

Rio 2016:
qualidade do ar e condições
meteorológicas nos locais de
competição

PROCON Fumaça Preta:
avanços do programa no Estado do
Rio de Janeiro

Evolução dos inventários de emissões
veiculares da Região Metropolitana do
Rio de Janeiro

> Governo do Estado do Rio de Janeiro
Luiz Fernando de Souza, governador
Francisco Dornelles, vice-governador

Secretaria de Estado do Ambiente
André Corrêa, secretário

Instituto Estadual do Ambiente
Marcus de Almeida Lima, presidente
José Maria de Mesquita Junior, vice-presidente

Diretoria de Administração e Finanças
Lincoln Nunes Murcia, diretor

Diretoria de Biodiversidade e Áreas Protegidas
Paulo Schiavo Júnior, diretor

Diretoria de Gente e Gestão
Antoine Lousao, diretor

Diretoria de Licenciamento Ambiental
Mariana Palagano Ramalho Silva, diretora

Diretoria de Recuperação Ambiental
Ruy Geraldo Corrêa Vaz Filho, diretor

Diretoria de Segurança Hídrica e Qualidade Ambiental
Marlus Newton de Oliveira, diretor

Diretoria Socioambiental
Ana Paula de Oliveira da Costa, diretora

revista
ineana

julho > dezembro 2016

v.04
nº 01

Produção editorial
Gerência de Informação e Acervo Técnico
(Geiat/Digges)

Coordenação editorial
Tania Machado

Edição de Texto
Tania Machado
Sandro Carneiro

Revisão
Ana Paula Paiva
Islaine Lemos
Sandro Carneiro

Normalização
Wellington Lira

Diagramação
Ivan Bezerra
Taís Fernandes
Julia Coni
Philip Martins

Tratamento de imagens
Ivan Bezerra

Capa
Vista aérea do Morro do Pão de Açúcar

Foto: Nilo Lima

O INEA faz um agradecimento especial a Andrea Lima, Marli Serafim, André de Alencastro Lima e Marcus Lima, herdeiros do fotógrafo Nilo Lima, por cederem os direitos autorais das fotos usadas nesta edição da Revista Ineana.

Impresso com recursos do Fundo Estadual de Conservação Ambiental e Desenvolvimento Urbano (FECAM).

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do INEA

R454 Revista Ineana/Instituto Estadual do Ambiente.
--- v.4, n.1 (jul/dez 2016)---Rio de Janeiro: INEA, 2016-
ISSN: 2238-2496
1. Meio ambiente - Rio de Janeiro. 2. Meio ambiente - Periódicos. I. Título.
CDU 628(815.3)

© Instituto Estadual do Ambiente (INEA)

Todos os direitos reservados. É permitida a reprodução de dados e informações contidas nesta publicação, desde que citada a fonte. Os artigos são de inteira responsabilidade de seus autores.

Periodicidade: semestral

Disponível também em:
www.inea.rj.gov.br > Estudos e Publicações > Publicações

Endereço para correspondência:
Gerência de Publicações e Acervo Técnico
Av. Venezuela, 110 - Térreo - Saúde
CEP 20081-312 - Rio de Janeiro - RJ

Email:
inea.gepat@gmail.com

Nota do editor:
Por questões administrativas, não foi possível manter a periodicidade da revista em 2016.

inea instituto estadual
do ambiente

4 Editorial

6 Rio 2016: qualidade do ar e condições meteorológicas nos locais de competição

Luciana Maria Baptista Ventura
Michelle Branco Ramos
Lázaro Costa Fernandes
Caroline Menegussi Soares
Jéssica de Oliveira Santos

38 PROCON Fumaça Preta: avanços do programa no Estado do Rio de Janeiro

Luciana Maria Baptista Ventura
Fabiano Barbosa Alecrim
Fellipe de Oliveira Pinto

50 Evolução dos inventários de emissões veiculares da Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Luciana Maria Baptista Ventura
Jéssica da Silva Lopes

editorial

► André Corrêa

secretário de Estado do Ambiente - RJ

Marcus de Almeida Lima

presidente do Instituto Estadual do Ambiente (INEA)

É com imenso prazer que abrimos 2017, ano em que o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) comemora seu oitavo aniversário, lançando a quarta edição da Ineana. Foram muitas conquistas ao longo do ano de 2016, em todos os setores da Secretaria de Estado do Ambiente (SEA) e do INEA. Conquistas estas que devem ser ressaltadas, ainda mais por terem sido alcançadas em um ano de poucos recursos e muitas mudanças. Mas, tiramos proveito da crise, nos reestruturamos e os resultados positivos foram bastante significativos.

Um deles, motivo de muita comemoração, foi termos conseguido tornar o Estado do Rio de Janeiro a primeira unidade da federação a reduzir em 90% as emissões atmosféricas veiculares totais. Esse resultado consta do 2º *Inventário de Emissões Veiculares da Região Metropolitana do Rio de Janeiro* (2016), publicado pela SEA e pelo INEA, demonstrando a efetividade da nossa política de controle de emissão de gases poluentes emitidos pelos veículos automotores.

Outra importante conquista de 2016 foi a assinatura

do convênio para a elaboração do *Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) do Rio de Janeiro*, celebrado entre SEA, INEA, Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos (COPPETEC/UFRJ), Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (Centro-Clima/COPPE/UFRJ), com apoio financeiro do Porto do Açu Prumo Logística. O estudo visa subsidiar as ações de planejamento, conforme a Política Estadual sobre Mudança Global do Clima e Desenvolvimento Sustentável e as ações para o cumprimento das metas de redução de GEE. A avaliação da evolução das emissões a cada cinco anos é fundamental para atualizar a metodologia de análise, verificar tendências e projeções, além de orientar atividades de capacitação dos recursos humanos das instituições a serem envolvidas.

Para comprovar o protagonismo da SEA e do INEA no combate à poluição atmosférica, esta edição da Revista Ineana traz três artigos. Os textos, além de evidenciarem a importância dos programas federais (PROCONVE) e de parcerias como a do INEA/DETRAN-RJ, demonstram os avanços na gestão da qualidade do ar – sobretudo na Região Metropolitana do Rio, bastante impactada pelo tráfego de veículos e pela concentração de indústrias – e apontam caminhos para o aperfeiçoamento das políticas públicas voltadas à área.

O primeiro artigo, *Rio 2016 - Qualidade do ar e condições meteorológicas nos locais de competição*, é fruto das ações de controle e monitoramento implementadas pelo INEA nos últimos três anos, como



parte do compromisso do Estado do Rio de Janeiro com o Comitê Olímpico Internacional para a realização dos Jogos Olímpicos e Paralímpicos 2016. Assim que o Rio de Janeiro foi aclamado cidade-sede, 11 estações automáticas – as chamadas Estações Olímpicas – foram instaladas nas regiões de competição. Por meio dessas unidades, o INEA intensificou o monitoramento e o controle das condições meteorológicas e dos poluentes atmosféricos, conseguindo, assim, garantir o bom desempenho dos atletas e a saúde e o bem-estar das equipes, dos turistas e, principalmente, da população.

O segundo artigo, *PROCON Fumaça Preta: avanços do programa no Estado do Rio de Janeiro*, aborda a evolução do Programa de Autocontrole de Emissão de Fumaça Preta por Veículo Automotor do Ciclo Diesel (PROCON Fumaça Preta), a partir da análise comparativa dos dados de 2011 a 2015, com base no número de empresas vinculadas, número da frota declarada por essas empresas, número de inspeções realizadas, índice de reprovação dos veículos e valor médio de opacidade. Criado em 2007 para reduzir a poluição causada pelos veículos movidos a diesel, o programa integra o Plano de Controle da Poluição Veicular (PCPV) do Estado do Rio de Janeiro. Menos de uma década depois, seus resultados já indicam a possibilidade de redução dos limites de opacidade estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 418/2009.

Encerrando esta edição, o artigo *Evolução dos inventários de emissões veiculares da Região Metropolitana do Rio de Janeiro* faz um comparativo entre os resultados do primeiro levantamento do tipo, realizado em 2004, e os do segundo, que refletem a eficácia das diversas medidas de controle adotadas nos âmbitos nacional e estadual ao longo de quase dez anos. Mais do que atualizar os dados sobre as emissões veiculares na Região Metropolitana, o novo estudo, que adotou a metodologia *bottom-up*, ratifica a importância dos inventários de emissões de poluentes atmosféricos como instrumentos estratégicos de

editorial

gestão ambiental, à medida que permitem diagnosticar e orientar a adoção de medidas de intervenção e programas de controle da poluição do ar.

Deste modo, reafirma-se a Revista Ineana pela transparência e disseminação do conhecimento gerado intramuros, e, ainda, pelo compromisso de ampliar, aprofundar e, mesmo, provocar questionamentos.

E é com este espírito de inovação e superação que a SEA e o INEA pretendem avançar ainda mais, ao longo do ano de 2017, na implementação das políticas de conservação e proteção do meio ambiente em nosso Estado.

Boa leitura! ●



Rio 2016:

Qualidade do ar e condições meteorológicas nos locais de competição

- › Luciana Maria Baptista Ventura
- Michelle Branco Ramos
- Lázaro Costa Fernandes
- Caroline Menegussi Soares
- Jéssica de Oliveira Santos

› Resumo

Após os Jogos Olímpicos de Sidney (2000), quando foi inserida a temática sustentabilidade, com o objetivo de alertar o mundo para os crescentes problemas ambientais, uma série de diretrizes foi estabelecida para incentivar o monitoramento e o controle da poluição nas cidades-sede. Para a realização dos Jogos Olímpicos e Paralímpicos de 2016, o Estado do Rio de Janeiro assumiu, com o Comitê Olímpico Internacional (COI), o compromisso de monitorar a qualidade do ar e a meteorologia. A qualidade do ar exerce influência tanto no desempenho dos atletas como na saúde do público e da população. Durante os últimos três anos (2013, 2014, 2015), o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) fez o monitoramento dos parâmetros da qualidade do ar (partículas inaláveis e ozônio) e da meteorologia por meio das estações situadas nos locais das competições. Os resultados são apresentados neste artigo, que ainda traça um paralelo com os dados de outras cidades antecessoras dos Jogos Olímpicos. De maneira geral, a classificação da qualidade do ar nos locais olímpicos é boa. No entanto, alguns parâmetros violaram os padrões de qualidade do ar, devido, principalmente, às inúmeras obras e modificações promovidas na cidade do Rio de Janeiro para a construção das arenas olímpicas e melhoria da mobilidade urbana. Esse cenário também foi verificado em outras cidades-sede, como Atenas, na Grécia (2004). Contudo, as concentrações de todos os poluentes monitorados na cidade do Rio de Janeiro são extremamente inferiores às observadas em Pequim (2008)¹.

Palavras-chave

Qualidade do Ar. Poluição Atmosférica. Material Particulado. Ozônio. Meteorologia. Jogos Olímpicos.

O Morro do Pão de Açúcar, entre a Praia Vermelha (esq.), na Urca, e a Enseada de Botafogo, locais monitorados para que o vento não interferisse nas competições de vela da Olimpíada do Rio

1. Introdução

Os Jogos Olímpicos de Sydney, disputados em 2000, na Austrália, foram os primeiros em que os organizadores se preocuparam com a qualidade do ar local, pois, apesar de a região de Sydney apresentar concentrações médias horárias de partículas inaláveis (MP_{10}) baixas, na ordem de $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, o país sofre, eventualmente, com as chamadas *Red Dawn*, que são tempestades de areia vermelha. Estas, em anos anteriores, já alcançaram concentrações máximas de partículas inaláveis (MP_{10}) horárias da ordem de $15.366 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, o que provocou uma redução de visibilidade (400 m) (LEYS et al., 2011). A deposição de poeira pode ter impactos negativos, como o aumento de níveis de nutrientes em formas de água e da poluição em áreas urbanas, que resultam em aumento de doenças respiratórias e em custos significativos para a economia (LEYS et al., 2011).

Em seguida, a Grécia voltou a sediar os Jogos Olímpicos em 2004, 108 anos após a primeira Olimpíada da Era Moderna. O ar da capital, Atenas, cuja qualidade era monitorada desde 2001, já apresentava, nesta época, níveis preocupantes de MP_{10}^2 , pois excediam os limites legais da Comunidade Europeia³ em relação tanto às médias anuais ($40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) quanto às médias diárias ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, percentil 90) (GRIVAS & CHALOULAKOU, 2006).

Durante esses anos, a qualidade do ar na bacia de Atenas foi bastante agravada. Os fatores que mais contribuíram para esse fenômeno foram: as altas concentrações de poluentes emitidos por atividades antrópicas (sobretudo, indústrias e automóveis), a má ventilação na Bacia de Ática, os altos níveis de radiação solar, responsáveis pela produção de poluentes fotoquímicos do ar, além da alta densidade de edifícios altos na paisagem, que, presumivelmente, influencia a dispersão dos poluentes (VASSILAKOS et al., 2005).

Outro motivo para o agravamento da qualidade do ar em Atenas foi o aumento significativo de obras civis (edifícios, estradas, insta-

lações desportivas etc.) com vistas aos Jogos Olímpicos de 2004, o que pode ter levado à emissão ou ressuspensão de poeira pelos veículos pesados usados durante as obras e, consequentemente, ao aumento dos níveis de partículas inaláveis ($MP_{2,5}$ e MP_{10}) (VASSILAKOS et al., 2005). Por essa razão, foram avaliadas as concentrações médias diárias de MP_{10} durante os Jogos Olímpicos de 2004, pois a elevada circulação de pessoas tornou necessária a verificação de poluentes durante a ocorrência do evento (GRIVAS & CHALOULAKOU, 2006).

Durante os 16 dias dos Jogos de Atenas, disputados de 13 a 29 de agosto de 2004, o estudo acompanhou as máximas concentrações de MP_{10} observadas nos quatro pontos de monitoramento e constatou que variaram de 60 a $110 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, todas superiores aos padrões de qualidade da Comunidade Europeia ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) estabelecidos à época (GRIVAS & CHALOULAKOU, 2006).

As variações temporais de material particulado também foram estudadas por Vassilakos (VASSILAKOS et al., 2005), um ano antes dos Jogos de Atenas, entre 1º de abril e 13 de novembro de 2003. A análise incluiu medições em uma área distante 12 km do centro de Atenas. A campanha de medição cobriu a primavera (1/4 a 31/5), o verão (1/6 a 30/9) e o inverno (1/10 a 13/11), que são períodos com diferentes características meteorológicas.

Entretanto, esse estudo focou os níveis de material particulado menor que $2,5 \mu\text{m}$ ($MP_{2,5}$) e ozônio (O_3), pois ambos os poluentes vinham aumentando ao longo dos anos. No estudo de Vassilakos, os resultados para $MP_{2,5}$ apontaram concentração média diária de $21,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ e máxima de $40,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, ambas consideradas inferiores aos padrões estabelecidos em 1997 pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*United States Environmental Protection Agency* - USEPA), cuja média diária era de $65 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.⁴ Além dos resultados para $MP_{2,5}$, também foram verificadas as médias de concentração horária do O_3 , que variaram de $124 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, no verão, para $70,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, no inverno, com máximas concentrações de 140 e $101 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ nas respectivas estações do ano.



Estação Olímpica da Lagoa, uma das unidades de monitoramento da qualidade do ar e de meteorologia instaladas para garantir o controle da poluição antes e durante a Rio 2016

Depois de Atenas, Pequim foi a cidade escolhida para sediar a edição seguinte (2008) dos Jogos Olímpicos. Uma das maiores preocupações do Comitê Olímpico Internacional durante o processo de seleção da cidade-sede com relação à China (HE et al., 2016) foram os elevados níveis de poluição do ar registrados na capital, pois, à época, o crescimento vertiginoso da cidade elevou-a também ao patamar de cidade mais poluída do mundo (Lv et al., 2016). Para ganhar a disputa, o Governo chinês se comprometeu a assegurar a boa qualidade do ar na Região Metropolitana de Pequim e nas cidades adjacentes durante os Jogos Olímpicos e Paralímpicos. E, de fato, essa se tornou a principal meta da China relacionada aos Jogos (HE et al., 2016).

Já em 2007, foram implementadas diversas medidas para reduzir as emissões locais e regionais de poluentes na Região Metropolitana de Pequim. Padrões de emissão mais restritivos, redução do tráfego de veículos, interrupção de obras

de grande envergadura e fechamento de fábricas poluidoras foram algumas das medidas adotadas. Como resultado, a concentração mensal de MP_{10} em Pequim durante o período dos Jogos Olímpicos de 2008 caiu aproximadamente 30% (HE et al., 2016).

A Olimpíada seguinte ocorreu em Londres, capital da Inglaterra e do Reino Unido, em 2012. Essa cidade, no início dos anos 2000, tinha um dos piores indicadores de qualidade do ar entre as cidades europeias. As concentrações de partículas inaláveis (MP_{10}) - cerca de 25% do material particulado total são da fração MP_{10} -, que eram registradas nesse período representavam um grande problema ambiental, pois não atendiam às normas da Comunidade Europeia para a qualidade do ar em zonas urbanas, que são de até $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ num período de 24 horas ou de $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ao longo de um ano (ELISON et al., 2013).

Chegamos então a 2016 e ao Rio de Janeiro, cidade-sede dos Jogos Olímpicos e Paralímpicos disputados entre 5 de agosto e 18 de setembro.

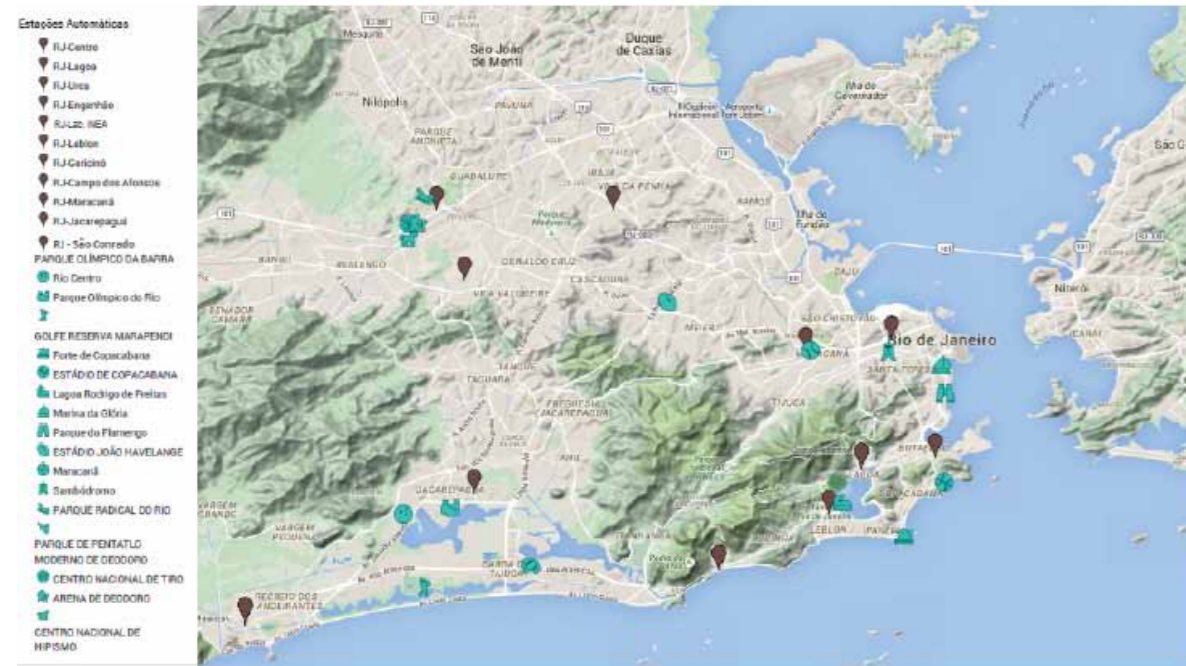


Figura 1 - Distribuição das estações olímpicas em relação aos locais de competição da Rio 2016

Fonte: GEAR/INEA

Com características muito similares a Atenas, a cidade do Rio também é rodeada pelo mar e por cadeias de montanhas (Figura 1), as quais têm grande impacto na dispersão atmosférica dos poluentes e, conseqüentemente, na qualidade do ar. Outros fatores que também influenciam a qualidade do ar da cidade são a ocupação irregular do solo e a proximidade do mar e das baías de Guanabara e de Sepetiba. Embora o Rio de Janeiro seja uma cidade litorânea, que favorece a ventilação natural, sua topografia acidentada, paralela à linha da costa, dificulta a circulação do ar (SOLURI et al., 2007; GODOY et al., 2009). Além disso, o clima da cidade é subtropical, com intensa radiação solar e temperaturas elevadas, o que aumenta a formação de poluentes fotoquímicos secundários.

O Rio de Janeiro é uma das trinta maiores megacidades do mundo e a segunda maior do Brasil, com seis milhões de habitantes e uma densidade demográfica de 5.265 hab.km⁻² (IBGE, 2011). Também possui uma frota de 2,6 milhões de veículos (DETRAN, 2014) – quase um veículo para cada três habitantes – e a segunda maior participação no Produto Interno Bruto (PIB) do país (IBGE, 2011).

2. Monitoramento da qualidade do ar no Rio de Janeiro

A qualidade do ar em território fluminense é monitorada pelo órgão ambiental do Estado do Rio de Janeiro desde 1967. As primeiras estações de monitoramento da qualidade do ar eram manuais, ou seja, era preciso um operador para colocar e retirar os filtros que coletavam material particulado do ar. Esses equipamentos, que ainda se encontram em operação, monitoram partículas totais em suspensão com até 100µm (INEA, 2015).

Somente em 2000 o Estado do Rio adquiriu as primeiras estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar e de meteorologia. Estas estações tornaram desnecessário o uso de mão de obra humana, pois enviam remotamente os dados medidos para uma central, que faz a triagem e a avaliação das informações. Portanto, foi nesse ano que teve início o monitoramento dos gases poluentes, tais como ozônio, monóxido de carbono e dióxidos de nitrogênio e enxofre (INEA, 2015).

A qualidade do ar depende de dois fatores: a quantidade de poluentes emitidos por substâncias que o tornam impróprio e nocivo à saúde humana, e a capacidade da atmosfera

de dispersar esses poluentes. Fenômenos meteorológicos, topografia e uso e ocupação do solo têm grande influência nessa dispersão, enquanto a tipologia das fontes emissoras de substâncias nocivas (indústria, automóveis, obras civis etc.) determinam os padrões de emissões e os tipos de poluentes (INEA, 2015).

O Instituto Estadual do Ambiente (INEA), no ato de sua criação, em 2009, herdou da extinta Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA)⁵ uma rede de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia composta por seis estações automáticas, sendo quatro fixas e duas móveis, além de 32 estações manuais, todas distribuídas pela Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Essa rede de estações fornece dados que viabilizam a elaboração de diagnósticos ambientais, tornando possível a emissão de alertas referentes a eventos críticos de poluição, e auxiliam nas tomadas de decisão que norteiam a gestão da qualidade do ar no Estado do Rio de Janeiro (INEA, 2015).

De olho na Rio 2016, a Secretaria de Estado do Ambiente (SEA) aprovou, em 2011, o Projeto Olímpico, com o objetivo de empregar recursos do Fundo Estadual de Conservação Ambiental e Desenvolvimento Urbano (FECAM) para ampliar a rede de monitoramento da qualidade do ar e de meteorologia no Estado do Rio de Janeiro e, desta maneira, atender aos compromissos assumidos com o COI com vistas aos Jogos Olímpicos de 2016. Um dos compromissos previstos era monitorar a qualidade do ar e a meteorologia antes e durante os Jogos nos locais de competição e informar a qualidade do ar à população diariamente.

