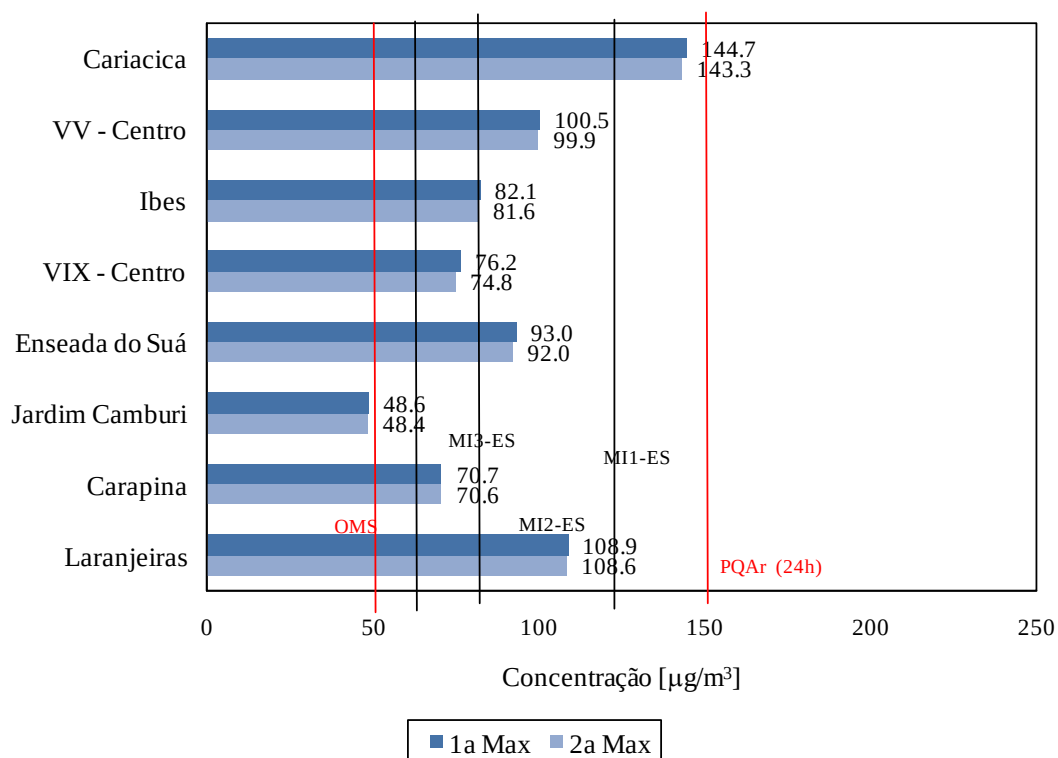


Figura 7.1. Concentração máxima média de 24h de MP_{10} nas estações da RAMQAr (ano base 2010). PQAr indica o padrão nacional de qualidade do ar. MI1-ES, MI2-ES e MI3-ES são as metas intermediárias. OMS representa a diretriz da Organização Mundial de Saúde para o referido poluente, que equivale ao padrão final preconizado na legislação estadual (PF-ES). Valores destacados com * são considerados não-representativos.

Não ocorreu ultrapassagem do Padrão Nacional de Qualidade do Ar para curta exposição ao poluente MP_{10} (Tabela 7.2) durante o ano de 2010. É importante salientar que as concentrações médias de 24 horas são calculadas como médias móveis de 24 horas. Dessa forma, dias com ultrapassagens de padrão são definidos como os dias nos quais pelo menos 1 das médias móveis de 24 horas excedeu o padrão de qualidade.

Ocorreram ultrapassagens do valor indicado como diretriz para curta exposição à MP_{10} pela OMS nas estações Cariacica (165 dias com ultrapassagens), Laranjeiras (56 dias com ultrapassagens), Enseada do Suá (46 dias com ultrapassagens), Carapina (20 dias com ultrapassagens), Ibes (18 dias com ultrapassagens), VV-Centro (11 dias com ultrapassagens) e VIX-Centro (10 dias com ultrapassagens). Assim, ocorreu ultrapassagem em todas as estações, exceto Jardim Camburi. Ocorreu, ainda, ultrapassagem das diretrizes da OMS para longa exposição ao MP_{10} em todas as estações.

A recente legislação estadual sobre metas e padrões de qualidade do ar para o poluente MP_{10} indica três metas intermediárias (MI1, MI2 e MI3) anteriores ao estabelecimento do padrão final para o poluente. Para metas associadas aos efeitos de curta exposição (média 24 horas) ao MP_{10} não houve ultrapassagem dos valores indicados como MI1 ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) em todas as estações da RAMQAr, exceto em Cariacica (2 dias com ultrapassagens). É importante notar que o valor de concentração de MP_{10} apresentado como MI1 é o padrão de qualidade do ar atual conforme indicado na referida legislação. Houve ultrapassagem de MI2 ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e MI3 ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nas estações Cariacica (respectivamente, 36 e 101 dias), Laranjeiras (respectivamente, 2 e 24 dias), Enseada do Suá (respectivamente, 2 e 18 dias), VV-Centro (respectivamente, 4 e 8 dias) e Ibes (1 e 4 dias). Além disso, a meta MI3 foi também ultrapassada nas estações VIX-Centro (4 dias) e Carapina (4 dias). Para metas intermediárias associadas aos efeitos de longa exposição (média aritmética anual) também não houve ultrapassagem do valor indicado como MI1 ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) em todas as estações da RAMQAr. Para o valor indicado como MI2 ($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$), houve ultrapassagem em Laranjeiras, além de Cariacica. Houve ultrapassagem da MI3 nas estações Enseada do Suá, Ibes, VIX-Centro e VV-Centro, além das estações Cariacica e Laranjeiras. As ultrapassagens em relação ao PF são idênticas àqueles para a diretriz da OMS (para curta e longa exposição) visto que os valores de PF e da diretriz da OMS são idênticos.

Dessa forma, o índice de qualidade do ar (IQA) em 2010 (Figura 7.3) indica que a qualidade do ar pode ser classificada como boa e regular durante todo o período, tendo como referência o poluente MP_{10} , exceto na estação Cariacica, onde a qualidade do ar foi considerada inadequada em menos de 1% do período. É importante notar que o IQA foi calculado com base na MI1, conforme estabelecido na legislação estadual.

A Figura 7.4 apresenta o perfil de concentração média de MP_{10} com relação à direção do vento por meio do gráfico radar. As concentrações médias indicadas no gráfico radar para cada direção representam a concentração média durante o período em que o vento encontra-se na direção indicada.

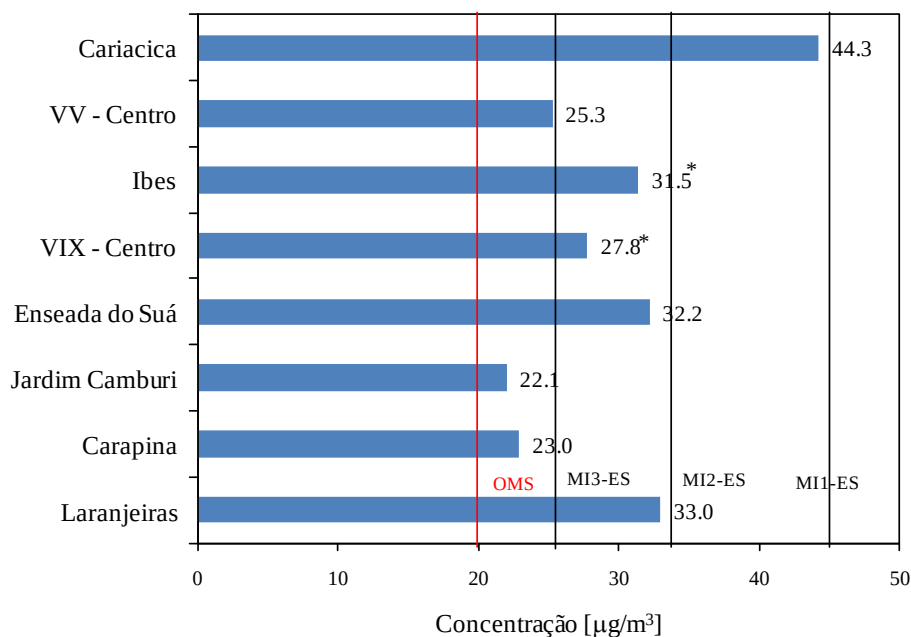


Figura 7.2. Concentração média anual de MP₁₀ nas estações da RAMQAr (ano base 2010). PQAr indica o padrão nacional de qualidade do ar. MI1-ES, MI2-ES e MI3-ES são as metas intermediárias. OMS representa a diretriz da Organização Mundial de Saúde para o referido poluente, que equivale ao padrão final preconizado na legislação estadual (PF-ES). Valores destacados com * são considerados não-representativos.

Pode-se observar a influência da direção do vento nos valores médios de concentração de MP₁₀ monitorados: (i) a estação Laranjeiras apresentou as maiores concentrações de MP₁₀ quando os ventos eram provenientes da direção NE-L, indicando a influência das indústrias do CIVIT próximo à estação. (ii) na estação Jardim Camburi, foram identificadas as maiores concentrações de MP₁₀ associadas às direções do vento NE-L-SE. Isto indica a influência das indústrias localizadas a nordeste da estação e de outras localizadas na Ponta de Tubarão. (iii) na estação Enseada do Suá, observou-se que foram identificadas as maiores concentrações de MP₁₀ quando o vento foi proveniente da direção NE-L-SE. Esse resultado indica a forte influência das fontes localizadas na Ponta de Tubarão e das vias de tráfego intenso nos arredores da estação (Ponte Deputado Darcy Castello de Mendonça). (iv) a estação Vitória Centro apresentou as maiores concentrações de MP₁₀ associadas à direção do vento L. Essa associação indica que a região sofre influência marcante das atividades portuárias. (v) a estação Ibes apresentou as maiores concentrações de partículas MP₁₀ associadas à direção do vento L e NE, verificando-se a influência de obras no entorno (a leste) e das fontes industriais localizadas na Ponta de Tubarão e CIVIT (a nordeste). (vi) na estação VV-Centro, pode verificar-se a influência dos ventos NE-L-SE-S, com certa prevalência do vento nordeste associado às maiores

concentrações. (vii) na estação Cariacica, pode se notar a forte influência dos ventos nas direções O, S e SE sendo associados as maiores concentrações. Finalmente, (viii) na estação Carapina não houve certa influência dos ventos SE-S, revelando a influência das atividades na Ponta de Tubarão.

Tabela 7.2. Número de ultrapassagem dos valores limites de concentração de MP_{10} considerando o padrão nacional (PQAr) e estadual de qualidade do ar e as diretrizes da OMS (ano base 2010).

	Laranjeiras	Carapina	Jardim Camburi	Enseada do Suá	VIX - Centro	Ibes	VV - Centro	Cariacica
Ultrapassagens (curta e longa exposições)								
PQAr primário e secundário (24h)	0	0	0	0	0	0	0	0
PQAr (MAA)	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
MI1-ES (24h)	0	0	0	0	0	0	0	17
MI2-ES (24h)	24	0	0	30	0	11	77	387
MI3-ES (24h)	248	31	0	170	26	47	139	1384
PF-ES (24h) OMS (24h)	718	177	0	512	127	171	209	2361
MI1-ES (MAA)	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
MI2-ES (MAA)	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
MI3-ES (MAA)	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
PF-ES (MAA) OMS (anual)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Número de dias de ultrapassagem (curta exposição)								
MI1-ES (24h)	0	0	0	0	0	0	0	2
MI2-ES (24h)	2	0	0	2	0	1	4	36
MI3-ES (24h)	24	4	0	18	4	4	8	101
PF-ES (24h) OMS (24h)	56	20	0	46	10	18	11	165

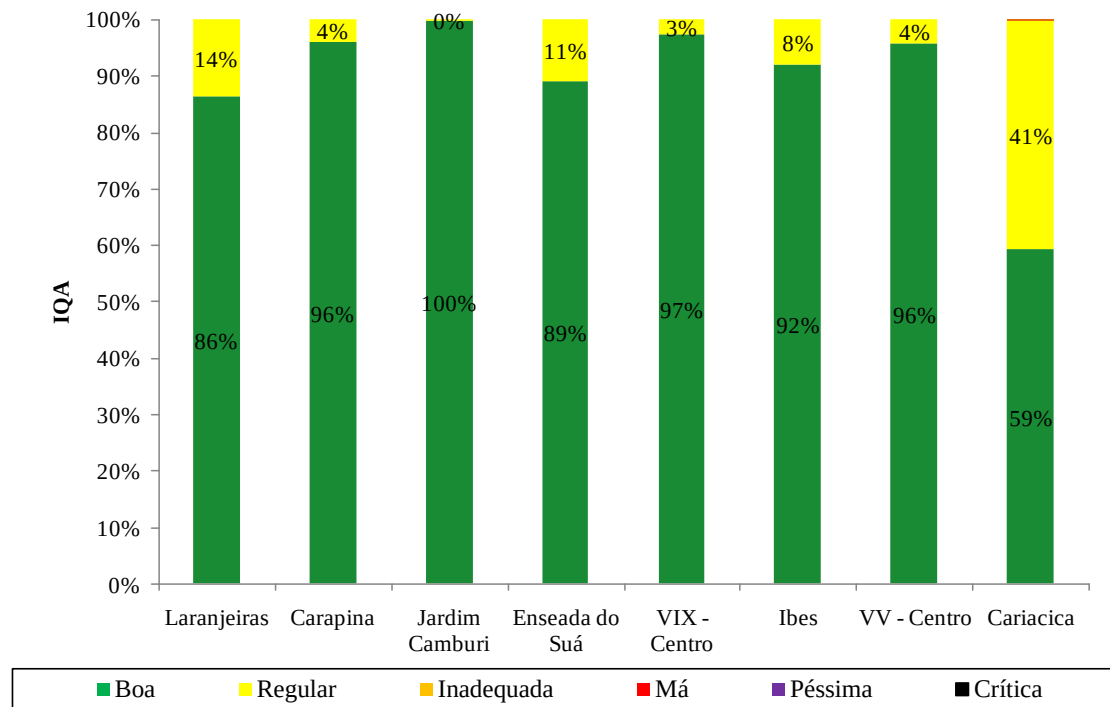


Figura 7.3. Índice de qualidade do ar com referencia ao poluente MP_{10} nas estações da RAMQAr (ano base 2010).

7.1.2. Partículas totais em suspensão (PTS)

Os valores máximos das médias de 24h (curta exposição) de concentração de PTS foram mais elevados nas estações Cariacica ($195,2 \mu g/m^3$) e Laranjeiras ($178,8 \mu g/m^3$), seguidas por Ibes ($145,2 \mu g/m^3$), Enseada do Suá ($141,8 \mu g/m^3$) e VIX–Centro ($127,7 \mu g/m^3$). (Tabela 7.3 e Figura 7.5).

Tabela 7.3. Valores das máximas médias de 24h e da média anual de concentração de PTS em $\mu g/m^3$ (ano base 2010).

	Laranjeiras	Carapina	Jardim Camburi	Enseada do Suá	VIX - Centro	Ibes	Cariacica
1ª Max	178,8	44,3(*)	109,4	141,8	127,7	145,2	195,2
2ª Max	178,4	43,5(*)	109,2	141,3	126,0	144,7	193,7
Media geométrica anual	38,6	18,1(*)	29,7	34,5(*)	36,2	34,4	45,6

(*) valores não representativos.

