



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**RIO 2016: ANÁLISE E PERSPECTIVAS PARA A
QUALIDADE DO AR NO MUNICÍPIO DURANTE OS
JOGOS OLÍMPICOS E PARAOLÍMPICOS**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Josielli Batista Simões

Itajubá, MG, Brasil

2015

RIO 2016: ANÁLISE E PERSPECTIVAS PARA A QUALIDADE DO AR NO MUNICÍPIO DURANTE OS JOGOS OLÍMPICOS E PARAOLÍMPICOS

por

Josielli Batista Simões

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Ciências Atmosféricas.**

Orientador: Prof(a). Dra. Vanessa Silveira Barreto Carvalho

**Itajubá, MG, Brasil
2015**

**Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Recursos Naturais
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

**RIO 2016: ANÁLISE E PERSPECTIVAS PARA A
QUALIDADE DO AR NO MUNICÍPIO DURANTE OS
JOGOS OLÍMPICOS E PARAOLÍMPICOS**

elaborada por

Josielli Batista Simões

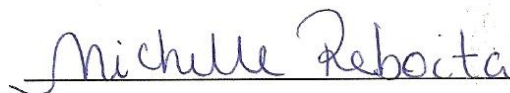
Como requisito parcial para a obtenção do grau de

Bacharel em Ciências Atmosféricas

Comissão Examinadora:



Vanessa Silveira Barreto Carvalho, Dr^a (UNIFEI)
(Presidente/Orientador)



Michelle Simões Reboita, Dr^a (UNIFEI)



Tatiana Rocha Amaro, Msc. (UNIFEI)

Itajubá, 16 de novembro de 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que me proporcionou esta oportunidade;

Aos meus pais Nélcia e Hélio e minhas irmãs Ariane, Danielle e Daviani, pelo constante apoio e confiança;

Aos professores do Curso de Ciências Atmosféricas, pela dedicação, competência e conhecimentos repassados;

À minha professora e orientadora Vanessa Carvalho, por me apresentar a área de Qualidade do ar, pela amizade, paciência, otimismo, compreensão e por todos os ensinamentos e incentivo;

Aos meus queridos amigos de CAT2011, Amanda, Bruno, Carol, Cleverson, Débora, Diego, Heloísa, Igor, Rebeca, Rodolfo e Thaís, pela amizade não só nos momentos de distração, mas também nos dias de desânimo, desespero e noites de estudo;

À Secretaria de Meio Ambiente do Município do Rio de Janeiro pelos dados concedidos;

Enfim, agradeço todos que conheci durante a graduação e que de alguma forma tiveram uma contribuição neste trabalho.

“NÃO EXISTE VENTO FAVORÁVEL À QUEM NÃO SABE ONDE DESEJA IR.”
(ARTHUR SCHOPENHAUER)

RESUMO

Monografia de Graduação
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

RIO 2016: ANÁLISE E PERSPECTIVAS PARA A QUALIDADE DO AR NO MUNICÍPIO DURANTE OS JOGOS OLÍMPICOS E PARAOLÍMPICOS

AUTOR: JOSIELLI BATISTA SIMÕES
ORIENTADORA: VANESSA SILVEIRA BARRETO CARVALHO
Local e Data da Defesa: Itajubá, 16 de novembro de 2015.

Jogos olímpicos são realizados em grandes metrópoles, locais associados a problemas na qualidade do ar. Altas concentrações de poluentes durante competições geram efeitos adversos na saúde e no desempenho da função respiratória e cardiovascular dos atletas, em especial daqueles que desenvolvem atividades ao ar livre. A Região Metropolitana do Rio de Janeiro, que abrange o Município do Rio de Janeiro onde serão realizados os Jogos Olímpicos de 2016, constantemente registra altas concentrações de ozônio (O_3) e Material Particulado (MP_{10}). Dessa forma, o presente estudo analisou dados de concentrações de O_3 e MP_{10} monitorados pela Secretaria de Meio Ambiente do Município do Rio de Janeiro, no período entre 2010 e 2013, para os meses de agosto e setembro, em que acontecerão os Jogos Olímpicos e Paraolímpicos. Foram feitas comparações com os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90 e com os valores de referência da Organização Mundial da Saúde, além de relações entre as concentrações registradas e algumas variáveis meteorológicas. Em geral, em dias em que foram registradas ultrapassagens aos valores de referência estabelecidos para o ozônio foram verificadas altas temperaturas e baixos índices de umidade do ar, enquanto que para o material particulado observou-se ventos fracos, inversões térmicas na baixa troposfera e a influência da atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul. Altas concentrações de O_3 foram registradas nas estações de Bangu, Irajá e Pedra de Guaratiba, sendo que as duas primeiras se encontram próximas à região de Deodoro. Já as estações de Copacabana, Centro e São Cristóvão apresentaram valores elevados de MP_{10} , causando riscos para os competidores das áreas olímpicas do Maracanã e Copacabana.

Palavras-chave: Qualidade do ar, ozônio, material particulado, Jogos Olímpicos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 :Bacias Aéreas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro	12
Figura 2 : Mapa dos locais de competição dos Jogos Olímpicos e disposição das estações de monitoramento.....	13
Figura 3 : Rosa dos Ventos: a) Copacabana, b) Centro, c) São Cristóvão.....	18
Figura 4 : Diagrama skew-T da radiossondagem das 12 UTC do dia 13 de agosto de 2013...20	20
Figura 5 : Carta de superfície das 12 UTC do dia 13 de agosto de 2013.....	20
Figura 6 : Estação de Copacabana a) Rosa dos Ventos, b) Rosa de Poluição para o MP ₁₀ , c) Rosa de Poluição para o O ₃	22
Figura 7 : Estação Centro a) Rosa dos Ventos, b) Rosa de Poluição para o MP ₁₀ , c) Rosa de Poluição para o O ₃	23
Figura 8 : Estação de São Cristóvão a) Rosa dos Ventos, b) Rosa de Poluição para o MP ₁₀ , c) Rosa de Poluição para o O ₃	24
Figura 9 : Estação da Tijuca a) Rosa dos Ventos, b) Rosa de Poluição para o MP ₁₀ , c) Rosa de Poluição para o O ₃	25
Figura 10 : Estação de Bangu a) Rosa dos Ventos, b) Rosa de Poluição para o MP ₁₀ , c) Rosa de Poluição para o O ₃	26
Figura 11 : Estação de Irajá a) Rosa dos Ventos, b) Rosa de Poluição para o MP ₁₀ , c) Rosa de Poluição para o O ₃	27
Figura 12 : Estação de Campo Grande a) Rosa dos Ventos, b) Rosa de Poluição para o MP ₁₀ , c) Rosa de Poluição para o O ₃	28
Figura 13 : Estação de Pedra de Guaratiba a) Rosa dos Ventos, b) Rosa de Poluição para o MP ₁₀ , c) Rosa de Poluição para o O ₃	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (PNQA) estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90.	2
Tabela 2: Valores propostos pela OMS como referência para os PNQA.....	3
Tabela 3: Padrões de Qualidade do Ar adotados para o Estado de São Paulo segundo o Decreto Estadual 59113 de 23/04/2013.....	4
Tabela 4: Lista das estações consideradas e parâmetros registrados.....	13
Tabela 5: Episódios de ultrapassagens considerando o poluente Ozônio.....	15
Tabela 6: Média dos valores de Temperatura e Umidade Relativa considerando apenas os dias quando foram registradas violações de ozônio.	16
Tabela 7: Episódios de ultrapassagens considerando o poluente MP ₁₀	17

LISTA DE ABREVIATURAS

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

COB - Comitê Olímpico Brasileiro.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente.

COV - Compostos Orgânicos Voláteis.

FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente.

NO - Monóxido de Nitrogênio.

NO₂ - Dióxido de Nitrogênio.

NO_x - Óxidos de Nitrogênio.

O₃ - Ozônio.

OMS - Organização Mundial de Saúde.

PM₁₀ - Material Particulado Inalável.

PNQA - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar.

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

PRONAR - Programa Nacional de Qualidade do Ar.

PTS - Partículas Totais em Suspensão.

RMRJ - Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	IX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR:	2
1.2 EFEITOS DA POLUIÇÃO NA SAÚDE HUMANA.....	5
1.2.1. <i>Ozônio</i>	6
1.2.2. <i>Material Particulado</i>	7
1.3. A QUALIDADE DO AR DURANTE EVENTOS ESPORTIVOS.....	9
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
2.1. ÁREA DE ESTUDO	11
2.2. BANCO DE DADOS E ANÁLISES	12
3. RESULTADOS	15
4. CONCLUSÕES.....	30
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1. INTRODUÇÃO

Desde a primeira metade do século XX, a poluição do ar é um problema reconhecido em grandes centros urbanos, devido ao número cada vez maior de fontes de emissão de poluentes atmosféricos, principalmente, a partir da queima de combustíveis fósseis, como as provenientes de indústrias e veículos. Também se tornou claro o impacto da qualidade do ar tanto no clima quanto na saúde humana e no meio ambiente (SEINFELD & PANDIS, 1998; BRAGA, et. al., 2002).

Em geral, os Jogos Olímpicos, assim como outros eventos desportivos importantes, são realizados em grandes centros urbanos, regiões caracterizadas pela concentração de um alto número de fontes de emissão de poluentes atmosféricos e, em muitos casos, por problemas associados à poluição do ar (FLOURIS, 2006).

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), da qual o Município do Rio de Janeiro que abrigará os Jogos Olímpicos de 2016 faz parte, devido ao seu intenso fluxo de veículos e atividade industrial, é considerada o segundo lugar do Brasil em número de fontes emissoras de poluentes atmosféricos. Esses fatores, aliados às condições meteorológicas que dificultam a dispersão de poluentes, torna a RMRJ um local propício a episódios com altos índices de concentração de poluentes atmosféricos (FEEMA-GTZ, 1995; CARVALHO, 2004).

O Comitê Olímpico Brasileiro (COB), no dossiê de candidatura da Cidade do Rio de Janeiro como Cidade Sede, firmou uma série de compromissos ambientais. Dentre eles constam propostas de monitoramento e gerenciamento da qualidade do ar, que incluíram o aumento do número de estações de monitoramento e avanço no controle de emissões de poluentes (RIO DE JANEIRO, 2009).

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo analisar dados de concentrações de poluentes registrados no município do Rio de Janeiro no período entre 2010 e 2013, com enfoque sobre os meses em que acontecerão os Jogos Olímpicos e Paraolímpicos (Agosto-Setembro), avaliando as condições atuais da qualidade do ar e associando estas com as condições meteorológicas predominantes, especialmente para as áreas onde ocorrerão competições ao ar livre durante o dia. Desse modo, esperam-se obter perspectivas para a qualidade do ar do município durante os Jogos Olímpicos e Paraolímpicos de 2016 a ser realizados na cidade do Rio de Janeiro.

1.1 Padrões de Qualidade do Ar:

Mediante os efeitos adversos da poluição atmosférica, sobretudo, na saúde humana, os órgãos governamentais passaram estabelecer estratégias para o controle, preservação e recuperação da qualidade do ar, através de ações em conjunto entre o governo federal e os governos estaduais. Tais medidas, por meio do Programa Nacional de Qualidade do Ar - PRONAR e do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE buscavam o controle das emissões por fontes fixas, como indústrias e fontes móveis (CAVALCANTI, 2003).

A principal finalidade do PRONAR foi limitar as emissões por poluentes prioritários, além de designar o uso dos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (PNQA) estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90. Tal resolução estabeleceu padrões para os seguintes poluentes: partículas totais em suspensão, partículas inaláveis, fumaça, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio. Esses limites podem ser vistos na Tabela 1. Foram determinados como padrões primários as concentrações de poluentes que, caso ultrapassadas, podem causar danos a saúde da população. E padrões secundários que delimitam valores de concentrações que, abaixo das mesmas, se tem um mínimo dano ao bem estar da população, assim como à fauna, flora e ao meio ambiente (BRASIL, 1990; CETESB, 2005).

Tabela 1: Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (PNQA) estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90.

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas ¹	240	150
	MGA	80	60
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	24 horas ¹	365	100
	MAA	80	40
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora ¹	40000	40000
	8 horas ¹	10000	10000
Ozônio (O ₃)	1 hora ¹	160	160
	MAA	60	40
Partículas Inaláveis (PM ₁₀)	24 horas ¹	150	150
	MAA	50	50
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	1 hora ¹	320	190
	MAA	100	100

Fonte: Cavalcanti, 2003

¹Esses padrões não devem ser violados mais de uma vez por ano.

MGA – Média Geométrica Anual, MAA – Média Aritmética Anual.

A Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2006, publicou valores de referência para as concentrações de poluentes atmosféricos visando a proteção da saúde da população com base em uma série de estudos epidemiológicos. Os valores de referência apresentam limites mais restritivos que a legislação em vigência no Brasil para as concentrações de dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e material particulado e ozônio (OMS, 2006; CARVALHO, 2010). No entanto, destaca-se que para o ozônio, a alteração do período de amostragem de 1 hora para 8 horas tenderia a suavizar o número de violações aos PNQA, mesmo com a redução do valor máximo tolerado. Como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2: Valores propostos pela OMS como referência para os PNQA.