O Projeto Olímpico previa a aquisição de 11 estações de monitoramento da qualidade do ar e de meteorologia, a serem instaladas nas proximidades dos locais de competição dos Jogos; o monitoramento contínuo da qualidade do ar de 2011 a 2016; a recuperação e operação das estações mais antigas; e o desenvolvimento de um Banco de Dados Espaciais do Ar (BDE-Ar), para que a sociedade civil pudesse acessar pela internet o banco de dados do ar georreferenciado e analisar espacialmente as informações.



Estação Olímpica do Engenheiro: para que competidores das provas de atletismo não fossem prejudicados pela poluição, região contou com rigoroso controle da qualidade do ar

Dentro do planejado, 11 estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar e de meteorologia – batizadas de Estações Olímpicas – foram adquiridas e instaladas nos locais de competição na cidade (Tabela 1).

Na campanha de monitoramento da qualidade do ar dos Jogos Olímpicos de 2016, os poluentes selecionados para controle foram: partículas com diâmetro de até 10µm (MP₁₀), partículas com diâmetro de até 2,5µm (MP_{2,5}) e ozônio (O₃). Em concentrações elevadas, esses poluentes podem reduzir a capacidade física do atleta, além de causar desconforto ao público e à população, em geral (CONEMA, 2012).

As Estações Olímpicas e os locais de competição podem ser visualizados espacialmente na Figura 1.

Tabela 1 – Estações olímpicas x Modalidades esportivas			
Estações de monitoramento	Bairro	Competições	Local de competição
Campo dos Afonsos	Deodoro	Basquetebol, Pentatlo Moderno, Esgrima em Cadeira de Rodas, Hipismo Adestramento, Hipismo CCE, Hipismo Saltos, Hipismo, Hóquei sobre Grama, Tiro Esportivo, Rugby e Futebol de 7	Deodoro/ Parque Radical do Rio
Engenhão	Engenho de Dentro	Atletismo, Futebol e Atletismo paralímpico	Estádio Olímpico Nilton Santos
Lagoa Rodrigo de Freitas	Lagoa	Canoagem Velocidade, Remo, Canoagem (paralímpica) e Remo (paralímpico)	Estádio da Lagoa
Leblon	Leblon	Ciclismo de estrada, Maratonas Aquáticas, Triatlo, Atletismo (paralímpico) e Triatlo (paralímpico)	Forte de Copacabana
Laboratórios INEA	Recreio dos Bandeirantes	Levantamento de Peso, Halterofilismo (paralímpico), Tênis de Mesa, Tênis de Mesa (paralímpico), Badminton, Boxe e Voleibol Sentado (paralímpico)	Riocentro
Maracanã	Maracanã	Futebol e Voleibol	Centro Aquático Julio Delamare Maracanã Maracanãzinho Marina da Glória
Urca	Glória	Vela e Vela (paralímpica)	Marina da Glória
Gericinó	Deodoro	Ciclismo Mountain Bike, Ciclismo BMX e Canoagem Slalom	Parque Radical do Rio
Centro	Centro	Atletismo (maratona), Tiro com Arco e Tiro com Arco (paralímpico)	Sambódromo
RJ – Jacarepaguá	Barra	Basquetebol, Basquetebol em Cadeira de Rodas (paralímpico), Rugby em Cadeira de Rodas (paralímpico), Judô, Luta Estilo Livre, Luta Greco-Romana, Bocha (paralímpico), Esgrima, Taekwondo, Judô (paralímpico), Handebol, Goalball (paralímpico), Ginástica Artística, Ginástica Rítmica, Ginástica de Trampolim, Basquetebol em Cadeira de Rodas (paralímpico), Nado Sincronizado, Polo Aquático, Saltos Ornamentais, Tênis, Futebol de 5 (paralímpico), Tênis em Cadeira de Rodas (paralímpico), Natação, Natação (paralímpica), Ciclismo de Pista e Ciclismo de Pista (paralímpico)	Parque Olímpico da Barra
RJ – São Conrado	São Conrado	Golfe	Campo de Golfe de São Conrado

Fonte: Relatório INEA, 2015 e site da Rio 2016 (adaptado)

3. Relação da prática de esportes com o ar

3.1 Poluentes atmosféricos e prática de esportes

Nas atividades esportivas, os atletas inspiram ar, preferencialmente, pela boca, pois isso aumenta o volume inspirado por minuto e a capacidade de difusão do ar. Se, de um lado, isso facilita a oxigenação do organismo, de outro, também permite a entrada de poluentes (CARLISLE & SHARP, 2001) pelas vias aéreas. Durante a realização de exercícios, a quantidade de partículas ultrafinas que se depositam no trato respiratório é inversamente proporcional ao seu tamanho. Ou seja, quanto menores as partículas, maior a quantidade depositada, que, durante uma atividade física, chega a ser cinco vezes superior à registrada quando o corpo está em repouso (DAIGLE et al., 2003).

A Associação Americana do Coração (*American Heart Association - AHA*), ao falar sobre os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde, desaconselhou exercícios intensos na presença de ar com qualidade insatisfatória, embora as sociedades de medicina esportiva não recomen-

dem cuidados com a prática de exercícios em ambientes poluídos (BROOK et al., 2010).

Em 2012, o estudo de Rundell avaliou os efeitos da poluição no desempenho de atletas. Concluiu-se que a realização de exercícios físicos em ambientes com elevados níveis de poluentes reduz agudamente a função pulmonar e vascular, tanto em indivíduos asmáticos quanto em saudáveis. Além disso, a prática em longo prazo de exercícios em ambientes poluídos aparece associada à redução da função pulmonar, podendo induzir disfunção vascular, devido ao estresse oxidativo sistêmico e nas vias aéreas, e, conseqüentemente, reduzir o desempenho do atleta (RUNDELL, 2012).

Recomenda-se, portanto, que indivíduos mais sensíveis (portadores de asma e doença pulmonar obstrutiva crônica - DPOC, além de cardiopatas, idosos e crianças) evitem praticar exercícios nos dias em que a qualidade do ar estiver inadequada.

A Tabela 2 apresenta os principais poluentes atmosféricos com suas respectivas fontes, áreas de ação no sistema respiratório e efeitos sobre a saúde humana (ARBEX et al., 2012).

Tabela 2 – Principais poluentes atmosféricos, suas fontes, áreas de ação no sistema respiratório e efeitos sobre a saúde humana

Poluentes	Fontes	Sistema respiratório	Efeitos
Material particulado (MP ₁₀)	Fontes antropogênicas: poeira da rua e de estradas, de atividades agrícolas e de construções. Fontes naturais: sal marinho, pólen, esporos, fungos e cinzas vulcânicas.	Traqueia, brônquios e bronquíolos	Diminui a atividade mucociliar e dos macrófagos. Produz irritação nas vias respiratórias. Causa estresse oxidativo e, em consequência, inflamação pulmonar e sistêmica. Exposição crônica produz remodelamento brônquico e DPOC
Material particulado fino (MP _{2,5})	Queima de combustíveis fósseis e de biomassa, usinas termelétricas.	Alvéolos	Pode ser cancerígeno.
Ozônio (O ₃)	Não é emitido diretamente na atmosfera. Sua formação ocorre através de reações químicas complexas entre compostos orgânicos voláteis (COVs) e óxidos de nitrogênio (NOx) na presença de luz solar. A luz solar e a temperatura estimulam tais reações, de forma que, em dias ensolarados e quentes, ocorrem picos de concentração de ozônio. São fontes de emissões de COVs e NOx: veículos, indústrias químicas, lavanderias e atividades que usam solventes.	Traqueia, brônquios, bronquíolos e alvéolos	É um agente oxidante fotoquímico e muito irritante. Provoca inflamação da mucosa do trato respiratório. Em altas concentrações, irrita os olhos, mucosa nasal e da orofaringe. Provoca tosse e desconforto torácico. Exposição por várias horas leva à lesão no tecido epitelial de revestimento das vias aéreas. Provoca inflamação e obstrução das vias aéreas a estímulos como o frio e exercícios.

Fonte: ARBEX et al., 2012 (adaptado)

Dessa forma, a prática de exercícios nas proximidades de vias de tráfego intenso aumenta os níveis de carboxi-hemoglobina (30 minutos de corrida podem elevar tais níveis ao patamar, que também é atingido quando se consome 10 cigarros/dia), reduzindo o desempenho aeróbio de atletas (CARLISLE & SHARP, 2001).

3.2 Meteorologia e prática de esportes

O condicionamento físico dos atletas e os equipamentos utilizados nas competições são bastante afetados pelas condições meteorológicas, principalmente nos esportes ao ar livre, como vela, remo e canoagem. Para evitar prejuízos aos atletas, parâmetros meteorológicos, como direção e velocidade do vento, têm se mostrado importantes, pois ventos transversais à trajetória podem provocar tombamento do barco, enquanto os ventos paralelos podem favorecer ou prejudicar o tempo dos competidores.

Em esportes como o atletismo e o tiro com arco, as características do vento podem mudar a direção dos aparelhos esportivos (flecha, peso, dardo etc.), além de provocar arraste de atletas em corridas, alterando o tempo dos velocistas (PREUSSLER & SANTIAGO, 2010).

Assim como o vento, a temperatura e a umidade relativa do ar também podem influenciar o desempenho de atletas. Essa preocupação foi observada e relatada por Taylor e Rollo (2014) e também por Eichner (2002), que avaliou problemas de jogadores de futebol, relacionando-os a temperaturas altas.

4. Padrões nacionais e estaduais de qualidade do ar

A Resolução CONAMA nº 3, de 1990, define que: *são padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.*

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2005):

Os Padrões de Qualidade do Ar (PQAr) variam de acordo com a abordagem adotada para

balancear riscos à saúde, viabilidade técnica, considerações econômicas e fatores sociopolíticos. Estes dependem, primariamente, do nível de desenvolvimento e da capacidade do Estado de gerenciar a qualidade do ar.

As diretrizes recomendadas pela OMS levam em conta essa heterogeneidade, reconhecendo que, na formulação das políticas de qualidade do ar, os governos devem considerar cuidadosamente as circunstâncias locais antes de adotarem os valores propostos como padrões nacionais. A OMS (2005) também preconiza que o processo de estabelecimento de padrões visa a atingir as menores concentrações possíveis no contexto de limitações locais, como capacidade técnica e prioridades em termos de saúde pública.

Em 2013, o Estado do Rio de Janeiro publicou o Decreto nº 44.072, que regulamentou os padrões de qualidade do ar, com base nos padrões nacionais e nas diretrizes e recomendações da OMS (2005). Assim, os padrões primários de qualidade do ar são divididos de acordo com o tempo de exposição a cada poluente e seu risco potencial à saúde da população, podendo ser caracterizados como indicadores de curto período e de longo período de exposição. Na Tabela 3 é possível verificar os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 3/1990 como padrões de qualidade do ar, os quais, até hoje, continuam sendo adotados no Estado do Rio de Janeiro.

É importante esclarecer que a legislação vigente para padrão de curto período (médias de 24 horas, oito horas ou uma hora) permite que o padrão seja ultrapassado uma vez ao ano. No caso de o limite ser ultrapassado mais de uma vez, considera-se que o padrão foi violado, estando, portanto, em desacordo com a legislação. Quanto ao padrão de longo período (médias anuais), qualquer ultrapassagem é considerada violação do limite.

4.1 Índices de qualidade do ar

Com o intuito de padronizar e simplificar o processo de divulgação da qualidade do ar pelos meios de comunicação, a Agência de Proteção Ambiental Americana desenvolveu o Índice

de Qualidade do Ar (IQAr), uma ferramenta matemática baseada na metodologia concebida pelo Índice de Poluentes Padrão (*Pollutant Standard Index - PSI*). No Estado do Rio de Janeiro os parâmetros que compõem o IQAr são: material particulado em suspensão, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio (INEA, 2015).

Para expressar a relação entre o índice da USEPA (IQAr), a Companhia de Tecnologia de Saneamento do Estado de São Paulo (CETESB) desenvolveu um sistema de qualificação do ar associado aos efeitos sobre a saúde, independentemente do poluente em questão (Tabelas 4 e 5). O índice é o fator percentual da relação entre a concentração medida e o padrão de qualidade do ar do poluente analisado.

As classificações “Boa” e “Regular” indicam que as concentrações dos poluentes monitorados não ultrapassam os padrões de qualidade do ar preconizados na Resolução CONAMA nº 3/1990. Já as classificações “Inadequada”, “Má” e “Péssima” estão diretamente relacionadas aos valores de concentrações dos poluentes que ultrapassaram e/ou violaram os padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 3/1990, em conformidade com o Decreto Estadual nº 44.072/2013, que regulamenta os padrões de qualidade do ar no Estado do Rio de Janeiro.

A divulgação da classificação da qualidade do ar local é baseada no índice (IQAr) mais elevado entre os poluentes monitorados. Dessa forma, a qualidade do ar em uma região é determinada pelo poluente com maior concentração

5. Metodologia

Para cumprir o compromisso olímpico de monitoramento da qualidade do ar nos locais onde ocorreram as competições dos Jogos Olímpicos e Paralímpicos, o INEA padronizou

Tabela 3 – Padrões de qualidade do ar estabelecidos na Resolução CONAMA nº 3/1990

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário (µg.m-3)
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas MGA*	240 80
Partículas Inaláveis (MP ₁₀)	24 horas MAA**	150 50
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	24 horas MAA**	365 80
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	1 hora MAA**	320 100
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora 8 horas	40.000 10.000
Ozônio (O ₃)	1 hora	160
Fumaça	24 horas MAA**	150 60

*MGA: Média Geométrica Anual; **MAA: Média Aritmética Anual
Fonte: CONAMA, 1990

sua rede de medição para mensurar o nível dos poluentes que mais poderiam afetar a saúde da população e o desempenho dos atletas, tais como as partículas inaláveis de até 10µm (MP₁₀) e até 2,5µm (MP_{2,5}), além do ozônio (O₃). A Tabela 6 apresenta os tipos de analisadores e suas respectivas especificações, frequência e os métodos de referência.

As estações de monitoramento de qualidade do ar estão distribuídas por quatro regiões esportivas: Recreio e Jacarepaguá (Barra), Deodoro e Campo dos Afonsos (Deodoro), Lagoa, Leblon e Urca (Copacabana), além de Maracanã, Engenho de Dentro e Centro (Maracanã).

Devido à necessidade de divulgação das condições meteorológicas nos locais de competição, as Estações Olímpicas também foram equipadas com termo-higrômetros – sensores de temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR) – e anemômetros – sensores de direção (DV) e velocidade do vento (VV) –, que enviam em tempo real os valores medidos para o INEA, que, por sua vez, os encaminha para o COI. Em algumas des-

Tabela 4 - Índices de qualidade do ar				
Qualidade	IQAr (%)	PTS (µg.m-3)	MP10 (µg.m-3)	O3 (µg.m-3)
Boa	0 - 50	0 - 80	0 - 50	0 - 80
Regular	51 - 100	80 - 240	50 - 150	80 - 160
Inadequada	101 - 199	240 - 375	150 - 420	160 - 200
Má	200 - 299	375 - 625	250 - 420	200 - 800
Péssima	> 299	> 625	> 420	0

Fonte: CETESB, 2016 (adaptado)

Tabela 5 - Sintomas associados à classificação da qualidade do ar	
Qualidade	Riscos gerais à saúde
Boa	Praticamente não há riscos à saúde.
Regular	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse e cansaço. A população em geral não é afetada.
Inadequada	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas mais sérios.
Má	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas mais graves.
Péssima	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: CETESB, 2016 (adaptado)

Tabela 6 - Tipos de analisadores, frequência da amostragem, marca, modelo e método de análise				
Equipamentos	Marca	Modelo	Frequência de Amostragem	Método de Análise de Referência
Analisador de MP ₁₀	Energética S.A	AGV MP ₁₀	6 em 6 dias	NBR 13.412
Analisador de MP _{2,5}	Energética S.A	AGV MP _{2,5}	6 em 6 dias	NBR 13.412
Analisador de O ₃	Environnement S.A	O ₃ 42M	Horária	MF-608.R-3

Fonte: GEAR/INEA

As estações também são medidas pressão (P), radiação solar (Rad) e precipitação (PR).

A Tabela 7 apresenta as estações que foram utilizadas para a elaboração deste estudo, sua localização e os parâmetros monitorados.

Para este estudo, foram analisados os dados de monitoramento dos parâmetros meteorológicos e dos poluentes atmosféricos coletados durante três anos (2013, 2014, 2015). Não foram abordados os dados gerados pelas estações localizadas nos bairros Gamboa e São Conrado, que também fizeram parte da rede de monitoramento para os Jogos Olímpicos, pois, devido a rearranjos dos locais das arenas olímpicas, não houve competições nesses locais.

6. Resultados

6.1 Qualidade do ar

Para entender qualitativamente como estavam as condições do ar nas áreas que receberão as competições dos Jogos Olímpicos, foi feita uma análise dos índices de qualidade do ar calcula-

dos para os anos de 2014 e 2015. Esse estudo apresenta o percentual de ocorrências em que a qualidade do ar foi classificada como “Boa”, “Regular”, “Inadequada”, “Má” e “Péssima” (Figura 2).

Os resultados do monitoramento da qualidade do ar e da meteorologia obtidos em 2014 e 2015 demonstraram que, nos locais de competição da Rio 2016, a qualidade do ar foi classificada como “Boa” em mais de 84% do tempo analisado. Ainda na Figura 2, observa-se que os resultados do monitoramento nos locais de competição dos Jogos Olímpicos demonstraram que menos de 1% dos resultados diários medidos apresentaram um índice de qualidade do ar classificada como “Inadequada” e “Má”, causado somente pelo poluente ozônio.

As classificações “Boa” e “Regular” indicam que os poluentes monitorados não ultrapassaram os padrões de qualidade do ar.

6.1.1 Material particulado

O material particulado inalável na fração MP_{2,5} é considerado um dos maiores poluentes atmos-

Tabela 7 - Rede Olímpica de monitoramento de qualidade do ar e de meteorologia							
Estações	Bairro	Região esportiva	Latitude	Longitude	Tipo de Monitoramento	Parâmetros da Qualidade do Ar	Parâmetros Meteorológicos
RJ - Jacarepaguá	Barra da Tijuca	Barra	22,93647°	43,371727°	AUTO*	O ₃	T, UR, DV, VV
RJ - Lab. INEA	Recreio		22,98928°	43,414962°	AUTO/SEMI*	O ₃ e MP _{2,5}	T, UR, DV, VV, Rad, P, PR
RJ - Campo dos Afonsos	Campo dos Afonsos	Deodoro	22,87861°	-43,379278°	AUTO/SEMI*	O ₃ e MP ₁₀	T, UR, DV, VV, Rad, P.
RJ - Gericinó	Gericinó		22,85933°	-43,408049	SEMI*	O ₃ e MP ₁₀	T, UR, DV, VV
RJ - Urca	Urca	Copacabana	-22,95534°	-43,175882°	AUTO/SEMI*	O ₃ e MP _{2,5}	T, UR, DV, VV
RJ - Leblon	Leblon		-22,78423°	-43,222986°		O ₃ e MP ₁₀	
RJ - Lagoa	Lagoa		-22,97449°	-43,217642°		O ₃ e MP _{2,5}	
RJ - Maracanã	Maracanã	Maracanã	-22,91039°	-43,235731°	AUTO/SEMI*	O ₃ , MP ₁₀ , MP _{2,5}	T, UR, DV, VV
RJ - Engenho de Dentro	Engenho de Dentro		-22,89182°	-43,294420°		O ₃ e MP _{2,5}	
RJ - Centro	Centro		-22,90739°	-43,195327°		O ₃	

*AUTO: estações automáticas de monitoramento de qualidade do ar;

*SEMI: estações semiautomáticas/manuais de monitoramento da qualidade do ar

Fonte: GEAR/INEA

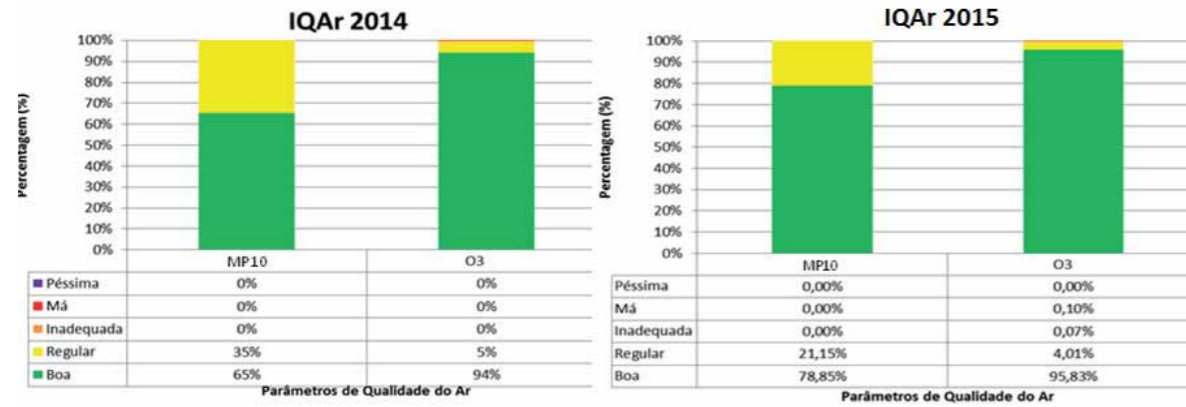


Figura 2 - Índices de qualidade do ar calculados para os anos de 2014 e 2015

Fonte: GEAR/INEA

féricos do mundo. De acordo com estudos epidemiológicos, o MP_{2,5} pode ser inalado e absorvido pelos pulmões, causando efeitos adversos na saúde humana e aumentando a mortalidade e morbidez cardiopulmonar. O material particulado também pode influenciar o clima em nível local e regional, uma vez que absorve a radiação solar e altera as propriedades das nuvens, tais como a higroscopicidade e propriedades ópticas (Lv et al., 2016). Por conta disso, esse poluente vem sendo monitorado em todas as cidades-sede do evento, desde os Jogos Olímpicos de Sidney, em 2000.

Embora o poluente MP_{2,5} não conste no rol dos poluentes indicadores da qualidade do ar definidos na Resolução CONAMA nº 3/1990, no Estado do Rio de Janeiro, ele tem sido monitorado por estações semiautomáticas de qualidade do ar desde 2011. As concentrações diárias e médias anuais desse poluente são confrontadas com os padrões de qualidade do ar de curto e longo períodos estipulados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2012). Para a exposição de curto período, adota-se o padrão primário diário de 35 µg.m⁻³; para a exposição de longo período, utiliza-se o padrão primário anual de 12 µg.m⁻³. A Tabela 8 apresenta a média anual de MP_{2,5} medida pelas Estações Olímpicas semiautomáticas nos anos de 2013 a 2015.

Pode-se observar, na Tabela 8, que no ano de 2014 as concentrações anuais de MP_{2,5} presentes na atmosfera, na área de abrangência das es-

tações localizadas na Lagoa, no Engenho, no Maracanã e no Recreio dos Bandeirantes (Laboratório INEA), apresentavam valores acima do padrão de qualidade do ar anual adotado pela USEPA (12 µg.m⁻³). Já no ano de 2015, é possível notar que as concentrações anuais medidas no Recreio dos Bandeirantes e no Maracanã diminuíram e mantiveram-se abaixo do padrão.