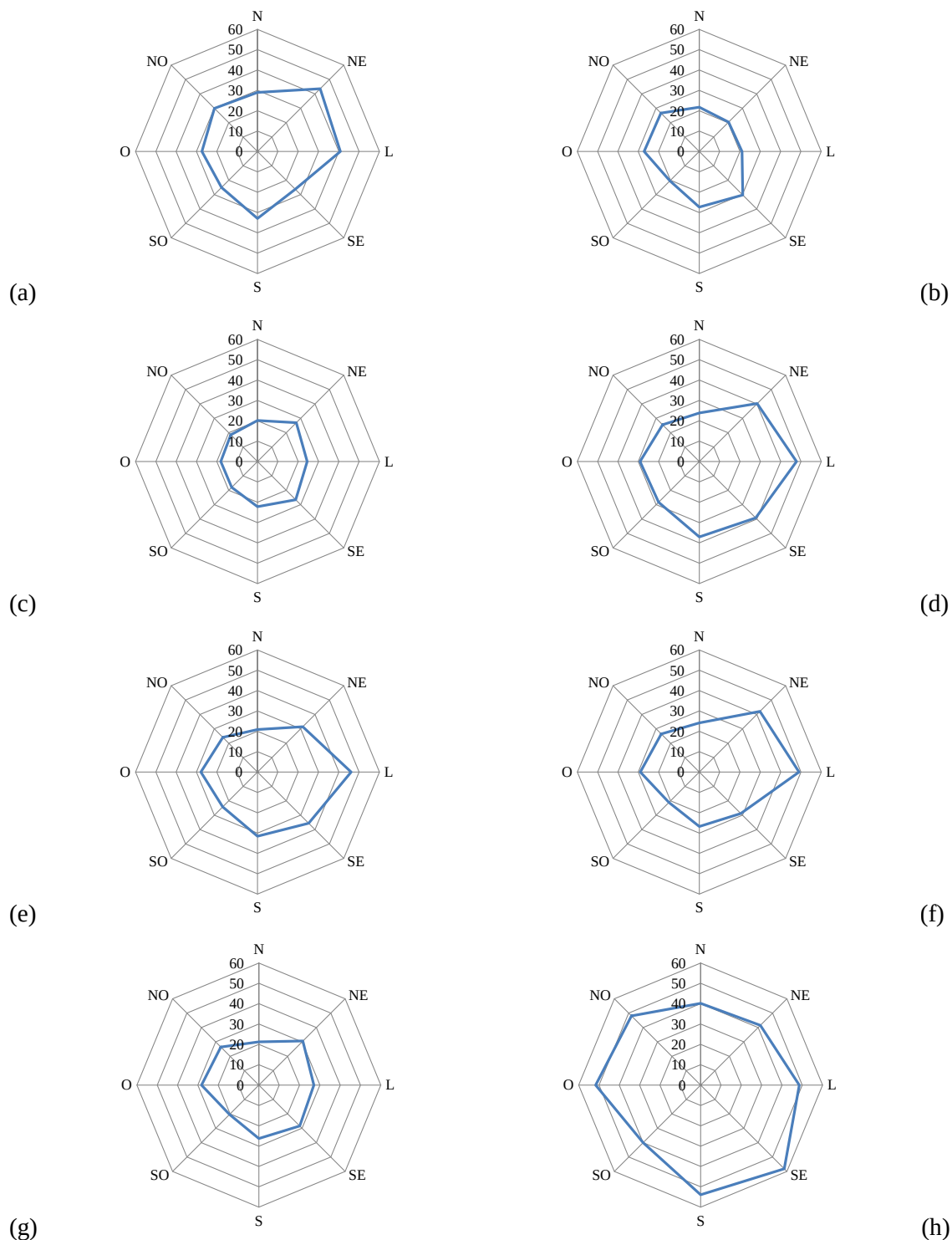


Figura 7.4. Perfil de concentração média de MP_{10} nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento** (gráfico de radar): (a) Laranjeiras; (b) Carapina; (c) Jardim Camburi; (d) Enseada do Suá; (e) VIX-Centro; (f) Ibes; (g) VV-Centro; e (h) Cariacica.

** Utilizado os dados de direção do vento da estação SBVT 83649 – Aeroporto de Vitória.

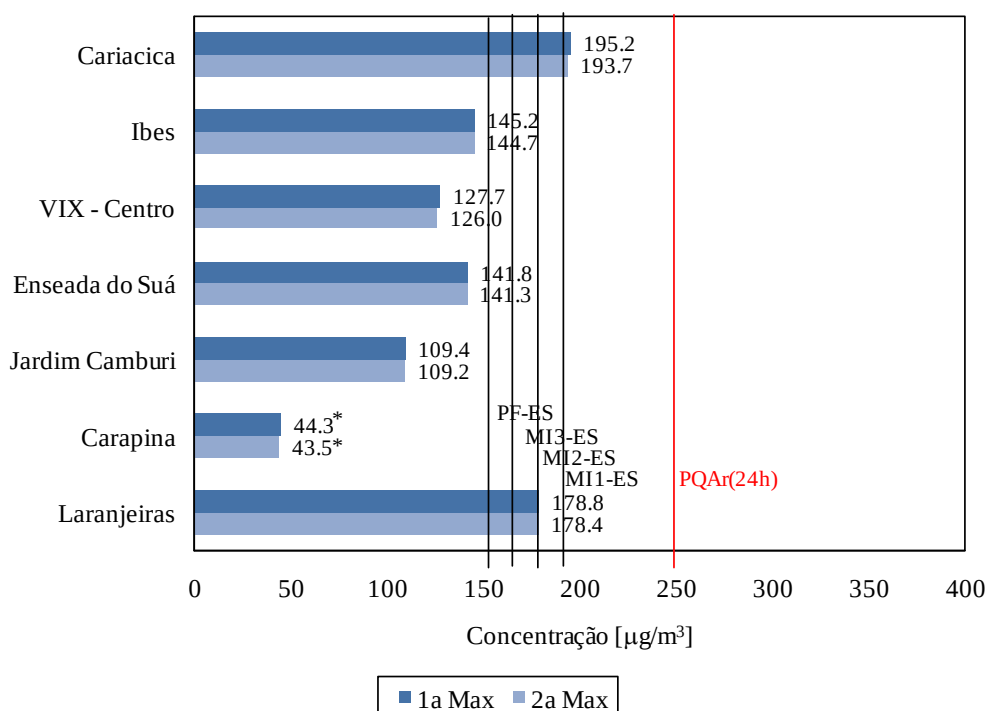


Figura 7.5. Concentração máxima média de 24h de PTS nas estações da RAMQAr (ano base 2010). PQAr indica o padrão nacional de qualidade do ar. MI1-ES, MI2-ES e MI3-ES são as metas intermediárias e PF-ES é o padrão final preconizado na legislação estadual. Valores destacados com * são considerados não-representativos.

Os valores de média anual (longa exposição) também foram mais elevados na estação Cariacica ($45,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguida por Laranjeiras ($38,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), VIX-Centro ($36,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Ibes ($34,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e mais baixos em Jardim Camburi ($29,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Tabela 7.3 e Figura 7.6). Os valores máximos na estação Carapina e as médias anuais nas estações Carapina e Enseada do Suá não foram representativos devido ao baixo número de dados válidos para o cálculo desses valores.

Ocorreu ultrapassagem do padrão nacional secundário nas estações Cariacica (5 dias) e Laranjeiras (2 dias) durante o ano de 2010 para o poluente PTS para curta exposição (Tabela 7.4). Não houve ultrapassagem do padrão nacional para longa exposição ao PTS em todas as estações em 2010.

A meta intermediária MI1 ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) prevista na legislação estadual de 2013 associada aos efeitos de curta exposição (média móvel 24 horas) ao PTS foi ultrapassada na estação Cariacica (2 dias com ultrapassagens). As metas MI2 ($170 \mu\text{g}/\text{m}^3$), MI3 ($160 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e o padrão final ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para curta exposição ao PTS foram ultrapassadas em 2, 3 e 5 dias na estação Cariacica durante 2010, respectivamente. Enquanto na estação Laranjeiras, foram apenas duas

ultrapassagens de cada um desses valores referenciais. Não houve ultrapassagem das metas intermediárias e padrão final para longa exposição ao PTS em todas as estações em 2010.

Dessa forma, o índice de qualidade do ar (IQA) em 2010 (Figura 7.7) indica que a qualidade do ar pode ser classificada como boa e regular durante todo o período, tendo como referência o poluente PTS, exceto na estação Cariacica onde o índice de qualidade do ar foi considerado inadequado durante menos de 1% do período.

A Figura 7.8 apresenta o perfil de concentração média de PTS com relação à direção do vento por meio do gráfico radar. Pode-se observar a influência da direção do vento nos valores médios de concentração de PTS: (i) a estação Laranjeiras apresentou as maiores concentrações horárias de PTS quando com ventos provenientes da direção NE e L, indicando a influência das indústrias do CIVIT localizadas próximo à estação e de obras no seu entorno. (ii) na estação Jardim Camburi são identificadas as maiores concentrações de PTS associadas às direções do vento SE-S, indicando que há também influência das indústrias localizadas na Ponta de Tubarão. (iii) na estação Enseada do Suá observou-se que as maiores concentrações de PTS também ocorreram com vento proveniente da direção L. Esse resultado indica a forte influência das fontes localizadas na Ponta de Tubarão e das vias de tráfego intenso nos arredores da estação (Ponte Deputado Darcy Castello de Mendonça). (iv) a estação VIX-Centro apresentou as maiores concentrações de PTS (e de MP_{10}) associadas à direção do vento L. Essa associação indica também que a região sofre influência das atividades portuárias. (v) a estação Ibes apresentou as maiores concentrações de PTS associadas à direção do vento NE-L. Logo, verifica-se a influência das fontes industriais localizadas na Ponta de Tubarão associadas com as fontes veiculares e obras locais. (vi) os maiores valores de concentração na estação Cariacica estão associados às direções de vento O e S-SE-L devido às vias de tráfego e as obras do entorno. Finalmente, (vii) na estação Carapina não houve tendência marcada.

Tabela 7.4. Número de ultrapassagem dos valores limites de concentração de PTS considerando o padrão nacional (PQAr) e estadual de qualidade do ar (ano base 2010).

	Laranjeiras	Carapina	Jardim Camburi	Enseada do Suá	VIX - Centro	Ibes	Cariacica
Número de ultrapassagens (curta e longa exposições)							
PQAr primário (24h)	0	0	0	0	0	0	0
PQAr secundário (24h)	22	0	0	0	0	0	46
PQAr primário (anual)	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
PQAr secundário (anual)	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
MI1-ES (24h)	0	0	0	0	0	0	10
MI2-ES (24h)	16	0	0	0	0	0	16
MI3-ES (24h)	20	0	0	0	0	0	27
PF-ES (24h)	22	0	0	0	0	0	46
MI1-ES (MGA)	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
MI2-ES (MGA)	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
MI3-ES (MGA)	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
PF-ES (MGA)	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Número de dias de ultrapassagens (curta exposição)							
PQAr primário (24h)	0	0	0	0	0	0	0
PQAr secundário (24h)	2	0	0	0	0	0	5
MI1-ES (24h)	0	0	0	0	0	0	2
MI2-ES (24h)	2	0	0	0	0	0	2
MI3-ES (24h)	2	0	0	0	0	0	3
PF-ES (24h)	2	0	0	0	0	0	5

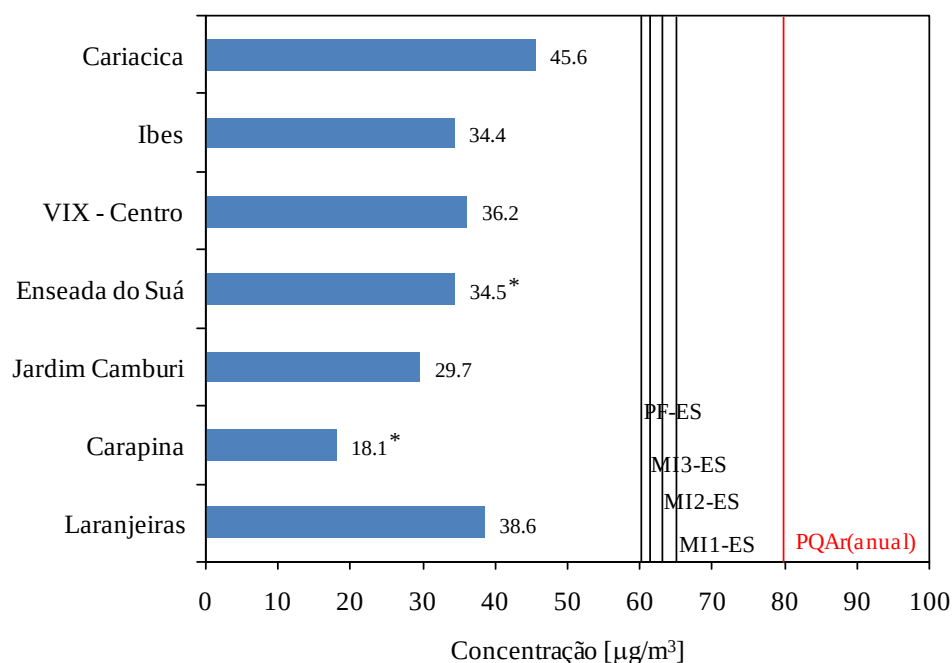


Figura 7.6. Concentração média anual de PTS nas estações da RAMQAr (ano base 2010). PQAr indica o padrão nacional de qualidade do ar. MI1-ES, MI2-ES e MI3-ES são as metas intermediárias e PF-ES é o padrão final preconizado na legislação estadual. Valores destacados com * são considerados não-representativos.

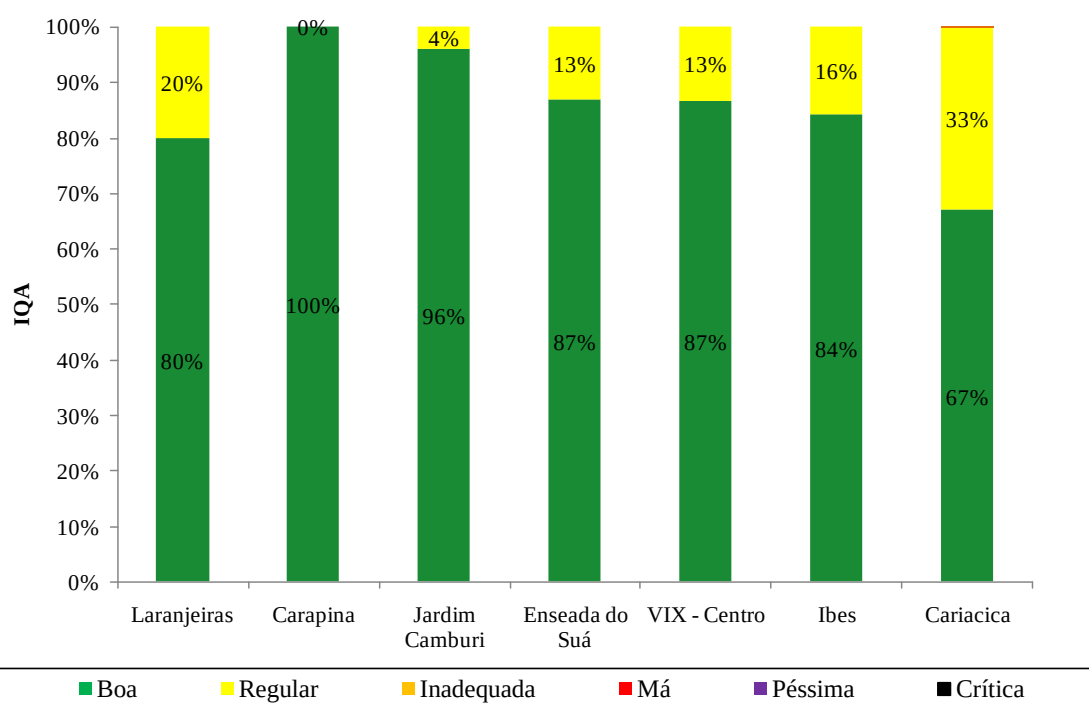


Figura 7.7. Índice de qualidade do ar com base no poluente PTS nas estações da RAMQAr (ano base 2010).