Poluente	Tempo de Amostragem	Limites Propostos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Material Particulado Inalável (PM_{10})	24 horas MAA	50 20
Material Particulado Fino ($\text{PM}_{2.5}$)	24 horas MAA	25 10
Dióxido de Nitrogênio (NO_2)	1 hora MAA	200 40
Dióxido de Enxofre (SO_2)	10 minutos MAA	500 20
Ozônio (O_3)	8 horas	100

Fonte: OMS, 2006.

Observações: MAA – Média Aritmética Anual

Em 2008, o Estado de São Paulo iniciou um processo de revisão dos padrões de qualidade do ar, tendo como base os valores estabelecidos pela OMS. Dessa forma, estabeleceu novos padrões de qualidade do ar através de um conjunto de metas gradativas e progressivas, de modo que a poluição atmosférica seja reduzida a níveis desejáveis ao longo do tempo. Tais metas são:

1. Metas Intermediárias – (MI) estabelecidas como valores temporários a serem cumpridos em etapas, visando à melhoria gradativa da qualidade do ar no Estado de São Paulo, baseada na busca pela redução das emissões de fontes fixas e móveis, em linha com os princípios do desenvolvimento sustentável;
2. Padrões Finais (PF) – Padrões determinados pelo melhor conhecimento científico para que a saúde da população seja preservada ao máximo em relação aos danos causados pela poluição.

A Tabela 3 apresenta os novos padrões estaduais adotados.

Tabela 3: Padrões de Qualidade do Ar adotados para o Estado de São Paulo segundo o Decreto Estadual 59113 de 23/04/2013.

Poluente	Tempo de amostragem	MI1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PF ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas inaláveis (MP ₁₀)	24 horas	120*	100	75	50
	MAA	40	35	30	20
Partículas inaláveis finas (MP _{2,5})	24 horas	60*	50	37	25
	MAA	20	17	15	10
Dióxido de enxofre (SO ₂)	24 horas	60*	40	30	20
	MAA	40	30	20	-
Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	1 hora	260*	240	220	200
	MAA	60	50	45	40
Ozônio (O ₃)	8 horas	140*	130	120	100
Monóxido de carbono (CO)	8 horas	-	-	-	9 ppm*
Fumaça* (FMC)	24 horas	120*	100	75	50
	MAA	40	35	30	20
Partículas totais em suspensão (PTS)	24 horas	-	-	-	240*
	MGA	-	-	-	80
Chumbo (Pb)	MAA	-	-	-	0,5*

Fonte: CETESB, 2013

MAA – Média aritmética anual.

MGA – Média geométrica anual.

Os padrões vigentes estão assinalados com *.

As Metas Intermediárias devem ser obedecidas em três etapas, assim determinadas:

1. Meta Intermediária Etapa 1 – (MI1) – Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados a partir de 24/04/2013;

2. Meta Intermediária Etapa 2 – (MI2) – Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados subsequentemente à MI1, que entrará em vigor após avaliações realizadas na Etapa 1;
3. Meta Intermediária Etapa 3 – (MI3) – Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados nos anos subsequentes à MI2, com base nas avaliações realizadas na Etapa 2.

Os padrões finais (PF) são aplicados sem etapas intermediárias quando não forem estabelecidas metas intermediárias, como no caso do monóxido de carbono, partículas totais em suspensão e chumbo. Para os demais poluentes, os padrões finais passam a valer a partir do final do prazo de duração do MI3 (CETESB, 2013).

1.2 Efeitos da Poluição na Saúde Humana

De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), considera-se poluente atmosférico "qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade" (BRASIL, 1990).

Os poluentes podem ser classificados de acordo com sua fonte, como de origem natural ou antropogênica. Os primeiros são provenientes de fenômenos da natureza, como por exemplo, as substâncias eliminadas por erupções vulcânicas, e incêndios florestais (não causados pelo homem). Enquanto que os de origem antropogênica, decorrentes das atividades do homem, têm como exemplo os poluentes emitidos pela combustão de veículos automotores e indústrias, lixos e esgotos domésticos e industriais, queimadas, fertilizantes e pesticidas utilizados na agropecuária (PASSARELI, 1996).

A exposição do ser humano à poluição tem gerado graves danos para a sua saúde. Em países desenvolvidos e em desenvolvimento, adultos, crianças e idosos, sofrem ou já sofreram tais consequências. Estudos observacionais, que buscam mostrar efeitos de morbidade e mortalidade associada à qualidade do ar, têm encontrado resultados bastante significativos. Porém, para avaliar tais eventos, é necessária a realização de análises experimentais e de intervenção (POPE, 2000; BRAGA et. al, 2001).

No Brasil, tem se utilizado técnicas de análises de séries temporais, como exemplo citam-se as realizadas em diversos centros urbanos, onde se observou que a poluição atmosférica estava associada tanto à saúde respiratória como a cardiovascular (GOUVEIA, 2006). Notou-se também que ainda que em concentrações abaixo do PNQA, os poluentes causam afecções agudas e crônicas no trato respiratório, podendo assim provocar maior incidência de patologias como asma e bronquite. Dentre os mais suscetíveis destacam as crianças, idosos e pessoas com histórico de doenças respiratórias. Tais resultados mostram que os padrões de qualidade do ar não estão adequados para a proteção da população mais vulnerável a poluição atmosférica (SALDIVA, 1993; PIRES-NETO, 2007).

Dentre os poluentes monitorados na RMRJ, destacam-se em termos do registro de altas concentrações o ozônio e o material particulado (CARVALHO, 2006).

1.2.1. Ozônio

Na troposfera, a produção fotoquímica do ozônio ocorre a partir de reações envolvendo, principalmente, óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs) (SEINFELD & PANDIS, 1998). Na presença de radiação solar, a formação do ozônio se dá pela fotólise do dióxido de nitrogênio (NO_2) resultando em NO e oxigênio atômico (1.1). Este rapidamente reage com a molécula de oxigênio e forma ozônio (1.2). O ozônio, por sua vez oxida o NO formando NO_2 (1.3). O NO_2 também é formado a partir da fotooxidação dos COVs, liberados na queima de combustíveis como gasolina e diesel (ANDRADE, 2004; MARTINS, 2006; CARVALHO, 2010). Os COVs também são emitidos pela vegetação de florestas e por outros processos antropogênicos devido à produção e queima de combustíveis fósseis.



As variáveis meteorológicas como a radiação, temperatura, umidade relativa do ar, intensidade e direção do vento, são de suma importância no que se refere ao comportamento do ozônio na atmosfera. Em dias de episódios de violação ao PNQA, em geral, são esperados ventos mais fracos e valores de temperatura e radiação elevados (VUKOVICH & SHERWELL, 2003; CARVALHO, 2004; WISE & COMRIE, 2005).

De acordo com o Relatório Anual de Qualidade do Ar, no ano de 2009, na RMRJ, o ozônio foi o poluente que mais registrou valores acima do PNQA. Do total de ultrapassagens, as concentrações de ozônio correspondem a mais de 90% das violações ocorridas (INEA, 2009). Estudos realizados na região (CARVALHO et al., 2004; CARVALHO, 2006; SIMÕES et al., 2012) revelaram que o ozônio apresentou correlações positivas com a temperatura do ar e com a radiação solar. Além disso, destacou-se correlação negativa com a umidade relativa do ar, ou seja, verificou-se que maiores concentrações de ozônio ocorrem quando a umidade relativa atinge valores mais baixos. Quanto ao comportamento mensal, observou-se que os menores valores ocorrem de março a julho, enquanto os maiores valores são registrados entre os meses de agosto e fevereiro (primavera e verão).

Além de sua ação corrosiva em matérias, o ozônio, por ser um gás muito tóxico, mesmo em baixas concentrações, provoca sérios efeitos a saúde. Causa envelhecimento precoce na pele, dores de cabeça, náusea, fadiga, irritações nos olhos, nariz e garganta, alteração nas células mucosas, menor resistência às infecções, aumento de marcadores inflamatórios e redução da função pulmonar, o que gera agravamento de doenças respiratórias. É um potente oxidante e atinge as porções mais distais das vias aéreas, sendo citotóxico, ou seja, provoca lesões nas células (SAINTOT, 1999; SEINFELD & PANDIS, 2006).

Sabe-se que os efeitos da exposição ao poluente são mais pronunciados durante exercícios físicos, podendo ocorrer uma diminuição da capacidade respiratória, devido a danos pulmonares. Por esse motivo, não é recomendável a prática de exercícios em dias muito poluídos (WAGNER, 2001).

1.2.2. Material Particulado

São os poluentes que se incluem nas seguintes categorias: poeiras, fuligem, fumaça, entre outros tipos de materiais sólidos que se mantêm em suspensão na atmosfera devido ao seu pequeno tamanho (CETESB, 2002). O material particulado é resultado da queima incompleta de combustíveis como motores de veículos, atividades de geração de energia, caldeiras e chaminés de fábricas e processos industriais, resíduos de obras, tráfegos de veículos em vias não pavimentadas, queimadas, dentre outros. A fração fina ($>2,5 \mu\text{m}$) é emitida por fontes de combustão, com compostos formados geralmente por partículas de sulfato e nitrato. As partículas com diâmetro maior que $10 \mu\text{m}$ podem ser emitidas por fontes naturais como tempestades de areia e também através da operação de manipulação de materiais granulados, entre outras (CETESB, 2002; EEA, 2006). Algumas substâncias como

hidrocarbonetos e metais se agregam às partículas, assim o material particulado serve de meio de transporte (QUITERIO, 2003).

A composição química e física do material particulado pode variar em função da localização, do período do ano e de fatores meteorológicos. Estudos realizados por Guerra (2011) na RMRJ, constataram altas concentrações de $MP_{2,5}$ nos meses de junho, julho agosto e setembro. De acordo com Correa et al. (2012), no inverno há maior ocorrência de violações ao padrão de qualidade do ar do MP_{10} na região. Guerra (2011) concluiu que as variáveis meteorológicas possuem relações diretas com o material particulado, principalmente, no que se refere à velocidade do vento e à precipitação. Waldheim et al. (2006) e Correa et al. (2015) também obtiveram resultados parecidos, observando em dias de maiores concentrações de MP_{10} a ocorrência de inversão térmica, baixos níveis de umidade e temperatura do ar, ausência de precipitação, além da influência de sistemas de alta pressão, como a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), fenômeno caracterizado por ventos fracos e subsidência do ar, caracterizando assim condições desfavoráveis à dispersão do poluente na RMRJ.

Na atmosfera, o material particulado interfere na visibilidade, além de estar relacionado com a corrosão e sujeira de superfícies, como tecidos, edifícios e outros materiais. Suas consequências na saúde são diversas, com sintomas que vão desde irritações nos olhos e garganta, como também alergia, asma, bronquite, pneumonia e doenças cardiovasculares (QUITERIO, 2003; SCHWARTZ, 2004).

Tais efeitos estão relacionados ao tamanho das partículas, ou seja, partículas com diâmetro maior que 10 μm conhecidas como partículas grossas, ficam retidas no sistema respiratório superior. Enquanto que as partículas finas, ou inaláveis, que possuem diâmetro menor que 10 μm penetram mais profundamente, transportando gases absorvidos em sua superfície, atingindo as porções mais distais das vias aéreas, onde ocorrem as trocas gasosas no pulmão, aumentando os efeitos fisiológicos de tais gases. Além disso, podem estar presentes nas partículas, substâncias minerais tóxicas e compostos orgânicos, como exemplo os hidrocarbonetos, que apresentam propriedades citotóxicas, mutagênicas e cancerígenas (SALVI, 1999).

A exposição ao material particulado por um período de três horas, prejudica as funções desempenhadas pelo nariz. Isso se deve a diminuição do fluxo de ar na cavidade nasal, que intensifica a sensação de obstrução nasal, e leva a um aumento do transporte muco-ciliar. O aparelho muco-ciliar é um dos mecanismos de defesa do organismo, que é desencadeado quando as partículas se depositam nas células do trato respiratório. Na superfície do aparelho respiratório estão presentes células com cílios e células secretoras de muco, responsáveis pela

retenção de partículas indesejáveis. Os cílios empurram o muco pra fora do trato respiratório, no sentido do pulmão para a boca, permanecendo em constante movimento. Outros mecanismos de defesa são o espirro e a tosse. O primeiro age na presença de partículas maiores que se depositam nas narinas, já que não conseguem ir mais além, devido ao seu tamanho. Enquanto que a tosse é semelhante, porém ocorre quando as partículas atingem o trato respiratório inferior (NEGRI, 1987; SALDIVA, 1990; BRAGA, 2002).

1.3. A Qualidade do Ar durante Eventos Esportivos

Após os chamados jogos verdes, lema da Olimpíada de Sidney em 2000, o mundo se atentou as condições ambientais dos países sede de eventos esportivos. Em tais ocasiões, as cidades sede passaram a se preocupar, promovendo mudanças de modo a melhorar consideravelmente a qualidade ambiental (ZHANG et al., 2007; XIN, 2010).