Ainda assim, as concentrações anuais de MP_{2,5} medidas nos três últimos anos nas áreas olímpicas da cidade do Rio de Janeiro variaram de 6 a 20 µg.m⁻³, valores muito abaixo aos verificados em Pequim, onde, mesmo após a adoção de várias medidas de controle de emissões de poluentes, eram ainda registrados valores médios de 90 µg.m⁻³ após 2008 (Lv et al., 2016).

As concentrações e a composição do MP_{2,5} costumam variar de tempos em tempos, influenciadas tanto pelas fontes de emissão como pela meteorologia. Como as condições climáticas de uma região específica quase não mudam durante uma ou duas décadas, as fontes de emissão são o fator que mais interfere na variação da concentração e da composição do MP_{2,5} durante determinado ano (Lv et al., 2016).

Além disso, sabe-se que a principal fonte emissora desse poluente para a atmosfera são os processos de combustão, como os que ocorrem nos veículos (HE et al., 2016). Logo, como estão localizados próximos às principais vias urbanas do Rio de Janeiro, os pontos de amostragem são influenciados pelos congestionamentos registrados dia-

riamente na cidade (INEA, 2015). A influência desses fatores no aumento da concentração de MP_{2,5} na atmosfera pode ser observada na Tabela 8, por meio dos resultados da estação da Urca, que é um ponto de amostragem com pouca influência veicular. A partir dos dados coletados, constata-se que as concentrações anuais de MP_{2,5} na atmosfera, nos últimos três anos, ficaram abaixo do padrão.

A Tabela 9 apresenta a média anual de MP₁₀ dos últimos três anos (2013, 2014 e 2015) nas áreas das Estações Olímpicas. Observa-se que, nas estações localizadas em Campo dos Afonsos, Gericinó, Leblon e Maracanã, as concentrações médias anuais de material particulado na atmosfera não ultrapassaram o valor de 50 µg.m⁻³, estabelecido como padrão brasileiro (CONAMA, 1990) e americano (USEPA, 2012) de qualidade do ar para o período de um ano. A exceção ocorreu apenas na estação localizada no Maracanã, que nos dois últimos anos (2014 e 2015) apresentou concentração média anual acima do padrão (58 e 61 µg.m⁻³).

Cabe lembrar que desde 2014 foram iniciadas obras de reestruturação no Estádio do Maracanã

Tabela 8 - Média anual de MP_{2,5} (µg.m⁻³)

Estações	2013	2014	2015
RJ - Urca	6	11	10
RJ - Lagoa	10	20	14
RJ - Lab. INEA	13	16	11
RJ - Engenho	*	17	12
RJ - Maracanã	6	13	11

* Não alcançou 50% de representatividade

Fonte: GEAR/INEA

Tabela 9 - Média Anual de MP₁₀ (µg.m⁻³)

Estações	2013	2014	2015
RJ - Campo dos Afonsos	21	36	30
RJ - Gericinó	23	35	31
RJ - Leblon	22	41	44
RJ - Maracanã	43	58	61

Fonte: GEAR/INEA

para que o mesmo estivesse dentro dos padrões estabelecidos pelo COI e, assim, pudesse sediar as competições esportivas e as cerimônias de abertura e encerramento dos Jogos.

De 2013 para 2014 e 2015, verificou-se também um aumento nas concentrações médias anuais de MP₁₀ em todos os pontos de amostragem (Tabela 8). O mesmo aconteceu em Atenas, onde esse comportamento foi atribuído ao aumento significativo das obras civis (edifícios, estradas, instalações desportivas etc.) para os Jogos Olímpicos de 2004, a partir da emissão ou ressuspensão de poeira pelos veículos pesados que trabalharam nas obras (VASSILAKOS et al., 2005).

De acordo com o *Inventário de Emissões Atmosféricas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro* (FEEMA, 2004), os veículos são responsáveis pela geração de 40% dos MP₁₀. Ainda segundo o documento, 91% desse total são provenientes da queima do diesel, em comparação com os outros combustíveis (SEA, 2011).

As concentrações médias anuais de MP₁₀ (21 a 61 µg.m⁻³) verificadas nas Estações Olímpicas do Rio de Janeiro foram bastante similares às de Atenas de 2001 a 2004 (30 a 60 µg.m⁻³) (GRYPARIS et al., 2014) e muito menores do que as registradas em Pequim entre 2007 e 2008 (124 a 152 µg.m⁻³) (HE et al., 2016).

Dados mensais de materiais particulados são um bom indicador de poluição atmosférica, tanto por exprimirem uma medida direta padronizada de concentração de poeira no ar como, também, pela relação direta que têm com a saúde humana (LEYS et al., 2011).

Para que fosse verificado o comportamento do material particulado nas frações MP₁₀ e MP_{2,5} nas diferentes estações do ano, sobretudo no inverno, período em que ocorrem as condições mais críticas de poluição atmosférica nas grandes metrópoles, e para o qual foi programado a Rio 2016, foram gerados gráficos das médias mensais das concentrações diárias de material particulado em ambas as frações (Figuras 3 e 4) medidas nas estações de monitoramento semiautomático, distribuídas entre as regiões esportivas.

As menores concentrações de MP₁₀ e MP_{2,5} foram medidas nos meses de novembro e dezembro, pe-



André Carvalho

No Parque Radical do Rio, na Zona Oeste, concentração média de poeira e fuligem na fração MP_{10} manteve-se dentro dos padrões de 2013 a 2015, aponta estação de Gerçinó

riodo do ano que marca a transição da primavera para o verão e, por isso, está associado a uma maior intensidade de chuvas. No entanto, como era esperado, devido às condições desfavoráveis para a dispersão dos poluentes atmosféricos de maio a setembro, ou seja, no outono e no inverno, observamos que as concentrações desses poluentes foram maiores naqueles meses do que nos demais.

Em Pequim, assim como no Rio de Janeiro, o inverno também é a estação do ano menos propensa à dispersão de poluentes, com concentração média de MP_{25} de $140,1 (\pm 42,5) \mu g.m^{-3}$, e o verão, a estação menos poluída, com $92,1 (\pm 24,7) \mu g.m^{-3}$ de MP_{25} (Lv et al., 2016). Já na Grécia, em 2003, a concentração média de MP_{25} era mais baixa no inverno ($14,9 \mu g.m^{-3}$) do que no verão e primavera ($25,1 \mu g.m^{-3}$) (VASSILAKOS et al., 2005).

As Figuras 3 e 4, referentes às Estações Olímpicas do Rio, demonstram ainda que as concentrações de MP_{25} monitoradas são menores do que as concentrações de MP_{10} , com uma taxa de MP_{25}/MP_{10}

de aproximadamente 60%. Essa diferença se deve à tipologia da fonte emissora, bem como ao tempo de suspensão de cada tipo de partícula na atmosfera.

Na região de Copacabana, sempre são observadas as menores concentrações médias mensais, tanto para MP_{10} quanto para MP_{25} . Isso evidencia a forte influência da brisa marítima sobre a dispersão atmosférica do material particulado, uma vez que todos os pontos de amostragem da supracitada região estão próximos à orla.

Durante os três últimos anos de monitoramento nas regiões esportivas de Copacabana, Maracanã e Deodoro, as concentrações diárias de MP_{10} variaram de 6 a $96 \mu g.m^{-3}$, valores que não ultrapassaram $150 \mu g.m^{-3}$, que é o padrão diário de qualidade do ar nacional (CONAMA, 1990), o qual, por sua vez, é igual ao americano (USEPA, 2012).

No mesmo período, as concentrações diárias de MP_{25} variaram de 1 a $44 \mu g.m^{-3}$ nas regiões da Barra e de Copacabana. Já na região do Ma-

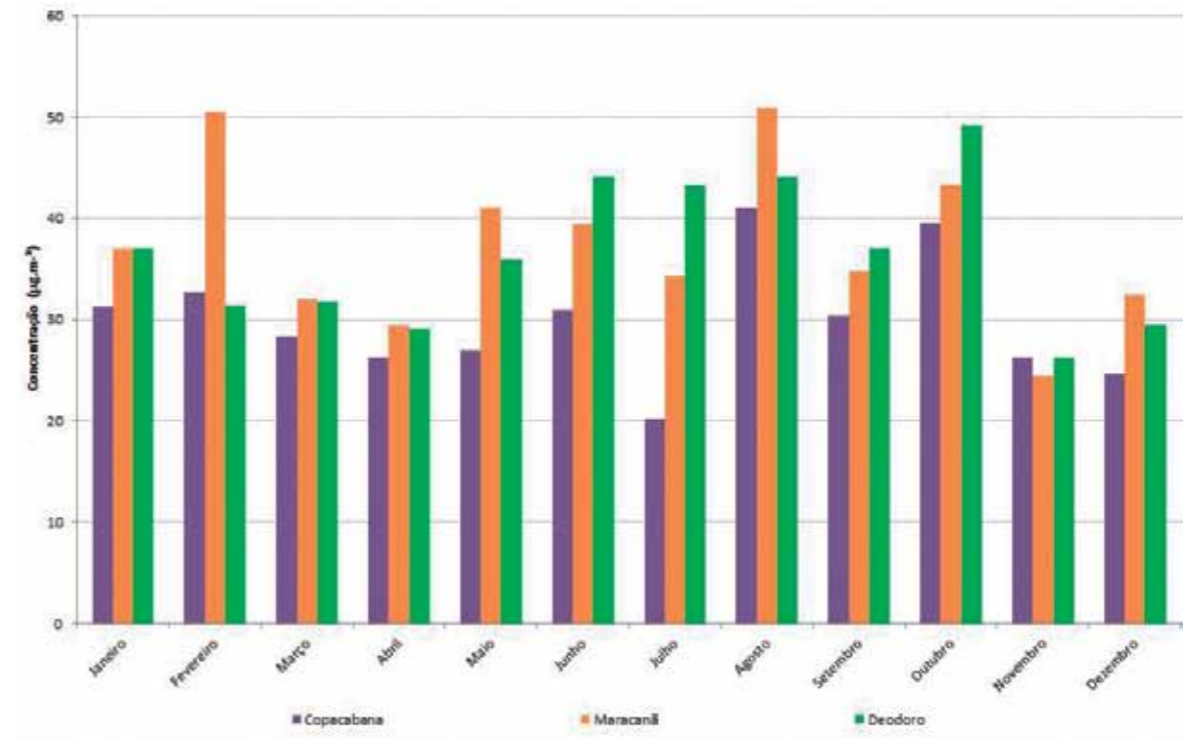


Figura 3 – Perfil mensal de MP_{10} por regiões esportivas (2013 - 15)

Fonte: GEAR/INEA

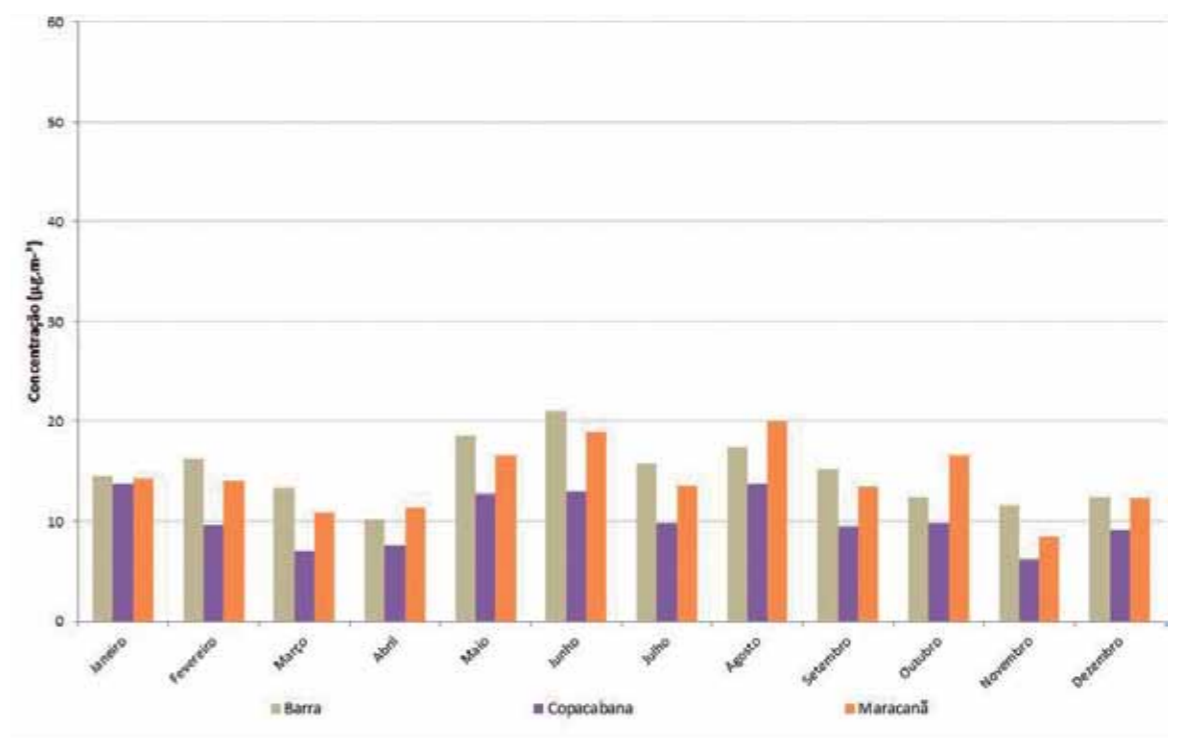


Figura 4 – Perfil mensal de MP_{25} por regiões esportivas (2013 - 15)

Fonte: GEAR/INEA



Estação olímpica Maracanã usada para monitorar a poluição e os ventos no entorno do estádio, onde foram disputados jogos do torneio de futebol e realizadas as cerimônias de abertura e encerramento da Rio 2016

racanã, as concentrações variaram de 2,5 a 87 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Esses resultados reforçam a influência da brisa marítima na dispersão desse poluente, assim como evidenciam a característica da fonte emissora nos níveis de concentração (veículos, indústrias, aerossóis marinhos ou outros).

Embora a legislação brasileira que estabelece os padrões de qualidade do ar não considere os níveis de $\text{MP}_{2,5}$ um indicador da qualidade do ar, se analisarmos os resultados diários do monitoramento e o compararmos aos padrões de qualidade do ar definidos pela legislação americana (USEPA, 2012), observaremos que nas três regiões esportivas ocorreram concentrações acima do padrão ($35 \mu\text{g.m}^{-3}$).

6.1.2 Ozônio

Outra importante observação verificada (VASILAKOS et al., 2005) foi que o $\text{MP}_{2,5}$ e o O_3 têm correlação positiva, isto é, quando a concentração de um desses poluentes aumenta, a do outro também tende a aumentar. Na Tabela 10 são apresentadas as máximas concentrações horárias de ozônio medidas na rede de monitoramento da qualidade do ar nos anos de 2013, 2014 e 2015, bem como o número de violações ao valor estabelecido como padrão nacional de qualidade do ar para o poluente, que é igual a $160 \mu\text{g.m}^{-3}$ (CONAMA, 1990).

A região de Deodoro se destacou por apresentar as maiores concentrações horárias de ozônio na atmosfera. Isso pode ser explicado

Tabela 10 – Máximas concentrações horárias e violações de O_3 ($\mu\text{g.m}^{-3}$) (2013 a 2015)						
Estações	2013		2014		2015	
	Máxima	Violação	Máxima	Violação	Máxima	Violação
RJ - Gericinó	207	1	186	13	160	0
RJ - Campo dos Afonsos	205	16	234	81	198	18
RJ - Maracanã	144	0	269	12	219	10
RJ - Engenho	165	1	181	3	190	8
RJ - Centro	126	0	123	0	121	0
RJ - Urca	232	8	176	2	252	8
RJ - Lagoa	209	5	143	0	171	3
RJ - Leblon	178	2	145	0	170	2
RJ - Jacarepaguá	N.A	-	N.A	-	128	0
RJ - Lab. INEA	234	1	126	0	156	0

N.A - Não amostrado
Fonte: GEAR/INEA

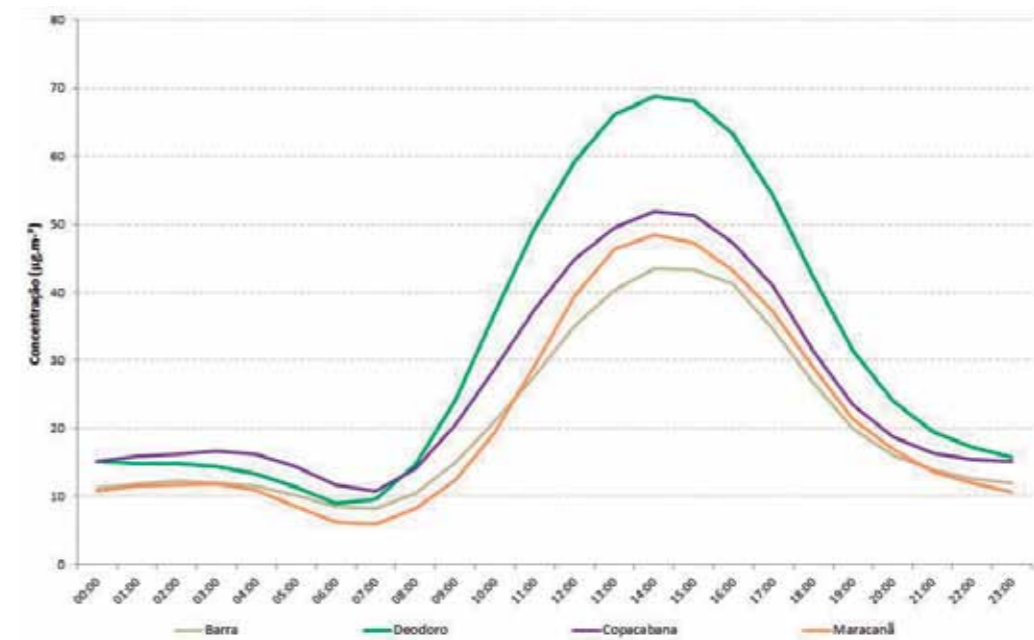


Figura 5 - Perfil horário de formação do poluente O_3 na atmosfera (2013 - 15)
Fonte: GEAR/INEA

pelas altas concentrações dos precursores desse gás emitidas pelos veículos que trafegam pela Avenida Brasil, considerada a via mais poluída do Estado do Rio de Janeiro e que fica próxima às estações locais. Aliado a isso, o Matão da Pedra Branca, localizado na região, dificulta a dispersão dos poluentes.

Contudo, não fosse o monitoramento horário da poluição do ar, não seria possível avaliar o quão exposta uma população está

a determinados poluentes atmosféricos. Segundo Grivas e Chaloulakou (2006), os efeitos adversos à saúde estão mais ligados à curta exposição a essas substâncias, ou seja, à exposição horária ou diária.

Hoje, as redes de monitoramento contínuo utilizam dispositivos automáticos que fornecem de hora em hora dados sobre a concentração dos poluentes. Dessa forma, é possível observar os ciclos diurnos e noturnos e identificar as

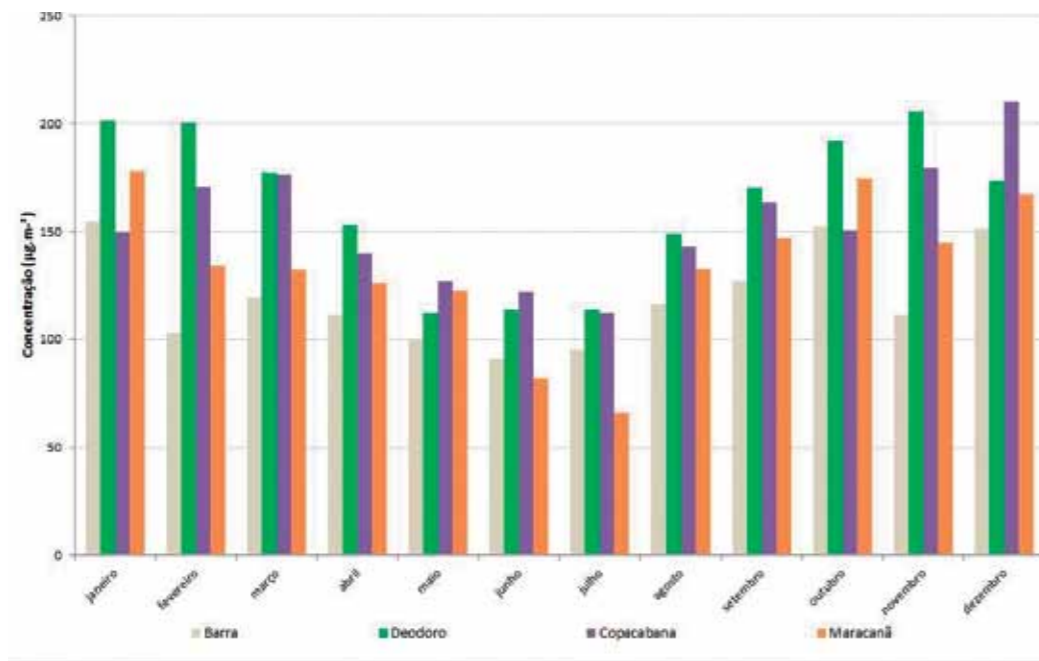


Figura 6 – Perfil mensal das máximas horárias de O₃ (2013 – 15)
Fonte: GEAR/INEA

grandes variações que se registram ao longo do dia, sobretudo nos horários de pico, quando os valores muitas vezes são mais elevados do que a concentração média diária (GRIVAS e CHALOUKAKOU, 2006).

A Figura 5 permite observar o perfil de formação do poluente ozônio (O₃) ao longo do dia na atmosfera.

O ozônio (O₃) é um poluente secundário. Isso significa que ele é formado na atmosfera a partir da reação fotoquímica entre os poluentes atmosféricos de origem antrópica e biogênica, que são os óxidos de nitrogênio (NO_x) e os compostos orgânicos voláteis (VOCs). A Figura 5 mostra que, independentemente da área monitorada, as máximas concentrações de O₃ são observadas entre 13 e 15 horas.

Além da curva de formação diária de ozônio na atmosfera, também foi feita uma análise sazonal para avaliar a influência das variáveis meteorológicas na formação desse poluente ao longo do ano. A Figura 6 demonstra que as maiores concentrações horárias de O₃ foram medidas nos meses de novembro a fevereiro,

quando, em alguns momentos, ultrapassaram a marca de 200 µg.m⁻³. Contribuíram para esse resultado as elevadas temperaturas, a pouca formação de nuvens e a elevada incidência de radiação solar na atmosfera, fenômenos comuns a esse período, que favorecem naturalmente a formação de ozônio na atmosfera, em especial em regiões de clima subtropical, como é o caso da cidade do Rio de Janeiro.

No inverno dos últimos três anos (2013, 2014 e 2015), as máximas horárias de ozônio não alcançaram 150 µg.m⁻³. Portanto, a expectativa era que, durante o mês de agosto de 2016, para quando foram programados os Jogos Olímpicos, não ocorressem violações desse poluente aos padrões nacionais de qualidade do ar.

