



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

CENTRO DE CIÊNCIAS DA MATEMÁTICA E DA NATUREZA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA

ANÁLISE DA REPRESENTATIVIDADE
LOCACIONAL DE UMA ESTAÇÃO DE
MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR A
PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE AMOSTRADORES
PASSIVOS

RODRIGO MELLO

Orientador: Prof. Dr. Luiz Francisco Pires Guimarães Maia

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Vanessa Silveira Barreto Carvalho

Rio de Janeiro, RJ

Dezembro, 2017.

ANÁLISE DE REPRESENTATIVIDADE LOCACIONAL DE UMA
ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR A
PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE AMOSTRADORES PASSIVOS.

RODRIGO MELLO

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós Graduação em
Meteorologia do Instituto de Geociências do
Centro de Ciências da Matemática e da
Natureza da Universidade Federal do Rio de
Janeiro (PPGM – IGEO- CCMN- UFRJ),
como parte dos requisitos necessários para
obtenção do título de Mestre em Ciências
Atmosféricas (Área: Meteorologia)

Orientador:

Luiz Francisco Pires Guimaraes Maia

Co - Orientadora:

Vanessa Silveira Barreto Carvalho

Rio de Janeiro, RJ

Dezembro, 2017

ANÁLISE DE REPRESENTATIVIDADE LOCACIONAL DE UMA
ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR A
PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE AMOSTRADORES PASSIVOS.

RODRIGO MELLO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Meteorologia do Instituto de Geociências do Centro de Ciências da Matemática e da Natureza da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGM – IGEO- CCMN- UFRJ), como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Atmosféricas (Área: Meteorologia)

Examinada por:

Prof. D. Sc. Luiz Francisco Pires Guimarães Maia
Orientador

Prof^a. Dr^a. Sc. Vanessa Silveira Barreto Carvalho
Co-Orientadora

Prof. D. Sc. Gutemberg França Borges
Departamento de Meteorologia – IGEO – UFRJ

Prof^a. Dr^a. Sc. Célia Maria Paiva
Departamento de Meteorologia – IGEO – UFRJ

Dr^a. Josiane Loyola da Silva
Secretaria Municipal de Meio Ambiente - SMAC/RJ

Rio de Janeiro, RJ
Dezembro, 2017

Mello, Rodrigo

Análise de Representatividade Locacional de uma Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar a partir da Utilização de Amostradores Passivos - Rio de Janeiro: Departamento de Meteorologia UFRJ, 2017.

Orientador: Luiz Francisco Pires Guimarães Maia

Co-Orientadora: Vanessa Silveira Barreto Carvalho

Dissertação (Mestrado) - Departamento de Meteorologia - UFRJ

Referências Bibliográficas: p 91 - 101.

1. Qualidade do Ar 2. Amostradores Passivos 3. Estatística Multivariada

Agradecimentos

Primeiramente agradeço à Deus por me permitir atingir mais este objetivo e pelo seu infinito e imenso amor que me sustenta.

Em seguida agradeço aos meus pais Lucia Maria Mello e Francisco de Mello (in memoriam), por sempre me incentivarem a permanecer firme e constante nos objetivos da vida e por ter me ensinado sobre amor, valores e caráter. Em especial dedico esta dissertação ao meu pai que nos deixou em novembro/2016, mas que sempre foi amigo presente, amoroso e incentivador.

Agradeço a minha esposa Ariele dos Santos Mello, por toda a paciência, carinho, cuidado, amor e dedicação derramado sobre mim ao longo de todo este processo. Esse amor é para a vida!

Agradeço aos minhas cunhadas e concunhados, Ariane, Adriana, Fábio e Alexandre, sem esquecer dos meus sobrinhos João Alexandre, Filipe, Rodrigo e Nicole, além dos meus sogros Benedito e Rita de Cássia, por sempre estarem por perto em todo o tempo. Amo vocês!

Como esquecer de minha avó Jurema, do alto dos seus 87 anos de muita lucidez, sempre com palavras de encorajamento e carinho.

Impossível esquecer dos amigos que são mais chegados que irmãos, como: Evenéliton, Priscila, Vanessa, Rafael, Caroline, Marcos (irmão do coração), Débora, Jonathan, Marli, Perla, André, Daniel, Ana Paula, Umberto, Nathália, Cíntia, Cristiano, Silvia Patrícia e Josiane. Vocês são como uma ilha no meio do oceano para dar uma boa respirada e com boas risadas. A vida com cada um de vocês é mais leve.

E não distante agradeço, aos meus orientadores Luiz Francisco Maia e Vanessa Carvalho por todo apoio, dedicação, correções, conversas, direcionamentos e tudo o que permitiu que este trabalho chegasse ao seu objetivo.

Agradeço aos colegas de trabalho lá da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, em especial à Bruno Bôscaró e Roberta Gomes, por me incentivarem desde o início, e a todos os demais colegas da sala onde trabalho (CMA).

E por fim agradeço a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, por me conceder os dados que tornaram este trabalho possível de ser realizado.