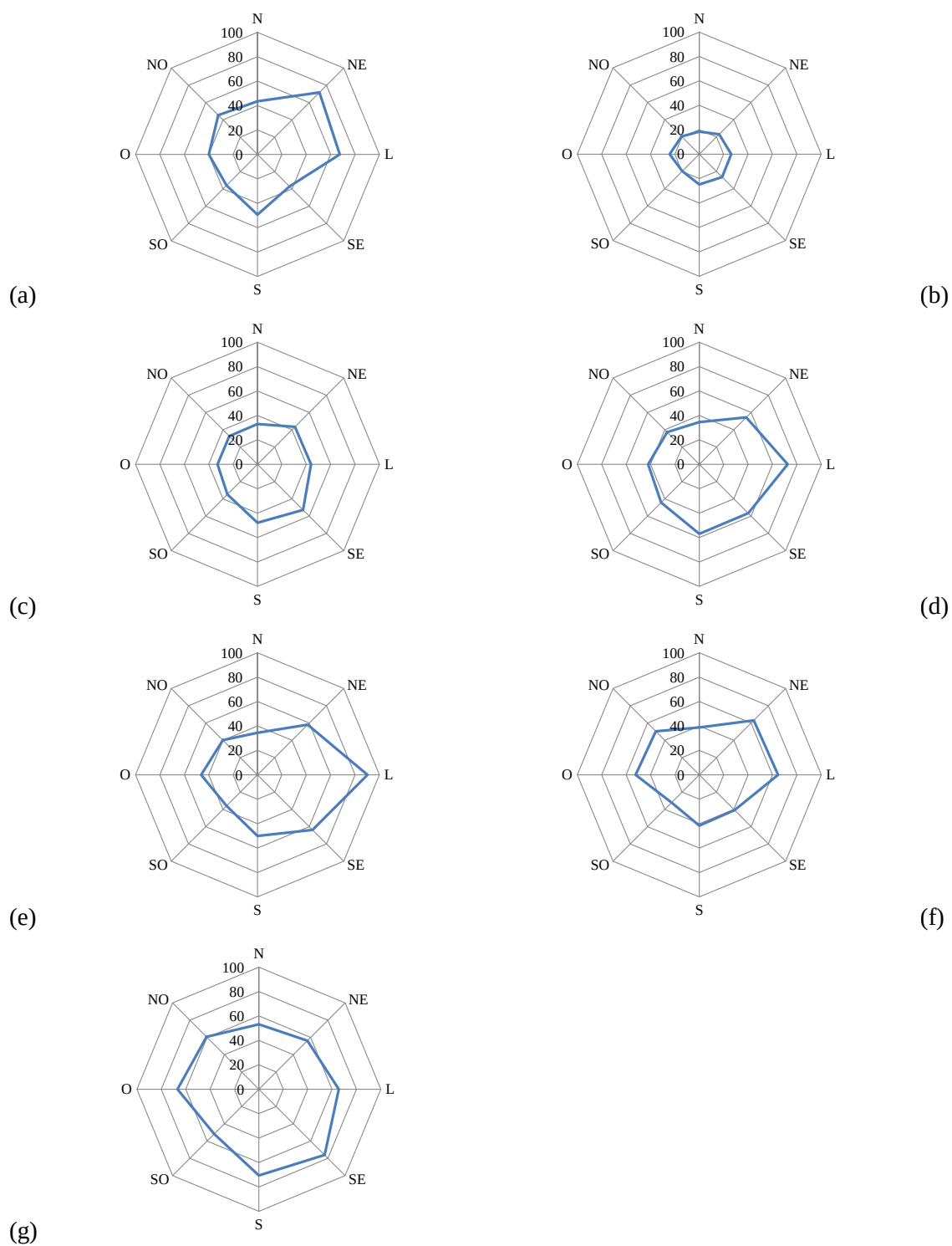


Figura 7.8. Perfil de concentração média horária de PTS nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento** (gráfico de radar): (a) Laranjeiras; (b) Carapina; (c) Jardim Camburi; (d) Enseada do Suá; (e) VIX-Centro; (f) Ibes e (g) Cariacica.

** Utilizado os dados de direção do vento da estação SBVT 83649 – Aeroporto de Vitória.

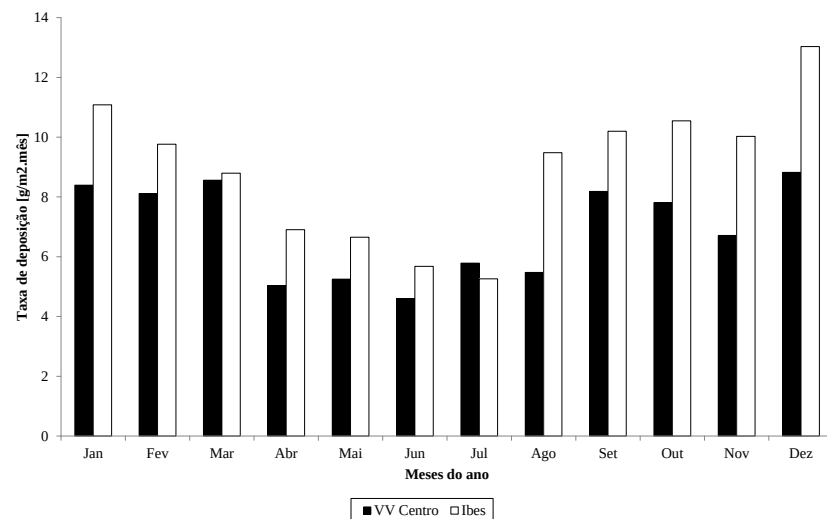
7.1.3. Partículas sedimentadas (PS)

A medição das partículas sedimentadas é realizada mensalmente como taxa de deposição por unidade de área durante o período de 30 dias. Pode se observar na Figura 7.9 que os maiores valores da taxa de deposição foram encontrados: (i) na estação Laranjeiras em janeiro e dezembro, (ii) na estação Banca Central em novembro e dezembro e (iii) na estação Enseada do Suá no mês de fevereiro quando foi ultrapassado o valor de $14 \text{ g/m}^2/30 \text{ dias}$. Os valores de taxa de deposição de PS foram superiores a $10 \text{ g/m}^2/30 \text{ dias}$ durante os meses de (i) janeiro, setembro, outubro, novembro e dezembro na estação Ibes, (ii) janeiro, setembro, outubro e dezembro, na estação Laranjeiras; (iii) em todos os meses, exceto julho e agosto na estação Enseada do Suá; (iv) janeiro, fevereiro e novembro e dezembro, na estação SENAC; (v) em dezembro na estação Ítalo; (vi) de janeiro a maio e de outubro a dezembro na estação Banca Central; (vii) em setembro e novembro, na estação VIX-Centro e (vi) em janeiro, de março a maio, agosto e de outubro a dezembro, na estação Cariacica. Todas as estações apresentaram valores da taxa de deposição medidos superiores a $5 \text{ g/m}^2/30 \text{ dias}$, exceto as estações SENAC e Ítalo em maio e junho, VV-Centro em junho e na estação Carapina em quase todos os meses.

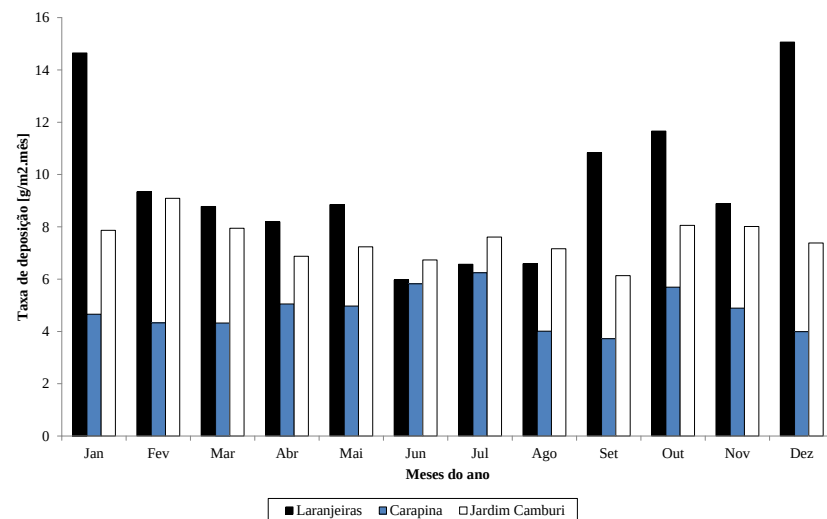
A meta intermediária MI1 estabelecida pela legislação estadual indica valor limite igual a $14 \text{ g/m}^2/30 \text{ dias}$. Assim, foi ultrapassado o valor limite estabelecido na legislação estadual de 2013 nas estações Laranjeiras, Banca Central e Enseada do Suá durante o ano de 2010.

7.2. Dióxido de enxofre (SO₂)

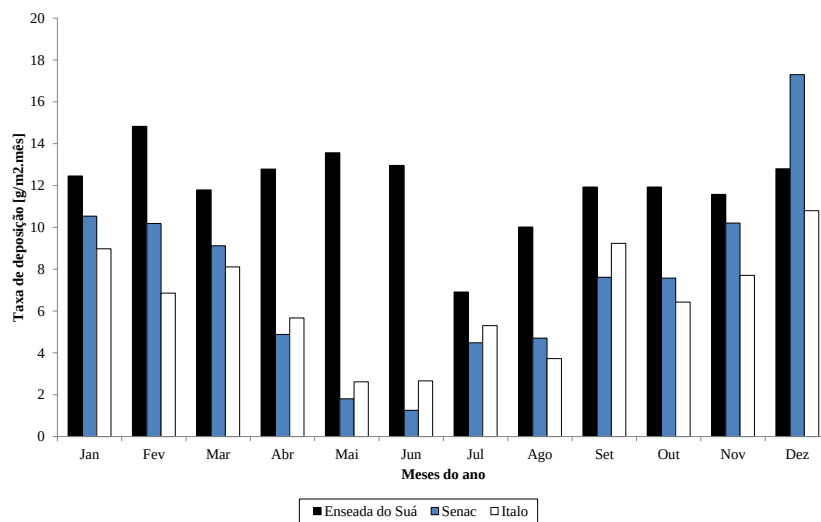
Os valores máximos das médias de 24 horas (curta exposição) de concentração de SO₂ foram mais elevados nas estações Jardim Camburi ($54,7 \text{ } \mu\text{g/m}^3$), Enseada do Suá ($51,6 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) e Laranjeiras ($50,3 \text{ } \mu\text{g/m}^3$), seguidas de VIX-Centro ($45,1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) e Ibes ($35,1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) e mais baixos em Cariacica ($17,3 \text{ } \mu\text{g/m}^3$), considerando que a estação VV-Centro apresentou médias não-representativas (Tabela 7.5 e Figura 7.10). É importante notar que a diretriz da OMS para curta exposição a SO₂ é $20 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Entretanto, a OMS indica também que valores de concentração de SO₂ inferiores a $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ levam a significativa melhora nas condições de saúde da população em geral. Ainda de acordo com a OMS, não é necessário estabelecer uma diretriz para valores de concentração de SO₂ relacionados aos efeitos causados por longa exposição, pois valores suficientemente baixos de concentração média diária garantiriam baixo valor da média anual.



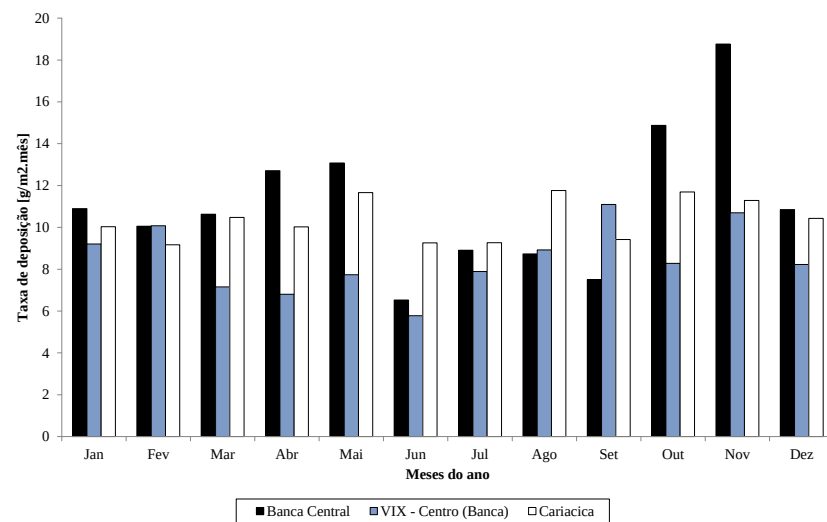
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.9. Taxa de deposição de partículas ($\text{g/m}^2/30$ dias) nas estações de monitoramento de PS (ano base 2010).

Tabela 7.5. Valores das máximas diárias e da média anual de concentração de SO₂ em µg/m³ (ano base 2010).

	Laranjeiras	Jardim Camburi	Enseada do Suá	VIX - Centro	Ibes	VV - Centro	Cariacica
1ª Max	50,3	54,7	51,6	45,1	35,1	22,9(*)	17,3
2ª Max	50,3	54,7	51,3	44,2	34,9	22,8(*)	17,3
Média aritmética anual	12,3	26,0	25,3	20,4	11,6	14,1(*)	7,1

(*) valores não representativos.

Durante o ano de 2010, não ocorreram ultrapassagens do Padrão Nacional de Qualidade do Ar e da meta MI1 para o poluente SO₂ para curta e longa exposições (Tabela 7.6). Entretanto, ocorreram ultrapassagens do valor indicado como diretriz para curta exposição à SO₂ pela OMS em todas as estações, exceto Cariacica. O número de dias de ultrapassagem de PF foi superior a 200 dias nas estações Jardim Camburi, Enseada do Suá e VIX-Centro.

Conforme mencionado anteriormente, a meta intermediária associada aos efeitos de curta exposição (média móvel 24 horas) ao SO₂ prevista na legislação estadual e indicada como MI1 (60 µg/m³) não foi ultrapassada em 2010. As metas intermediárias MI2 (40 µg/m³) e MI3 foram ultrapassadas nas estações Laranjeiras, Jardim Camburi, Enseada do Suá e VIX-Centro e Ibes além da estação VV-Centro que apresentou ultrapassagem somente do PF. É importante ressaltar que o valor de concentração de SO₂ apresentado como MI1 é o valor atualmente válido como padrão na referida legislação. Para metas associadas aos efeitos de longa exposição (média aritmética anual) também não houve ultrapassagem dos valores indicados como MI1 (40 µg/m³) e MI2 (30 µg/m³), entretanto, a meta MI3 (20 µg/m³) foi ultrapassada nas estações Jardim Camburi, Enseada do Suá e VIX-Centro, como pode ser visto na Figura 7.11.

A Figura 7.13 apresenta o perfil de concentração média de SO₂ com relação à direção do vento por meio do gráfico radar. Pode-se observar a influência da direção do vento nos valores de concentração de SO₂ monitorados: (i) nas estações Enseada do Suá, Ibes e VV-Centro observou-se que as maiores concentrações de SO₂ ocorreram associadas à direção do vento NE, indicando a forte influência das fontes localizadas na Ponta de Tubarão e das outras indústrias localizadas mais ao norte sobre as concentrações desse poluente; (ii) em Laranjeiras, as maiores concentrações estão associadas a direção SE-S indicando a influência das indústrias da Ponta de Tubarão; (iii) em VIX-Centro, foi observado que quando as direções eram oriundas da direção L ocorriam altas concentrações de SO₂, indicando a influência das atividades portuárias; (iv) a estação Jardim Camburi indicou maiores concentrações L-SE, novamente indicando a forte influência das fontes localizadas na Ponta de Tubarão sobre as concentrações desse poluente. Finalmente, (v) na estação Cariacica, não houve tendência marcada com indicação da influência

do vento L, provavelmente, transportando o poluente proveniente de indústria siderúrgica localizada a leste dessa estação.

Tabela 7.6. Número de ultrapassagem dos valores limites de concentração de SO₂ considerando o padrão nacional (PQAr) e estadual de qualidade do ar e as diretrizes da OMS (ano base 2010).