6.2 Meteorologia

A condição geográfica da cidade do Rio de Janeiro é bastante complexa, devido à sua localização no litoral, com duas baías (de Guanabara e de Sepetiba), e à presença de três maciços (Maciço do Geri cinó, da Pedra Branca e da Tijuca), sendo dois deles no centro do território municipal. Essa proximidade

Tabela 11 – Temperaturas médias, máximas e mínimas da região de Deodoro (2013-15)

Mês	TEMPERATURA (°C)					
	Estação Geri cinó			Estação Campo dos Afonsos		
	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.
Jan	29,4	39,6	20,9	28,7	38,8	20,0
Fev	28,7	38,7	20,7	28,1	37,9	20,2
Mar	26,8	37,4	20,0	26,5	36,6	19,5
Abr	24,5	34,4	14,0	23,8	33,4	17,3
Mai	22,7	33,3	14,3	22,2	33,0	15,9
Jun	22,0	33,9	14,2	21,2	33,0	14,1
Jul	20,7	34,0	12,4	20,0	33,2	13,3
Ago	21,9	36,6	11,9	21,6	35,3	11,9
Set	23,5	39,6	11,1	23,0	39,0	13,4
Out	24,4	41,0	13,9	23,7	40,0	13,6
Nov	25,4	39,6	16,0	24,7	39,3	15,8
Dez	27,3	39,4	18,6	26,7	38,6	18,4

Fonte: GEAR/INEA

com o oceano auxilia a regulação térmica, a umidade do ar e, significativamente, o regime dos ventos, pois são as diferenças de temperatura e pressão entre o continente e o oceano que provocam a circulação de brisa (marítima e terrestre).

A topografia, por sua vez, atua modificando a direção e a velocidade dos ventos que circulam pela cidade, além de afetar a dispersão da temperatura e da umidade do ar, visto que o vento úmido que se origina do mar (brisa marítima), ao subir os maciços, retém a umidade na vertente de subida (barlavento), gerando nuvens orográficas, e também altera a temperatura do ar que desce a vertente oposta (sotavento).

Somando-se aos fatores geográficos, o uso e a ocupação do solo também interferem nos padrões climáticos, pois, em razão de a cidade do Rio de Janeiro ser prioritariamente urbana, os fluxos de calor latente e sensível sofrem consideráveis modificações em relação à sua dinâmica natural.

De acordo com a distribuição regional definida pelo Comitê da Rio 2016, foram avaliados os dados

Tabela 12 – Umidade relativa do ar média, máxima e mínima da região de Deodoro (2013-15)

Mês	UMIDADE RELATIVA (%)					
	Estação Geri cinó			Estação Campo dos Afonsos		
	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.
Jan	65	97	22	64	97	23
Fev	66	98	23	64	96	22
Mar	75	99	30	72	97	28
Abr	77	99	33	76	96	35
Mai	77	100	32	*	*	*
Jun	81	100	28	79	97	35
Jul	77	100	23	77	99	32
Ago	72	100	16	70	98	14
Set	73	100	18	72	98	19
Out	71	98	14	70	96	16
Nov	75	99	27	74	97	26
Dez	72	100	27	70	98	26

* Mês com menos de 50% de dados válidos

Fonte: GEAR/INEA

meteorológicos de Deodoro, Maracanã, Barra da Tijuca e Copacabana, durante os anos de 2013 a 2015.

6.2.1 Região de Deodoro

As estações de monitoramento da região de Deodoro registraram que as temperaturas médias, nos anos de 2013 a 2015, variaram entre 20°C (julho) e 29,4°C (janeiro). A temperatura máxima absoluta foi superior a 40°C, em outubro, enquanto a mínima absoluta situou-se em 11,1°C, em setembro.

A Tabela 11 apresenta as temperaturas máximas, mínimas e médias da região de Deodoro, e a Tabela 12, os valores da umidade relativa do ar média na região, que se situaram entre 65% (janeiro e fevereiro) e 80% (junho), enquanto as umidades mínimas absolutas oscilaram entre 14% (agosto e outubro) e 33% (abril).

As análises da direção e velocidade do vento são apresentadas no formato de rosas dos ventos. A estação Campo dos Afonsos apresentou

predominância de ventos de direção sudoeste (SW), com frequência de calmaria superior a 30%. Já na estação de Gericinó, os ventos predominantes foram no sentido leste-oeste, com predominância de calmaria em 22,4% das horas observadas.

As rosas dos ventos indicam regimes de ventos específicos para as localidades (Figura 7). Em Campo dos Afonsos, os ventos ocorrem predominantemente na região entre os maciços da Pedra Branca e da Tijuca. Esse fluxo indica que o vento vem do oceano (brisa marítima) e que a alta incidência de calmaria pode ser explicada pela sua passagem pela região do Catonho, cuja topografia reduz a velocidade das rajadas. Já a estação Gericinó capta o vento que segue o fluxo de vale, por isso sua instalação na zona de transição entre o vale limitado pelos maciços da Pedra Branca e do Gericinó e a área de baixada, onde se situa a Zona Norte da cidade. Nessa região, a brisa marítima também atua, embora seja oriunda das baías de Guanabara e Sepetiba.

Entre as competições previstas, as de esportes equestres foram programadas para a região de Deodoro. Por isso, conhecer as condições de temperatura e umidade foi fundamental para o conforto térmico dos cavalos e para que os animais conseguissem atingir seu melhor desempenho durante as competições. Pelos mesmos motivos, foi preciso estudar o comportamento dos ventos, que, na região, tendem a ser calmos, minimizando contratempos aos atletas de esportes praticados em áreas a céu aberto, como o tiro com arco.

6.2.2 Região do Maracanã

A Tabela 13 mostra que a temperatura média na região do Maracanã oscilou entre 21,9°C (julho) e 32,3°C (janeiro). Já a temperatura máxima absoluta foi de 44,7°C (março), enquanto a mínima absoluta foi de 13,7°C (julho).

As medições da umidade relativa do ar na região apontaram para valores médios mensais entre 62% (janeiro) e 72% (junho e novembro). A mínima absoluta de umidade foi de 12% (agosto).

Tabela 13 – Temperaturas médias, máximas e mínimas da região do Maracanã (2013-15)

Mês	TEMPERATURA (°C)								
	Estação Maracanã			Estação Engenheiro			Estação Centro		
	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.
Jan	29,6	39,1	22,1	30,0	38,8	21,4	32,3	42,2	23,3
Fev	28,7	37,6	21,9	29,3	38,5	21,4	31,1	44,3	22,8
Mar	27,0	36,9	21,0	27,3	37,4	21,2	29,8	44,7	21,4
Abr	24,9	34,2	16,8	24,5	34,7	16,8	26,3	41,5	20,0
Mai	23,3	33,7	17,2	23,7	32,9	16,2	24,7	38,3	17,5
Jun	22,8	33,2	16,4	22,8	33,6	16,9	24,5	37,0	17,4
Jul	22,3	32,6	15,9	21,9	33,4	13,7	22,4	33,3	14,5
Ago	22,9	35,2	14,8	22,7	35,6	14,7	23,0	36,5	15,8
Set	24,0	38,9	16,8	23,9	39,5	16,4	24,2	39,3	17,2
Out	25,1	39,9	17,2	24,5	40,6	17,0	24,8	39,9	17,8
Nov	25,8	37,9	18,4	25,5	40,0	18,4	26,7	36,5	15,3
Dez	27,5	38,5	20,5	27,8	39,3	20,0	29,1	42,7	20,6

Fonte: GEAR/INEA

Rosa dos Ventos anual - 2013 - 2015 - RJ - Campo dos Afonsos

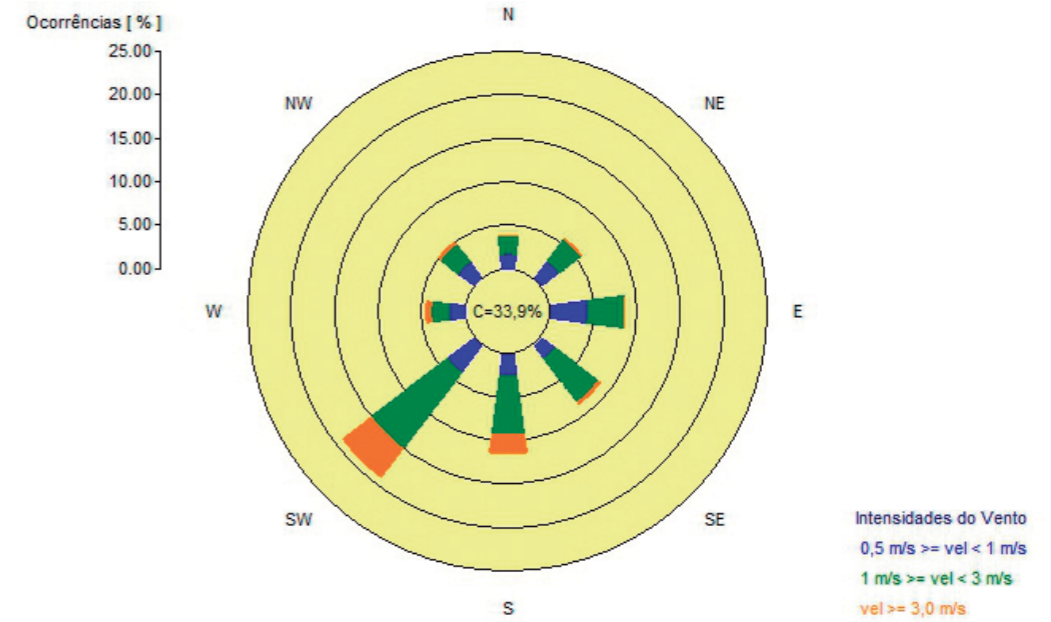


Figura 7a – Rosa dos ventos da estação da região de Deodoro: (a) Campo dos Afonsos
Fonte: GEAR/INEA

Rosa dos Ventos anual - 2013 - 2015 - RJ - Gericinó

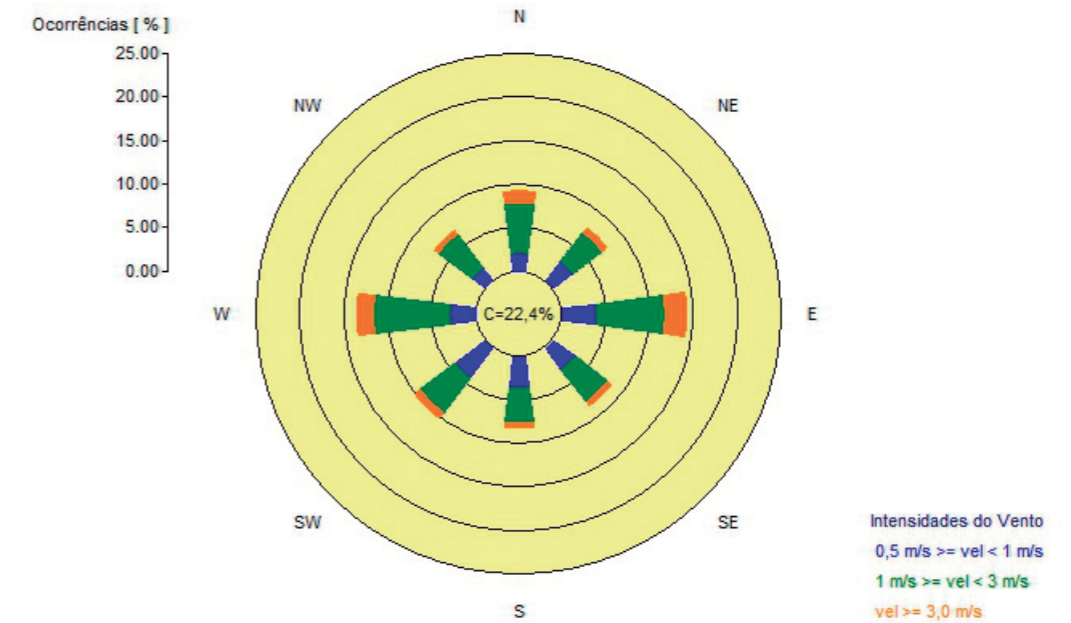


Figura 7b – Rosa dos ventos da estação da região de Deodoro: (b) Gericinó
Fonte: GEAR/INEA

A Tabela 14 reúne os resultados da umidade relativa do ar verificados na região do Maracanã.

As rosas dos ventos das estações da região Maracanã (Figura 8) mostram que as direções predominantes dos ventos variaram de acordo com cada estação de monitoramento, evidenciando a formação de microclimas.

A estação Centro apresentou ventos predominantes no eixo norte-sul, com maior frequência na direção sul. Os ventos registrados nessa estação do Maracanã mostraram-se os mais calmos entre as quatro estações dessa região, atingindo com pouca frequência velocidades superiores a 3 m/s. Entretanto, as disputas de tiro com arco e de maratona, que aconteceram no Sambódromo da Marquês da Sapucaí, podem ter sofrido interferência do vento, dependendo de como ele foi canalizado pela estrutura local.

A estação Engenho de Dentro indica dois eixos predominantes de vento: o principal, com orientação

sudoeste-nordeste, e o secundário, com orientação leste-oeste. Os ventos de norte e nordeste são provenientes da Baía da Guanabara, o sudoeste é proveniente do fluxo descendente do Maciço da Tijuca e o vento de leste é oriundo da região de vale na Zona Oeste da cidade, indicando a continuidade do fluxo observado na rosa dos ventos de Gericinó.

Por fim, a estação Maracanã apresentou ventos predominantes advindos do quadrante norte-leste, sendo a direção norte a mais frequentemente observada. Os ventos mais velozes estão no quadrante sul-leste, ao passo que foram registradas calmarias em 13,1% das amostras.

Os ventos do quadrante norte-leste (N, NE e E) são ventos que escoam da Baía de Guanabara em direção à estação de monitoramento. Os ventos do quadrante sul-oeste (S, SW e W) têm baixa frequência, possivelmente devido às elevações desta vertente do Maciço da Tijuca, que dificulta o escoamento nesta direção.

Rosa dos Ventos anual - 2013 - 2015 - RJ - Engenho

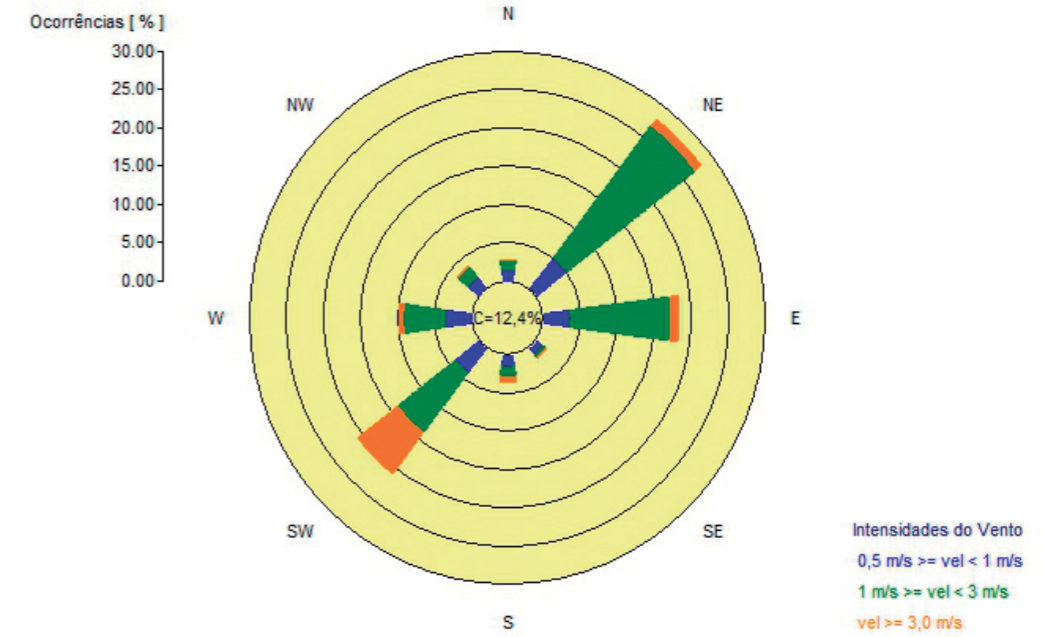


Figura 8b - Rosa dos ventos da estação da região do Maracanã: (b) Engenho
Fonte: GEAR/INEA

Rosa dos Ventos anual - 2013 - 2015 - RJ - Centro

Rosa dos Ventos anual - 2013 - 2015 - RJ - Centro

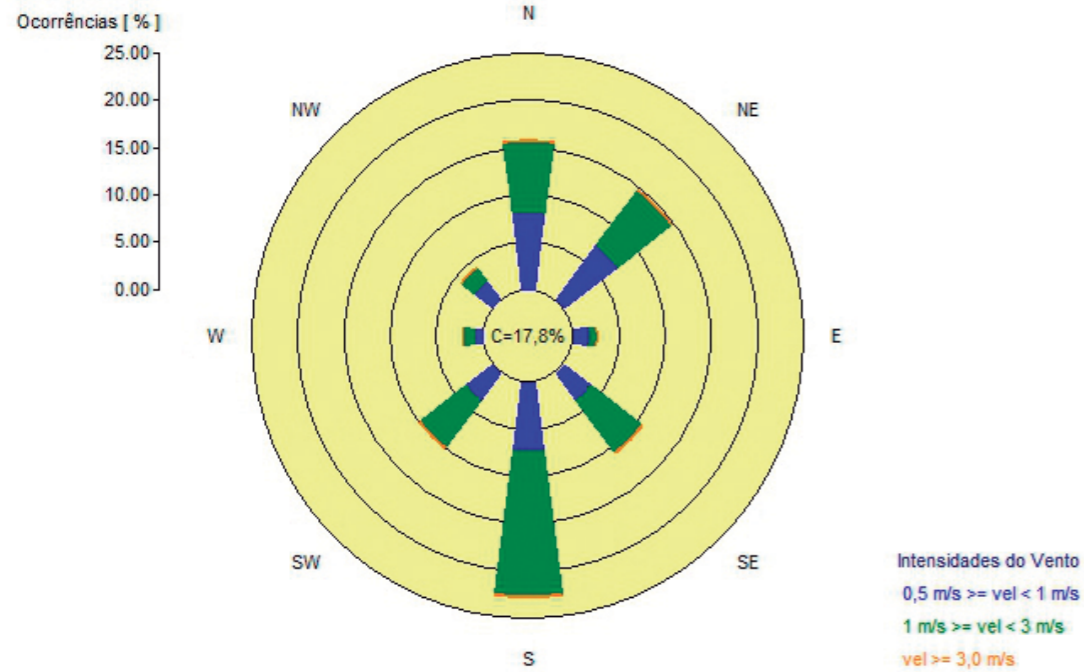


Figura 8a - Rosa dos ventos da estação da região do Maracanã: (a) Centro
Fonte: GEAR/INEA

Rosa dos Ventos anual - 2013 - 2015 - RJ - Maracanã

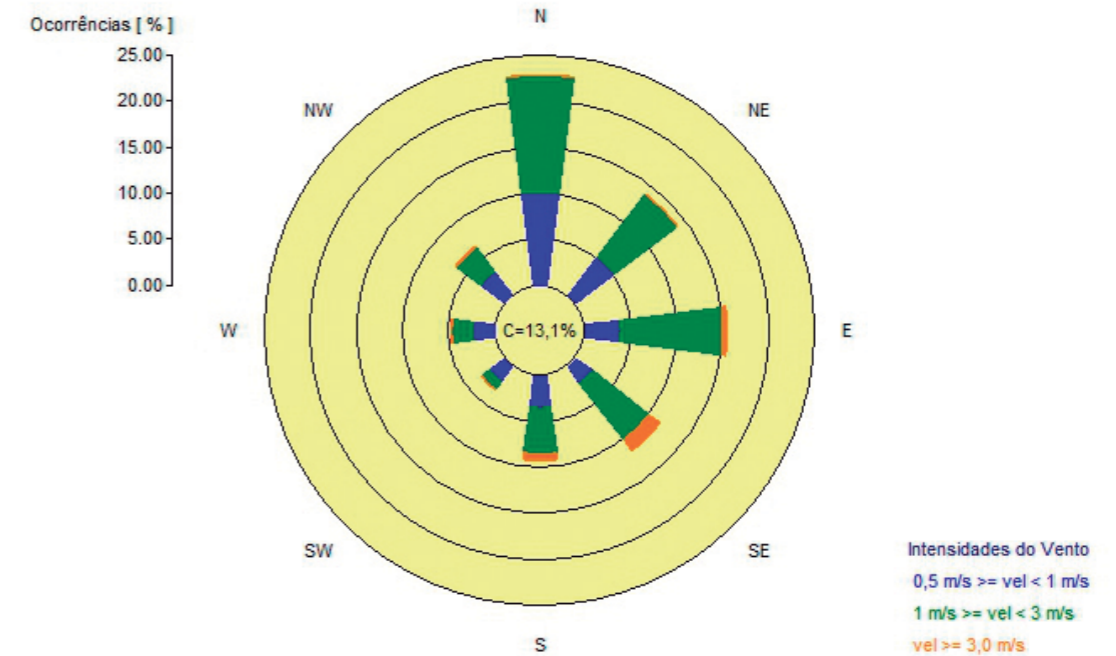


Figura 8c - Rosa dos ventos da estação da região do Maracanã: (c) Maracanã
Fonte: GEAR/INEA

Tabela 14 – Umidade relativa do ar média, máxima e mínima da região do Maracanã (2013-15)

UMIDADE RELATIVA (%)									
Mês	Estação Maracanã			Estação Engenhão			Estação Centro		
	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.
Jan	59	96	22	57	96	16	62	95	24
Fev	60	95	20	58	96	19	63	93	23
Mar	68	98	26	67	97	23	71	96	32
Abr	69	95	29	68	96	29	71	97	30
Mai	69	95	15	66	99	29	72	96	30
Jun	70	98	27	71	99	24	74	97	29
Jul	69	96	29	70	99	19	73	100	29
Ago	63	93	12	64	99	12	67	95	17
Set	66	96	17	67	99	13	69	99	18
Out	63	94	21	66	99	14	68	96	22
Nov	70	98	25	71	99	25	74	99	34
Dez	65	95	25	65	99	23	66	98	25

Fonte: GEAR/INEA

6.2.3 Região de Copacabana

Na região de Copacabana, as estações localizam-se na Urca, Lagoa e Leblon. A média das temperaturas para essas estações (Tabela 15) variou entre 21,1°C (julho) e 27,4°C (janeiro). As temperaturas máximas situaram-se entre 32,4°C (julho) e 39,9°C (novembro), enquanto as mínimas absolutas oscilaram entre 12,9°C (maio) e 20,6°C (janeiro).

As umidades relativas médias mensais para essa região (Tabela 16) foram muito similares, com valores entre 71% e 78%. Já as mínimas absolutas situaram-se entre 18% (agosto) e 40% (abril).

As rosas dos ventos das estações Leblon e Urca (Figuras 9b e 9c) apresentaram o eixo sudoeste-nordeste bem marcante, sendo a direção sudoeste a mais frequente. Essa situação é mais evidente na estação Urca. As calmarias foram acentuadas em ambas as estações, com porcentagem de 26%, na Urca, e 50,8%, no Leblon. Os

altos índices de calmaria podem ser resultado da elevada taxa de ocupação urbana, principalmente no Leblon. As construções impõem forte resistência ao deslocamento do ar, reduzindo a energia cinética da circulação atmosférica local.

A Figura 9a mostra que na estação da Lagoa a direção noroeste é predominante, possivelmente devido à brisa terrestre. Todavia, os ventos mais velozes são oriundos das direções leste e sudeste. As calmarias, por sua vez, representaram 18,6% das observações, o menor índice entre as três estações da região.