Sabe-se que dentre as vinte cidades mais poluídas do mundo, dezesseis são chinesas e a sua capital Pequim foi sede dos Jogos Olímpicos de 2008. Assim, foram tomadas uma série de medidas agressivas de controle da poluição na cidade, num período que abrangeu desde o início dos Jogos Olímpicos até o final dos Jogos Paraolímpicos, entre julho e setembro de 2008. Foi necessária a limitação da operação industrial e comercial, além do uso de dias alternados de automóveis, de modo a remover cerca de metade dos veículos em circulação nas estradas a cada dia. Após os jogos, tais ações foram relaxadas (WANG, 2009).

Em eventos esportivos, a preocupação dos organizadores está voltada ao desempenho e a saúde dos competidores. Uma qualidade do ar precária pode gerar efeitos adversos na saúde e no desempenho da função respiratória e cardiovascular dos atletas, em especial os que competem em provas de resistência ou ao ar livre, como exemplo, os maratonistas e triatletas (HORVATH, 1981).

São diversos os riscos que a prática esportiva em locais poluídos traz para o organismo. Para o pulmão, se exercitar em tais lugares pode prejudicar o rendimento físico de forma imediata. Isso ocorre, porque a atividade física aumenta o volume de ar inspirado, já que há uma demanda maior de oxigênio do corpo, pois os músculos, coração e pulmões trabalham com mais intensidade. Porém, com a inalação de mais ar também há entrada de mais poluentes. Quando o exercício se torna mais intenso respira-se também pela boca, o que possibilita entrarem nas vias aéreas partículas e gases que seriam retidos pelas narinas caso fossem respiradas somente pelo nariz. Essas substâncias são oxidantes, como no caso o ozônio e o material particulado, podendo causar inflamações nos brônquios, bronquíolos e

alvéolos, contraindo-os. Tal contração dificulta a passagem de ar, o que força o músculo cardíaco e aumenta a sua frequência (CARLISLE, 2001).

Alguns estudos ainda relacionaram parâmetros meteorológicos com o desempenho esportivo, como o realizado por Pallotta (2015), onde foram feitas avaliações das condições meteorológicas e de conforto térmico para a Maratona da Cidade do Rio de Janeiro, de modo auxiliar nos Jogos Olímpicos de 2016. Os resultados encontrados mostraram que houve diferenças significativas entre as etapas da prova e encontrou relações válidas entre a situação termicamente mais confortável e o melhor tempo na maratona.

Além disso, a aplicação das ciências atmosféricas nos Jogos Olímpicos já foi desenvolvida em outros trabalhos anteriores. Johnson et al. (2000) descreveram os serviços de alerta meteorológico utilizados durante as Olimpíadas de 1996, onde enfatizaram os softwares e equipamentos, e os limiares para os disparos de alertas, como velocidade do vento maior que 30 nós e mudança na direção do vento superior a 90° em 10 minutos na maioria dos locais do evento. Os autores ressaltaram que cada atividade olímpica necessita de um limiar diferente.

Spark e Connor (2003) pesquisaram a relevância da previsão de ventos para as competições de vela nas Olimpíadas de Sydney em 2000, onde mostraram o procedimento adotado pelos organizadores no serviço de informação meteorológica oferecido aos velejadores; concluindo que os modelos estocásticos acertaram mais na previsão operacional do tempo do que os demais métodos avaliados.

Hackerott (2013) por sua vez, estudou a Baía de Guanabara, que será palco dos Jogos Olímpicos de 2016, onde modalidades de vela serão dependentes dos ventos em superfície. Assim, o autor analisou o escoamento em superfície, gerado pela combinação de diferentes tipos de circulações locais com o escoamento de escala sinótica, além de simulações do modelo WRF para caracterizar os ventos em superfície. Foram identificadas duas circulações locais na região: brisa marítima-terrestre e brisa de vale-montanha, porém não se encontrou interação entre elas. A baía gera divergência direcional do vento no período diurno, especialmente na sua região central. Já a magnitude do vento depende da intensidade da brisa marítima no período diurno ou da brisa terrestre no período noturno.

2. MATERIAL E MÉTODOS.

2.1. Área de Estudo

O Município do Rio de Janeiro se mantém como importante polo turístico, cultural e comercial, onde, em 2014, residiam 6,4 milhões de habitantes, sendo a segunda cidade mais populosa do Brasil, abrigando em seu território a parcela de 3,3% da população nacional. A sustentação do destaque como centro urbano pode ainda ser comprovada pelo fato de ser o núcleo da RMRJ. Sua frota é composta por 2.552.803 veículos o que corresponde por aproximadamente 44% da frota do Estado do Rio de Janeiro (INEA, 2013; IBGE 2014).

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro foi instituída pela Lei Complementar nº 20, de 1º de julho de 1974, após a fusão dos antigos estados do Rio de Janeiro e da Guanabara, unindo as então regiões metropolitanas do Grande Rio Fluminense e da Grande Niterói. É a segunda maior região metropolitana do Brasil, terceira da América do Sul e a vigésima maior do mundo (IBGE, 2010; IPEA, 2014). Abrangendo uma área de 12% da extensão estadual, composta por 21 municípios, com uma população de mais de 12 milhões de habitantes, representando cerca de 75% da população do estado. Na economia, predomina-se o setor de serviços, seguido pelo setor industrial, na RMRJ concentra-se 71% do PIB do estado (CEPERJ, 2009).

Por concentrar a maior ocupação industrial do Estado, a Região Metropolitana, sofre sérios problemas com relação à poluição do ar, o que é ainda mais intensificado devido a várias características regionais, como a topografia acidentada, ocupação do solo irregular, a presença do mar e da Baía de Guanabara, produzindo um fluxo de ar que dificulta a dispersão de poluentes. Outro fator importante é o clima tropical, que favorece processos fotoquímicos e outras reações químicas na atmosfera (MAIA, 1990; FEEMA/GTZ, 1995; FEEMA, 2004). Como exemplo dessa topografia bastante irregular, pode-se citar uma grande quantidade de morros com altitudes que variam entre 30 e 100 metros, além dos maciços da Tijuca e da Pedra Branca e parte da Serra do Mar. Tais características fazem com que a advecção dos poluentes seja comprometida, principalmente em dias com inversões térmicas com alturas inferiores a 300 metros (INEA, 2009).

Devido a essa influência da topografia e dos fatores meteorológicos na região, houve a necessidade de se definir áreas homogêneas em questões de dispersão de poluentes como também para mensuração de parâmetros de qualidade do ar. A RMRJ foi subdividida em quatro regiões, tais são denominadas Bacias Aéreas.

- Sub-região I ou Bacia Aérea I: Possui uma área de aproximadamente 730 Km² localizada na Zona Oeste da RMRJ.
- Sub-região II ou Bacia Aérea II: Ocupando cerca de 140 Km² de área, localizada no município do Rio de Janeiro, envolve as regiões administrativas de Jacarepaguá e Barra da Tijuca.
- Sub-região III ou Bacia Aérea III: Compreendendo a Zona Norte do município do Rio de Janeiro e os municípios da Baixada Fluminense, ocupa uma área de cerca de 700 Km².
- Sub-região IV ou Bacia Aérea IV: com área de aproximadamente 830 Km², abrange os municípios de São Gonçalo e Itaboraí (FEEMA, 2004). A distribuição espacial das bacias aéreas dentro da RMRJ pode ser visualizada na Figura 1.

Das sub-regiões, destaca-se a Bacia aérea III, pois ela abriga maior parte da ocupação urbano industrial do Estado, como o polo industrial de Campos Elíseos, em Duque de Caxias, onde há maior concentração de fontes emissoras. Sendo então uma região prioritária nas ações de controle da qualidade do ar (PIRES, 2005).



Figura 1 :Bacias Aéreas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Fonte: Cavalcanti, 2003.

2.2. Banco de dados e Análises

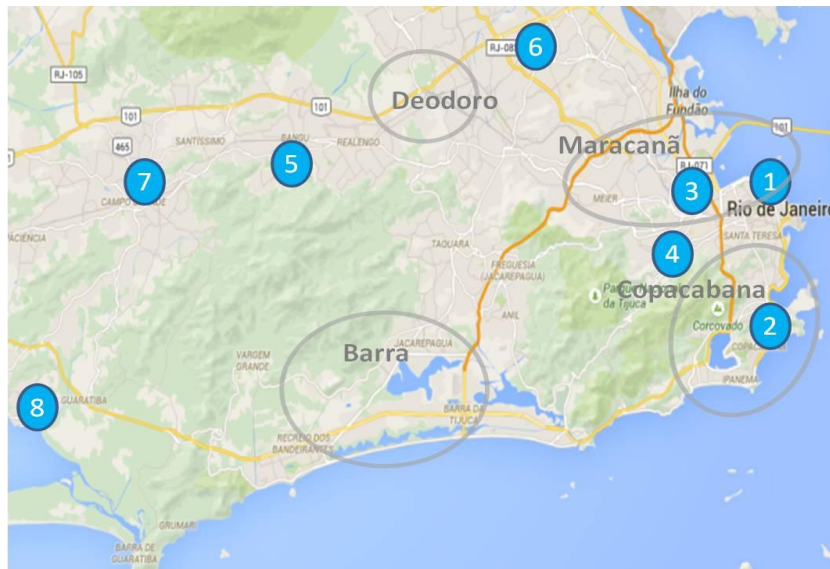
Foram utilizados dados meteorológicos e de concentração de poluentes monitorados pela Secretaria de Meio Ambiente do Município do Rio de Janeiro, no período entre 2010 e 2013, para os meses de agosto e setembro. Considerando dados a cada 10 minutos dos parâmetros e estações que se encontram apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Lista das estações consideradas e parâmetros registrados.

Estação	Poluente Utilizado	Variável Meteorológica
Copacabana	O ₃ , MP ₁₀	T, UR, DV, VV
São Cristóvão	O ₃ , MP ₁₀	T, UR, DV, VV
Tijuca	O ₃ , MP ₁₀	T, UR, DV, VV
Centro	O ₃ , MP ₁₀	T, UR, DV, VV
Bangu	O ₃ , MP ₁₀	T, UR, DV, VV
Campo Grande	O ₃ , MP ₁₀	T, UR, DV, VV
Pedra de Guaratiba	O ₃ , MP ₁₀	T, UR, DV, VV
Irajá	O ₃ , MP ₁₀	T, UR, DV, VV

Onde: MP₁₀: Material Particulado, O₃: Ozônio, T: Temperatura, UR: umidade relativa, DV: direção escalar do vento, VV: velocidade escalar do vento.

Na Figura 2 pode ser visto um mapa da região com as 8 estações de monitoramento consideradas nesse estudo, além das instalações dos Jogos Olímpicos de 2016

**Figura 2:** Mapa dos locais de competição dos Jogos Olímpicos e disposição das estações de monitoramento.

Onde 1: Centro, 2: Copacabana, 3: São Cristóvão, 4: Tijuca, 5: Bangu, 6: Irajá, 7: Campo Grande, 8: Pedra de Guaratiba.

Para o Ozônio, foi calculada a média horária das concentrações, de forma efetuar comparações com o Padrão Nacional de Qualidade do Ar – PNQA estabelecido pela resolução CONAMA 03/90 ($160 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e a média de 8 horas para comparação com os valores propostos como referência pela OMS ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Já para o Material Particulado realizou-se o cálculo da média de 24 horas, para comparação com o PNQA ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e para os valores recomendados pela OMS ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) propostos para o poluente.

Para analisar a influência da meteorologia sobre a qualidade do ar, por meio do *software* MATLAB®, utilizando os dados de direção e velocidade do vento, foram construídas rosas dos ventos, para o período de agosto e setembro. Por meio da mesma ferramenta e com dados de direção do vento e de concentração de O_3 e MP_{10} , foram geradas rosas de poluição, que relacionam os ventos com os poluentes. Deste modo, maiores concentrações se dão quando o vento é predominante de determinada direção. Para o material particulado foi levado em consideração todo o período do dia, enquanto que para o ozônio, foram utilizados apenas dados para os horários da tarde (12h-18h), já que nesse período ocorre maior produção fotoquímica do poluente. As rosas dos ventos e as rosas de poluição foram utilizadas para relacionar as concentrações de MP_{10} e ozônio com o vento e assim auxiliar na compreensão dos mecanismos de dispersão e transporte advectivo dos mesmos.

Considerando os dias que o ozônio apresentou episódios de violação, tanto ao PNQA estabelecido pelo CONAMA quanto ao limite recomendado pela OMS, foram calculados os máximos da temperatura e mínimos da umidade relativa do ar para cada estação de monitoramento.

Seguindo a metodologia utilizada por Correa et al. (2015), informações referentes à ocorrência de inversões térmicas, obtidas a partir dos dados das radiossondagens realizadas no Aeroporto Internacional Tom Jobim lançadas as 00 e às 12 UTC, e cartas sinóticas de superfície do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) foram utilizadas para identificar as condições de grande escala atuantes durante os episódios de violação ao PNQA e ao valor de referência da OMS para o ozônio e material particulado. Onde tanto as cartas sinóticas quanto os diagramas skew-T da radiossondagem de cada dia eram visualizados e analisadas, de modo buscar os sistemas de alta pressão e inversões térmicas.