	Laranjeiras	Jardim Camburi	Enseada do Suá	VIX - Centro	Ibes	VV - Centro	Cariacica
Ultrapassagens (curta e longa exposições)							
PQAr primário (24h)	0	0	0	0	0	0	0
PQAr secundário (24h)	0	0	0	0	0	0	0
PQAr primário (anual)	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
PQAr secundário (anual)	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
MI1-ES (24h)	0	0	0	0	0	0	0
MI2-ES (24h)	22	270	211	28	0	0	0
MI3-ES (24h)	245	2944	1136	340	55	0	0
PF-ES (24h) OMS (24h)	1625	6355	8095	4041	1007	25	0
MI1-ES (MAA)	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
MI2-ES (MAA)	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
MI3-ES (MAA)	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
Número de dias com ultrapassagem (curta exposição)							
MI1-ES (24h)	0	0	0	0	0	0	0
MI2-ES (24h)	2	24	17	4	0	0	0
MI3-ES (24h)	17	147	80	40	8	0	0
PF-ES (24h) OMS (24h)	86	287	340	238	71	2	0

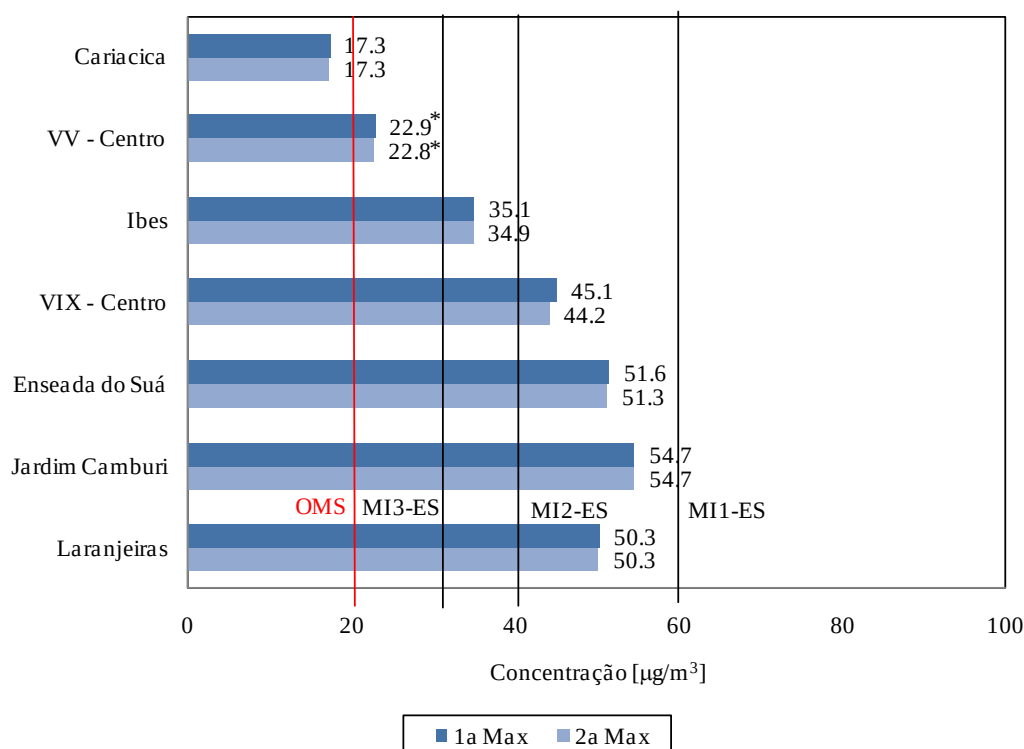


Figura 7.10. Concentração diária máxima de SO_2 nas estações da RAMQAr (ano base 2010). PQAr indica o padrão nacional de qualidade do ar. MI1-ES, MI2-ES e MI3-ES são as metas intermediárias. OMS representa a diretriz da Organização Mundial de Saúde para o referido poluente, que equivale ao padrão final preconizado na legislação estadual (PF-ES). Valores destacados com * são considerados não-representativos.

Dessa forma, o índice de qualidade do ar (IQA) em 2010 (Figura 7.12) indica que a qualidade do ar pode ser classificada como boa durante quase todo o período (>97%), tendo como referencia o poluente SO_2 .

7.3. Dióxido de nitrogênio (NO_2)

Os valores máximos das médias horárias (curta exposição) de concentração de NO_2 foram mais elevados na estação Cariacica ($220,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguido pelas estações VIX-Centro ($123,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Laranjeiras ($115,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Jardim Camburi ($107,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e mais baixo nas estações Ibes ($77,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Enseada do Suá ($75,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Tabela 7.7 e Figura 7.14). É importante notar que a diretriz da OMS para curta exposição a NO_2 é $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Assim, os valores de concentração média horária de NO_2 somente ultrapassaram a diretriz da OMS para curta exposição ao NO_2 na estação Cariacica.

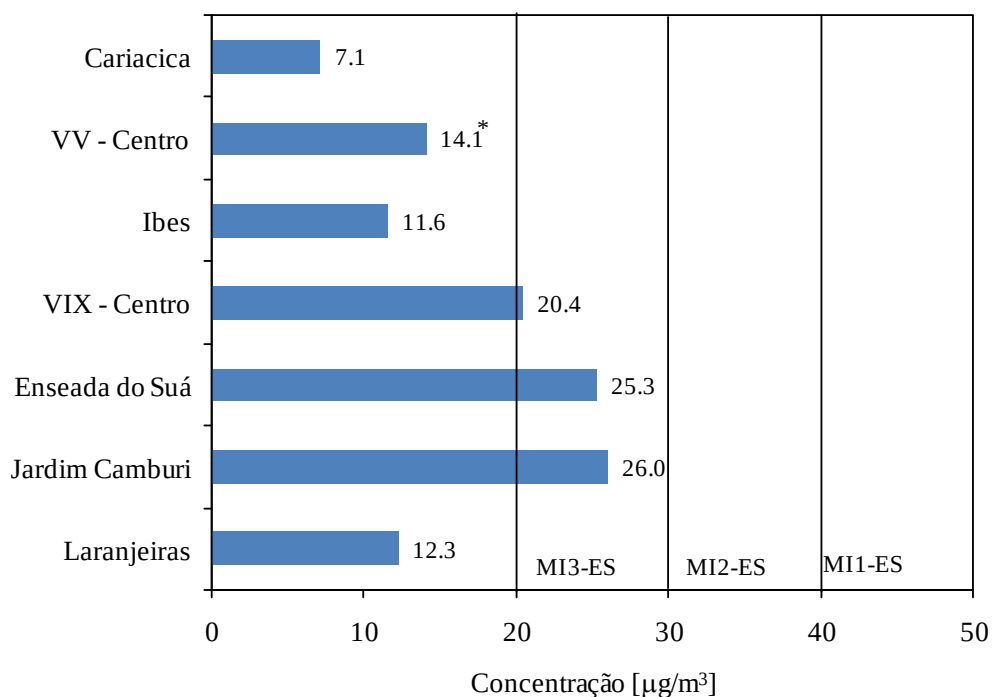


Figura 7.11. Concentração média anual de SO₂ nas estações da RAMQAr (ano base 2010). PQAr indica o padrão nacional de qualidade do ar. MI1-ES, MI2-ES e MI3-ES são as metas intermediárias. Valores destacados com * são considerados não-representativos.

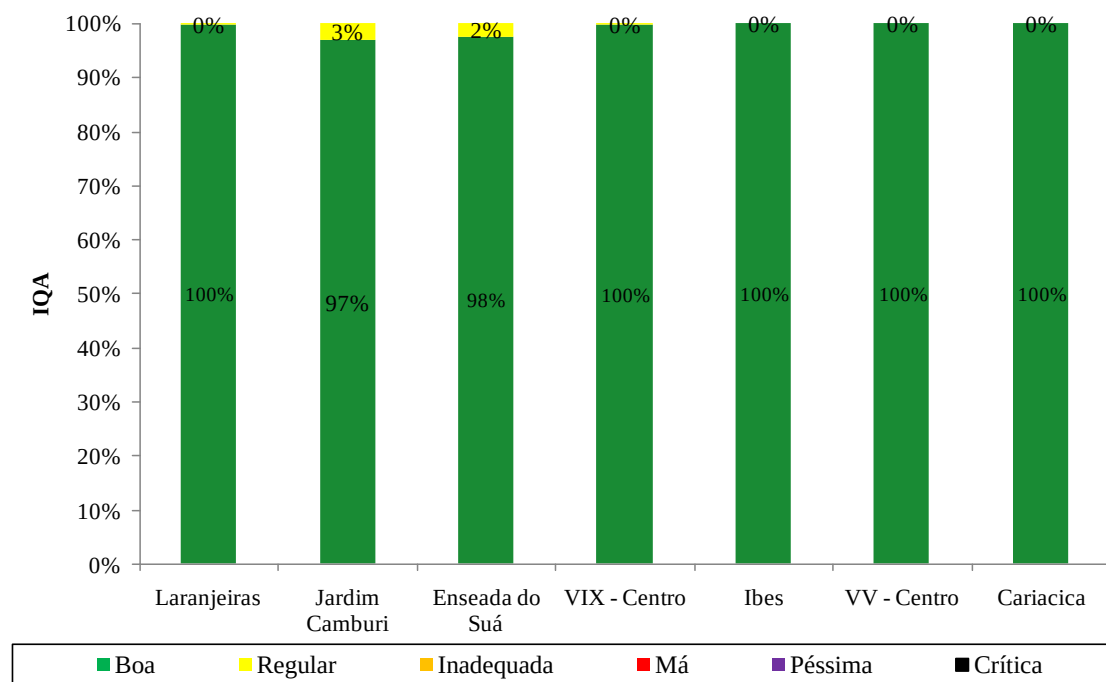


Figura 7.12. Índice de qualidade do ar com referência ao poluente SO₂ nas estações da RAMQAr (ano base 2010).

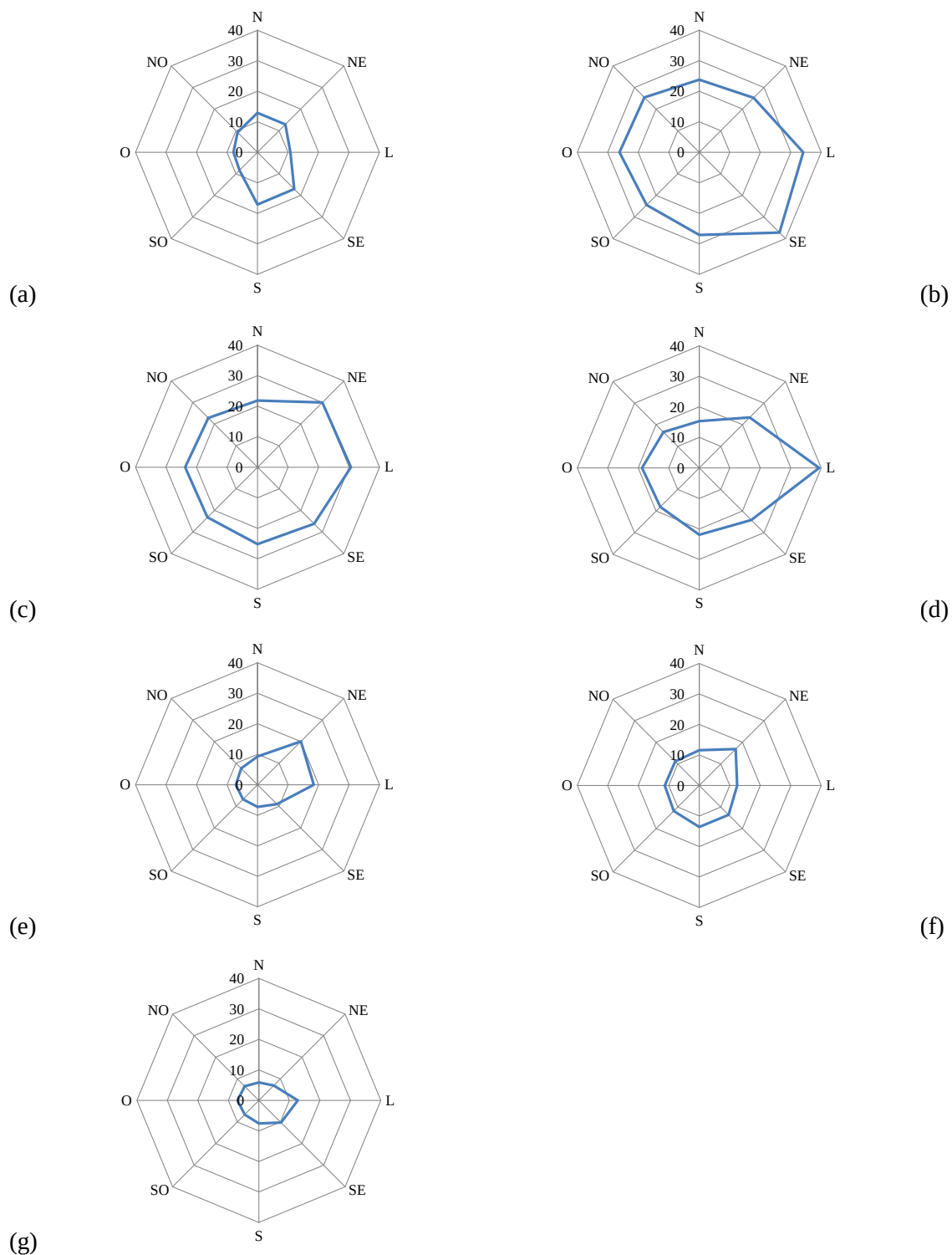


Figura 7.13. Perfil de concentração média horária de SO_2 nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento** (gráfico de radar): (a) Laranjeiras; (b) Jardim Camburi; (c) Enseada do Suá; (d) VIX-Centro; (e) Ibes; e (f) VV-Centro; e (g) Cariacica.

** Utilizado os dados de direção do vento da estação SBVT 83649 – Aeroporto de Vitória.

O maior valor de média anual (longa exposição) dentre todas as estações foi 31,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na estação VIX-Centro (Tabela 7.7 e Figura 7.15). É importante notar que a diretriz da OMS para longa exposição a NO_2 é 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Assim, os valores de concentração média anual de NO_2 não ultrapassaram a diretriz da OMS para longa exposição ao NO_2 .

Tabela 7.7. Valores das máximas horárias e da média anual de concentração de NO e NO_2 em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ano base 2010).

	Laranjeiras	Jardim Camburi	Enseada do Suá	VIX - Centro	Ibes	Cariacica
1ª Max NO_2	115,3	107,1	75,3	123,6	77,0	220,3
2ª Max NO_2	106,6	86,6	75,2	117,6	76,2	203,6
1ª Max NO	333,9	199,7	232,0	328,2	253,0	448,0
2ª Max NO	279,5	184,5	224,0	327,9	243,2	418,8
Média aritmética anual NO_2	26,5	27,7	20,5	31,7	21,6	29,4
Média aritmética anual NO	18,2	30,8	28,0	44,7	15,0	30,5

(*) Valores não-representativos.

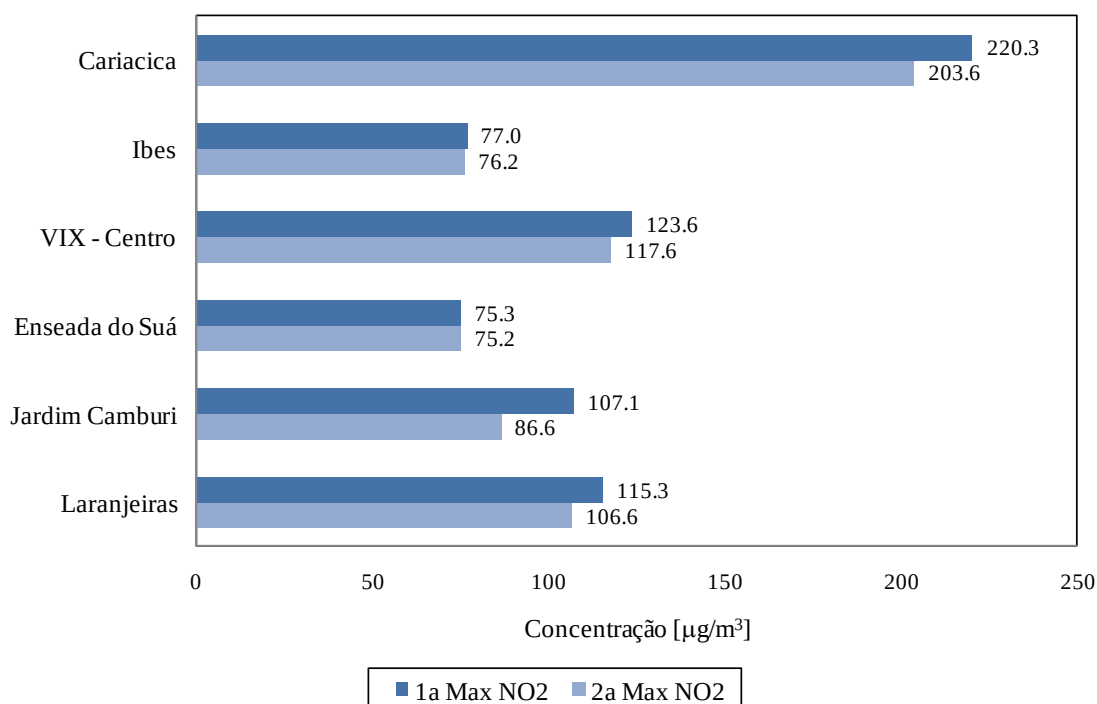


Figura 7.14. Concentrações horárias máximas de NO_2 nas estações da RAMQAr (ano base 2010). OMS representa a diretriz da Organização Mundial de Saúde para o referido poluente, que equivale ao padrão final preconizado na legislação estadual (PF-ES).