As rosas dos ventos indicam que o vento proveniente do litoral de Ipanema e Leblon entra pelo continente, desvia sua trajetória, provavelmente devido ao Maciço da Tijuca, e sai para a Baía de Guanabara, na região da Enseada de Botafogo e da Urca, motivo pelo qual havia a possibilidade de a competição de vela realizada na Marina da Glória sofrer interferência dos ventos

Tabela 15 – Temperaturas médias, máximas e mínimas da região de Copacabana (2013-15)

TEMPERATURA (°C)									
Mês	Estação Urca			Estação Lagoa			Estação Leblon		
	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.
Jan	28,1	36,7	21,3	27,4	37,2	20,6	27,7	36,7	21,7
Fev	27,2	36,1	21,0	27,4	36,0	20,6	26,9	35,7	20,3
Mar	25,2	35,2	18,5	26,1	36,2	19,6	25,9	35,3	19,8
Abr	23,9	33,6	17,1	24,0	33,4	16,6	23,4	32,8	15,6
Mai	22,6	33,8	16,9	22,7	33,9	12,9	22,2	33,2	15,5
Jun	22,4	33,6	16,6	22,5	33,5	16,1	22,1	32,3	15,1
Jul	21,4	32,2	14,2	21,6	32,2	14,9	21,1	32,4	13,9
Ago	21,9	35,1	14,9	21,9	34,8	14,5	21,5	34,9	13,3
Set	23,1	38,9	15,9	23,3	39,0	16,3	23,1	38,3	15,8
Out	23,5	37,9	16,3	23,7	35,3	16,6	23,2	34,5	16,1
Nov	24,2	39,9	17,9	24,6	39,3	17,8	24,0	38,5	16,3
Dez	26,4	37,3	20,1	26,7	38,2	20,0	25,8	37,4	19,1

Fonte: GEAR/INEA

Tabela 16 – Umidades relativas médias, máximas e mínimas para as estações da região de Copacabana (2013-15)

UMIDADE RELATIVA (%)									
Mês	Estação Urca			Estação Lagoa			Estação Leblon		
	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.
Jan	71	97	28	72	99	27	69	97	25
Fev	71	95	34	72	97	33	70	97	36
Mar	79	98	40	78	99	35	76	98	36
Abr	79	97	41	77	97	36	78	97	36
Mai	78	97	30	76	98	30	77	99	30
Jun	79	99	29	77	97	28	77	99	29
Jul	78	99	32	76	98	31	77	99	31
Ago	74	98	18	72	96	20	73	98	20
Set	75	99	24	73	97	26	74	97	26
Out	76	99	32	74	98	35	74	98	34
Nov	79	98	31	77	97	31	78	98	32
Dez	75	99	36	73	99	30	74	99	30

Fonte: GEAR/INEA

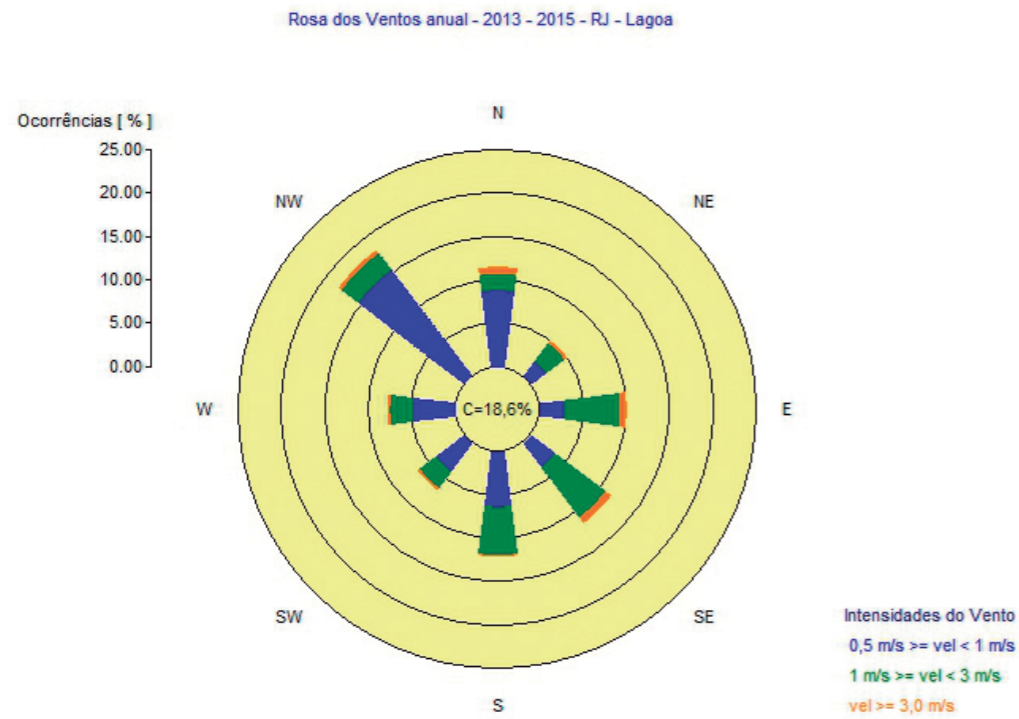


Figura 9a – Rosa dos ventos da estação da região do Copacabana: (a) Lagoa
Fonte: GEAR/INEA

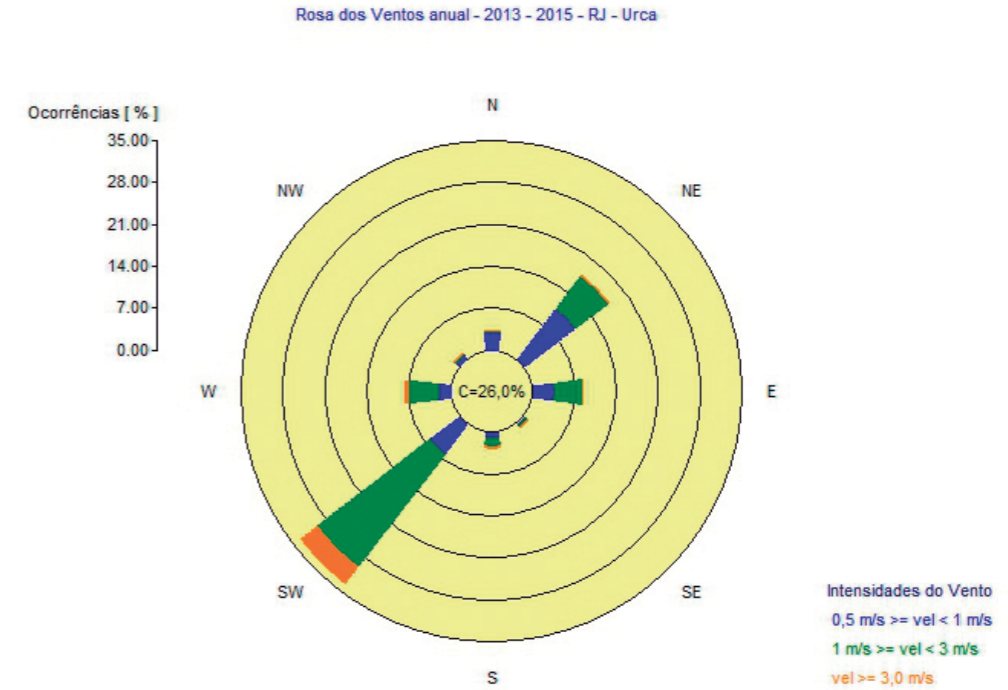


Figura 9c – Rosa dos ventos da estação da região do Copacabana: (c) Urca
Fonte: GEAR/INEA

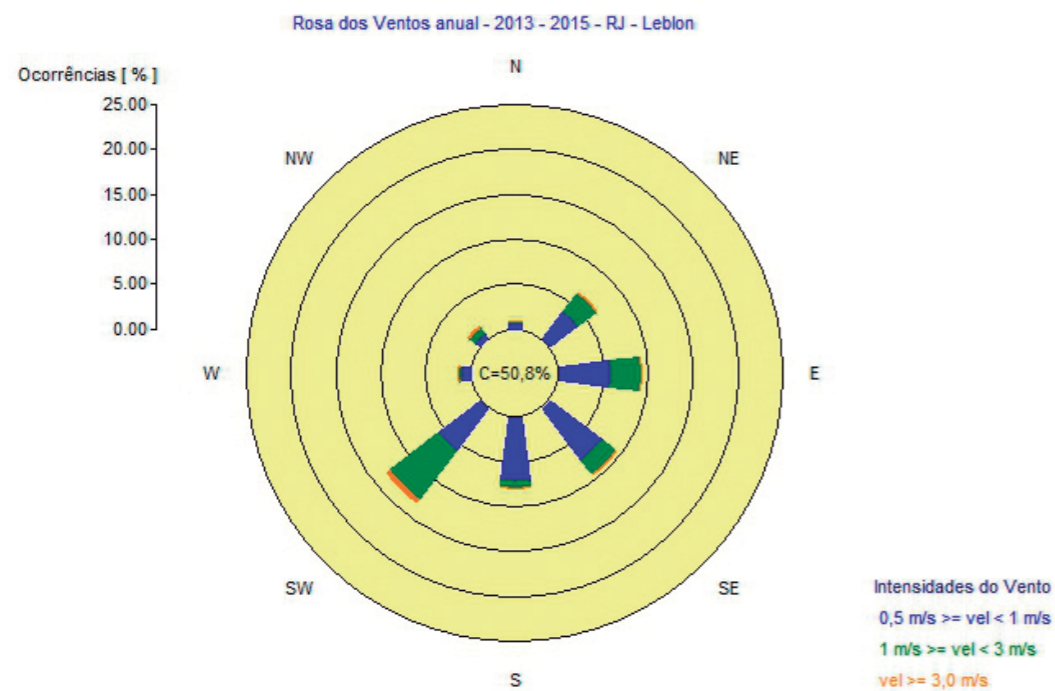


Figura 9b – Rosa dos ventos da estação da região do Copacabana: (b) Leblon
Fonte: GEAR/INEA

de sudoeste (SW). Já na Lagoa não é possível determinar um padrão para o vento, visto que este se distribui regularmente em todas as direções.

6.2.4 Região da Barra da Tijuca

Na região da Barra da Tijuca ficam as estações Jacarepaguá (Av. Abelardo Bueno) e Lourenço Jorge. Devido à dificuldade para conseguir permissão para instalá-la no local adequado, a estação de Jacarepaguá foi instalada no segundo semestre de 2015. Conseqüentemente, como não coletou dados nos anos de 2013 e 2014, a estação Lourenço Jorge, embora distante dos locais de competição, foi incluída na análise para possibilitar a melhor representatividade da região.

Para essas estações, as médias mensais variaram entre 21,5°C (julho) e 28,6°C (janeiro). As máximas observadas ficaram entre 33,5°C (maio) e 39,9°C (setembro), com destaque para a estação Lourenço Jorge, que registrou as maiores máximas em todos os meses, exceto em outubro, quando as duas estações registraram máxima de 38°C (Tabela 17). Já as temperaturas mínimas oscilaram entre

13°C (julho) e 20,8°C (janeiro e dezembro), tendo a estação Lourenço Jorge assinalado as maiores temperaturas mínimas para a região.

A umidade relativa média mensal da região variou entre 73% (janeiro e dezembro) e 84% (novembro). Os mínimos absolutos mensais situaram-se entre 18% (agosto) e 34% (abril, outubro e novembro), conforme pode ser observado na Tabela 18.

Em relação às rosas dos ventos da região da Barra da Tijuca (Figura 10), a estação Lourenço Jorge apresentou a maior quantidade de ventos superiores a 3 m/s e a menor porcentagem de calmaria (16%). Os ventos mais rápidos predominam nas direções norte e noroeste, embora ventos no eixo norte-sul também sejam registrados, sendo a direção sul indicativa do efeito de brisa marítima.

A estação Jacarepaguá, apesar do menor quantitativo de dados, indica ventos mais frequentes fluindo de sudeste para noroeste. Os ventos do quadrante sul (SE, S e SW) são indicativos de brisa marítima, enquanto os ventos de noroeste podem ocorrer devido a mudanças na trajetória do fluxo atmosférico provocadas pela presença do Maciço

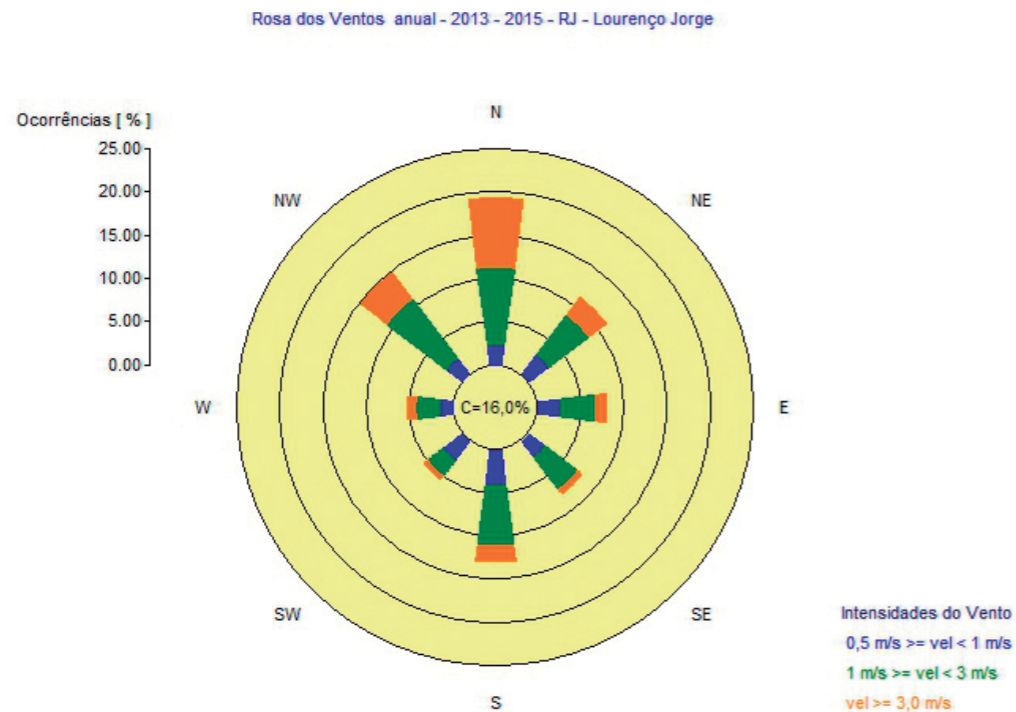


Figura 10a - Rosa dos ventos da estação da região da Barra da Tijuca: (a) Lourenço Jorge
Fonte: GEAR/INEA

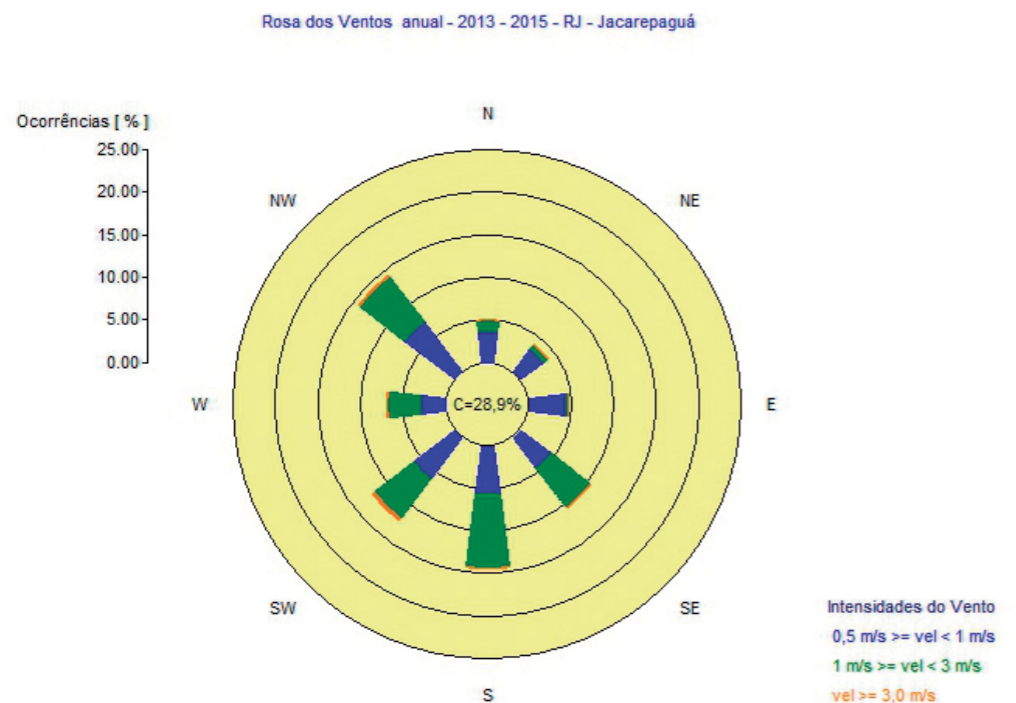


Figura 10b - Rosa dos ventos da estação da região da Barra da Tijuca: (b) Jacarepaguá
Fonte: GEAR/INEA

da Pedra Branca e pelo efeito de brisa terrestre. Esse padrão de fluxo é, possivelmente, o mesmo que indica os ventos de noroeste na estação Lourenço Jorge, que apresentou os ventos mais fracos e maior quantidade de calmarias (28,9%).

A maioria das competições na região da Barra da Tijuca foi disputada dentro de arenas, motivo pelo qual os efeitos meteorológicos foram minimizados. O golfe, que foi disputado ao ar livre, sofreu influência de ventos de brisa marítima oriundos do sul.

7. Conclusão

No geral, a qualidade do ar nos locais de competição dos Jogos Olímpicos 2016 entre 2013 e 2015 apresentou-se como “Boa” (84%). Por outro lado, observou-se que o ozônio e os materiais particulados inaláveis são os poluentes que mais violam os padrões de qualidade do ar estaduais e nacionais, e vêm se mostrando como poluentes vilões em todo o mundo.

O aumento anual dos níveis de MP_{10} e $MP_{2,5}$ nos locais que receberam os Jogos Olímpicos se devem, principalmente, às inúmeras obras iniciadas na cidade do Rio de Janeiro para a construção das arenas olímpicas e a melhoria da mobilidade urbana. Esse cenário também foi verificado em outras cidades-sede, como Atenas, na Grécia, quando da preparação para sediar os Jogos Olímpicos de 2004. Entretanto, vale ressaltar que as concentrações observadas de todos os poluentes monitorados na cidade do Rio de Janeiro são extremamente inferiores às observadas em Pequim, nos Jogos de 2008.

Espera-se que com o final de todas as obras civis preparatórias para Rio 2016, e com a operação de toda rede de mobilidade integrada, deixada como legado olímpico, a qualidade do ar melhore na cidade do Rio de Janeiro. 🍀

Referências bibliográficas

ARBEX, M. A. et al. A poluição do ar e o sistema respiratório. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, São Paulo, v. 38, n. 5, 2012.

BAOLEI, L.; ZHANG, B.; BAI, Y. A systematic analysis of $PM_{2.5}$ in Beijing and its sources from 2000 to 2012. *Atmospheric environment*, Tianjin, China, v. 124, p. 98-108, 2016.

BROOK R. D. et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association. *AHA Scientific Statement*, Dallas, EUA, v. 121, Issue 21, p. 2331-2378, jun. 2010.

CARLISLE, A. J.; SHARP, N. C. Exercise and outdoor ambient air pollution. *British Journal of Sports Medicine*, West Hill, London, v. 35, Issue 4, p. 214-222, aug. 2001.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (São Paulo). **Padrões de qualidade do ar**. Disponível em: < <http://ar.cetesb.sp.gov.br/padroes-de-qualidade-do-ar/>>. Acesso em: agosto 2016.

CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (Rio de Janeiro). Resolução CONEMA n° 43, de 14 de dezembro de 2012. *Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro*, Poder Executivo, Rio de Janeiro, 03 jan. 2013.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução CONAMA n° 3 de, de 28 de junho de 1990. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 ago. 1990.

EICHNER, E. R. Heat stroke in sports: causes, prevention, and treatment. *Sports Science Exchange*, Chicago, USA, v. 15, n. 3, p. 1-4, 2002.

ELLISON, R. B.; GREAVES, S. P.; HENSHER, D. A. Five years of London's low emission zone: effects on vehicle fleet composition and air quality. *Transportation research Part D: transport and environment*, Sydney, Australia, v. 23, p. 25-33, 2013.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE (Rio de Janeiro). **Inventário de Fontes Emissores de Poluentes Atmosféricos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2004.

- GODOY, M. L. D. P. et al. Coarse and fine aerosol source apportionment in Rio de Janeiro, Brazil. **Atmospheric environment**, v. 43, Issue 14, p. 2366-2374, 2009.
- GREENPEACE. **Greenpeace olympic environmental guidelines: a guide to sustainable events**. [S. l.: s. n.], 2000.
- GRIVAS, G.; CHALOULAKOU, A. Artificial neural network models for prediction of PM10 hourly concentrations, in the Greater Area of Athens, Greece. **Atmospheric environment**, v. 40, Issue 7, p. 1216-1229, 2006.
- GRYPARIS, A. et al. Spatio-temporal semiparametric models for NO2 and PM10 concentration levels in Athens, Greece. **Science of the total environment**, v. 479-480, p. 21-30, 2014.
- HE, G.; FAN, M.; ZHOU, M. The effect of air pollution on mortality in China: evidence from the 2008 Beijing Olympic Games. **Journal of environmental economics and management**, v. 79, p. 18-39, 2016.
- IGLE, C. C. et al. Ultrafine particle deposition in humans during rest and exercise. **Inhalation Toxicology**, Howick Place, London, v. 15. Issue 6, p. 539-552, 2003.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto interno bruto dos municípios de 2011: tabelas completas**. Brasília, [2012?]. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2011/default_xls.shtm>. Acesso em: maio 2014.
- INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (Rio de Janeiro). **Relatório da qualidade do ar do Estado do Rio de Janeiro: ano base 2014**. Rio de Janeiro, 2015.
- LEYS, J. F. et al. PM10 concentrations and mass transport during "Red Dawn" - Sydney 23 September 2009. **Aeolian research**, v. 3, Issue 3, p. 327-342, 2009.
- PREUSSLER, O. P.; SANTIAGO R. B. A Influência do vento no desempenho dos atletas na prova de 100 metros rasos; In: CONGRESSO SUDESTE DE CIÊNCIAS DO ESPORTE, 3., 2010, Niterói, RJ. **Anais...** Niterói, RJ: CBCE, 2010.
- RIO 2016. Disponível em: <https://www.rio2016.com/>. Acesso em: 16 maio 2016.
- RIO DE JANEIRO (Estado). Departamento Estadual de Trânsito. **Frota de veículos do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro**, 2012.
- RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria do Estado do Ambiente. **Inventário de emissões atmosféricas por veículos automotores do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro**, 2011.
- RUNDELL K. W. Effect of air pollution on athlete health and performance. **Journal sports medicine**, v. 46, n. 6, p. 407-412, 2012.
- SOLURI, D. S. et al. Multi-site PM2.5 and PM2.5-10 aerosol source apportionment in Rio de Janeiro. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Campinas, SP, v. 18, n. 4, p. 838-845, 2007.
- TAYLOR, L.; ROLLO, I. Impact of altitude and heat on football performance. **Sports science exchange**, Illinois, USA v. 27, n. 131, p. 1-9, 2014.
- VASSILAKOS, C. et al. Temporal variations of PM2.5 in the ambient air of a suburban site in Athens, Greece. **Science of the total environment**, v. 349, n. 1-3, p. 223-231, 2005.
- WANG, S. et al. Impact of emission control on regional air quality: An observational study of air pollutants before, during and after the Beijing Olympic Games. **Journal of environmental sciences**, v. 26, n. 1, p. 175-180, 2014.

Notas

¹ O artigo foi escrito em junho/julho, antes das Olimpíadas, que ocorreram em agosto.