3. RESULTADOS

Os resultados das ultrapassagens ao padrão de qualidade do ar estabelecidos pelo CONAMA, em vigência no Brasil, e aos valores de referência recomendados pela OMS, para o ozônio podem ser observados na Tabela 5. Nota-se que ocorreram mais ultrapassagens ao limite de 8 horas instituído pela OMS do que ao padrão horário do CONAMA nas estações. Observa-se que a estação de Bangu registrou um número alto de ultrapassagens ao padrão do CONAMA (23) e ao valor da OMS (100), entre agosto e setembro de 2012. Altos números de ultrapassagens também foram verificados nas estações de Irajá e Pedra de Guaratiba, onde na última, no mesmo período em 2013, ocorreram 81 violações ao limite da OMS.

Na estação de Copacabana não foi registrada nenhuma ultrapassagem no período analisado e a estação do Centro registrou apenas 2 violações, em 2011, ao valor estabelecido pela OMS. Vale ressaltar que ambas as estações estão localizadas em pontos próximos a vias de tráfego intenso, o que dificulta a formação de O_3 , uma vez que as fontes veiculares emitem NO que atua no consumo a molécula de ozônio.

Tabela 5: Episódios de ultrapassagens considerando o poluente Ozônio.

	2010		2011		2012		2013	
	O	C	O	C	O	C	O	C
Centro	0	0	2	0	0	0	0	0
Copacabana	0	0	0	0	0	0	0	0
S. Cristovão	0	2	0	0	3	0	0	0
Tijuca	0	0	0	1	10	1	0	0
Bangu	-	-	-	-	100	23	68	7
Irajá	-	-	-	-	37	9	22	5
C. Grande	-	-	-	-	19	0	0	0
P.de Guaratiba	-	-	-	-	28	4	81	1

Onde: O: Limite OMS ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), C: PNQA CONAMA ($160 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Através da Tabela 6, pode-se observar a média dos valores máximos de temperatura e mínimos de umidade relativa, apenas quando ocorreram ultrapassagens de ozônio. Vale ressaltar que a estação de Copacabana não apresentou nenhuma violação ao padrão e ao limite estabelecido ao poluente. Nos demais locais em que ocorreram episódios de violação, foram registradas altas temperaturas, com máximas superiores a 40°C . Esse resultado era esperado,

já que incidência de radiação solar assim como ocorrência de temperatura do ar elevada controla a produção fotoquímica do ozônio (SEINFELD & PANDIS, 1998). Avaliando a umidade relativa do ar, verificam-se valores baixos, concordando com o identificado por Carvalho (2006). Existem algumas possíveis explicações para esse resultado como, por exemplo, as rotas de reação com a molécula de água, que podem levar tanto a diminuição quanto ao aumento da formação do ozônio na atmosfera. A rota que poderia estar influenciando o resultado deve-se a reação da molécula de água com o oxigênio atômico, que reagiria com o oxigênio molecular para a formação do ozônio. Outra explicação seria a influência da radiação na umidade relativa, ou seja, menores valores de umidade em dias com maior incidência de radiação.

Tabela 6: Média dos valores de Temperatura e Umidade Relativa considerando apenas os dias quando foram registradas violações de ozônio.

	Temperatura Máxima (°C)	Umidade Mínima (%)
Centro	40.1	34.0
São Cristóvão	42.9	30.4
Tijuca	42.1	29.3
Bangu	42.8	14.9
Irajá	43.8	13.2
C. Grande	42.7	15.4
P. de Guaratiba	42.6	17.5

Pela disposição das estações, Bangu e Irajá se encontram próximas à região de Deodoro, onde serão realizadas diversas modalidades olímpicas e paraolímpicas ao ar livre como: hipismo, pentatlo, *mountain bike*, ciclismo, canoagem, dentre outros. Logo, a qualidade do ar em tais regiões está estritamente ligada ao bem estar dos competidores de tais esportes. Os valores de temperatura elevados e baixa umidade do ar também podem influenciar na execução das atividades. Spellman (1996) em estudos sobre as maratonas de corrida encontrou que por elas serem extensas e demandarem grande esforço, exigem muito do corpo humano. Assim, além da tensão física, as condições ambientais, como temperatura, umidade e vento, influenciaram acentuadamente a termo regulação do corpo. Destacou-se ainda o fato de que a baixa umidade possa causar um maior desgaste se o atleta não se hidratar corretamente.

As ultrapassagens ao PNQA estabelecido pelo CONAMA e ao valor de referência recomendado pela OMS para o material particulado estão dispostas na Tabela 7. Destaca-se que a OMS recomenda um valor 3 vezes menor do que o adotado pelo CONAMA para a

média de 24 horas de PM_{10} . Considerando o valor do CONAMA, somente a estação de Irajá registrou uma violação ao PNQA, entre agosto e setembro de 2013. Considerando o valor da OMS, verificam-se ultrapassagens em todas as estações consideradas revelando o comprometimento da qualidade do ar na região. A estação com menor número de ultrapassagens foi a de Pedra de Guaratiba, seguida pela estação de Bangu. Já a estação de Copacabana foi a que registrou mais violações, chegando a 44 dias em agosto e setembro de 2011 e 37 para o mesmo período em 2013. As estações do Centro e São Cristóvão também apresentaram um número considerável de violações, com mais de 20 episódios entre os dois meses de estudo no ano de 2010.

Tabela 7: Episódios de ultrapassagens considerando o poluente MP_{10} .

	2010		2011		2012		2013	
	O	C	O	C	O	C	O	C
Centro	28	0	21	0	14	0	15	0
Copacabana	35	0	44	0	35	0	37	0
S. Cristóvão	28	0	27	0	16	0	22	0
Tijuca	20	0	19	0	14	0	11	0
Bangu	-	-	-	-	14	0	7	0
Irajá	-	-	-	-	17	0	21	1
C. Grande	-	-	-	-	12	0	21	0
P. de Guaratiba	-	-	-	-	8	0	19	0

Onde: O: Limite OMS ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), C: PNQA CONAMA ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Pela Figura 3 nota-se que as estações de Copacabana (a), Centro (b) e São Cristóvão (c) apresentam regime de ventos relativamente fracos. Em especial Copacabana que apresentou percentual de calmaria de 76%. Na estação, as direções são mais distribuídas na rosa dos ventos, o que pode ser devido à quantidade de edifícios ao seu redor. No Centro a taxa de calmaria foi 54% e em São Cristóvão 62%, ambas as estações sofrem influência da brisa marítima. Tais regiões são influenciadas em sua maior parte por fontes de emissão de origem veicular, contribuindo para altas concentrações de MP_{10} , além de também estarem próximas a prédios, árvores e outros obstáculos que podem interferir no transporte advectivo do poluente na atmosfera.

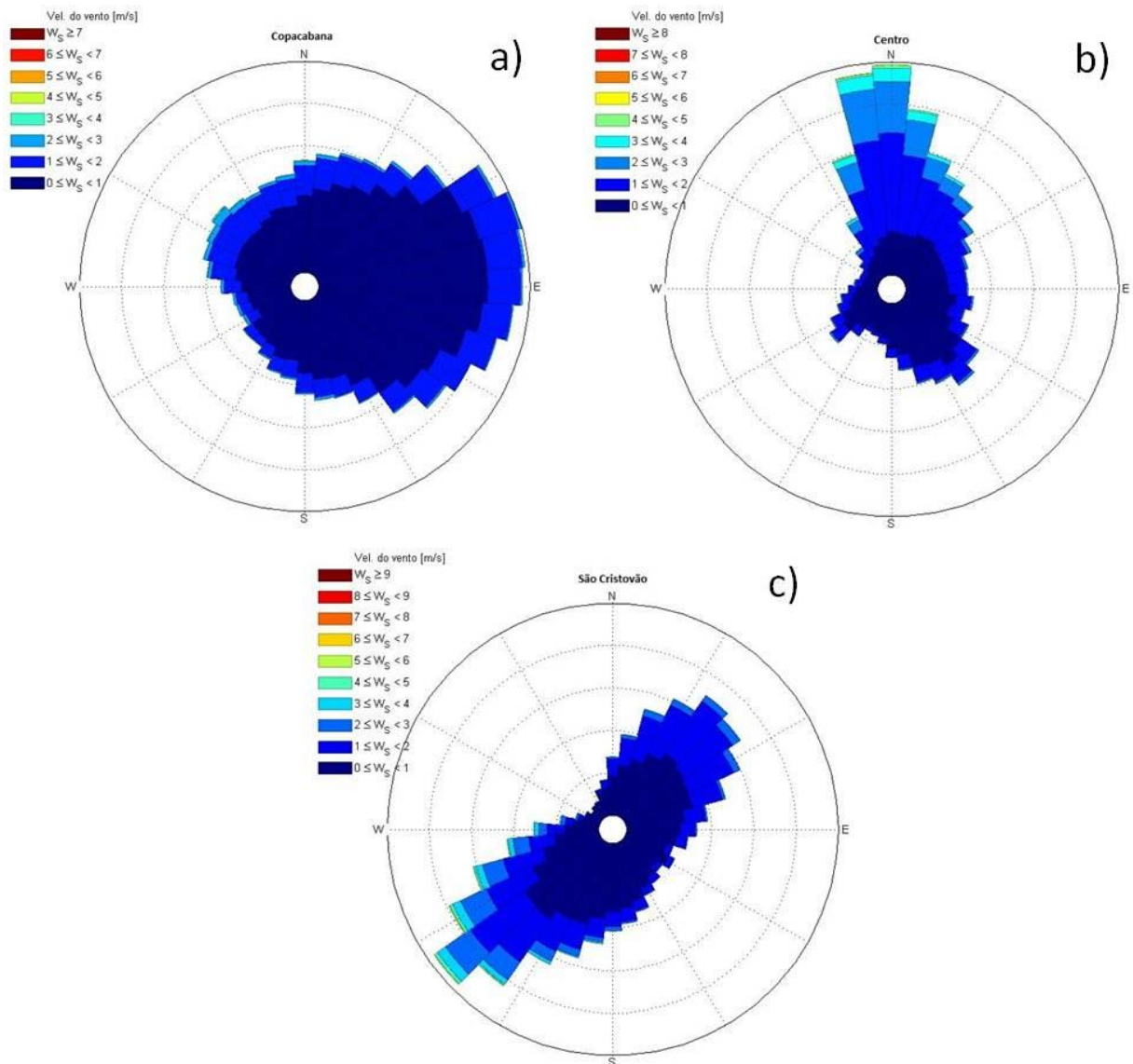


Figura 3: Rosa dos Ventos: a) Copacabana, b) Centro, c) São Cristóvão.

A instalação olímpica de Copacabana engloba a região da estação de monitoramento de mesmo nome. Em tal região haverão competições ao ar livre, como triatlo, ciclismo de estrada e maratonas aquáticas no Forte de Copacabana, canoagem de velocidade e remo na lagoa Rodrigo de Freitas, vôlei de praia na praia de Copacabana e vela na Marina da Glória.

Já próxima às estações do Centro e São Cristóvão situa-se a região da instalação do Maracanã, onde ocorrerão modalidades como futebol, atletismo, além das competições de vela na baía de Guanabara. O elevado índice de MP_{10} das estações pode acarretar dificuldades no desempenho dos atletas e jogadores.

Uma série de investimentos tem sido feita de forma melhorar a qualidade do ar no município do Rio de Janeiro para os Jogos Olímpicos e os Jogos Paraolímpicos. Dentre eles, pode-se destacar a criação de vias expressas com o objetivo de diminuir a quantidade de

congestionamentos e aumentar a velocidade média dos veículos, melhoria nos transportes coletivos e ainda o aumento da rede automática de monitoramento dos poluentes atmosféricos. Essas mudanças irão ajudar tanto na diminuição da poluição atmosférica quanto na redução de danos à saúde e melhoria do bem-estar dos atletas.

Complementando as análises foram avaliadas as condições de grande escala atuantes durante os episódios de violação ao PNQA e ao valor de referência da OMS para o material particulado e ozônio. No período de 2010 a 2013, entre os meses de agosto e setembro, foram encontrados 116 dias que registraram ultrapassagens somente de MP_{10} , 35 dias com ultrapassagens para os dois poluentes de maneira simultânea, e apenas 3 dias com ocorrência de violações somente de ozônio, totalizando assim 154 dias com episódios de violação em pelo menos uma das estações de monitoramento. Através das cartas sinóticas de superfície, verificou-se que em 91% desses dias houve a influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul. Esse sistema é caracterizado por propiciar a subsidência do ar dificultando a formação de nuvens, condições de céu claro e por ventos fracos, desfavorecendo a dispersão de poluentes. Vale ressaltar que dos 13 dias em que não houve influência da ASAS, 12 foram após um período de vários dias com a ASAS atuante, ou seja, apenas um dia não teve relação direta com o fenômeno.

A partir dos dados de radiossondagem, verificando o perfil vertical da temperatura, constatou-se que em 95% dos dias houve a ocorrência de inversões térmicas, com altura inferior a 300 metros. O gradiente de temperatura segue um perfil de decaimento com a altura, quando acontece uma inversão térmica, há uma inversão nesse gradiente, ou seja, aumento da temperatura, o que forma uma camada estável. Tal fator dificulta a dispersão dos poluentes, já que estes ficam aprisionados abaixo da camada de mistura, próximos a superfície. Deste modo, quanto menor a altura dessa camada, maiores são os danos à saúde.