Durante o ano de 2010, não ocorreram ultrapassagens do Padrão Nacional de Qualidade do Ar, exceto duas vezes em Cariacica. Também não ocorreram ultrapassagens das metas

intermediárias previstas na legislação estadual de 2013, MI1, MI2 e MI3 e do padrão final para o poluente NO₂ para curta e longa exposição (Tabela 7.8), exceto na estação Cariacica onde essas metas foram ultrapassadas uma vez e o padrão final, duas vezes. Dessa forma, o índice de qualidade do ar (IQA) em 2010 (Figura 7.16) indica que a qualidade do ar pode ser classificada como boa e regular durante todo o período, tendo como referência o poluente NO₂.

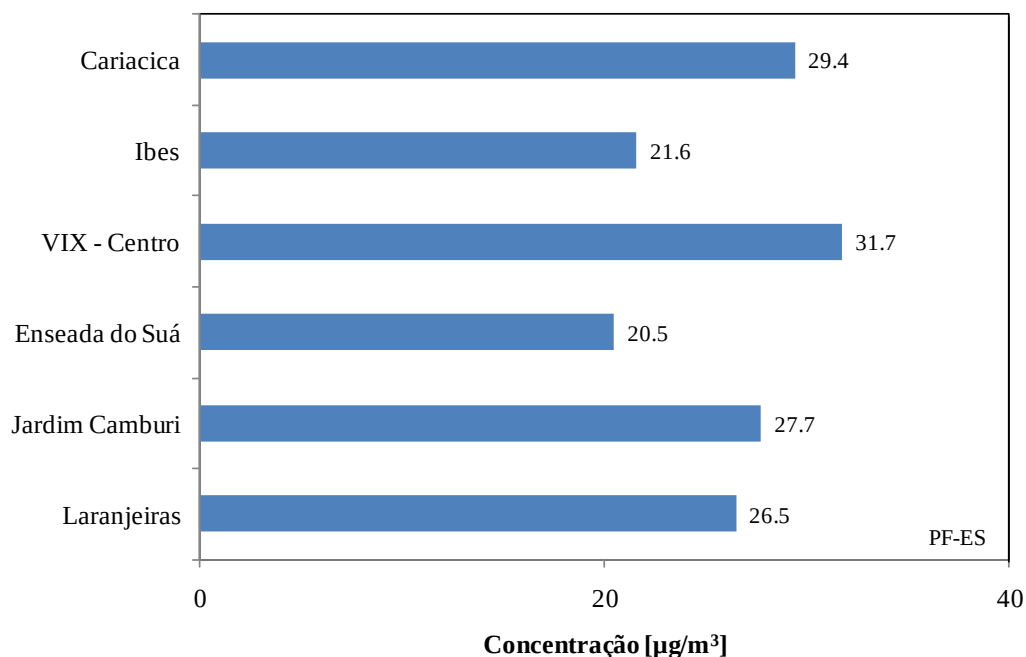


Figura 7.15. Concentrações médias anuais de NO₂ nas estações da RAMQAr (ano base 2010). PF-ES é o padrão final preconizado na legislação estadual.

A Figura 7.17 apresenta o perfil de concentração média de NO₂ com relação à direção do vento. Pode-se observar que a influência da direção do vento nos valores horários médios de concentração de NO₂ monitorados: (i) a estação VIX-Centro apresentou as maiores concentrações do poluente MP₁₀, PTS e NO₂ associadas à direção do vento L e SE. Essa associação indica a influência das atividades portuárias no centro de Vitória. (ii) a estação Enseada do Suá apresentou as maiores concentrações de NO₂ com ventos na direção SE-S. Esse resultado indica a forte influência das vias de tráfego intenso nos arredores da estação (Ponte Deputado Darcy Castello de Mendonça). (iii) a estação Jardim Camburi apresenta maiores concentrações com direções de vento SE-S que indica a influência das indústrias na Ponta de Tubarão. (iv) na Estação Ibes, há uma ligeira associação dos ventos NE, NO e O com os maiores valores de concentração. (v) em Cariacica parece haver maiores valores de concentração associados à direções de vento do quadrante sul, especialmente SE, provavelmente devido a presença de uma indústria siderúrgica naquela região. (vi) na estação Laranjeiras, há associação

das direções nos quadrantes sudoeste e noroeste com as maiores concentrações de NO₂ provavelmente devido ao tráfego intenso na região.

Tabela 7.8. Número de ultrapassagens dos valores limites de concentração de NO₂ considerando o padrão nacional (PQAr) e estadual de qualidade do ar e as diretrizes da OMS (ano base 2010).

	Laranjeiras	Jardim Camburi	Enseada do Suá	VIX - Centro	Ibes	Cariacica
Ultrapassagens (curta e longa exposições)						
PQAr primário (1h)	0	0	0	0	0	0
PQAr secundário (1h)	0	0	0	0	0	2
PQAr primário (anual)	Não	Não	Não	Não	Não	Não
PQAr secundário (anual)	Não	Não	Não	Não	Não	Não
MI1-ES(1h)	0	0	0	0	0	0
MI2-ES(1h)	0	0	0	0	0	1
MI3-ES(1h)	0	0	0	0	0	1
PF-ES(1h) OMS (1h)	0	0	0	0	0	2
MI1-ES(MAA)	Não	Não	Não	Não	Não	Não
MI2-ES(MAA)	Não	Não	Não	Não	Não	Não
MI3-ES(MAA)	Não	Não	Não	Não	Não	Não
PF-ES(MAA) OMS (anual)	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Número de dias com ultrapassagem (curta exposição)						
MI2-ES(1h)	0	0	0	0	0	1
MI3-ES(1h)	0	0	0	0	0	1
PF-ES(1h) OMS (1h)	0	0	0	0	0	2

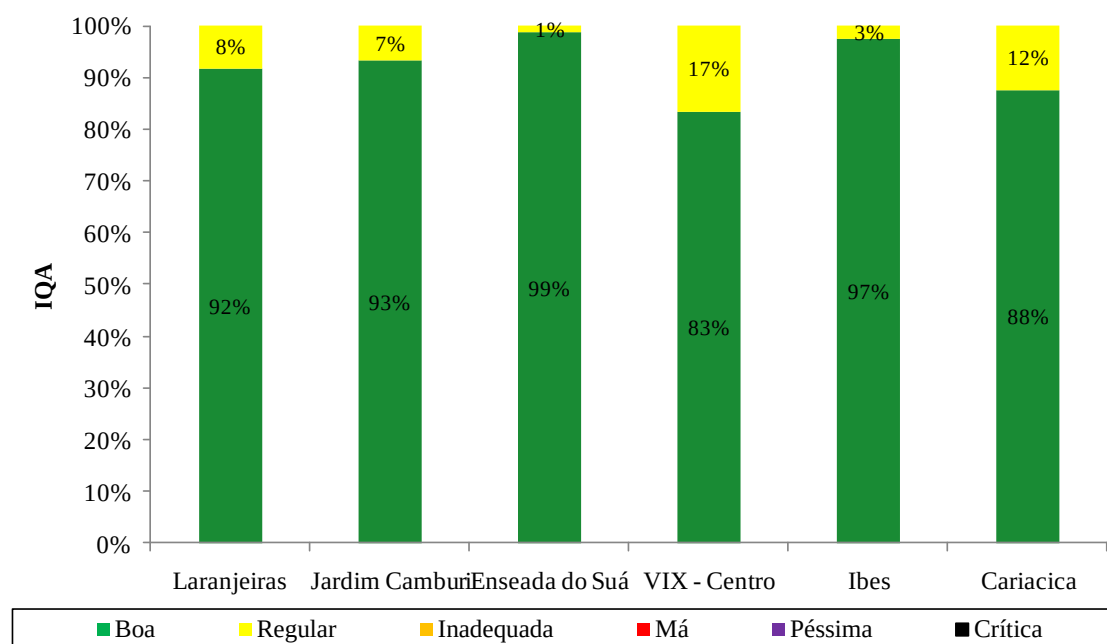


Figura 7.16. Índice de qualidade do ar referente ao poluente NO₂ nas estações da RAMQAr (ano base 2010).

7.4. Ozônio (O₃)

Os maiores valores máximos da média de 8h (curta exposição) de concentração de O₃, dentre todas as estações, ocorreram nas estações Ibes e Laranjeiras(respectivamente, 116,3 e 103,5 µg/m³), seguidas por Cariacica (91,0 µg/m³) (Tabela 7.9 e Figura 7.18). A diretriz da OMS para curta exposição (8h) a O₃ é 100 µg/m³. Assim, os valores de concentração média 8h de O₃, ultrapassaram a diretriz da OMS nas estações Ibes e Laranjeiras.

Tabela 7.9. Valores das máximas diárias de concentração de O₃ em µg/m³ (ano base 2010).

	Laranjeiras	Enseada do Suá	Ibes	Cariacica
1ª Max 1h	132,0	94,4	139,7	110,9
2ª Max 1h	129,6	93,3	132,5	105,2
1ª Max 8h	103,5	83,1	116,3	91,0
2ª Max 8h	103,5	81,7	111,1	88,4

(*) valores não representativos

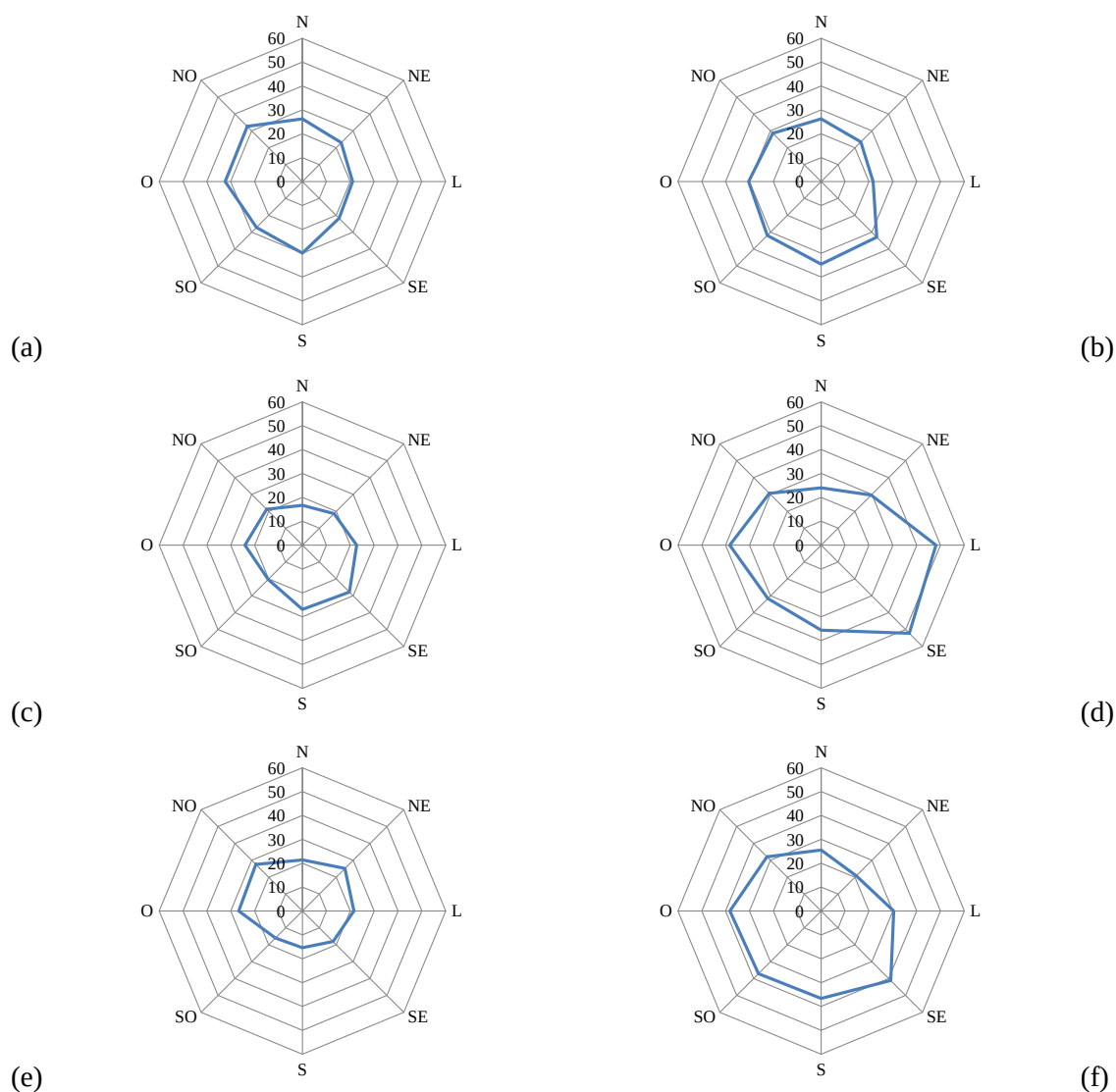


Figura 7.17. Perfil de concentração média horária de NO_2 nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento (gráfico de radar): (a) Laranjeiras**; (b) Jardim Camburi**; (c) Enseada do Suá; (d) VIX-Centro**; (e) Ibes; e (f) Cariacica**.

** Utilizado os dados de direção do vento da estação SBVT 83649 – Aeroporto de Vitória.

Durante o ano de 2010, não ocorreram ultrapassagens do padrão nacional (média horária, $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Estadual de 2013 (média 8h, $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de qualidade do ar para o poluente O_3 (Tabela 7.10).

Dessa forma, o índice de qualidade do ar (IQA) em 2010 (Figura 7.20) indica que a qualidade do ar pode ser classificada como boa e regular durante todo o período, tendo como referência o poluente O_3 .

Tabela 7.10. Número de ultrapassagem dos valores limites de concentração de O₃ considerando o padrão nacional (PQAr) e estadual de qualidade do ar e as diretrizes da OMS (ano base 2010).