² Os materiais particulados representam materiais sólidos e líquidos em suspensão na atmosfera, como poeira, pó e fuligem. O tamanho das partículas é o critério utilizado para a classificação desses materiais. Partículas mais grossas ficam retidas no nariz e na garganta, provocando incômodo e irritação, além de facilitar que doenças como gripe se instalem no organismo. Poeiras mais finas podem causar danos ao aparelho respiratório e carregar outros poluentes "de ca-

rona" para os alvéolos pulmonares, provocando efeitos crônicos como doenças respiratórias, cardíacas e câncer. As pessoas que permanecem em locais muito poluído por partículas inaláveis são mais vulneráveis a doenças de forma geral.

³ Diretriz 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, de 21 de maio de 2008, relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa.

⁴ Em 2006, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos atualizou o valor para 35 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (USEPA, 2012).

⁵ O Instituto Estadual do Ambiente (INEA) foi criado em 2007 e implantado em 2009, a partir da fusão de três órgãos: Fundação Estadual de Engenharia de Meio Ambiente (FEEMA), Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (SERLA) e Instituto Estadual de Florestas (IEF).

⁶ Inicialmente, os jogos de golfe estavam previstos para ocorrer em São Conrado, onde já existe um campo; somente em 2015 o COI decidiu fazer a competição na Barra da Tijuca.

Sobre os autores

Luciana Maria Baptista Ventura

Doutora (2015) em Ciências e Química pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), mestre (2008) em Ciências e Engenharia Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e Universidad Politecnica de Valencia (Espanha), bacharel (2007) em Engenharia Química pela UERJ e bacharel (2005) em Engenharia Industrial pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial/Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil (SENAI/CETIQT). Professora de pósgraduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Grande Rio (UNIGRANRIO) desde 2013. Chefe de Serviço de Inspeção e Manutenção Veicular do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) de 2012 a 2016 e gerente da Qualidade do Ar desde 2016.

Lázaro Costa Fernandes

Mestre (2006) em Ciências Atmosféricas Aplicadas à Engenharia pela área de Recursos Hídricos do Programa de Engenharia Civil do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) e bacharel (2004) em Meteorologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Meteorologista da Gerência de Qualidade do Ar do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) desde 2014.

Michelle Branco Ramos

Mestre (2012) em Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e química industrial (2008) pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Analista ambiental do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) de 2010 a 2016 e chefe do serviço de Avaliação da Qualidade do Ar e Gases de Efeito Estufa desde 2016.

Caroline Menegussi Soares

Graduanda em Meteorologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Estagiária de Meteorologia no Instituto Estadual do Ambiente (INEA) desde 2014.

Jéssica de Oliveira Santos

Mestranda em Engenharia de Biosistemas (Energia e Meio Ambiente) na Universidade Federal Fluminense (UFF) e engenheira química (2013) pela Universidade de Belo Horizonte (Uni-BH). Analista ambiental do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) desde 2015.



André Carvalho

Linha Vermelha: pela via expressa, que liga o Centro do Rio à Baixada Fluminense, circulam, em média, 150 mil veículos/dia

PROCON

Fumaça Preta: Avanços do programa no Estado do Rio de Janeiro

› Luciana Maria
Baptista Ventura
Fabiano Barbosa
Alecrim
Fellipe de Oliveira
Pinto

› Resumo

O Programa de Automonitoramento de Emissão de Fumaça Preta por Veículo Automotor do Ciclo Diesel (PROCON Fumaça Preta), instituído pela extinta Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA) em 2007, integra o Plano de Controle da Poluição Veicular (PCPV) do Estado do Rio de Janeiro e foi criado como uma das estratégias para reduzir a poluição causada pelos veículos movidos a diesel. Quase dez anos após a implantação do Programa, e a partir da análise comparativa dos dados de 2011 a 2015, com base no número de empresas vinculadas a ele, número da frota declarada por essas empresas, número de inspeções realizadas, índice de reprovação dos veículos e valor médio de opacidade, os resultados comprovam sua eficácia e demonstram ainda que é possível reduzir os limites de opacidade estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 418/2009.

Palavras-chave

PROCON Fumaça Preta, Poluição Veicular, Gestão da Qualidade do Ar.

1. Introdução

O aumento da taxa de crescimento urbano e industrial resulta no incremento da demanda de energia, especialmente para a indústria e transporte. Como a matriz energética brasileira – principalmente relacionada ao setor de transportes – é baseada em combustíveis fósseis (petróleo e gás), a queima desses combustíveis gera altos índices de poluição atmosférica. Logo, os veículos automotores estão entre as principais e mais significativas fontes de emissão de poluentes atmosféricos que contribuem para a degradação da qualidade do ar no Estado do Rio de Janeiro, principalmente na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (LOUREIRO, 2005).

Segunda maior economia do país, o Estado do Rio de Janeiro (ERJ), nas últimas décadas, foi fortemente impulsionado pela indústria do petróleo, que, nesse período, teve importante papel na urbanização de novas áreas, haja vista a expansão e consolidação do Norte e Nordeste Fluminense, áreas antes dedicadas às atividades primárias (agricultura, pecuária e extrativismo mineral, vegetal e animal) e terciárias (comércio e prestação de serviços) (SEA/INEA, 2010).

Em decorrência, o consumo dos recursos naturais, principalmente os relacionados aos combustíveis fósseis, tem se intensificado cada vez mais para atender ao constante aumento da frota de veículos. Dessa forma, ao lado das indústrias, a expansão acelerada do número de veículos em circulação, que traz a reboque enormes congestionamentos, pode ser apontada como uma das principais causas de problemas crescentes relacionados à poluição atmosférica, especialmente os registrados em algumas áreas (INEA, 2013).

2. Políticas de controle da poluição veicular

Com o objetivo de reduzir e controlar a poluição causada pelos veículos, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) instituiu, em 1986, em âmbito nacional, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), para automóveis, caminhões, ônibus e máquinas rodoviárias e agrícolas, fixando prazos e limites

máximos de emissão e estabelecendo exigências tecnológicas para veículos automotores nacionais e importados, bem como aos combustíveis comercializados no Brasil (Resolução nº 18/1986). Como uma de suas metas, o PROCONVE instituiu o desenvolvimento e a implantação de um Programa de Inspeção e Manutenção dos Veículos em Uso (Programa de I/M) (CONAMA, 1986). Em 2002, visando complementar o controle do PROCONVE, e para reduzir a poluição do ar por fontes móveis no Brasil, o CONAMA instituiu o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT), para motocicletas e similares (Resolução nº 297/2002).

No caso das frotas de uso intensivo, deverão ser intensificadas as ações para adoção do Programa Interno de Automonitoramento da Correta Manutenção da Frota, conforme diretriz estabelecida pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), bem como aquelas voltadas à implementação de programas estaduais para a melhoria da manutenção de veículos a diesel e a programas voluntários de inspeção e manutenção. (Parágrafo Único do artigo 16 da Resolução CONAMA nº 418/2009)

No Estado do Rio de Janeiro, o Programa de I/M foi implantado pioneiramente em 1997, pela extinta Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), hoje Instituto Estadual do Ambiente (INEA). O programa encorajava a manutenção corretiva e preventiva dos veículos e desestimulava a adulteração dos dispositivos de controle de emissões, assegurando o atendimento aos padrões de emissão e contribuindo



Para controlar os poluentes emitidos pelos veículos licenciados no Estado do Rio, Governo mantém acordo de cooperação com o DETRAN-RJ

para a melhoria da qualidade do ar e para a economia de combustível.

O Programa de I/M fluminense abrangia, em sua fase inicial, apenas a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, sendo posteriormente ampliado para todo o território devido à adoção de um modelo de cooperação técnica entre a antiga FEEMA e o Departamento de Trânsito do Estado do Rio de Janeiro (DETRAN-RJ), com base na Lei Estadual nº 2.539, de 19 de abril de 1996. Por esse mecanismo, o DETRAN-RJ, em nome da FEEMA, realizava o controle da emissão de gases poluentes e de ruídos em veículos automotores registrados e licenciados no Estado do Rio de Janeiro. Em 2009, com a implantação do INEA, o convênio com o DETRAN-RJ foi ratificado.

Em termos de cobertura de frota, o primeiro momento envolveu os veículos de circulação intensiva, como ônibus, caminhões e utilitários de serviços (táxis e vans). Numa segunda fase, iniciada em janeiro de 2008, a vistoria anual foi ampliada para carros de passeio e motocicletas.

Complementarmente ao Programa de I/M, foi instituído, ainda no âmbito da antiga FEEMA, e pela

Deliberação nº 4.814/2007 da Comissão Estadual de Controle Ambiental (CECA), o Programa de Automonitoramento de Emissão de Fumaça Preta por Veículo Automotor do Ciclo Diesel (PROCON Fumaça Preta). Desde então, todas as empresas de transporte de passageiros e de cargas são obrigadas a informar regularmente ao órgão ambiental o resultado das medições do índice de opacidade (fumaça), que indica o grau de emissão de material particulado dos veículos movidos a diesel. Além disso, as grandes empresas que atuam no Estado fluminense e terceirizam, parcial ou integralmente, sua frota de serviço passaram a exigir que as transportadoras participantes das licitações sejam vinculadas ao PROCON Fumaça Preta.

Em novembro de 2009, o CONAMA (Resolução nº 418) determinou novos limites de emissão, revogando todas as resoluções anteriormente citadas. Na mesma resolução, dispôs sobre os critérios para a elaboração do Plano de Controle de Poluição Veicular (PCPV) e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso (Programas de I/M) pelos órgãos estaduais



Caminhão em posto de vistoria: legislação estadual obriga veículos pesados a passarem por três inspeções ao ano

e municipais de meio ambiente, ressaltando, em seu artigo 16, a intensificação da fiscalização sobre veículos a diesel, com a implantação de programas de automonitoramento.

Importante instrumento de gestão da qualidade do ar, previsto tanto no Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR) quanto no PROCONVE, o primeiro PCPV do Estado do Rio de Janeiro foi aprovado em maio de 2011, pela Resolução CONEMA nº 34, apesar de a unidade federativa ter implantado antes dois programas de controle: o Programa I/M e o PROCON Fumaça Preta. Cabe esclarecer que, embora a referida resolução tenha sido revogada, o PCPV foi integralmente ratificado pela Resolução CONEMA nº 70/2016.

Em 2013, a Resolução CONEMA nº 58 revisou as diretrizes do PROCON Fumaça Preta e alterou seu nome para Programa de Autocontrole de Emissão de Fumaça Preta por Veículos Automotores do Ciclo Diesel. A nova diretriz teve por objetivo intensificar as inspeções nos veículos vinculados ao programa, as quais passaram a ocorrer três vezes ao ano. Além disso, o novo texto criou a obrigatoriedade de aprovação na vistoria para a livre circulação dos veículos nas vias públicas do Estado, caso contrário eles recebem uma restrição de circulação, podendo ser apreendidos pelos agentes de trânsito.

3. PROCON Fumaça Preta

O PROCON Fumaça Preta complementa o Programa de I/M no controle de emissão veicular, pois todas as empresas licenciadas no Estado do Rio de Janeiro e/ou empresas de transportes de passageiros e de cargas que circulam rotineiramente em território fluminense são obrigadas a se vincular ao programa e a submeter sua frota a uma frequência maior de inspeções, de forma a manter os motores de uso intensivo sempre regulados, reduzindo ao máximo suas emissões de poluentes atmosféricos. As empresas vinculadas ao programa, como já mencionado, também ficam obrigadas a informar regularmente ao órgão ambiental, por meio de um boletim, os resultados das medições do índice de opacidade nos veículos pertencentes a elas que circulam no Estado.

As medições a serem encaminhadas ao órgão ambiental têm de ser realizadas pelo DETRAN-RJ e por empresas ou profissionais que possuam o Certificado de Registro para Medição de Emissão Veicular (CREV), que é o documento concedido pelo INEA às empresas ou profissionais habilitados para executarem medições de emissões veiculares. A validade do certificado está subordinada ao prazo e ao estrito cumpri-

mento das condições nele especificados. A legislação em vigor responsável pelas diretrizes relativas à concessão e renovação do certificado de registro para medição de emissão veicular é a DZ-0582.R-1, do INEA.

Os procedimentos para medição da opacidade têm como base a Resolução CONEMA nº 65/2014. Já os limites de emissão veicular a serem aplicados nos programas de controle da poluição veicular implantados no Estado, ratificados pela Resolução CONEMA nº 70/2016, são os da Resolução CONAMA nº 418/2009.

4. Metodologia

O PROCON Fumaça Preta foi avaliado em função do número de empresas vinculadas, frota declarada, número de inspeções, índices de reprovação e nível de opacidade médio, fazendo uso de estatística descritiva básica.

Para análise da eficiência e da evolução do programa, foram utilizados os dados referentes aos boletins de medição de opacidade exigidos das empresas vinculadas ao programa desde 2011, ano em que essas informações passaram a ser armazenadas num banco de dados. Entretanto, nos anos de 2011 a 2013, es-

ses boletins eram entregues, em geral, com frequência semestral, ao passo que, nos anos de 2014 e 2015, a frequência do informe passou a ser quadrimestral.

5. Resultados

No início do programa, em 2011, dez empresas estavam credenciadas pelo INEA para realizar as inspeções. Entre elas estão inclusas as federações de transporte de cargas (FETRANSCARGA) e passageiros (FETRANSPOR), que têm um convênio de cooperação técnica com o instituto para realizar as inspeções de opacidade e, também, promover campanhas de informação e sensibilização sobre a qualidade do ar nas empresas federadas e para a população civil, assim como treinamentos aos motoristas, visando ao menor consumo de combustível.

A Tabela 1 apresenta o número de empresas vinculadas, frota declarada, número de inspeções, índices de reprovação e nível médio de opacidade relativo aos anos de 2011 a 2015. Em complemento, a Tabela 2 apresenta a variação dos resultados do PROCON Fumaça Preta ano a ano.

De acordo com a Tabela 2, em 2012, o número de empresas credenciadas aumentou 40% em comparação a 2011, chegando a 14 (Tabela 1). Entre-

Tabela 1 – Resultados do PROCON Fumaça Preta no Período de 2011 a 2015

Ano	2011	2012	2013	2014	2015
Nº empresas credenciadas	10	14	21	22	28
Nº empresas vinculadas	466	534	749	1.494	2.033
Nº frota declarada	34.026	34.271	39.377	44.838	47.175
Nº inspeção	63.460	71.324	81.312	97.605	109.156
Nº inspeções/veículo	1,76	1,97	2,04	2,18	2,31
Opacidade (m ⁻¹)	1,03	0,95	0,46	0,57	0,35
% reprovação	4,60	2,90	2,50	2,30	1,85

Fonte: GEAR/INEA

Tabela 2 – Variação dos parâmetros do PROCON Fumaça Preta no período de 2011 a 2015					
Varição / Ano	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2011/2015
Nº empresas credenciadas	40%	50%	5%	27%	180%
Nº empresas vinculadas	15%	40%	100%	36%	336%
Nº frota declarada	1%	29%	14%	5%	39%
Nº inspeção	12%	14%	20%	12%	72%
Nº inspeções/veículo	12%	4%	7%	6%	31%
Opacidade (m ⁻¹)	-8%	-52%	24%	-39%	-66%
% reprovação	-37%	-14%	-8%	-20%	-60%

Fonte: GEAR/INEA

tanto, o maior crescimento ocorreu em 2013 (50%), quando o número de empresas credenciadas saltou para 21. Já no ano de 2014, o crescimento foi pequeno, de apenas 5%, e, em 2015, de 27%, totalizando 28 empresas. Observando-se o período de 2011 a 2015, o aumento foi de 180%.

A vinculação ao PROCON Fumaça Preta registrada em 2011 foi de 466 empresas (Tabela 1). Avaliando o período de 2011 a 2015, dois anos destacam-se como os de maior e menor crescimento. O menor crescimento, de apenas 15%, ocorreu em 2012. Já o maior crescimento ocorreu em 2014, quando o número de empresas vinculadas subiu 100%. Na época, a Prefeitura do Rio estava realizando diversas obras para melhoria da mobilidade urbana, como as vias Transolímpica e Transbrasil e a linha do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT), assim como a construção do Parque Olímpico e de arenas relacionadas aos Jogos Olímpicos do Rio de Janeiro, que entrou em ritmo acelerado devido aos prazos de entrega. Logo, aumentou o número de empresas de transportes de cargas e máquinas rodoviárias atuando no Estado do Rio de Janeiro. Por conta disso, o crescimento total entre 2011 e 2015 foi de 336%, totalizando 2.033 empresas vinculadas.

Os resultados apresentados na Tabela 2 demonstram que, apesar de o número de empresas vinculadas ao PROCON Fumaça Preta (336%) ter

aumentado no ano de 2015 em relação a 2011, o número de veículos declarados não acompanhou esse crescimento (39%). Conseqüentemente, o número médio de veículos declarados por empresa diminuiu. Essa análise pode ser observada na Figura 1, comparando-se a trajetória das retas. Nos anos de 2013, 2014 e 2015, a inclinação da reta de empresas vinculadas é mais acentuada do que a inclinação da reta da frota declarada.

Isso pode ser explicado pelo aumento do controle sobre os veículos movidos a diesel, desde a implantação da Resolução CONEMA nº 58/2013, e como o Rio de Janeiro é o único Estado a aplicar efetivamente uma política de controle sobre os veículos, as transportadoras passaram a otimizar o número de veículos que circulam em território fluminense.

O crescimento do número de inspeções do índice de opacidade (fumaça) entre 2011 e 2015 (72%) foi maior do que o aumento no número da frota declarada (39%), o que indica que as empresas vinculadas estão realizando mais inspeções. Esse aumento pode ser observado na linha “Nº de inspeções/veículo” das Tabelas 1 e 2.

É esperado que as empresas credenciadas ao INEA realizem, em média, duas vistorias ao ano por veículo inspecionado. Assim, serão três vistorias no total, já que uma das vistorias ocorre junto

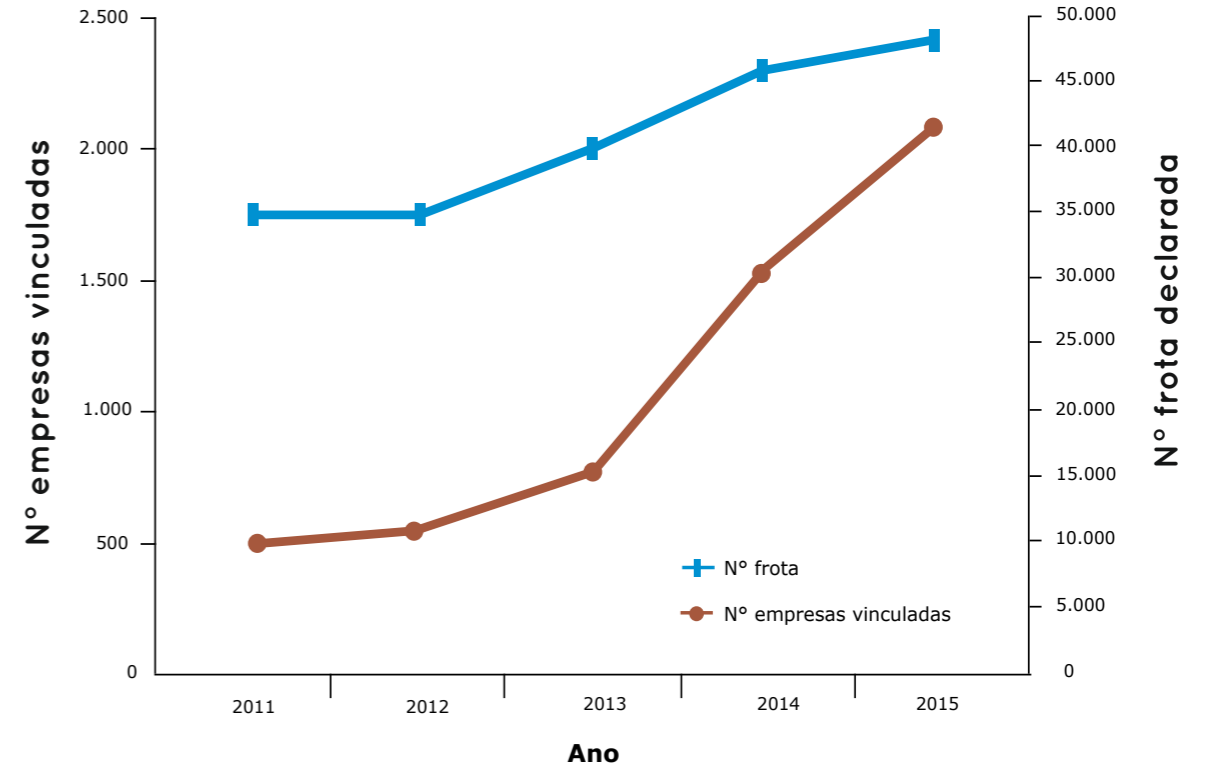


Figura 1 – Crescimento do número de empresas vinculadas ao PROCON Fumaça Preta e frota declarada nos anos de 2011 a 2015

ao DETRAN. Apenas às empresas com frota de veículos registrados fora do Estado do Rio de Janeiro é permitido fazer três vistorias com empresas portadoras do CREV. A análise desse parâmetro – opacidade – permite avaliar se as empresas estão dando continuidade às vistorias após a vinculação, logo, promovendo o controle das emissões atmosféricas e melhorando a qualidade do ar fluminense. Em 2011, o número de inspeções por veículo era de 1,76 (Tabela 1), abaixo do mínimo (2,0). Já em 2012, esse número cresceu 12%, chegando, aproximadamente, à média de duas vistorias por veículo. Nos anos de 2013, 2014 e 2015, houve um acréscimo médio de 5,7%, o que fez a média subir para 2,31 vistorias por veículo, considerado um bom valor, tendo em vista que a maior parte dos veículos é registrada no Estado.

O valor médio do índice de opacidade registrou uma considerável redução, conforme pode ser observado nas Tabelas 1 e 2. No ano de 2015, o valor médio do índice de opacidade foi de 0,35, valor 39% menor do que o aferido em 2014. No

período de 2011 a 2015, o único ano em que não houve redução do parâmetro foi 2014, quando o valor médio do índice de opacidade foi 24% maior do que em 2013. Entre 2011 e 2015, a redução desse valor foi de 66%. É possível que esse recuo tenha ocorrido devido à melhoria na qualidade dos combustíveis e ao melhor desempenho dos motores e sistemas de controle de emissões, aliados à política de controle de emissões veiculares implantada no Estado do Rio de Janeiro.

Os índices de reprovação caíram substancialmente (37%) no ano de 2012 em relação aos resultados obtidos em 2011. Já de 2014 para 2015, a redução foi de 20%. Esse valor pode estar relacionado à redução no valor médio do índice de opacidade, pois, à medida que os valores do índice de opacidade declinam, caem também as reprovações, mostrando que ambos têm uma relação direta. Essa análise que relaciona o índice de reprovação e o valor médio de opacidade pode ser vista na Figura 2.