Dentre os episódios de violação para o PM_{10} , destaca-se o dia 13 de agosto de 2013, onde todas as estações registraram ultrapassagens. Nesse dia, foi possível verificar uma camada de inversão, como pode ser observado na Figura 3. No diagrama verifica-se que a temperatura decaiu com a altura, aumentou e logo após voltou a diminuir, formando uma camada de inversão, desfavorecendo o transporte advectivo dos poluentes.

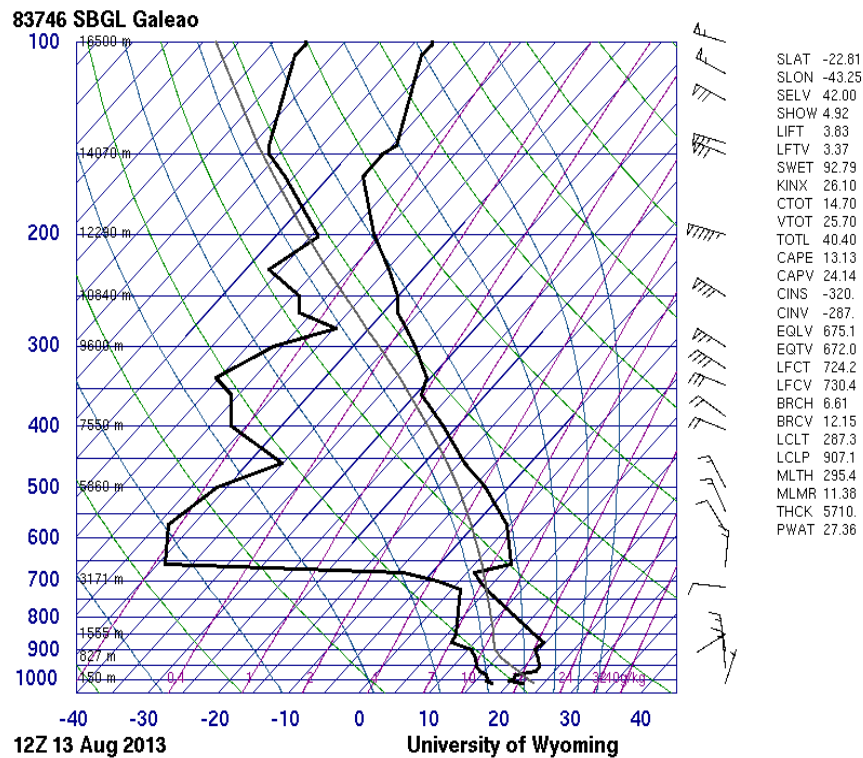


Figura 4: Diagrama skew-T da radiossondagem das 12 UTC do dia 13 de agosto de 2013.

Além disso, nesse dia a região se encontrava sob a influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul ASAS, como pode ser visto na Figura 4, onde a região está marcada. Como dito anteriormente, tal sistema tem características que dificultam a dispersão dos poluentes atmosféricos.

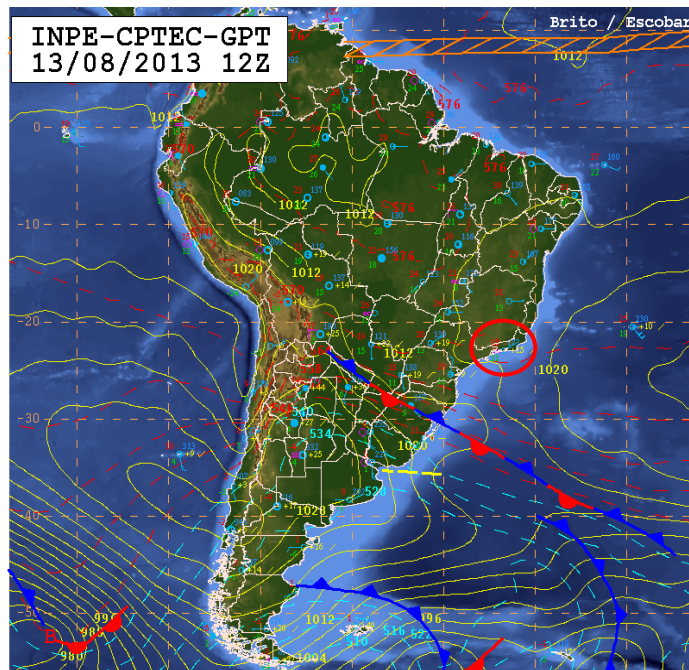


Figura 5: Carta de superfície das 12 UTC do dia 13 de agosto de 2013.

A estação de Copacabana, localizada entre o Morro de São João e a Praia de Copacabana, é influenciada pela brisa vale/montanha (nordeste) e pela brisa marítima (sudeste), o que pode ser visto na Figura 6a. Além disso, tal região está em um local com muitos prédios e obstáculos que podem interferir no comportamento dos ventos. Observando a rosa de poluição considerando os registros de material particulado e direção do vento para todo o período do dia, (Figura 6b) identificam-se maiores valores de concentração quando os ventos se encontram no primeiro e segundo quadrante, de direção leste, mas também há registros em outras direções. Para o ozônio, considerando apenas o período da tarde, (Figura 6c) o comportamento é semelhante, com registros de todas as direções, no entanto, a ocorrência de maiores concentrações se dá quando o vento é da direção nordeste e também de outra componente no setor sudoeste. Como já dito anteriormente, nessa região estará a instalação Olímpica de Copacabana, em que todas as modalidades disputadas ocorrem ao ar livre. Deste modo, a confluência dos ventos para a região levaria concentrações de poluentes que podem ocasionar danos para a saúde e conseqüentemente afetar o desempenho dos competidores.

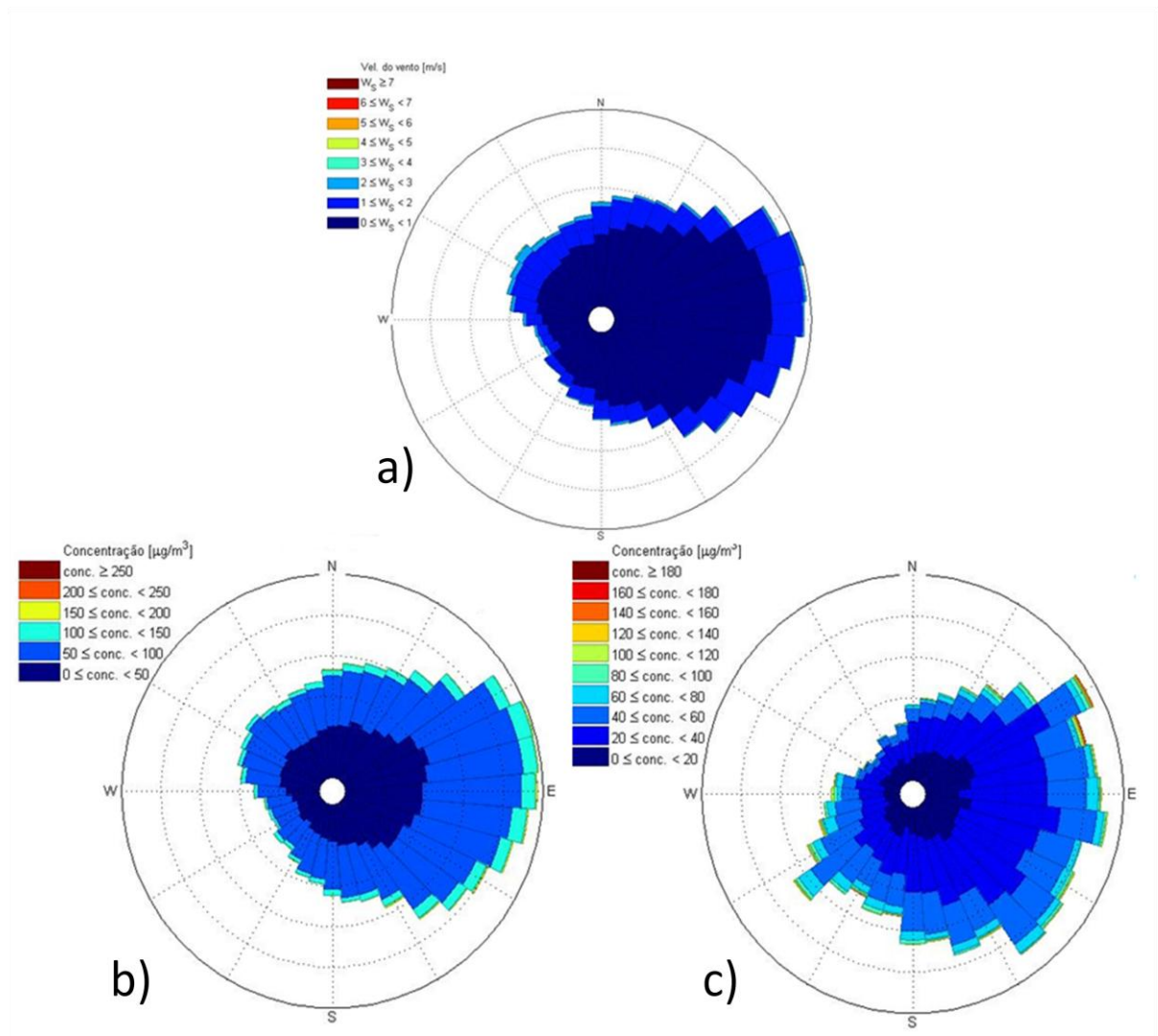


Figura 6: Estação de Copacabana a) Rosa dos Ventos, b) Rosa de Poluição para o MP_{10} , c) Rosa de Poluição para o O_3 .

Na estação do Centro, é possível ver a influência do oceano (sudeste) assim como da baía de Guanabara (norte) nos ventos (Figura 7a). Vale ressaltar que a estação está instalada em um local com diversas edificações no entorno, o que também influencia a direção do vento. Pela Figura 7b a rosa de poluição para o material particulado em todo o período do dia apresenta maiores concentrações quando os ventos são oriundos dos setores N e de uma componente menos intensa de SE. Já para a rosa de poluição considerando o ozônio (Figura 7c) nota-se que maiores valores estão associados com ventos de N/NE.

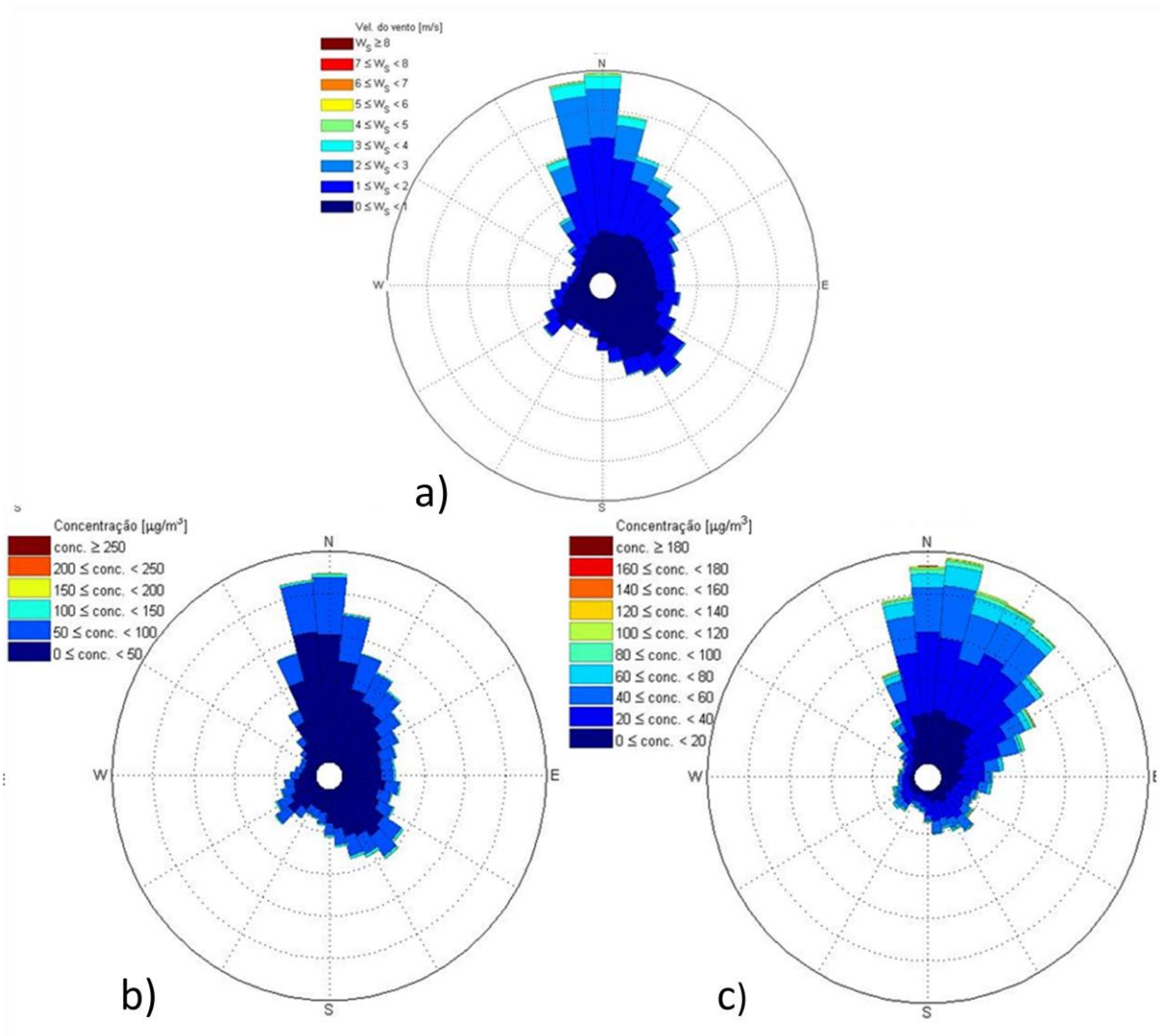


Figura 7: Estação Centro a) Rosa dos Ventos, b) Rosa de Poluição para o MP_{10} , c) Rosa de Poluição para o O_3 .