	Laranjeiras	Enseada do Suá	Ibes	Cariacica
Ultrapassagens (curta e longa exposições)				
PQAr primário e secundário (1h)	0	0	0	0
MI1-ES (8h)	0	0	0	0
MI2-ES (8h)	0	0	0	0
MI3-ES (8h)	0	0	3	0
PF-ES (8h) OMS (8h)	5	0	14	0
Número de dias com ultrapassagem (curta exposição)				
MI3-ES (8h)	0	0	1	0
PF-ES (8h) OMS (8h)	2	0	5	0

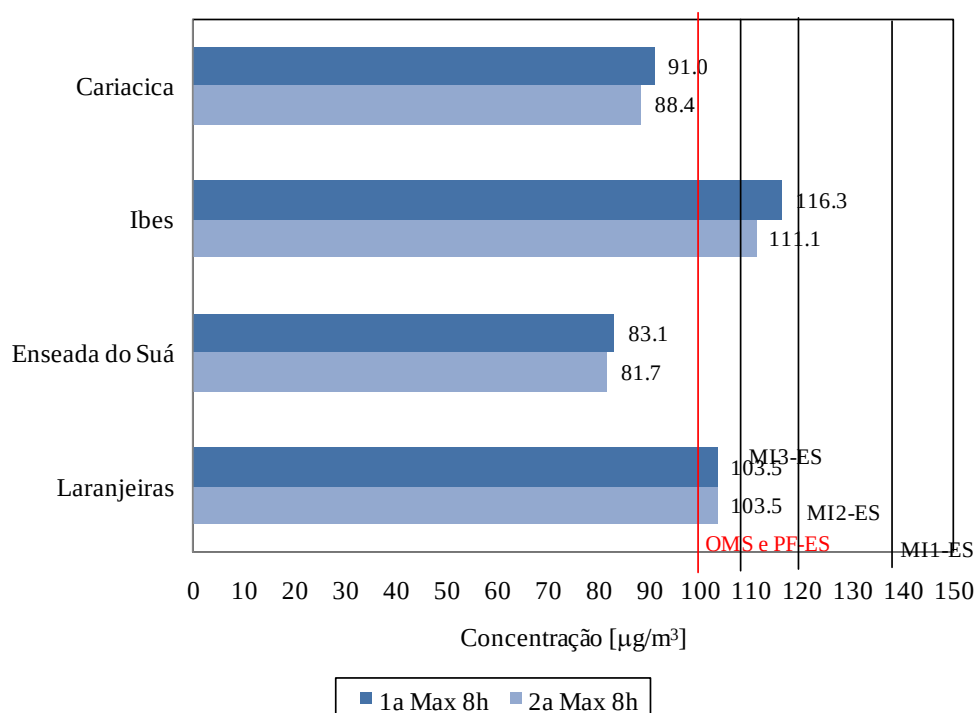


Figura 7.18. Concentração média 8h máxima de O₃ nas estações da RAMQAr (ano base 2010). PQAr indica o padrão nacional de qualidade do ar. MI1-ES, MI2-ES e MI3-ES são as metas intermediárias. OMS representa a diretriz da Organização Mundial de Saúde para o referido poluente, que equivale ao padrão final preconizado na legislação estadual (PF-ES). Valores destacados com * são considerados não-representativos.

A Figura 7.21 apresenta o perfil de concentração média de O_3 com relação à direção do vento por meio do gráfico radar. Uma vez que o O_3 é um poluente secundário, não sendo diretamente emitido por nenhuma fonte direta, mas formado na atmosfera a partir de reações químicas de outros poluentes, a interpretação do gráfico de radar torna-se bastante complexa. Pode-se observar que as maiores concentrações médias de O_3 são encontradas com ventos SO-S-SE em todas as estações. As estações de Cariacica e Enseada do Suá indicam, também, elevadas concentrações de N-NE. Em Laranjeiras esse comportamento indica a possibilidade de transporte de ozônio já formado devido às emissões dos seus precursores na região da Ponta de Tubarão (a SE da estação de Laranjeiras). Na estação Enseada do Suá esse comportamento pode estar relacionado ao transporte de ozônio já formado devido às emissões dos seus precursores na região da Ponta de Tubarão (a NE da estação Enseada do Suá) e tráfego de veículos na Ponte Deputado Darcy Castello de Mendonça (a S da estação Enseada do Suá). Na estação Cariacica esse comportamento pode estar relacionado ao transporte de ozônio já formado devido às emissões dos seus precursores na região da Ponta de Tubarão e pelo tráfego de veículos em Vitória (a NE da estação Enseada do Suá) e tráfego de veículos em Campo Grande e adjacências (a S da estação Cariacica).

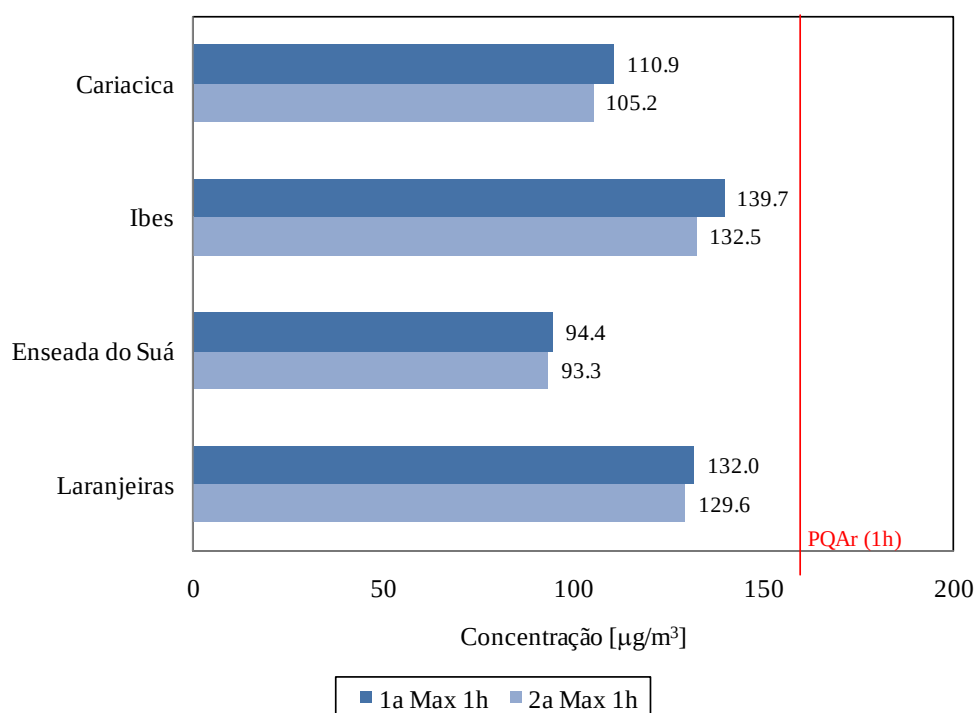


Figura 7.19. Concentração horária máxima de O_3 nas estações da RAMQAr (ano base 2010). PQAr indica o padrão nacional de qualidade do ar. Valores destacados com * são considerados não-representativos.

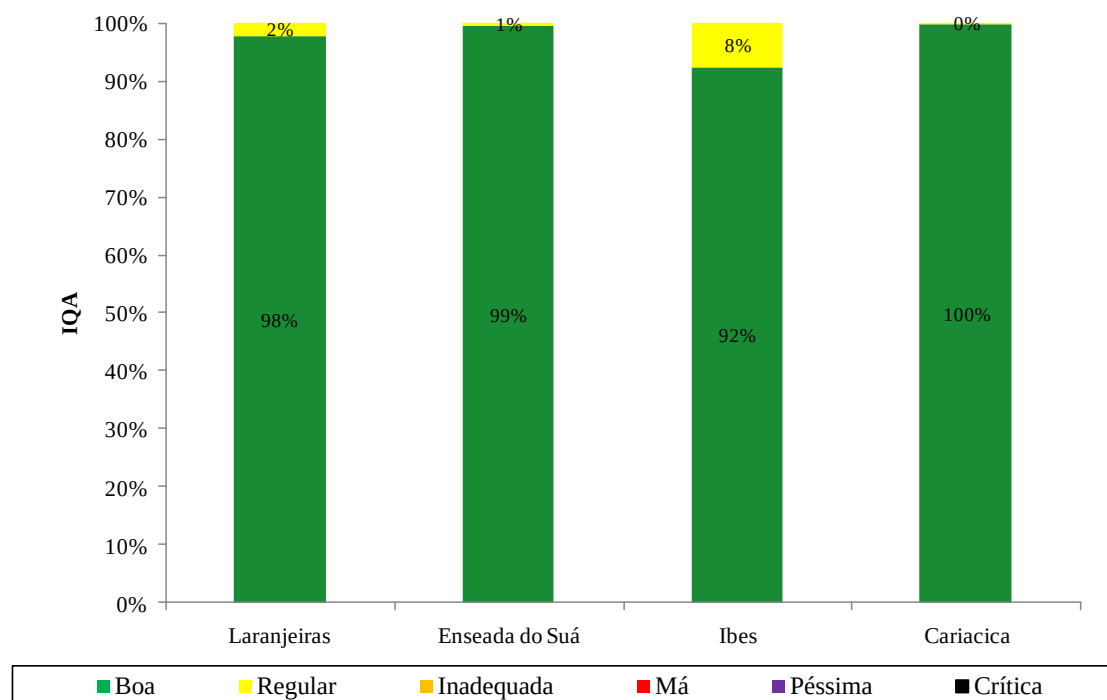


Figura 7.20. Índice de qualidade do ar com referência ao poluente O₃ nas estações da RAMQAr (ano base 2010).

7.5. Monóxido de carbono (CO)

Os valores máximos das médias de 8h de concentração de CO foram mais elevados na estação VIX-Centro (3938,5 µg/m³), sendo que as outras estações apresentaram valores similares entre 1661,9 µg/m³ e 1989,2 µg/m³ (Tabela 7.11 e Figura 7.22). A diretriz da OMS para 8h de exposição a CO é 10000 µg/m³. Assim, verifica-se que as concentrações médias de 8h de CO nas estações da RAMQAr não ultrapassaram a diretriz estabelecida pela OMS (Tabela 7.12).

Tabela 7.11. Valores das máximas horárias de 8h de concentração de CO em µg/m³ (ano base 2010).

	Laranjeiras	Enseada do Suá	VIX - Centro	Ibes	Cariacica
1ª Max (1h)	3035,5	3350,9	5356,7	3398,3	4143,3
2ª Max (1h)	2954,2	2853,1	5117,9	2762,6	3536,8
1ª Max (8h)	1661,9	1820,3	3938,5	1989,2	1766,3
2ª Max (8h)	1658,1	1807,0	3845,8	1952,1	1724,7

(*) valores não representativos.

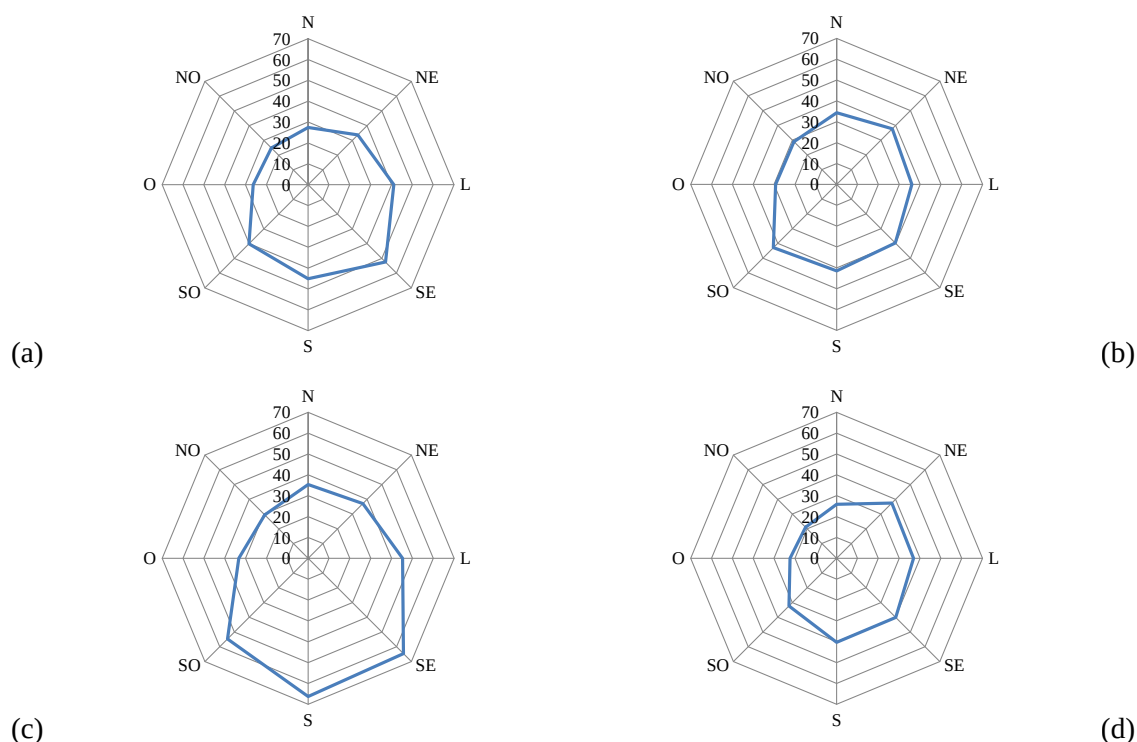


Figura 7.21. Perfil de concentração média horária de O_3 nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento (gráfico de radar): (a) Laranjeiras**; (b) Enseada do Suá** e (c) Ibes; e (d) Cariacica**.

** Utilizado os dados de direção do vento da estação SBVT 83649 – Aeroporto de Vitória.

Os valores máximos das médias horárias de concentração de CO foram mais elevados nas estações VIX-Centro ($5356,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), nas outras estações, os valores foram similares (entre $3035,5$ e $4143,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Tabela 7.11 e Figura 7.23). A diretriz da OMS para 1h de exposição a CO é $30000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Assim, verifica-se que as concentrações médias horárias de CO nas estações da RAMQAr não ultrapassaram a diretriz estabelecida pela OMS (Tabela 7.12).

Durante o ano de 2010, não ocorreram ultrapassagens do padrão nacional de qualidade do ar para o poluente CO para médias horárias e de oito horas. Também não houve ultrapassagem dos padrões estaduais para CO (Tabela 7.12). Dessa forma, o índice de qualidade do ar (IQA) em 2010 indica que a qualidade do ar poderia ser classificada como boa durante todo o período (100%), tendo como referência o poluente CO (Figura 7.24).

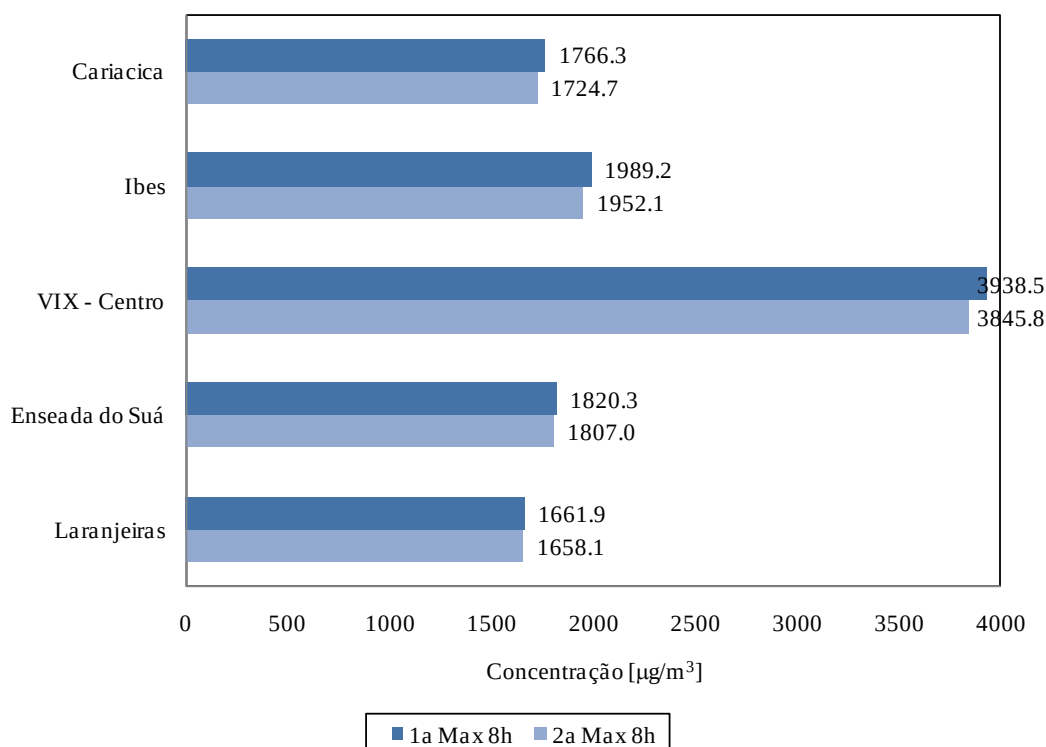


Figura 7.22. Concentração média de 8h máxima de CO nas estações da RAMQAr (ano base 2010).

Tabela 7.12. Número de ultrapassagem dos valores limites de concentração de CO considerando o padrão nacional (PQAr) e estadual de qualidade do ar e as diretrizes da OMS (ano base 2010).