A Tabela 3, por sua vez, apresenta valores

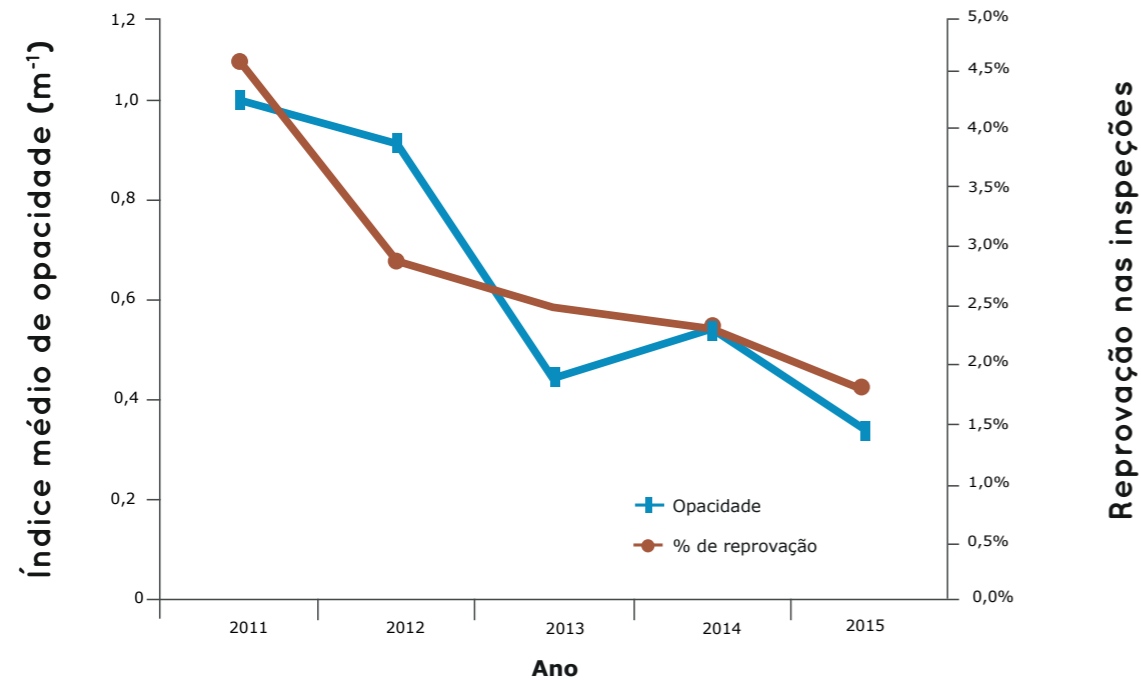


Figura 2 - Variação dos índices de opacidade médios e o percentual de reprovação nas inspeções nos de 2011 a 2015

médios de opacidade nas vistorias realizadas nos anos de 2011 a 2015, agrupadas por faixas de ano de fabricação dos veículos, assim como a redução anual. As faixas de ano de fabricação representam as fases de melhoria de tecnologia de motores e combustível exigida pelo PROCONVE para veículos pesados (P), que foram sendo gradativamente melhoradas para intensificar o controle das emissões atmosféricas.

A Tabela 3 nos permite observar que os veículos mais antigos, das fases iniciais (P1 a P4) do PROCONVE, conseguiram maiores reduções nos índices de opacidade. Por outro lado, os

veículos mais novos (P5-P6), por já adotarem tecnologias mais avançadas de controle de emissões de poluentes atmosféricos, apresentaram reduções dos índices gradativamente menores. O número de veículos inspecionados fabricados de 2011 a 2013 foi inexpressivo nos anos de 2013 a 2015, motivo pelo qual houve uma alta oscilação dos índices de opacidade medidos nesses anos.

Foi realizada, ainda, uma avaliação dos valores médios dos índices de opacidade obtidos nos anos de 2011 a 2015 (Tabela 4) em relação aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 418/2009

Fases PROCONVE	Totais	2011	2012	2013 (m ⁻¹)	2014	2015	Variação 2011-2015 (%)
P1-P2	1990 - 1993	1,57	1,33	1,76	1,23	1,2	-24%
P3	1994 - 1997	1,54	1,6	1,68	1	1,08	-30%
P4	1998 - 2002	0,99	0,88	0,79	0,85	0,79	-20%
P5	2003 - 2008	0,63	0,59	0,44	0,69	0,54	-14%
P6*	2009 - 2011	0,4	0,37	0,31	0,49	0,39	-3%
	2011 - 2013	-	-	0,19	0,36	0,26	-

* Foram mantidos os ganhos da fase P5

Fonte: GEAR/INEA

Ano de fabricação e categorias	Limites Opacidade (m ⁻¹)	Valores médios medidos (m ⁻¹)					Margem (%)
		2011	2012	2013	2014	2015	
Antes de 1996 N.A. /L.D.A.	1,7	1,7	1,3	1,34	1,17	1,17	31
Antes de 1996 Turboalimentado	2,1	2,1	1,72	1,76	1,08	1,08	48
1996 -1999	2,1	2,1	1,4	1,25	0,94	0,97	54
2000 em diante	1,7	1,7	0,54	0,44	0,48	0,33	81

* Foram mantidos os ganhos da fase P5

Fonte: GEAR/INEA

para veículos do ciclo diesel vistoriados em locais que estejam até 350 metros acima do nível do mar.

A Tabela 4 demonstra que para todas as categorias por faixa de ano de fabricação de veículos diesel elencadas na Resolução CONAMA n° 418/2009, listadas na primeira coluna, há uma margem grande, de 31 a 81%, em relação aos valores médios encontrados nas inspeções veiculares verificadas no PROCON Fumaça Preta com os limites de emissão de opacidade. Logo, esses resultados levantam a possibilidade de redução dos limites de opacidade para esse tipo de veículo.

6. Conclusão

Quase dez anos após a implantação do Programa de Automonitoramento de Emissão de Fumaça Preta por Veículo Automotor do Ciclo Diesel (PROCON Fumaça Preta), pode-se observar um aumento de 336% no número de empresas vinculadas ao programa. Contudo, o número de veículos declarados cresceu apenas 39%. Isso pode ser explicado pelo aumento do controle sobre os veículos movidos a diesel, desde a implantação da Resolução CONAMA n° 58/2013. Como o Rio de Janeiro é o único Estado a aplicar efetivamente uma política de controle sobre os veículos, as transportadoras passaram a otimizar a circulação da sua frota em território fluminense.

O progresso do PROCON Fumaça Preta, no período de 2011 a 2015, evidencia-se, ainda, com a diminuição dos valores médios de

opacidade em aproximadamente 66% e com a redução de 60% no índice de reprovação dos veículos movidos a óleo diesel, a despeito do aumento da frota inspecionada e do número médio de inspeções por veículo, que chegou a duas vistorias por veículo na maioria das empresas credenciadas. Esses números indicam que as empresas vinculadas ao programa estão adotando melhores práticas ambientais e, conseqüentemente, se enquadrando às normas estabelecidas pela Resolução CONAMA n° 58/2013. Conseqüentemente, os ganhos com a intensificação do controle sobre os veículos que mais emitem poluentes atmosféricos se refletem na qualidade do ar que os cidadãos fluminenses respiram.

Referências bibliográficas

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (RJ). Resolução CONAMA n° 34, de 27 de maio de 2011. **Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 29 jun. 2011

_____. Resolução CONAMA n° 58, de 13 de dezembro de 2013. **Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 07 jan. 2014.

_____. Resolução CONAMA n° 65, de 10 de outubro de 2014. **Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 04 nov. 2014.

_____. Resolução CONAMA n° 70, de 19 de janei-

ro de 2016. **Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 28 jan. 2016.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução CONAMA nº 18, de 6 de maio de 1986. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 17 jun. 1986.

_____. Resolução CONAMA nº 418, de 25 de novembro de 2009. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 26 nov. 2009.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE (RJ). **Inventário de fontes emissoras de poluentes atmosféricos da região metropolitana do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2004. (Cadernos FEEMA, 1).

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (RJ). **Relatório da qualidade do ar do Estado do Rio de Janeiro**: 2009. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **Relatório da qualidade do ar do Estado do Rio de Janeiro**: ano base 2010 e 2011. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://www.inea.antigo.rj.gov.br/downloads/relatorios/RQAr-2013-anosbase2010-2011revisado1.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2016.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (RJ); RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria Estadual do Ambiente. **O estado do ambiente**: indicadores ambientais do Rio de Janeiro, 2010. Rio de Janeiro, 2011. 160 p. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mde1/-edisp/inea0015448.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2016.

LOUREIRO, L. N. **Panorâmica sobre emissões atmosféricas**: estudo de caso: avaliação do inventário de emissões atmosféricas da região metropolitana do Rio de Janeiro para fontes móveis. 2005. 153 f. (Mestrado) – Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

¹ De acordo com as manifestações das câmaras técnicas do CONAMA, a bem-sucedida experiência registrada no Estado do Rio de Janeiro com o PROCON FUMAÇA PRETA teve um grande peso para o estabelecimento do artigo 16 da Resolução CONAMA 418/09.

Sobre os autores

Luciana Maria Baptista Ventura

Doutora (2015) em Ciências e Química pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), mestre (2008) em Ciências e Engenharia Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e Universidad Politécnica de Valencia (Espanha), bacharel (2007) em Engenharia Química pela UERJ e bacharel (2005) em Engenharia Industrial pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial/ Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil (SENAI/CETIQT). Professora de pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Grande Rio (UNIGRANRIO) desde 2013. Chefe de Serviço de Inspeção e Manutenção Veicular do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) de 2012 a 2016 e gerente da Qualidade do Ar desde 2016.

Fabiano Barbosa Alecrim

Mestrando em Engenharia de Biosistemas pela Universidade Federal Fluminense (UFF) e bacharel (2016) em Engenharia Agrícola e Ambiental pela UFF. Pesquisador colaborador na área de Mudanças Climáticas e Mitigação dos Gases de Efeito Estufa na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e UFF (2013). Estagiário na Gerência de Qualidade do Ar do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) de 2014 a 2016.

Fellipe de Oliveira Pinto

Mestre (2015) em Ciências e Engenharia Elétrica pelo Programa de Engenharia Elétrica do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) e estatístico (2008) pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Analista ambiental em Estatística no Instituto Estadual do Ambiente (INEA) de 2014 a 2016 e chefe de serviço de Inspeção e Manutenção Veicular desde 2016.



Nilb Lima

Saída e acesso ao Túnel Acústico, na Gávea, Zona do Sul do Rio, em horário de pouco fluxo. Ligação integra a Autoestrada Lagoa-Barra, uma das mais movimentadas da cidade do Rio

Evolução dos inventários de emissões veiculares da Região Metropolitana do Rio de Janeiro

› Luciana Maria Baptista Ventura
Jéssica da Silva Lopes

› Resumo

O inventário de emissão veicular é uma das ferramentas mais úteis na gestão de controle da poluição atmosférica. Por meio do levantamento das emissões de poluentes emitidos pela frota de veículos automotores de uma região, o inventário permite a elaboração de diagnósticos que norteiam e reforçam as ações governamentais preventivas e corretivas, e também contribuem para o desenvolvimento de ações pontuais de controle. Passada mais de uma década, durante a qual foram aplicadas diversas medidas de controle de emissões veiculares, tanto em âmbito nacional quanto estadual, e baseado nos inventários de emissões veiculares da Região Metropolitana do Rio de Janeiro de 2004 (FEEMA, 2004) e o de 2016 (INEA, 2016), o presente artigo pretende avaliar as considerações e os dados adotados na metodologia *bottom-up* aplicada e, por consequência, os resultados das emissões estimadas nos dois inventários.

Palavras-chave

Inventário de Emissões. Poluentes Atmosféricos. Metodologia *Bottom-up*. Poluição Veicular.

1. Introdução

O Inventário de Emissão Veicular (IEV) é uma das ferramentas mais úteis na gestão do controle da poluição atmosférica. Ele permite avaliar a contribuição dos veículos automotores na poluição do ar, a partir do levantamento das emissões de poluentes provenientes da frota em determinada região e de acordo com uma metodologia adequada (CETESB, 1994; LOUREIRO, 2005).

A estimativa quantitativa e qualitativa das emissões de origem veicular de determinada região, que é fornecida pelo IEV, permite conhecer não apenas a contribuição relativa dos veículos em sua totalidade, mas também a de cada categoria da frota na poluição total. Assim, quanto mais segmentada a frota estudada com relação às suas características (tipo de combustível, categoria, idade etc.), e mais precisos forem os fatores de emissão veicular adotados, maior a possibilidade de identificar os poluentes atmosféricos e as categorias de veículos mais relevantes nas emissões totais (VICENTINI, 2011).

O inventário de fontes de emissão de poluição atmosférica propicia a elaboração de diagnósticos que fortalecem as tomadas de decisão relativas ao licenciamento de atividades poluidoras e ações de controle. Entre os fatores mais importantes desse instrumento, destacam-se a definição quantitativa e qualitativa das atividades poluidoras do ar (indústrias, veículos, queimadas etc.) e suas informações, tais como localização, duração, magnitude, frequência e contribuição relativa das emissões.

As informações fornecidas por um IEV eficiente são, portanto, um subsídio valioso, tanto para o planejamento e avaliação de ações governamentais preventivas e corretivas voltadas ao gerenciamento da qualidade do ar quanto para o desenvolvimento de estudos sobre o impacto da emissão de poluentes em determinada região (VICENTINI, 2011). O primeiro inventário de emissões publicado no Brasil foi elaborado pela extinta Fundação Estadual de Engenharia de Meio Ambiente (FEEMA), em 2004¹. O inventário utilizava dados de 2001 e contemplava tanto as fontes móveis quanto as fontes fixas presentes na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Foram adotadas informações espe-

cíficas e locais, e utilizada a metodologia *bottom-up*, por meio da qual as vias foram inventariadas depois de serem segmentadas em trechos.

Em 2016, o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) elaborou e publicou o Inventário de Emissões Rodoviárias da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, com dados de 2013, utilizando a mesma metodologia *bottom-up* para estimar as emissões, além de aplicar complementarmente a metodologia *top-down*. O diagnóstico das áreas que sofrem maior contribuição da poluição veicular, fornecido pelo IEV, subsidia os entes públicos competentes quanto às ações de melhoria da mobilidade urbana, assim como auxilia na aplicação dos dados em modelos atmosféricos para geração de cenários futuros de qualidade do ar.

Embora as considerações e os dados adotados para aplicação da metodologia *bottom-up* não tenham sido descritos no inventário de 2004, aceita-se que a metodologia adotada tenha sido esta (LOUREIRO, 2005)². Já o inventário de emissões de 2016 fez uso das considerações e dados previstos na Resolução INEA nº 67, de 25 de fevereiro de 2013, que trata da Metodologia para Elaboração de Inventários de Emissão Atmosférica por Veículos Automotores em Escala Regional para Aplicação no Estado do Rio de Janeiro.

2. Caracterização da área de estudo

Em 2001, a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) era constituída por 19 municípios e ocupava 14% da área total do Estado, concentrada numa superfície de pouco menos de 6.200 km². Nessa época, a população da RMRJ era de aproximadamente 11 milhões de pessoas, correspondendo a cerca de 80% do total do Estado, dos quais 60% viviam na capital. À época, podia-se dizer que era a região metropolitana mais densamente povoada do Brasil, com aproximadamente 1.900 hab/km² (CEPERJ, 2013).

Em 2013, a RMRJ passou a congregar 21 municípios, ocupando 15,38% da área total do Estado, concentrada numa superfície de pouco mais de 6.734 km², com uma população de aproximadamente 12 milhões de pessoas, cerca de 75% do Estado, dos quais 53% vivem no município do Rio de Janeiro (IBGE, 2010; DETRAN, 2014). Das regiões



Novo Inventário de Emissões Veiculares, com dados de 2013, aponta redução de até 95% nos poluentes liberados pela frota licenciada no Estado

metropolitanas existentes no país, a do Rio de Janeiro permaneceu como a de maior densidade demográfica, com aproximadamente 1.773 hab/km², assim como a de maior grau de urbanização, com 98% (CEPERJ, 2013, adaptado), sendo responsável pela geração de cerca de 70% da renda interna do Estado e de 12,5% da nacional (IBGE, 2010).

Ao comparar os dois cenários, verifica-se o acréscimo de dois municípios e a expansão territorial de aproximadamente 3,6%. Com relação à população, houve um crescimento de 9,1%, porém a densidade demográfica teve uma redução de aproximadamente 6,7%. Além disso, ao longo desses anos, houve uma redução de 6,25% da população residente na RMRJ quando comparada à população total do Estado. De forma análoga, houve uma retração da população que residia no município do Rio de Janeiro quando comparada à população total da RMRJ, onde ocorreu uma queda de aproximadamente 11,7%.

No que se refere ao quantitativo de frota licenciada no ano de 2013, o Estado do Rio de Janeiro apresentou 2 milhões de veículos, a RMRJ, 1,3 milhão, e o município do Rio de Janeiro, 900 mil. Segundo o inventário de 2001, a RMRJ apresentou um total de 880 mil veículos. Logo, a taxa de crescimento da frota de 2001 para 2013 foi de 0,52. Considerando essa mesma taxa para o Estado e para

o município, a frota referente ao ano de 2001 era de 1,3 milhão e 590 mil veículos, respectivamente.

3. Estimativas de emissões veiculares

Para o cálculo das emissões, foi adotada a metodologia *bottom-up*, cuja característica é quantificar e identificar a emissão de poluentes de forma desagregada, permitindo assim a gestão individualizada de cada fonte. Essa metodologia é utilizada especialmente para determinação das emissões provenientes de veículos leves (motos e carros) e pesados (caminhões e ônibus) nas vias de estudo. Para tal, devem ser adotados os seguintes dados: período de emissão (hora, dia, semana, mês etc.); estimativa ou dados de contagem de veículos presentes na área e período definidos; estimativa ou dados de caracterização dos veículos (ano de fabricação e tipologia) presentes na área e períodos definidos; definição da distância percorrida em cada trecho; fator de emissão.

Assim, as emissões totais da região inventariada são quantificadas a partir do somatório das emissões típicas de cada tipo de veículo, dado em massa média de poluente emitido por unidade de distância percorrida (chamada de "fator de emissão"), e a respectiva intensi-

dade de uso, ou seja, a distância média, como se pode ver na equação:

$$E_{ij} = \sum_i \sum_j N_j * d * F_{ij}$$

Onde:

i: poluente atmosférico;

j: combustível;

E: emissão por período definido (g.tempo⁻¹);

N: número de veículos circulantes por período (u. tempo⁻¹);

d: distância percorrida (km);

F: fator de emissão (g km⁻¹).

3.1 Seleção das vias

No inventário de 2004, foram selecionadas as vias de maior fluxo de veículos e investigada a existência de dados relativos à movimentação (contagem) de veículos leves (automóveis) e pesados (caminhões e ônibus) nos órgãos de trânsito públicos e nas concessionárias das vias.

Os trechos e vias selecionados – 263 trechos e 186 vias, segmentadas em trechos – foram considerados as principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos de origem veicular e as mais significativas vias quanto ao volume de tráfego na RMRJ (Figura 1). Segundo Cavalcanti (2005), as vias contempladas nesse inventário representam de 90 a 95% das vias da RMRJ com significativo nível de emissão.

No inventário de 2016, foram arroladas todas as vias inventariadas em 2004, acrescidas das vias da RMRJ em que havia dados de fluxo veicular disponível e das vias com trânsito in-



Figura 1 – Geoprocessamento das vias inventariadas em 2001
Fonte: FEEMA, 2004



Figura 2 – Vias de tráfego inventariadas em 2013

Fonte: Google Earth (adaptado)

tenso, totalizando 1.233 vias³. Em alguns casos, as vias foram divididas em trechos, devido à disponibilidade de informações de fluxos segmentados em uma mesma via. Foram inventariados, portanto, 1.599 trechos de vias, que foram georreferenciadas e apresentadas geoprocessadas no Google Earth (Figura 2).

Após a seleção, as vias foram classificadas quanto à sua capacidade de tráfego, de acordo com o que estabelece a Resolução INEA nº 67 (Tabela 1), e seguindo a classificação da Secretaria de Infraestrutura da Cidade de São Paulo (SIESP, 2004). Essa classificação auxiliou a estimativa do fluxo de vias adjacentes que não tinham informação de contagem veicular.

3.2 Número de veículos circulantes por período

O número de veículos que circulam por uma via em um determinado período de tempo pode ser obtido por meio da contagem

Tabela 1 – Classificação de Vias	
Tipo de Via	Geometria da Via Nº de Faixas
Local	1
Secundária	2
Coletora	2
Arterial	≥3
Principal	≥4

Fonte: SIESP, 2004 (adaptado)

do fluxo veicular monitorado ou por cálculo de estimativa. Além da contagem, também é necessário conhecer o perfil da frota circulante, ou seja, o percentual de veículos da frota por ano de fabricação, categoria e tipo de combustível.

3.2.1 Fluxo veicular

A contagem de fluxo pode ser feita por hora, dia, mês ou ano. Quando aplicada a uma função horária de tráfego, permite determinar a variação do tráfego da via ao longo das 24 horas do dia e, conseqüentemente, a mensuração da emissão de poluentes para todas as horas do dia.

No caso, as informações necessárias referentes às principais vias de tráfego foram obtidas nos órgãos municipais, estaduais e federais de trânsito, e em todos os postos de pedágio das concessionárias da Região Metropolitana.

No inventário de 2004, a função de variação de tráfego foi construída a partir da relação entre os fluxos contabilizados durante o dia e o fluxo de pico. Os resultados da contagem de veículos (Tabela 2) permitem avaliar que, em 2004, as informações disponibilizadas pelos órgãos de trânsito sobre o fluxo veicular só os classificava em duas categorias: automóveis e veículos pesados (caminhão/ônibus).

Em ambos os inventários não foram utilizados mecanismos na contagem de fluxo que diferenciassem os veículos por ano, categoria e combustível utilizado. O fluxo do período foi obtido através de contagem.

Em 2016, a maioria dos dados utilizados referentes à contagem do fluxo de tráfego foi proveniente da Companhia de Engenharia de Trânsito do Rio de Janeiro (CET-RIO). Os dados enviados estavam divididos quantitativamente em motocicletas, veículos pequenos, veículos médios e veículos pesados.

Tabela 2 – Contagem de veículos para o Trecho 32*		
Horário	Automóveis	Caminhão/Ônibus
0-1h	573	64
1-2h	374	42
2-3h	284	32
3-4h	283	31
4-5h	386	43
5-6h	373	97
6-7h	2075	231
7-8h	3189	354
8-9h	2991	332
9-10h	2867	319
10-11h	2734	304
11-12h	2674	297
12-13h	2614	290
13-14h	2521	280
14-15h	2537	282
15-16h	2471	275
16-17h	2618	291
17-18h	3070	341
18-19h	3082	342
19-20h	2638	293
20-21h	2093	233
21-22h	1813	201
22-23h	1540	171
23-0h	941	105

* O trecho 32 corresponde à extensão da Rua Amauri de Souza, na altura da Rua Joaquim Laranjeiras, até a Rua Domingos Borges, na RJ-104

Esses veículos foram categorizados em:

- Motocicletas = motocicletas;
- Veículos pequenos = automóveis;
- Veículos médios = comerciais leves;
- Veículos pesados = ônibus e caminhões.

Para as vias que não dispunham de monitoramento, o fluxo de veículos foi estimado por similaridade de classificação com as vias identificadas na ferramenta Google Trânsito que apresentavam fluxo intenso no horário de pico, pois estas não poderiam ser desconsideradas no inventário de 2016.

3.2.2 Frota circulante

Para a base de cálculo, o inventário de 2004 fez uso do quantitativo de veículos registrados no banco de dados do Departamento de Trânsito do Estado do Rio de Janeiro (DETRAN-RJ) para a RMRJ: 885.716 veículos, sendo 4,1% deles movidos a diesel, e o restante, do ciclo Otto.

No inventário de 2016, em vez de ser aplicada a curva de sucateamento dos veículos registrados no DETRAN-RJ, foi considerada a frota licenciada, conforme estudo da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2014), que identificou ter a frota licenciada

maior representatividade, pois entende-se que ela realmente está em circulação⁴.