Na estação de São Cristóvão, observando a Figura 8a, é notável a presença da brisa, onde os ventos se originam dos setores SO/NE. Outro fator que influencia os ventos na estação é a proximidade de prédios, como por exemplo, o pavilhão de São Cristóvão. Pela rosa de poluição para o material particulado na estação (Figura 8b), pode ser observado que quando maiores concentrações são registradas, o vento também é predominante das direções sudoeste assim como da direção nordeste. Enquanto que para o ozônio (Figura 8c) os ventos agem de maneira similar, provenientes do setor sudoeste e setor nordeste com menor intensidade. A estação de São Cristóvão juntamente com a estação do Centro está dentro da Região do Maracanã, onde ocorrerão diversos esportes ao ar livre. Dessa maneira, os ventos de norte e de sul podem atuar no transporte e na recirculação de poluentes na região.

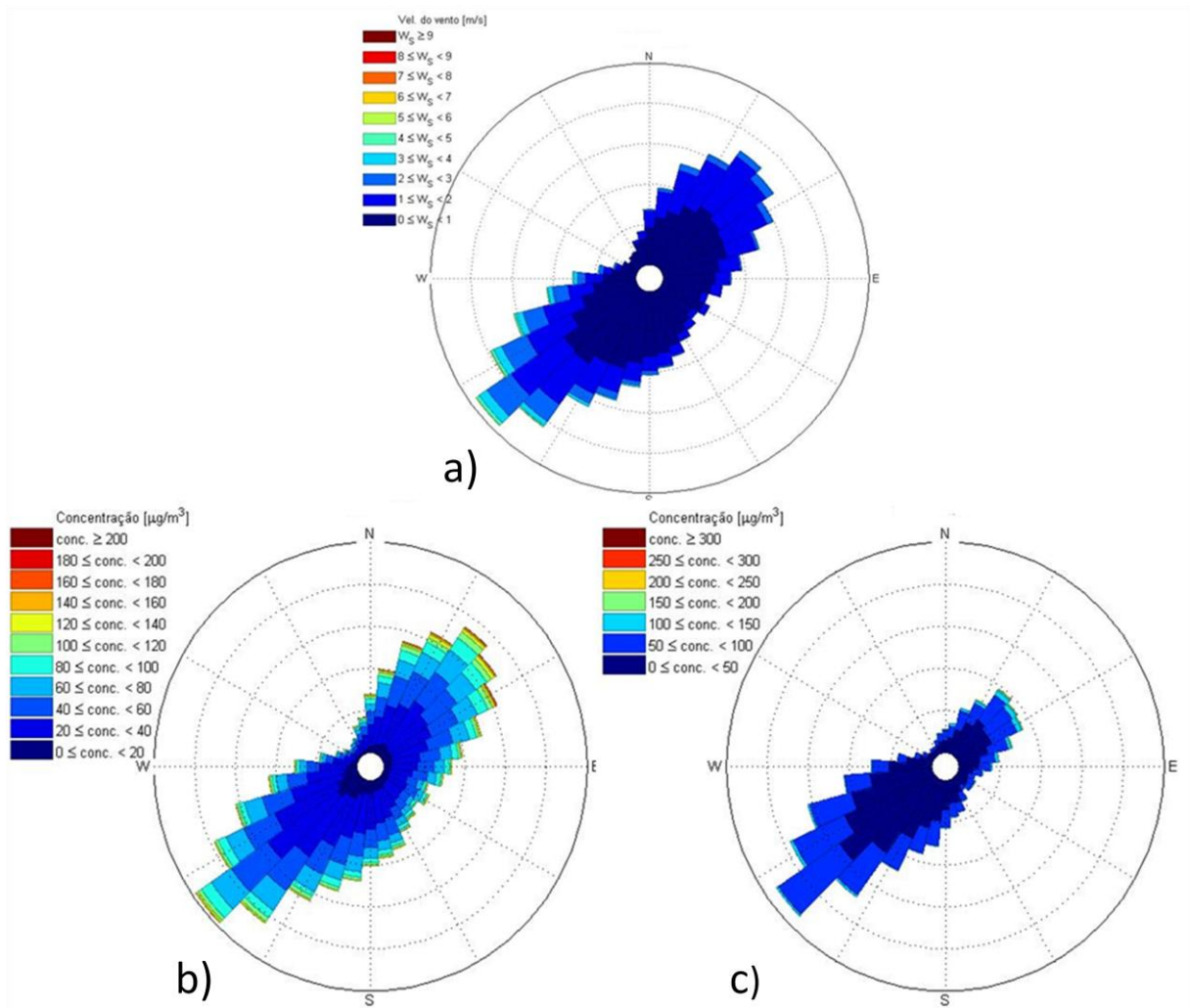


Figura 8: Estação de São Cristóvão a) Rosa dos Ventos, b) Rosa de Poluição para o MP_{10} , c) Rosa de Poluição para o O_3 .

A estação da Tijuca apresenta influência da brisa vale-montanha, devido ao fato de estar próxima ao Maciço da Tijuca, com ventos predominantes de oeste (Figura 9a). Assim, pela rosa de poluição para o material particulado (Figura 9b) pode ser visto que as maiores concentrações se dão quando os ventos se originam do setor oeste. O mesmo comportamento é observado para o ozônio (Figura 9c), onde no período da tarde, ventos da mesma direção estão associados com altos valores do poluente.

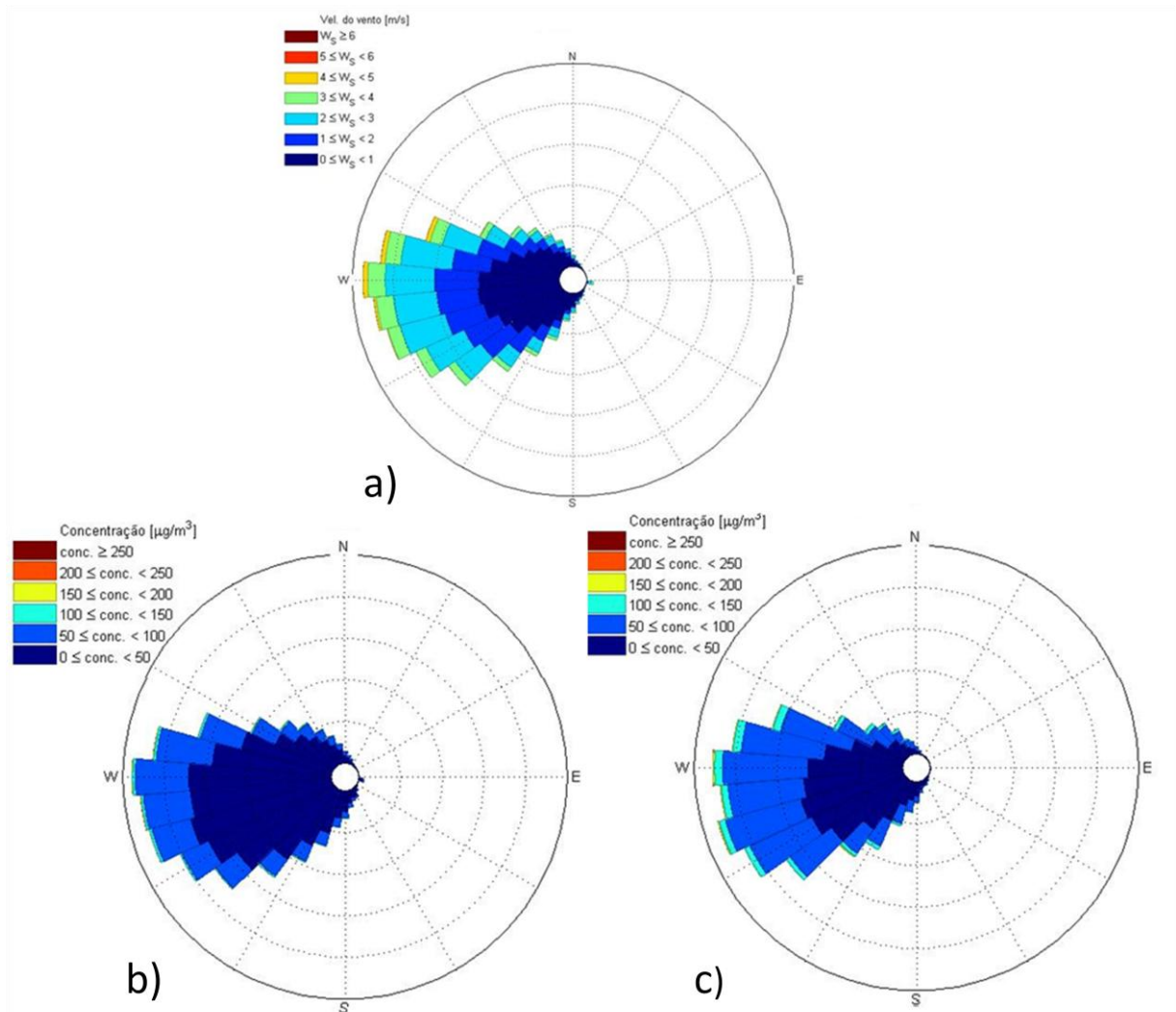


Figura 9: Estação da Tijuca a) Rosa dos Ventos, b) Rosa de Poluição para o MP_{10} , c) Rosa de Poluição para o O_3 .

Situada entre o Maciço de Gericinó e o Maciço da Pedra branca, a estação de Bangu encontra-se sob a influência da brisa de vale-montanha, com ventos dos setores sudoeste e noroeste (Figura 10a). A rosa de poluição da estação (Figura 10b), para o material particulado, indica que maiores concentrações se dão quando os ventos são predominantes das direções S/SO e NO. Um comportamento similar pode ser observado na rosa de poluição referente ao poluente ozônio (Figura 10c), lembrando que nesse caso os dados são apenas para o período da tarde, onde há maior incidência de raios solares, o que propicia a formação de O_3 .

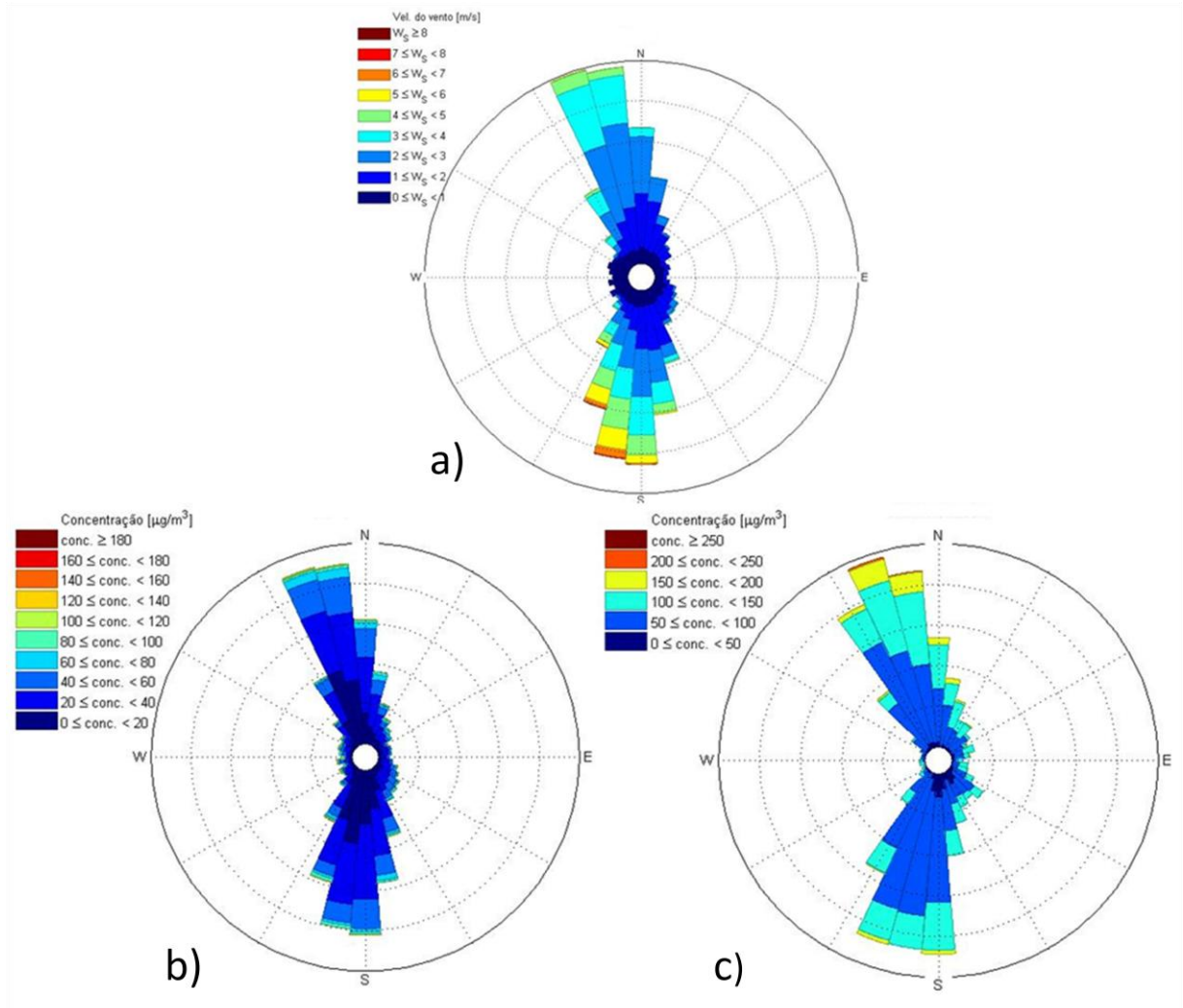


Figura 10: Estação de Bangu a) Rosa dos Ventos, b) Rosa de Poluição para o MP_{10} , c) Rosa de Poluição para o O_3 .