	Laranjeiras	Enseada do Suá	VIX - Centro	Ibes	Cariacica
PQAr (8h)	0	0	0	0	0
PQAr (1h)	0	0	0	0	0
PF-ES (8h)	0	0	0	0	0
OMS (8h)	0	0	0	0	0
PF-ES (1h)	0	0	0	0	0
OMS (1h)	0	0	0	0	0

A Figura 7.25 apresenta o perfil de concentração média horária de CO com relação à direção do vento por meio do gráfico radar. Somente a estação VIX-Centro apresentou uma direção claramente definida para as maiores concentrações, direção L. De fato, esse comportamento se repetiu para praticamente todos os poluentes (CO, MP₁₀, PTS, SO₂, NO₂), com concentrações mais elevadas associadas a direção do vento L. Essa associação indica que a região sofre influência das atividades portuárias.

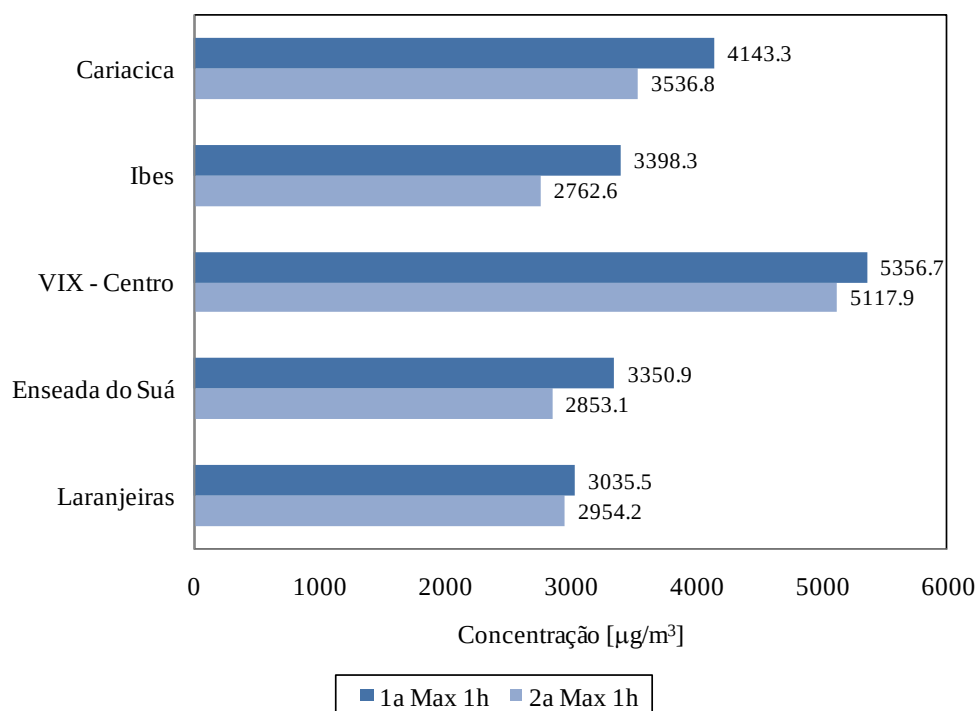


Figura 7.23. Concentração horária máxima de CO nas estações da RAMQAr (ano base 2010).

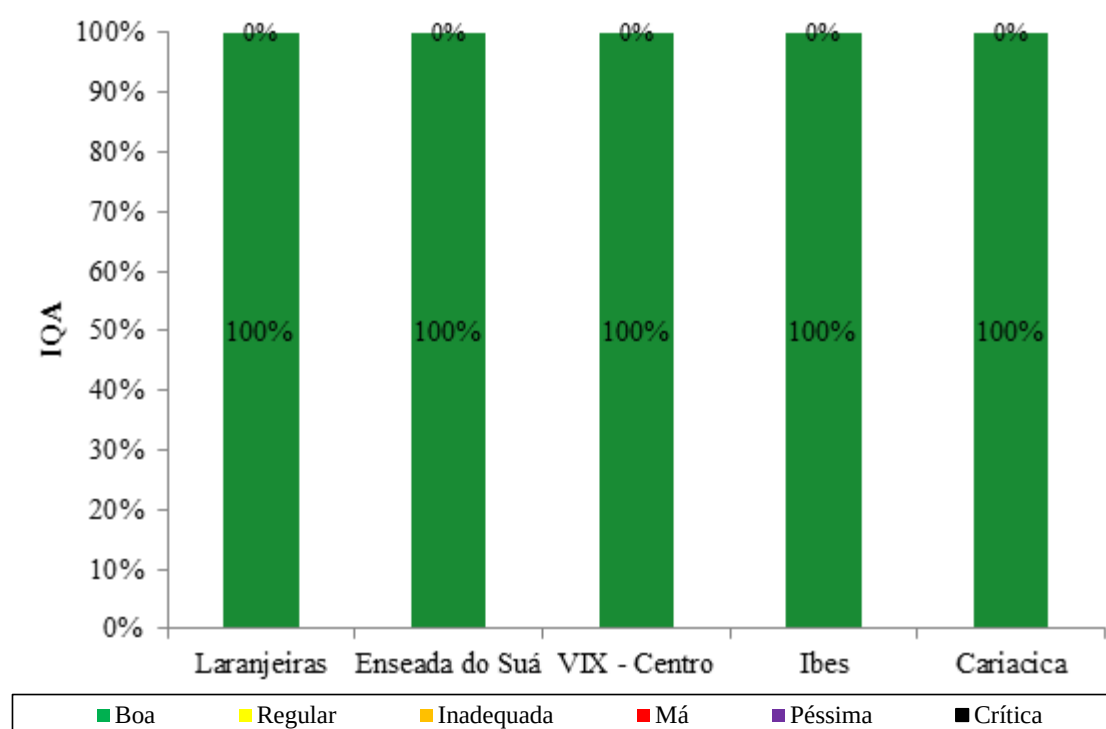


Figura 7.24. Índice de qualidade do ar com referência ao poluente CO nas estações da RAMQAr (ano base 2010).

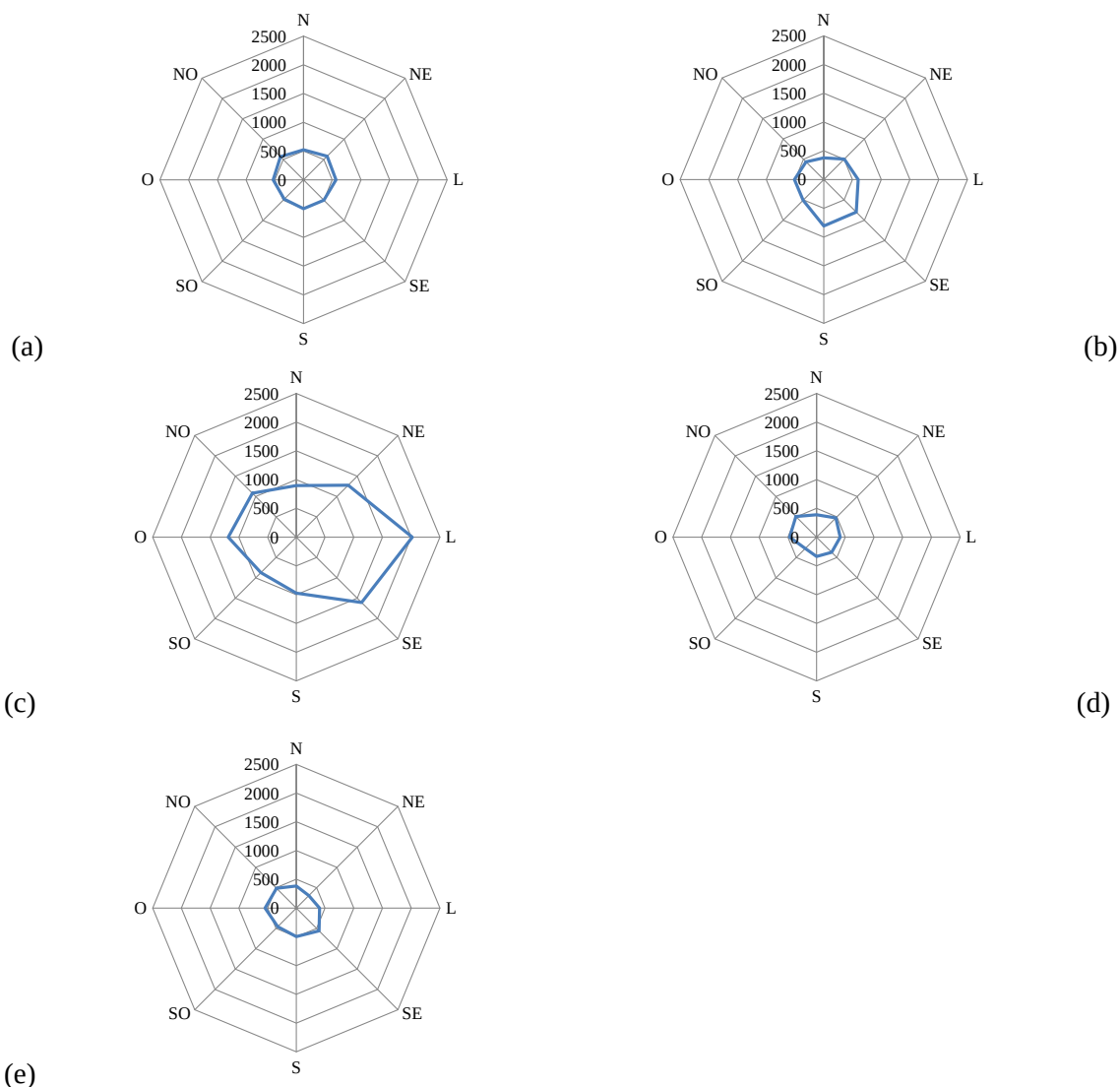


Figura 7.25. Perfil de concentração média horária de CO nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento (gráfico de radar): (a) Laranjeiras**; (b) Enseada do Suá**; (c) VIX-Centro**; (d) Ibes** e (e) Cariacica**.

** Utilizado os dados de direção do vento da estação SBVT 83649 – Aeroporto de Vitória.

7.6. Hidrocarbonetos não metano (HCNM)

Não existem diretrizes ou padrões conhecidos de hidrocarbonetos totais, hidrocarbonetos não-metano (HCNM) ou metano usados como valores de referência para proteção à saúde. Os valores encontrados na literatura são estabelecidos para determinados HCNM ou grupos de HCNM para os quais são conhecidos os efeitos à saúde. O metano contribui principalmente para o efeito estufa. O monitoramento de HCNM se deve, principalmente, ao seu papel como precursor da formação de ozônio, mesmo não havendo um padrão associado a esse poluente.

O valor máximo da média diária de concentração de HCNM na estação VIX-Centro foi 2,1 ppm e na estação Enseada do Suá, o valor encontrado foi cerca da metade do valor na estação VIX-Centro (Tabela 7.13, Figura 7.26). A média aritmética anual foi igual a 0,3 ppm na estação VIX-Centro cerca de 2/3 do valor na estação Enseada do Suá (Tabela 7.13, Figura 7.27).

Tabela 7.13. Valores das máximas diárias e da média anual de concentração de HCNM em ppm (ano base 2010).

	Enseada do Suá	VIX - Centro	Ibes
1ª Max	1,1	2,1	-
2ª Max	1,1	1,6	-
Media aritmética anual	0,2	0,3	-

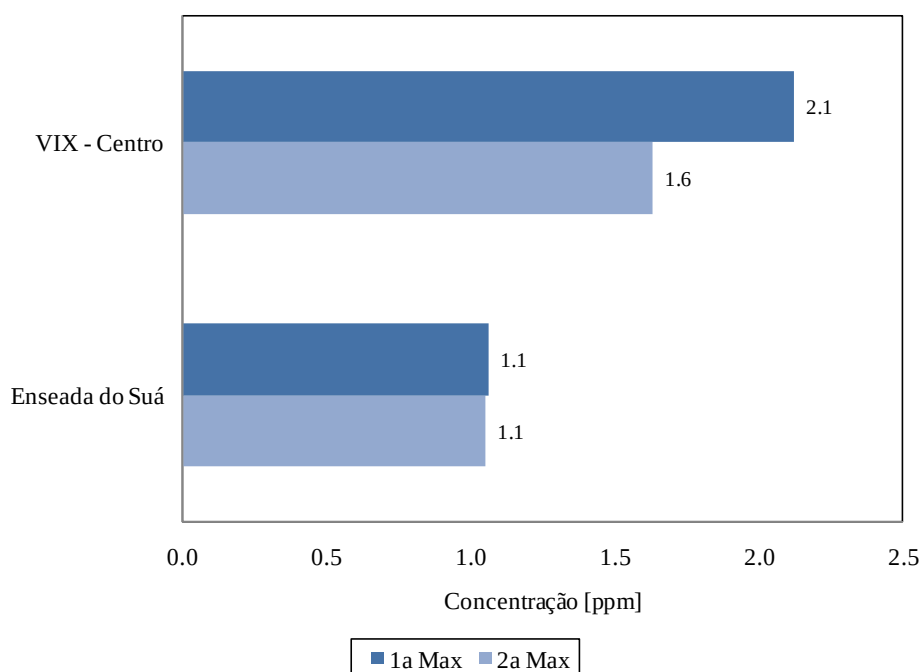


Figura 7.26. Concentração diária máxima de HCNM nas estações da RAMQAr (ano base 2010).

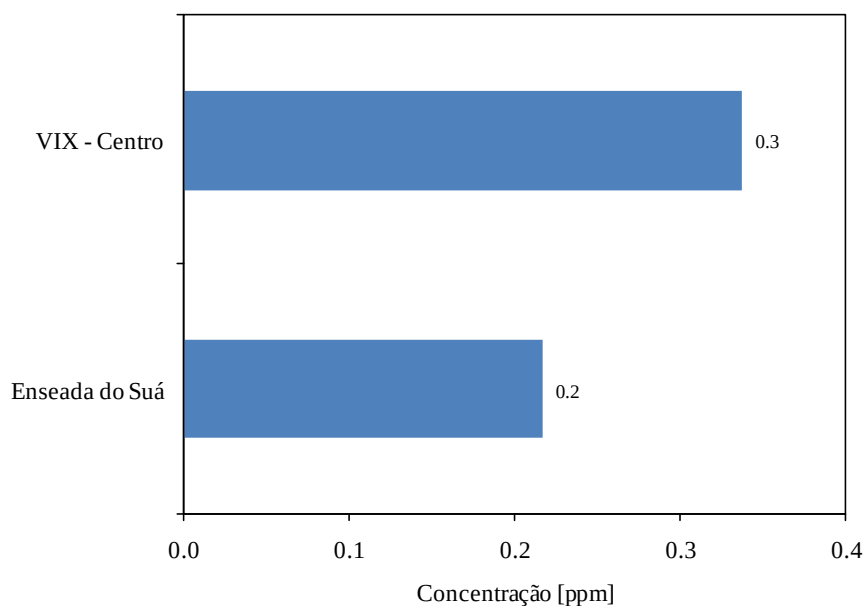


Figura 7.27. Concentração média anual de HCNM nas estações da RAMQAr (ano base 2010).

A Figura 7.28 apresenta o perfil de concentração média de HCNM com relação à direção do vento. A estação VIX-Centro apresentou as maiores concentrações de HCNM, bem como de MP_{10} , PTS, NO_2 e CO, associadas à direção do vento L. Essa associação, consistentemente, indica a influência do setor logístico nas concentrações desses poluentes. Na estação Enseada do Suá, pode perceber-se que as maiores concentrações estão associadas a ventos com direção S e SE, provavelmente devido às fontes veiculares.

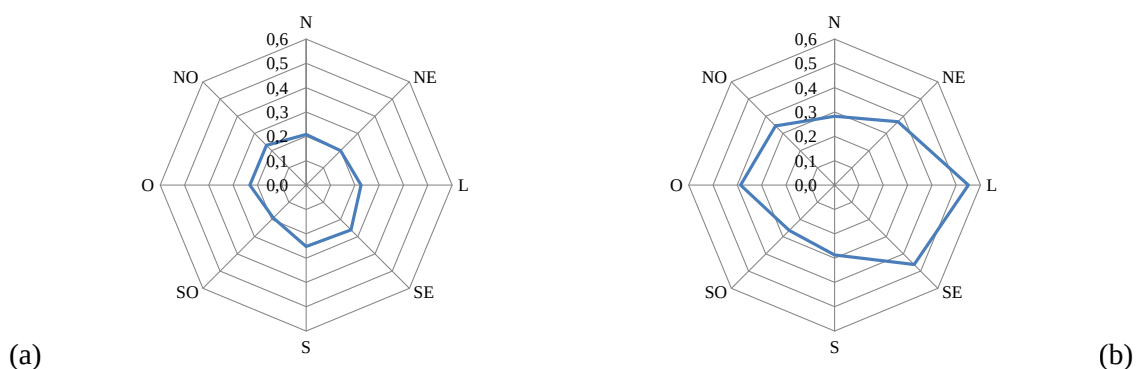


Figura 7.28. Perfil de concentração média horária de HCNM nas estações da RAMQAr com relação à direção do vento (gráfico de radar): (a) Enseada do Suá** e (b) VIX-Centro**. Utilizado os dados de direção do vento da estação SBVT 83649 – Aeroporto de Vitória.