A frota circulante na RMRJ, em 2013, contabilizava 1.352.561 veículos licenciados, sendo 6,9% a diesel, e os demais, veículos do ciclo Otto. Portanto, houve um crescimento de 52,7% no quantitativo de frota inventariada em 2016 em relação a 2004. Destaca-se, ainda, no inventário de 2016, que a parcela de veículos licenciados a diesel teve um aumento expressivo de 68,3% em relação ao inventário de 2004.

3.2.3 Perfil da frota

Uma das variáveis mais importantes de um inventário de emissões veiculares é a composição da frota circulante da região estudada (SILVA & BALES, 2014). Como os dados de contagem de fluxo não caracterizam os veículos dessa forma, é preciso traçar o perfil da frota circulante por categoria, ano de fabricação e combustível.

No Brasil, em 2001, ainda não eram fabricados veículos flex. Por essa razão, não são citados no inventário de 2004, que adotou um perfil da frota simplificado, considerando duas categorias de

veículos: automóveis movidos a gasolina e pesados, movidos a diesel, com o mesmo ano de fabricação, apesar de, à época, já serem comercializados veículos movidos a etanol e as motocicletas.

Atualmente, diferentemente dos veículos pesados, que em sua maioria absoluta são movidos a diesel, os veículos leves que circulam na RMRJ utilizam variados tipos de combustíveis, como o gás natural veicular (GNV), o etanol hidratado, a gasolina C e misturas desses combustíveis em diferentes proporções — que caracterizam os chamados carros flex — apresentando diferentes fatores de emissão de poluentes atmosféricos por ano de fabricação.

Os veículos mais antigos têm fatores de emissão de poluentes muito mais elevados que aqueles mais novos. Logo, há a necessidade de ponderar a frota circulante pela intensidade de uso ajustada e, na verdade, reduzir algumas possíveis distorções na estimativa das emissões, visto que, quanto mais antigo o veículo, menor a sua circulação nas vias (VICENTINI, 2011).

3.2.4 Combustível dos veículos flex

Os veículos flex constituem, atualmente, a maioria dos veículos do ciclo Otto circulantes na RMRJ. Em 2013, para determinar o percentual de veículos flex que utilizavam gasolina C e etanol hidratado como combustível, adotou-se a curva de escolha de combustível, cujo indicador é a relação do preço dos dois combustíveis. O índice encontrado entre o preço médio da gasolina C e do etanol hidratado comercializado no Estado do Rio de Janeiro foi de 0,76. Portanto, ao relacionar esse valor à curva de escolha de combustível, chegou-se ao resultado de uma fração de veículos flex, 95% dos quais faziam uso de gasolina C e, apenas 5%, do etanol hidratado.

3.2.5 Categorias de veículos inventariadas

Como dito anteriormente, o inventário de 2004 utilizou duas categorias de veículos: pesados, movidos a diesel, e leves, movidos a gasolina. O inventário de 2016, além de discriminar os veículos leves em automóveis e comerciais leves,



Av. Presidente Vargas (Centro do Rio). uma das vias de grande fluxo de veículos selecionadas para a avaliação da emissão de poluentes

Tabela 3 – Categorias de veículos			
Tipo de Veículo	Motor	Combustível	Definição
Automóveis	Otto	Combustível Gasolina C Etanol hidratado Flex - Gasolina Flex - Etanol GNV	Veículo automotor destinado ao transporte de pessoas com capacidade para até oito passageiros, excluindo o condutor
Comerciais Leves	Otto Diesel	Gasolina C Etanol hidratado Flex - Gasolina Flex - Etanol GNV Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de pessoas ou cargas, com peso bruto total (PBT) de até 3,5 t
Caminhões Leves (3,5t < PBT < 10t) Caminhões Médios (10t ≤ PBT < 15t) Caminhões Pesados (PBT ≥ 15t)	Diesel	Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de carga, com carroceria e com peso bruto total (PBT) superior a 3,5 t
Ônibus Urbanos Ônibus Rodoviários	Diesel	Diesel	Veículo automotor de transporte coletivo
Motocicletas	Otto	Gasolina C Flex - Gasolina Flex - Etanol	Veículo automotor de duas rodas, com ou sem sidecar, dirigido em posição montada

Fonte: INEA, 2016

Tabela 4 – Fatores de emissão adotados no inventário de 2004

Fontes de Emissão	Combustível	CO (g/km)	HCT (g/km)	NOx (g/km)	SOx (g/km)	MP10 (g/km)
Tubo de Escapamento	Gasolina	14	2,4	0,85	0,2	0,08
	Álcool	18	2	1,4	-	-
	Diesel	17,8	2,9	13	1,13	0,81
Emissão do Carter e Evaporativa	Gasolina	-	2,1	-	-	-
	Álcool	-	1,6	-	-	-
Pneus	Todos os Tipos	-	-	-	-	0,07

Fonte: DETRAN & FEEMA, 2001 (adaptado)

classificou-os de acordo com o combustível: gasolina, etanol, flex, GNV e diesel. A Tabela 3 apresenta as categorias de veículos separados por tipo de veículo e combustível.

3.2.6 Poluentes atmosféricos

Em geral, os poluentes atmosféricos inventariados são aqueles regulados pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) e pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT). No inventário de 2004, foram inventariados os poluentes monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos totais (HCT), material particulado (MP), material particulado inalável (MP₁₀), óxido de enxofre (SOx) e óxidos de nitrogênio (NOx).

O inventário de 2016 acrescentou aldeídos (RCOH) e material particulado de ressuspensão (MP₁₀ ressus), descartou MP e substituiu HCT por hidrocarbonetos não metano de escapamento (NMHC) e hidrocarbonetos não metanos evaporativos (NMHC evap), uma vez que os NMHC são precursores para formação do ozônio troposférico, que tem sido um dos poluentes mais observados em grandes centros urbanos no mundo.

3.3 Fatores de emissão

O fator de emissão é definido como uma estimativa das emissões médias de um determinado poluente atmosférico para certa categoria de veículo numa dada condição de operação. Atualmente, devido às diversas variáveis que influenciam as emissões veiculares, modelos computacionais têm sido desenvolvi-

dos para estimar os fatores de emissão sob a combinação de algumas condições. Esses modelos utilizam relações estatísticas baseadas em milhares de testes realizados em veículos tanto novos quanto usados (FAIZ et al, 1996).

Em 2004, o inventário de fontes móveis foi limitado às emissões provenientes de veículos automotores leves e pesados, que possuíam grande significância no contexto da poluição atmosférica na RMRJ no ano de 2001.

A Tabela 4 apresenta os fatores de emissão médios da frota de veículos em circulação na RMRJ em 1999, que representavam o valor de emissão característico da frota à época, os quais foram adotados para estimar as emissões veiculares de 2001.

A CETESB, desde 2013, disponibiliza os fatores de emissão da frota nacional, caracterizada por categoria, ano de fabricação e combustível (<http://veicular.cetesb.sp.gov.br>). Além disso, atualmente, a CETESB disponibiliza os fatores de emissão evaporativa da frota nacional. Esses dois fatores foram adotados no inventário de 2016, permitindo estimativas mais precisas do que a utilização de um fator médio. Além desses fatores de emissão de combustão e de evaporação, foram adotados, em 2016, os fatores de emissão por ressuspensão de MP₁₀ do solo, divulgado pelo 1º Inventário Nacional (MMA, 2011).

Ao longo da última década, ficaram evidentes os motivos para a atualização dos fatores médios de emissão da RMRJ, por exemplo: o advento e o aumento da quantidade de veículos com motorização flex; o aumento do uso do GNV como com-

combustível, principalmente devido ao valor inferior em relação aos demais combustíveis, como também em razão do incentivo dado pelo Governo Estadual na forma de desconto no Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA); o avanço tecnológico para a redução dos poluentes, em cumprimento às fases do PROCONVE e a renovação da frota circulante, devido aos incentivos dados na aquisição de veículos novos, menos poluentes, e aos novos fatores de emissões veiculares determinados pelos órgãos ambientais, que, ao desagregarem a frota circulante em mais categorias de veículos, combustíveis e ano de fabricação, se tornam mais precisos, já que veículos mais antigos tendem a poluir mais.

4. Resultados

Embora ambos os inventários tenham utilizado a mesma metodologia (*bottom-up*), cada um deles adotou dados e considerações diferentes, obtendo, por conseguinte, resultados de emissões atmosféricas bastante desiguais.

A Tabela 5 apresenta um comparativo do cenário de emissões veiculares nas vias da RMRJ entre 2001 e 2013, com relação aos quatro poluentes inventariados em 2004: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), partículas inaláveis (MP₁₀) e óxidos de enxofre (SOx).

As emissões de óxidos de enxofre apresentaram um dos resultados mais baixos, com 7.509 ton/ano, no inventário de 2004, e 953 ton/ano no inventário de 2016. Com relação aos óxidos de nitrogênio, houve uma redução de 75%, o que se deve, principalmente, às tecnologias implantadas nos veículos pesados para diminuição do lançamento desse poluente na atmosfera. Também houve uma

redução significativa da emissão das partículas inaláveis, de 7.783 ton/ano (2004) para 351 ton/ano (2016), o que se deve à melhoria dos combustíveis, em especial o diesel.

No inventário de 2004, os hidrocarbonetos não metanos (NMHC) foram avaliados conjuntamente com o metano, pois foram estimadas as emissões de hidrocarbonetos totais (HCT), somando um total de 53.426 ton. Já as emissões evaporativas e por combustão incompleta de NMHC em 2013 foram de 3.914 ton.

Como os aldeídos (RCHO) são característicos da queima do etanol, só há dados de emissão desse poluente por automóveis e veículos comerciais leves. Como o poluente não foi inventariado em 2004, pois, na ocasião, os carros movidos a etanol foram contabilizados junto com os movidos a gasolina, só há resultados de emissão de aldeídos no inventário de 2016. Atualmente, o etanol hidratado é utilizado exclusivamente por veículos movidos a etanol ou pelos flex. Devido a isso, esse poluente obteve o menor valor estimado entre os demais (88,83 ton/ano).

Assim, de acordo com os resultados das taxas estimadas no inventário de 2004, destaca-se a participação expressiva dos automóveis na emissão de monóxido de carbono (cerca de 65%) em relação ao total de poluentes atmosféricos liberados pela frota da RMRJ, uma vez que a gasolina é o principal contribuinte para a emissão dessa substância. Em seguida, aparecem: óxidos de nitrogênio, com aproximadamente 13%; hidrocarbonetos totais, com 11,5%; material particulado, com 5%; e partículas inaláveis e óxidos de enxofre, com cerca de 1,5% de contribuição cada.

Vale lembrar que o inventário de 2004 consi-

Tabela 5 – Comparação entre estimativas bottom-up dos inventários da RMRJ de 2004 e 2016

	CO (ton/ano)	NOx (ton/ano)	MP10 (ton/ano)	SOx (ton/ano)
Inventário 2004	314.740	60.200	7.783	7.509
Inventário 2016	25.334	14.991	351	953
Redução das emissões	92,7%	76,1%	95,5%	87,3%

Fonte: FEEMA, 2004 e INEA, 2016 (adaptado)

derou apenas duas categorias de veículos, automóveis e ônibus/caminhões, e uma quantidade de vias georreferenciadas sete vezes menor. Mesmo assim, para todos os poluentes atmosféricos inventariados, as emissões em 2001 foram muito superiores às estimadas em 2013. O fato evidencia a eficácia das ações de controle das emissões veiculares realizadas tanto em âmbito nacional, com o PROCONVE e o PROMOT, quanto no Estado do Rio de Janeiro, com os Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso (Programa I/M) e o Programa de Autocontrole de Emissões de Fumaça Preta por Veículos Automotores (PROCON Fumaça Preta).

Os programas federais têm como meta a melhoria da qualidade dos combustíveis comercializados e da tecnologia dos motores e sistemas de controle de emissões atmosféricas dos veículos novos. Em complementação, os programas estaduais têm como objetivo manter os ganhos tecnológicos alcançados, encorajando os proprietários a realizar a manutenção preventiva e/ou corretiva de seus veículos para fins de licenciamento veicular.

A Tabela 6 apresenta as estimativas de emissão, por categoria, para monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não metanos de escapamento (NMHC escap), evaporativo (NMHC evap) e totais (NMHC tot), aldeídos (RCHO), óxidos de

nitrogênio (NOx), óxidos de enxofre (SOx), material particulado de escapamento (MP escap), de ressuspensão (MP ressus) e total (MP total), para as vias da RMRJ no ano de 2013.

De acordo com as estimativas de emissão veicular na RMRJ em 2013 (Tabela 6), pode-se dizer que os maiores poluentes atmosféricos da RMRJ são monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NOx). Os dados conferem aos veículos de ciclo Otto - automóveis e motocicletas - uma contribuição significativa (82% de CO e 78% de NMHC).

A maior contribuição dos caminhões pesados e ônibus urbanos ocorreu nas emissões de óxidos de nitrogênio (82%) e de material particulado (65%).

A Tabela 7 apresenta os percentuais das contribuições das emissões das principais vias de tráfego da RMRJ contemplados no inventário de 2004. Já a Tabela 8 apresenta os percentuais das contribuições das emissões estimadas nas dez vias mais poluídas da RMRJ em 2013 (INEA, 2016).

Entre todas as vias inventariadas e em ambas as estimativas, tanto a de 2004 quanto a de 2016, a Avenida Brasil apresentou o maior percentual de emissão de poluentes

Tabela 6 - Estimativa bottom-up das emissões veiculares de CO, NMHC, RCHO, NOx, SOx e MP na RMRJ em 2013 (ton/ano)

Tipo de veículo	CO	NMHC escap	NMHC evap	NMHC tot	RCHO	NOx	SOx	MP escap	MP ressus	MP tot
Automóveis	20.687,25	1.291,57	1.693,72	2.985,29	83,76	2.459,63	571,40	9,92	694,60	704,52
Comerciais leves do ciclo Otto	1.114,46	91,87	87,64	179,51	5,08	172,95	29,05	0,79	63,19	63,98
Comerciais leves do ciclo Diesel	518,09	118,58	-	118,58	-	2.617,80	177,15	52,74	80,40	133,14
Ônibus rodoviários	27,15	5,38	-	5,38	-	133,18	3,24	2,30	1,47	3,77
Ônibus urbanos	502,43	102,90	-	102,90	-	2.479,48	45,11	43,47	20,47	63,94
Caminhões leves	165,17	41,82	-	41,82	-	868,16	21,89	25,43	9,93	35,36
Caminhões médios	275,62	83,83	-	83,83	-	1.491,69	22,67	63,66	10,29	73,95
Caminhões pesados	866,81	236,42	-	236,42	-	4.637,51	71,98	152,70	32,67	185,37
Motocicletas	1.177,29	160,84	-	160,84	-	51,17	10,90	-	2,81	-
Total	25.334,27	2.133,20	1.781,36	3.914,56	88,83	14.911,58	953,37	351,03	915,83	1.266,86

Fonte: INEA, 2016

Tabela 7 - Contribuição percentual das principais vias de tráfego em 2001

Nº	Nome das vias	Σ Emissões (ton/ano)	Contribuição (%)
1	Av. Brasil	117.119,90	26,41
2	Av. das Américas	50844,62	11,46
3	Rod. Pres. Dutra	12039,47	2,71
4	Linha Vermelha	13079,99	2,95
5	Rod. Washington Luís	15917,43	3,59
6	Ponte Rio-Niterói	16357,34	3,69
7	Av. Ayrton Sena	11915,01	2,69
8	Linha Amarela	10481,08	2,36
9	Demais vias	195487,44	44,07

Fonte: FEEMA, 2004 (adaptado)

Tabela 8 - Contribuição percentual das principais vias de tráfego em 2013

Nome das vias	Σ Emissões (ton/ano)	Contribuição (%)
Av. Brasil (BR-101)	4937,82	9,56
Av. Pres. João Goulart (Linha Vermelha)	2024,71	3,92
Rod. Pres. Dutra (BR-116)	1477,21	2,86
Av. Pastor Martin Luther King Jr.	1203,46	2,33
Rod. Washington Luís (BR-040)	1125,98	2,18
RJ-081 (Via Light)	1064,00	2,06
Estrada Ayrton Senna da Silva	1053,67	2,04
Rodovia RJ-125	1033,01	2,0
Av. das Américas	805,75	1,56
Estrada do Galeão	795,42	1,54

Fonte: INEA, 2016 (adaptado)

(26,41% em 2004 e 9,56% em 2016) da RMRJ. Com quase 60 quilômetros de extensão e cortando dezenas de bairros do município do Rio de Janeiro, a Avenida Brasil é uma das vias expressas mais importantes da cidade e se tornou, ao longo dos anos, endereço de gran-

des empresas, reunindo em seu entorno numerosa concentração populacional. Por conta disso, é responsável por um dos maiores fluxos viários da cidade e, conseqüentemente, apresenta elevados índices de emissão.

Outra via expressa que apresentou ele-

vados percentuais de emissão em ambos os inventários foi a Linha Vermelha, ocupando o segundo lugar, em 2016, entre as vias da RMRJ que mais poluem o ar (2,95% em 2004 e 3,92% em 2016), importante via de conexão do Centro da cidade do Rio de Janeiro com o bairro da Ilha do Governador e algumas cidades da Baixada Fluminense, por ela passam diariamente 139 mil veículos (VILLELA, 2014), sendo, por isso, responsável pelo aumento das emissões em 2016.

5. Conclusão

Ao longo desses dez anos, ficaram evidentes os motivos para atualização dos dados e das considerações adotadas para a estimativa de emissões veiculares, tais como: o advento dos veículos com motorização *flex* e o crescimento da frota de veículos desse tipo; o aumento do uso de GNV como combustível, devido ao seu preço ser menor em relação aos demais combustíveis, bem como ao incentivo dado pelo Governo Estadual em relação ao desconto no IPVA; o avanço tecnológico na redução dos poluentes em cumprimento das fases do PRONCONVE; a renovação da frota circulante, devido aos incentivos dados na aquisição de veículos modernos e que, portanto, poluem menos, e os novos fatores de emissões veiculares determinados por órgãos ambientais, como a CETESB, que desagregam a frota circulante em mais tipos de veículos, combustíveis e ano de fabricação, sendo essa divisão mais precisa, visto que veículos mais antigos tendem a poluir mais.

É possível perceber que a disponibilidade de informações no inventário de 2016 foi um dos fatores primordiais para a melhoria da qualidade das estimativas de emissões veiculares. Outro fator importante foi o conhecimento do consumo dos combustíveis comercializados no Estado do Rio de Janeiro (gasolina, etanol, diesel etc.) por categoria, não mais necessitando reproduzir a consideração, feita em 2004, de que todos os veículos se moviam a gasolina. As emissões estimadas reduziram em aproximadamente 90% para o monóxido de carbono e 75% para os óxidos de nitrogênio. Em relação ao somatório

das emissões estimadas em 2004 e 2016, a redução alcançou 89%, mesmo com a ampliação, de 186 para 1.233, do total de vias inventariadas e a frota aumentando de 885.716, em 2001, para 1.352.561, em 2013. Esses resultados demonstram a eficácia dos programas de controle de emissões veiculares aplicados tanto em âmbito nacional quanto estadual. 🍀

Referências bibliográficas

- CAVALCANTI, P. M. P. S. **Comunicação pessoal**. [S. l.: s. n.], 2005.
- CENTRO ESTADUAL DE ESTATÍSTICA, PESQUISA E FORMAÇÃO DE SERVIDORES PÚBLICOS (Rio de Janeiro). **Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro**: 2013. Rio de Janeiro, 2014.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (São Paulo). **Inventário de emissão veicular: metodologia de cálculo**. São Paulo, 1994.
- _____. **Inventário de emissão veicular do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2013.
- FAIZ, A.; WEAVER, C. S.; WALSH, M. P. **Air pollution from motor vehicles: standards and technologies for controlling emissions**. Washington, DC: The World Bank, 1996.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE (Rio de Janeiro). **Inventário de fontes emissoras de poluentes atmosféricos da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2004. 19 p.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE (Rio de Janeiro); RIO DE JANEIRO (Estado). DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO. **Poluição veicular no Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2001. 69 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro, [2010?].
- INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (Rio de Janeiro). **Inventário de emissões de fontes rodoviárias da Região Metropolitana do Rio de Janeiro 2010**. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. Resolução INEA nº 67, de 25 de fevereiro de

2013. **Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro**, 7 mar. 2013.

INSTITUTO RIO. **Sobre a zona oeste**. Disponível em: <http://www.instituto.org.br/sobre_a_zona_oeste>. Acesso em: 11 dez. 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. London, 1997. v. 3.

LOUREIRO, L. N. **Panorâmica sobre emissões atmosféricas: estudo de caso: avaliação do inventário emissões atmosféricas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro para fontes móveis**. 2005. 171 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE (Brasil). **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários: relatório final**. Brasília, DF, 2011.

SÃO PAULO (SP). Secretaria de Infraestrutura. **IP-02: classificação das vias**. [São Paulo: 2012?]. Disponível em: <http://ww2.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/secretarias/infraestruturaurbana/normas_tecnicas_de_pavimentacao/ip02.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2016.

SILVA, S. R. E.; BALES, M. P. **Estudo comparativo entre bases de dados de frota do Estado de São Paulo para o cálculo das estimativas de emissões veiculares**. São Paulo: CETESB, 2014.

VICENTINI, P. C. **Uso de modelos de qualidade do ar para a avaliação do efeito do Proncove entre 2008 e 2020 na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. 2011. 224 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

Notas

¹ O INEA foi criado em 2007 e implantado em 2009, a partir da fusão de três órgãos: FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia de Meio Ambiente), SERLA (Superintendência Estadual de Rios e Lagoas) e IEF (Instituto Estadual de Florestas).

² O inventário de emissões publicado pela FEEMA, em 2004, não descrevia as considerações e os dados adotados para aplicação da metodologia *bottom-up*. Logo, presume-se que esta se deu conforme explicitado na dissertação de mestrado de Luciana Neves Loureiro, apresentada na Universidade Federal do Rio de Janeiro (LOUREIRO, 2005), na qual propôs a avaliação do Inventário de Emissões Atmosféricas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro para fontes móveis, cuja elaboração a autora participou ativamente.

³ Vias verificadas pela ferramenta Google Trânsito (www.google.com.br/maps/place/Rio+de+Janeiro,+RJ), em 16 de abril de 2013.

⁴ A frota licenciada é o conjunto de veículos licenciados pelo órgão de trânsito que estão com a documentação e impostos regularizados, ou seja, entende-se que está em circulação. Normalmente, a quantidade de veículos registrada é maior que a circulante, pois muitos veículos deixam de circular e não sofrem o processo de baixa em seu registro (CETESB, 2012).

Sobre os autores

Luciana Maria Baptista Ventura

Doutora (2015) em Ciências e Química pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), mestre (2008) em Ciências e Engenharia Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e Universidad Politecnica de Valencia (Espanha), bacharel (2007) em Engenharia Química pela UERJ e bacharel (2005) em Engenharia Industrial pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial/Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil (SENAI/CETIQT). Professora de pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Grande Rio (UNIGRANRIO) desde 2013. Chefe de Serviço de Inspeção e Manutenção Veicular do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) de 2012 a 2016 e gerente da Qualidade do Ar desde 2016.

Jéssica da Silva Lopes

Graduanda em Engenharia Química pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial/Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil (SENAI/CETIQT). Estagiária na Gerência da Qualidade do Ar do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) desde 2015.