Instalada em um local com poucos obstáculos, a estação de Irajá, por mais que não esteja tão próxima do mar, ainda sofre influência da brisa marítima que avança para o interior da cidade. Os ventos são predominantes quando se originam dos setores N/NE e S/SO (Figura 11a). A rosa de poluição considerando o material particulado (Figura 11b), também aponta que as direções com maiores concentrações são de N/NE assim como ventos de direção S/SO. Para o ozônio a rosa de poluição (Figura 11c) revela que maiores valores são encontrados quando o vento se origina do setor nordeste assim como do setor oeste.

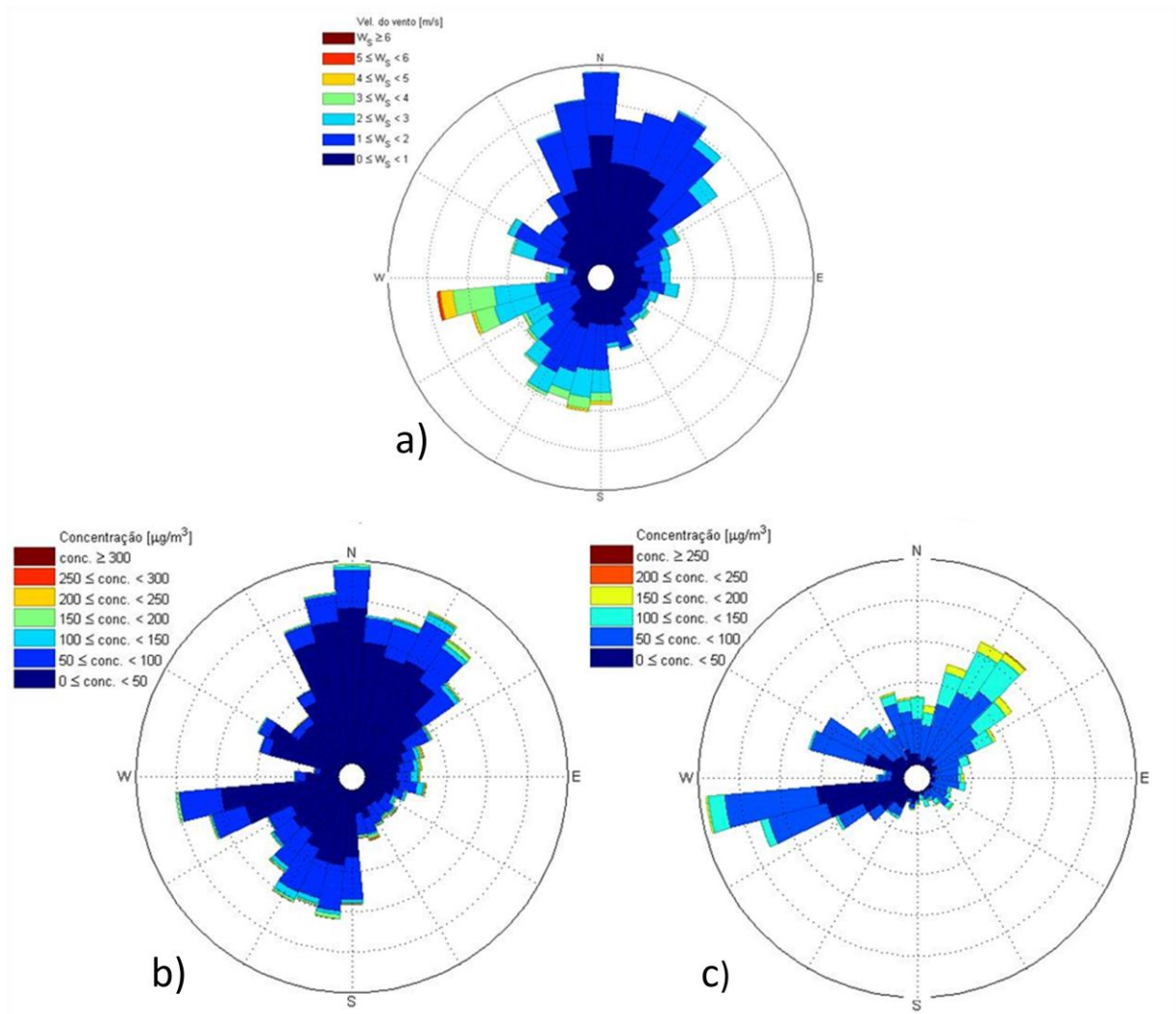


Figura 11: Estação de Irajá a) Rosa dos Ventos, b) Rosa de Poluição para o MP_{10} , c) Rosa de Poluição para o O_3 .

Ao norte da estação de Campo Grande encontra-se o Maciço de Gericinó e ao sul se encontra o oceano, o que favorece a ocorrência de brisa no local, com ventos oriundos das direções NE/SO, como pode ser visto na Figura 12a. Para o material particulado a rosa de poluição também apresenta predominância de ventos dos setores sudoeste e nordeste quando ocorrem as maiores concentrações (Figura 12b). Avaliando rosa de poluição para o ozônio (Figura 12c), é possível verificar além das direções sudoeste e nordeste, ventos de leste influenciando na dispersão do poluente.

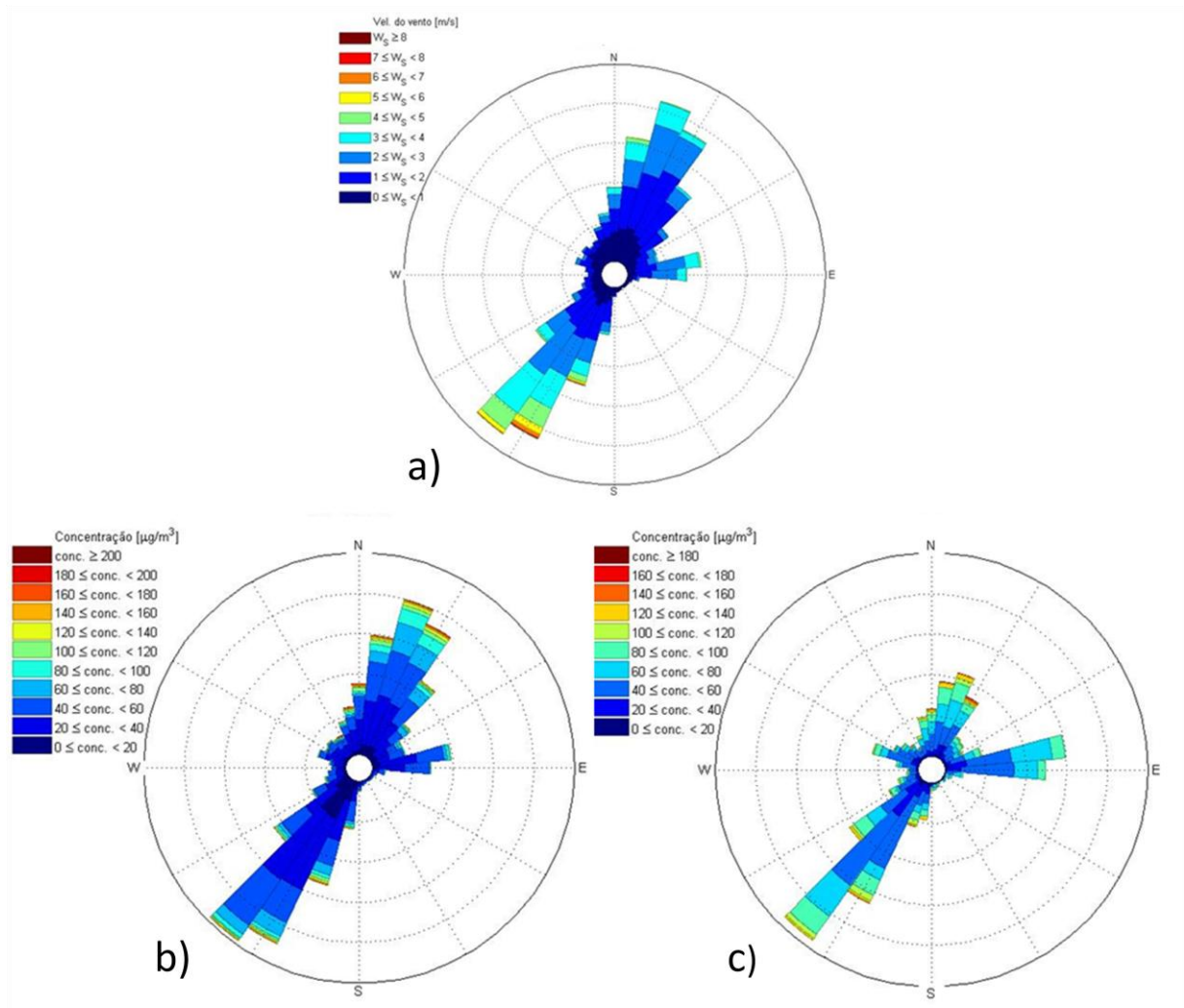


Figura 12: Estação de Campo Grande a) Rosa dos Ventos, b) Rosa de Poluição para o MP_{10} , c) Rosa de Poluição para o O_3 .

Devido a sua proximidade com o mar, a estação de Pedra de Guaratiba sofre efeito da brisa marítima, com direções predominantes de nordeste assim como de sudoeste (Figura 13a). Para o material particulado na estação, pode-se notar que maiores concentrações são observadas quando os ventos também se originam das direções NO/SE (Figura 13b). Enquanto que para o ozônio (Figura 13c), no período da tarde, maiores concentrações ocorrem quando os ventos são de NO e NE, onde também se destaca a direção sudoeste.

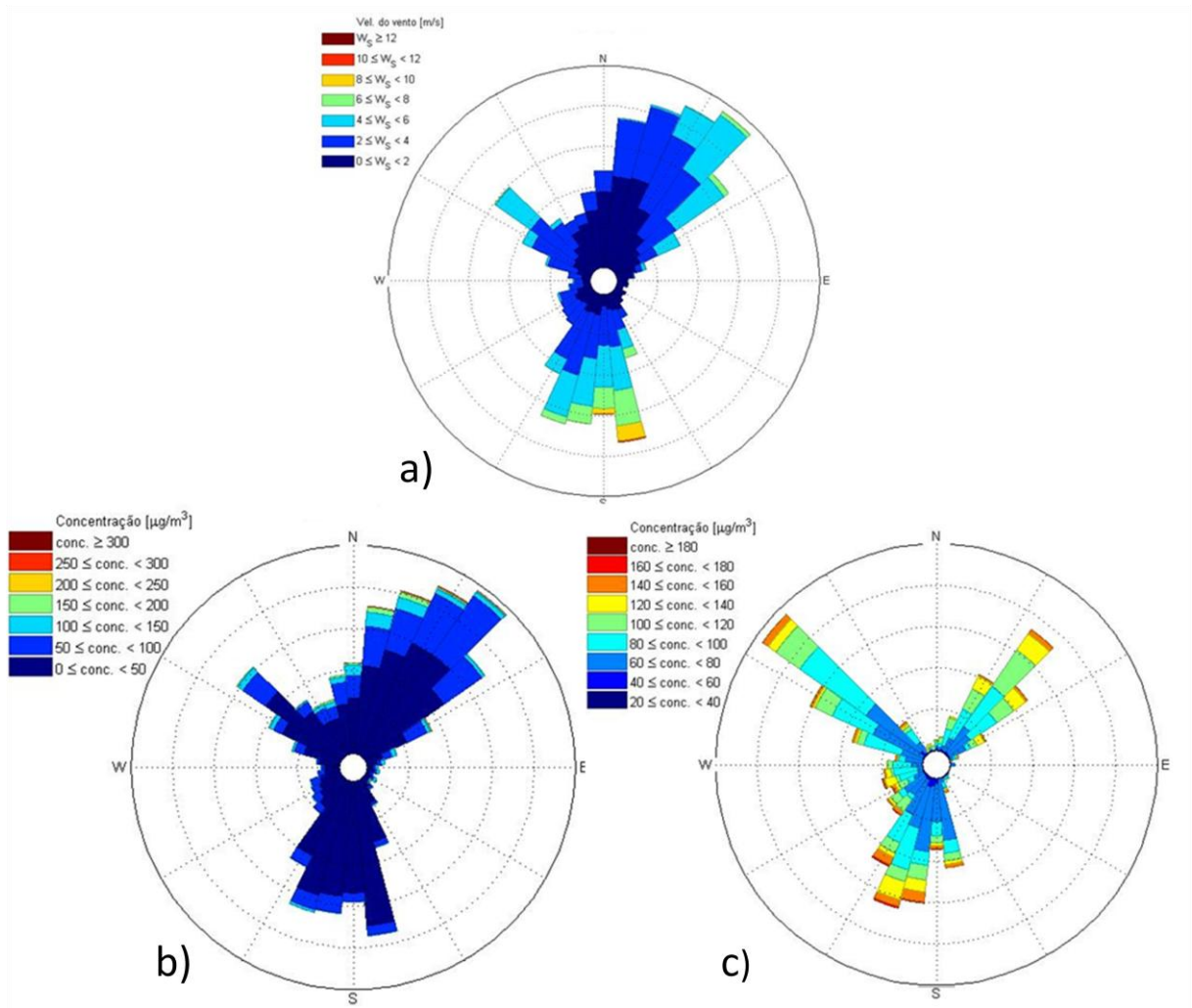


Figura 13: Estação de Pedra de Guaratiba a) Rosa dos Ventos, b) Rosa de Poluição para o MP_{10} , c) Rosa de Poluição para o O_3 .