8. Considerações Finais

Este capítulo inclui os comentários e consideração finais sobre os resultados do monitoramento da qualidade do ar na RMGV em 2010, incluindo a operação da RAMQAr e a representatividade dos dados, ultrapassagem das metas, padrões e diretrizes e fontes de emissão de poluentes. A Figura 8.1 apresenta uma síntese dos resultados de monitoramento para cada uma das estações da RMGV, incluindo principais poluentes e fontes e ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar.

Sobre a operação da RAMQAr e a representatividade dos dados

O número de dados válidos/disponíveis de qualidade do ar e meteorológicos é muito importante para garantir a representatividade das médias calculadas, principalmente, no que tange a comparação das concentrações médias calculadas com os padrões, metas e diretrizes da qualidade do ar. Assim, é necessário extrema prudência para assegurar a operação e manutenção preventiva dos equipamentos de monitoramento nas estações da RAMQAr e da Rede Manual de Monitoramento de Partículas Sedimentadas.

Sobre a ultrapassagem das metas, padrões e diretrizes

Não houve ultrapassagem do padrão CONAMA de qualidade do ar (PQAr) para curta (padrão primário) e longa exposição aos poluentes monitorados em nenhuma das estações em 2010. A meta intermediária MI1 (atual valor referencial legal no ES) relativa a curta exposição ao SO₂ e PS foram ultrapassadas em quatro diferentes estações de monitoramento. Houve, também, ultrapassagem da meta MI1 do PTS (2 dias) na estação Cariacica. Comparativamente aos

padrões finais a serem alcançados no ES para curta e longa exposição aos poluentes MP_{10} e SO_2 , esses valores referenciais foram ultrapassados em quase todas as estações de monitoramento.

Assim, os poluentes PS e SO_2 representam problemas de poluição do ar em Laranjeiras, Enseada do Suá e Centro de Vitória, pois a meta estadual MI1 foi ultrapassada. A meta MI1 para PS foi ainda ultrapassada na estação SENAC e para SO_2 em Jardim Camburi. Nas outras estações, o PS e o SO_2 não ultrapassaram os valores referenciais da legislação, entretanto, foi ultrapassado o padrão final para SO_2 e para MP_{10} que devem ser alcançados em futuro próximo em todas as estações e, portanto, devem ser elaborados planos estratégicos para sua redução da concentração desses poluentes na RMGV.

Apesar do majoritário atendimento dos padrões CONAMA e MI1 na RMGV, é importante acompanhar o atendimento das diretrizes OMS, pois estas constituem-se nos padrões finais que são objetivados pela legislação estadual de 2013. Dessa forma, é importante conhecer o quanto distante do atendimento dessas diretrizes está a RMGV e quais são os principais poluentes e estações de atenção prioritária.

Sobre as fontes

O inventário existente representa as emissões nos anos em que foram realizadas as estimativas e medições. Dessa forma, os dados apresentados neste documento requerem uma revisão para incorporar as variações nas emissões desde a elaboração do inventário, que podem estar relacionadas a alterações nas emissões de origem industrial ou veicular.

Na Região Metropolitana da Grande Vitória, as principais fontes de poluição do ar, segundo o inventário de fontes, são as indústrias minero-siderúrgicas, os veículos e o setor logístico (portos e aeroportos).

É importante notar que, segundo o inventário, mais de 60% das emissões de partículas estão ligados à ressuspensão de partículas já depositadas nas vias, um problema que pode ser minimizado com a diminuição da sujidade das vias. Conforme citado anteriormente, apesar da taxa de emissão ligada à ressuspensão de partículas já depositadas nas vias ser distribuída ao longo de uma grande área urbana, e não concentrada pontualmente como emissões industriais, por exemplo, as taxas de emissão são significativamente elevadas, mesmo quando comparado a outros centros urbanos, tais como São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Recife (ANDRADE *et al.*, 2012), Nova Delhi-Índia (GUTTIKUNDA e CALORI, 2013) e Barcelona-Espanha (AMATO *et al.*, 2009). Tal magnitude indica que esse é um tema que requer mais estudo para a região.

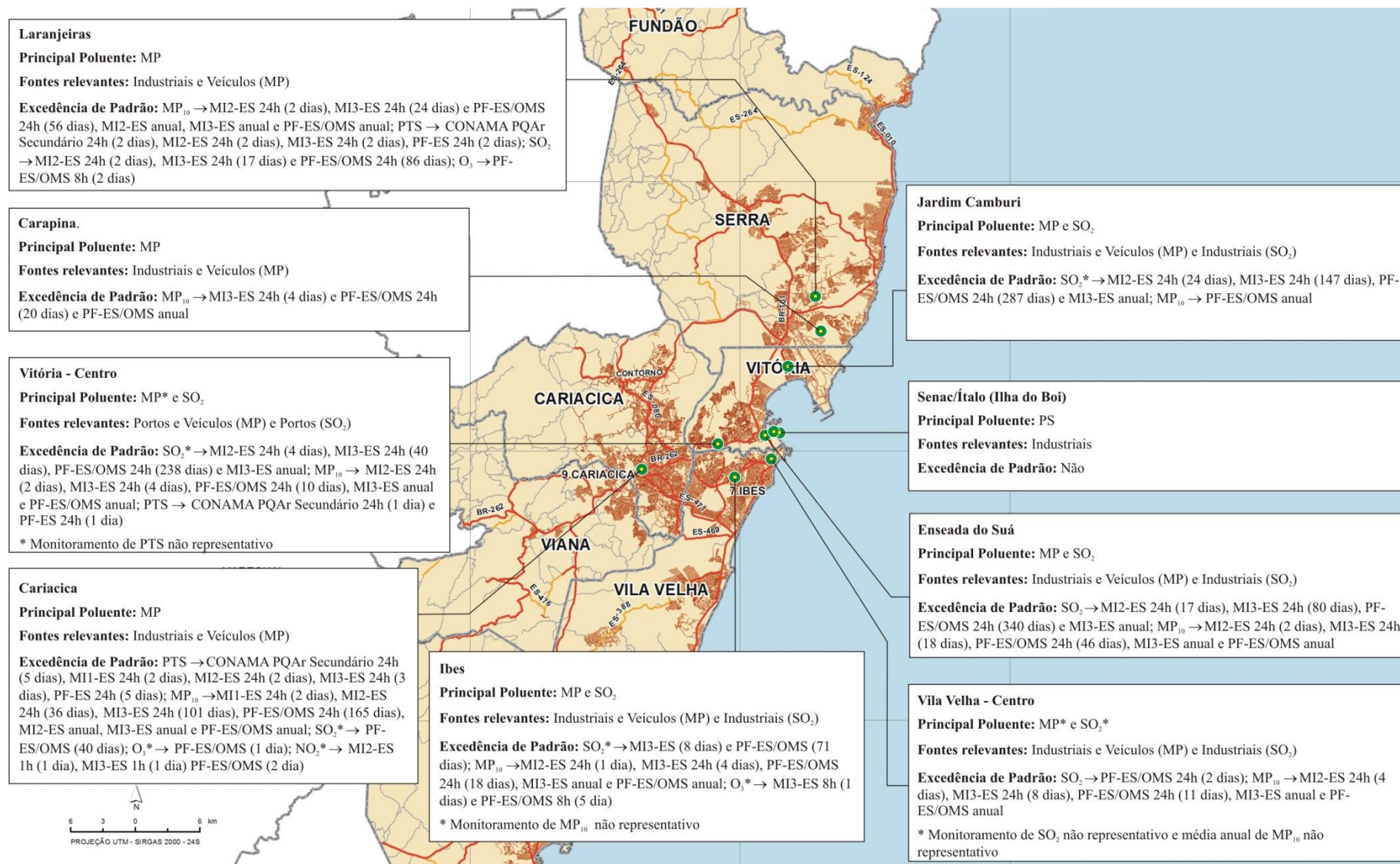


Figura 8.1. Sumário dos principais resultados de monitoramento para cada estação na RMGV.

Além dos veículos, outro grupo de emissões bastante relevante para a RMGV são as indústrias minero-siderúrgicas, que aparecem como maior responsável pelas emissões de alguns poluentes (SO_2 e NO_x) e como segundo maior responsável dos restantes (material particulado e CO), segundo o inventário de emissões. Estas emissões estão concentradas principalmente na Ponta de Tubarão, o que constitui um problema relevante para algumas regiões da RMGV quando é considerada a direção predominante N-NE dos ventos.

Muito se discute sobre o material particulado na RMGV, entretanto, os resultados deste relatório mostram dados preocupantes também quanto SO_2 , com concentração particularmente elevadas nas direções relacionadas às indústrias minero-siderúrgicas. Esse deve ser um fator de estudo e planejamento para o futuro próximo, principalmente com vistas a atender as metas intermediárias e padrões finais previstos na legislação estadual em 2013.

9. Referências

- Amato, F., Pandolfi, M., Escrig, A., Querol, X., Alastueya, A., Peya, J., Perez, N., Hopke, P. K., Quantifying road dust resuspension in urban environment by Multilinear Engine: A comparison with PMF2, *Atmospheric Environment* 43, 2770–2780, 2009.
- American Society For Testing Materials. ASTM D-1739: Standard Test Method for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter), 1998 (re-aprovada em 2004).
- Andrade, M. F., Miranda, R. M., Fornaro, A., Kerr, A., Oyama, B., Andre, P. A., Saldiva, P., Vehicle emissions and PM2.5 mass concentrations in six Brazilian cities, *Air Qual. Atmos. Health*, 5:79–88, 2012.
- Cavalcanti, I. F. A.; Ferreira, N. J. ; Dias, M. A. F.; Justi, M. G. A. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo, Oficina de Textos, 2009.
- Climanálise. Boletim de monitoramento e análise climática. MTC/INPE, v.25, 2010.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). *Qualidade do ar no Estado de São Paulo*, São Paulo, 2013.
- Conselho Estadual de Proteção Ambiental. *Deliberação Normativa Nº 01 de 26 de maio de 1981*. Minas Gerais, Brasil, 1981.

- Conti, M.M., Menegussi, L.R., Reis, N.C., Santos, J.M., Silva, F.J., Scandian, C. Chemical and morphological characterization of dustfall (dry deposition) in Vitória-ES, Brazil. European Aerosol Conference, Karlsruhe, 2009.
- Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), Frota de Veículos. Disponível em <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em 15/02/2014.
- Department of Environmental Conservation of New York (DECNY). Disponível em: <<http://www.dec.ny.gov/regs/2492.html>>. New York, 2009.
- Department of Environmental Quality Montana (DEQM). Disponível em: <<http://www.deq.mt.gov/dir/legal/Chapters/Ch08-toc.mcp>>. Montana, USA, 2007.
- European Environment Agency (EEA). Air quality in Europe — 2013 report, Luxembourg, 2013.
- Farfel, M. R., Orlova, A.O., Lees, P.S.J., Rohde C., Ashley, P.J., Chilsom, J.J., A study of urban housing demolition as a source of lead in ambient dust on sidewalks, streets, and alleys. Environmental Research 99, 204-213, 2005.
- Governo do Estado do Espírito Santo. Decreto nº 3463-R, de 16 de dezembro de 2013. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas, Estado do Espírito Santo, 2013.
- Guttikunda, S. K., Calori, G., A GIS based emissions inventory at 1 km 1 km spatial resolution for air pollution analysis in Delhi, India, Atmospheric Environment, 67, 101-111, 2013.
- Holgate, S. T., Koren, H. S., Samet, J. M., Maynard, R. L., Air Pollution and Health, Academic Press; 1st edition, 1999.
- Hu, T. et al. Morphology and elemental composition of dustfall particles inside emperor Qin's terra-cotta warriors and horses museum. China Partic. Vol. 4, Nº 6, 346-351, 2006.
- Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA). Relatório da qualidade do ar na região da grande vitória, Vitória-ES, 2007.
- EcoSoft Consultoria e Softwares Ambientais (EcoSoft). Inventário de emissões atmosféricas da região da grande vitória. Acordo de Cooperação Técnica IEMA & EcoSoft nº 010/2009. RTC10131-R1, Vitória, 2011.

- Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Relatório de qualidade do ar do Estado do Rio de Janeiro ano base 2010 e 2011. Rio de Janeiro, 2013.
- Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN). Atlas de Desenvolvimento Humano, Região Metropolitana da Grande. Vitória, 2010.
- Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN). ES em Mapas, disponível em <http://www.ijsn.es.gov.br/>, acesso em: 18/03/2014.
- Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN). Perfil Regional, Região Metropolitana da Grande Vitória, Vitória, 2008.
- Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN). Produto Interno Bruto (PIB) Espírito Santo 2011. Vitória, 2013.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Dados Climatológicos. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>, acesso em: 15/03/2014.
- LEI Complementar Estadual nº 58, de 21 de fevereiro de 1995. Dispõe sobre a criação da Região Metropolitana da Grande Vitória, Vitória – ES, 1995.
- LEI nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília 1981.
- LEI nº 948/98 - PMM Dispõe sobre a Lei de Proteção, Controle, Conservação e Melhoria do Meio Ambiente do Município de Macapá, Macapá – AP, 1998.
- Mendonça, F., Danni-Oliveria, I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo. Editora Oficina de Texto. 206p. 2007.
- Minuzzi, R.B.; Sedyama, G. C.; Costa, J. M. N.; Vianello, R. L. Influência da La Niña na estação chuvosa da Região Sudeste, Revista Brasileira de Meteorologia, São José dos Campos, v.22, n. 3 p.345-353, 2007.
- Resolução CONAMA nº 08 de 06 de dezembro de 1990. Dispõe sobre limites máximos de emissão de poluentes do ar (padrões de emissão) para processos de combustão externa em fontes novas fixas de poluição com potências nominais totais até 70 MW (setenta megawatts) e superiores. Brasília, 1990.

- Resolução CONAMA nº 18, de 6 de maio de 1986. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores (PROCONVE). Brasília, 1986.
- Resolução CONAMA nº 3 de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre os padrões de qualidade do ar. Brasília, 1990.
- Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006. Dispõe sobre os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Brasília, 2006.
- Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar (PRONAR). Brasília, 1989.
- Sant'anna Neto, J. L. Decálogo da climatologia do Sudeste Brasileiro. Rev. Bras. Climat., v. 1, n. 1, p. 41-60, 2005.
- Santos, J. M.; Reis, N.C; Caracterização e quantificação de partículas sedimentadas na Região da Grande Vitória. Relatório Técnico. Fundação Espírito-Santense de Tecnologia, Vitória, 2011.
- Seinfeld J. H.; Pandis S. N.; Atmospheric Chemistry and Physics: From air pollution to climate change. 2ª Ed. John Willey and Sons Inc. 2006.
- Vallack H. W., Shillito, D. E. Suggested guidelines for deposited ambient dust. Atmospheric Environment, vol. 32(16), p. 2737-2744, 1998.
- Varejão-Silva, M. A. Meteorologia e climatologia. 2. ed. Recife, 449 p., 2006.
- Vianello, R. L., Alves, A. R. Meteorologia Básica e Aplicações. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 1991.
- World Health Organization (WHO). Air quality guidelines global update 2005. Genebra, 2006.
- World Health Organization (WHO). Carbon monoxide (Environmental health criteria; 213) 2nd Edition, Geneva, 1999.
- World Meteorological Organization (WMO). Technical Regulations, Vol. I. WMO Publication N° 49. Geneva, Switzerland, 1984.