4. CONCLUSÕES

Através da realização deste estudo foi possível analisar dados dos poluentes de maior problemática na Região Metropolitana do Rio de Janeiro durante os meses em que irão ocorrer os Jogos Olímpicos e Paraolímpicos no município. O objetivo foi identificar possíveis problemas, relacionados à qualidade do ar, que podem ocorrer principalmente em áreas onde haverá competições ao ar livre. Como exemplo da região de Deodoro, que se encontra próxima aos locais onde foram verificadas altas concentrações de ozônio, além de Copacabana e Maracanã que estão em áreas que registraram valores elevados de material particulado. Tais fatores influenciam diretamente tanto no bem estar quanto no desempenho dos competidores.

Dentre os resultados encontrados, notou-se a importância das variáveis meteorológicas no comportamento do ozônio e do material particulado. Em dias de violações de O_3 foram registradas altas temperaturas e valores baixos de umidade relativa do ar. Enquanto para dias de ultrapassagens MP_{10} , em geral, houve a atuação do ASAS e ocorrência de inversões térmicas.

Destaca-se a importância das medidas a serem tomadas no município que visam uma melhor qualidade do ar durante a realização do evento. Tais medidas buscam reduzir congestionamentos, melhorar transportes públicos e ampliar a rede de monitoramento de poluentes na região. Deste modo, o conhecimento e previsão dos fatores que mais influenciaram os poluentes podem auxiliar no estabelecimento de alertas e medidas de controle da poluição do ar.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, M. F., R. Y. YNOUE, R. HARLEY, A. H. MIGUEL. Air quality model simulating photochemical formation of pollutants: The São Paulo metropolitan area, Brazil. **International Journal of Environment and Pollution**, 22, 4, 2004.

BRAGA, A. L. F., SALDIVA, P. H. N., PEREIRA, L. A. A., MENEZES, J. J. C.; CONCEIÇÃO, G. M. S.; LIN, C. A.; ZANOBETTI, A.; SCHWARTZ, J.; DOCKERY, D. W. Health Effects of Air Pollution Exposure on Children and Adolescents in São Paulo, Brazil, in **Pediatr. Pulmonol.** 31, pp. 106-13, 2001.

BRAGA, A., PEREIRA, L.A. A., SALDIVA, P. H. N. Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana. In: **Sustentabilidade na Geração e Uso de Energia no Brasil: os próximos 20 anos**, Campinas. 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Art. 6º, da Lei nº 7.804. Resolução CONAMA Nº 003/1990

CARLISLE, A. J., SHARP, N. C. C. Exercise and outdoor ambient air pollution. **British Journal of Sports And Medicine**, 35 (4)214-222, 2001.

CARVALHO, V. S. B. & CAVALCANTI, P. M. P. S. Formação de ozônio troposférico na região de Macaé. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia, XIII, 2004**, Fortaleza. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Fortaleza, CE, 2004.

CARVALHO, V. S. B. Meteorologia da Qualidade do Ar no que tange as Concentrações de Ozônio e dos Óxidos de Nitrogênio na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica - UFRJ, COPPE, Rio de Janeiro, 2006.

CARVALHO, V. S. B. O impacto das megacidades sobre a qualidade do ar: os casos das regiões metropolitanas de São Paulo e do Rio de Janeiro. Tese de doutorado em Meteorologia. IAG/USP, São Paulo, SP, 2010.

CAVALCANTI, P. M. P. S. Avaliação dos impactos causados na qualidade do ar pela geração termelétrica. 148 f.. Tese (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Coordenação de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2003.

FUNDAÇÃO CENTRO ESTADUAL DE ESTATÍSTICAS (CEPERJ). **Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo - 2002**. São Paulo, 2002.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo - 2005**. São Paulo, 2005

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB), **Padrões de Qualidade do Ar**. São Paulo, 2013

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Resolução n. 03, de 28 de junho de 1990.

Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em 01/02/2015

CORRÊA, T. S., CARVALHO, V. S. B. Análise de condições meteorológicas durante episódios de poluição por material particulado na RMRJ. **XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Gramado – RS, 2012.

CORRÊA, T. S., CARVALHO, V. S. B., REBOITA, M. S. Avaliação da influência das condições meteorológicas em dias com altas concentrações de Material Particulado na Região Metropolitana Do Rio De Janeiro. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**. 2015

EEA. Air Quality and Ancillary Benefits of Climate Change Policies – **Relatório Técnico número 4 da Agência Ambiental Européia**. 2006

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE - DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT GMBH (FEEMA/GTZ). **Qualidade do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 1995.

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

FLOURIS, A. D: Modelling Atmospheric Pollution During the Games of the XXVIII Olympiad: Effects on Elite Competitors, **Int J Sports Med**, 27: 137 – 142. 2006

GUERRA, F. P., MIRANDA, R. M. Influência da meteorologia na concentração do poluente atmosférico PM_{2,5} na RMRJ e na RMSP. **II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. 2011.

GOUVEIA N, Mendonça GAS, Leon AP, Correia JEM, Junger WL, Freitas CU, et al. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. **Epidemiol Serv Saude**, 12(1):29-40. 2013

HACKEROTT, J.A. Simulação numérica a partir do modelo WRF e análise de ventos em superfície na região da Baía de Guanabara (RJ). Dissertação de mestrado em Meteorologia. IAG/USP, São Paulo, SP, 2013.

HORVATH, S.M. Impact of air quality in exercise performance. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, 9(1): 265-296. 1981

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico**, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico**, 2014.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). **Relatório Anual de Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro**, 2009.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). **Relatório Anual de Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro**, 2013.

INSTITUTO DE PESQUISA E ECONOMIA APLICADA (IPEA). Rio de Janeiro, RJ, 2014

JOHNSON, T. J., EILTS, M. D., RUTH, D., GOODMAN, W. e ROTHFUSZ, L. P. Warning operations in support of the 1996 Centennial Olympic Games. **Bulletin of The American Meteorological Society**, 81(3), p. 543- 554. 2000.

MAIA, L. F. P. G. Influência da Topografia de Pequena-Escala na Precipitação no Rio de Janeiro. In: **Anais do VI Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Sociedade Brasileira de Meteorologia. Salvador, BA. Vol I: 210-214. 1990.

MARTINS, L. D. Sensibilidade da formação do ozônio troposférico às emissões veiculares na Região Metropolitana de São Paulo. Tese de doutorado em Meteorologia. IAG/USP, São Paulo, SP, 2006.

NEGRI EM, KOMATSUZAKI M, SAKAE RS. Alterações do epitélio respiratório e poluição. **J Pneumol.**, 13(3):13-20. 1987.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS) WHO **Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide**: Global Update 2005. WHO/SDE/PHE/OEH/06.02, 2006.

PASSARELLI MM. Poluentes da atmosfera. In: **OGA S. Fundamentos de toxicologia**. Atheneu Editora; São Paulo, 1996.

PALLOTTA, M., HERDIES, D. L., GONCALVES, L. G. G. Estudo das condições de tempo e conforto térmico no desempenho esportivo aplicado à maratona da cidade do Rio de Janeiro. **Rev. bras. meteorol.**, São Paulo , v. 30, n. 2, p. 223-240, 2015.

PIRES, D. O., Inventário de Emissões Atmosféricas de Fontes Estacionárias e sua Contribuição para a Poluição do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Tese (Mestrado), UFRJ/COPPE/PPE, Rio de Janeiro, 2005.

PIRES-NETO, R. C., SALDIVA, P. H. N., DOLHNIKOFF, M. Efeitos da Poluição Atmosférica no Epitélio Respiratório das Vias Aéreas Superiores. **Revista Brasileira de Medicina**, 2, 3-9. Rio de Janeiro, 2007.

POPE CA III. Epidemiology of fine particulate air pollution and human health: biologic mechanisms and who's at risk? **Environ Health Perspect**, 108(suppl 4):713–723. 2000

QUITÉRIO, S. L, ARBILLA, G., SILVA, C. R. S., ESCALEIRA, V. e MAIA, L.F.P.G. Os Municípios da Baixada Fluminense do estado do Rio de Janeiro (BFRJ) e seus Problemas com a Qualidade do Ar. In: **Anais da 26ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**. Poços de Caldas, MG. 2003.

RIO DE JANEIRO. Dossiê de candidatura do Rio de Janeiro a sede dos jogos olímpicos e paraolímpicos de 2016. Rio de Janeiro, 2009.

SAINTOT M, BERNARD N, ASTRE C, GERBER M. Ozone exposure and blood antioxidants: a study in a periurban area in Southern France. **Arch Environ Health.**;54:34–39. 1999.

SALDIVA P.H.N. Aparelho mucociliar: aspectos funcionais e métodos de estudo. Artigo de revisão. **J Pneumol.**; 16(3):161- 70. 1999.

SALDIVA, P.H.N. et al. Association between Air Pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil: a preliminary report. **Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo**, 1993.

SALVI S, BLOMBERG A, RUDELL B, et al. Acute inflammatory responses in the airways and peripheral blood after short-term exposure to diesel exhaust in healthy human volunteers. **Am J Respir Crit Care Med.**; 159:702–709. 1999.

SCHWARTZ, J. Air pollution and children's health. **Pediatr.**;113(Suppl 4):1037-43. 2004.

SEINFELD J. H. and PANDIS S. N. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, 1st edition, **J. Wiley**, New York, 1998.

SEINFELD, J. H. and PANDIS, S. N. Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change. **John Wiley & Sons, Inc.**, New York, 2006.

SPELLMAN, G. Marathon running an all-weather sport?. **Weather**, v. 51, p. 118-125, 1996.

SPARK, E. e CONNOR, G. J. Wind forecasting for the sailing events at the Sydney 2000 Olympic and Parolympic Games. **Wea. Forecasting**, 19, p. 181 – 199, 2003.

SIMÕES, J. B., DUTRA, R. C., CARVALHO, V. S. B. Avaliação das concentrações de ozônio registradas entre 2010 e 2012 no Município do Rio de Janeiro. **XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Gramado – RS, 2012.

VUKOVICH, F. M. e SHERWELL, J. An examination of the relationship between certain meteorological parameters and surface ozone variations in the Baltimore–Washington corridor. **Atmospheric Environment**. V.37, p. 971-981. 2003.

WAGNER JG, HOTCHKISS JA, Harkema JR. Effects of ozone and endotoxin coexposure on rat airway epithelium: Potentiation of toxicant-induced alterations. **Environ Health Perspect.**, 109 (4):591-8. 2001.

WALDHEIM, P. V. ; ARAUJO, R. M. M. ; CARVALHO, V. S. B. . Relação entre altas concentrações de partículas inaláveis e o condicionamento meteorológicos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro entre 2000 e 2005. In: **XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Florianópolis, 2006.

WANG H, Zhu t, ZHENG J, et al. Use of a mobile laboratory to evaluate changes in on-road air pollutants during the Beijing 2008 Summer Olympics. **Atmos Chem Phys.**, 9 (21): 8.247-8.263. 2009.

WISE, E. K. and COMRIE, A. C. Meteorologically adjusted urban air quality trends in the Southwestern United States. **Atmospheric Environment**. V.39, p. 2969, 2005.

XIN, J. Variability and reduction of atmospheric pollutants in Beijing and its surrounding area during the Beijing 2008 Olympic Games. **Chinese Science Bulletin**. 2010.

ZHANG, M., SONG, Y. and CAI, X. A Health-Based Assessment of Particulate Air Pollution in Urban Areas of Beijing in 2000–2004. **Sci. Total Environ**. 376: 100– 108. 2007..