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| LISTA DE FIGURAS | ix |
| LISTA DE TABELAS | xii |
| LISTA DE ABREVIATURAS/SIGLAS | xiv |
| RESSUMO | xvi |
| ABSTRACT | xvii |
| CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Objetivos | 5 |
| 1.2 Objetivos Específicos | 5 |
| CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 6 |
| 2.1. Monitoramento da Qualidade do Ar | 6 |
| 2.2. Classificação - Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar | 9 |
| 2.3. Amostradores Passivos | 14 |
| 2.4. Amostradores Passivos e Estudo de Representatividade de uma EMQAr | 19 |
| CAPÍTULO III – MATERIAIS E MÉTODOS | 23 |
| 3.1. Área de Estudo | 23 |
| 3.2. Estações consideradas para o estudo de representatividade | 26 |
| 3.2.1. Estação Irajá | 27 |
| 3.2.2. Estação Bangu | 30 |
| 3.2.3. Estação Campo Grande | 33 |
| 3.3. Amostrador Passivo NO ₂ | 36 |
| 3.4. Campanhas de Amostragem | 37 |
| 3.5. Análises Realizadas | 45 |
| 3.5.1. Caracterização Meteorológica | 45 |
| 3.5.2. Estatística Multivariada | 46 |
| 3.5.3. Mapa gradiente de poluição | 56 |
| CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES | 49 |

| | |
|--|----|
| 4.1 Caracterização Meteorológica | 49 |
| 4.2. Comparação entre as amostragens passivas de NO ₂ e os dados de monitoramento contínuo das Estações | 53 |
| 4.3. Análises Estatísticas | 60 |
| 4.3.1. Correlação de Spearman | 64 |
| 4.3.2. Análise de Cluster | 66 |
| 4.4. Mapa gradiente de poluição | 75 |
| 4.5. Discussões | 78 |
| CAPÍTULO V – CONCLUSÕES | 82 |
| 5. Conclusões | 82 |
| CAPÍTULO VI – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 84 |
| 6.1 Artigos Científicos | 84 |
| 6.2 Sítios da Internet | 92 |
| Anexo 1 | 94 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 1: | Esquema simplificado das ferramentas de avaliação da qualidade do ar. Fonte: Adaptado OMS, 1991. | 8 |
| Figura 2: | Mapa esquemático dos novos corredores do sistema viário em construção – Município do Rio de Janeiro, 2011. Fonte: EOM (Empresa Olímpica Municipal). | 27 |
| Figura 3: | Maciços da Cidade do Rio de Janeiro, 2015. Fonte: IPP (Instituto Pereira Passos). | 44 |
| Figura 4: | Mapa estação Irajá com um raio de 400m para o seu redor. Fonte: IPP, 2015. | 46 |
| Figura 5: | Vista aérea da estação Irajá. Fonte: SMAC/2011 | 47 |
| Figura 6: | Mapa estação Bangu com um raio de 400m para o seu redor. Fonte: IPP/2015. | 49 |
| Figura 7: | Vista aérea da estação Bangu. Fonte: SMAC/2011. | 50 |
| Figura 8: | Mapa estação Campo Grande com um raio de 400m para o seu redor. Fonte: IPP/2015. | 52 |
| Figura 9: | Vista aérea da estação Campo Grande. Fonte: SMAC/2011. | 53 |
| Figura10: | Representação esquemática de um amostrador passivo de NO ₂ . Fonte: LEPA/Passam, 1999. | 55 |
| Figura 11: | Localização dos amostradores passivos de NO ₂ e da EMQAr em Irajá, 2016. Fonte: Google Earth. | 61 |
| Figura 12: | Localização dos amostradores passivos de NO ₂ e da EMQAr em Bangu, 2016. Fonte: Google Earth. | 62 |
| Figura 13 | Localização dos amostradores passivos de NO ₂ e da EMQAr em Campo Grande, 2016. Fonte: Google Earth. | 63 |

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 14: | Imagem de Satélite e Carta Sinótica dia 10/08/2016 às 12Z. | 70 |
| Figura 15: | Rosa dos ventos nas estações de Irajá, Bangu e Campo Grande no período estudado. | 73 |
| Figura 16: | Comparação das concentrações passivas, com as concentrações contínuas para a Estação Irajá. | 76 |
| Figura 17: | Localização dos amostradores passivos e concentrações de NO ₂ em Irajá. | 77 |
| Figura 18: | Comparação das concentrações passivas, com as concentrações contínuas para a Estação Bangu. | 78 |
| Figura 19: | Localização do Amostrador Passivo e concentração do poluente NO ₂ em Bangu. | 79 |
| Figura 20: | Comparação das concentrações passivas, com as concentrações contínuas para a Estação Campo Grande. | 81 |
| Figura 21: | Localização do Amostrador Passivo e concentração do poluente NO ₂ em Campo Grande. | 82 |
| Figura 22: | Análise de Cluster dos amostradores passivos e EMQAr na localidade de Irajá. | 90 |
| Figura 23: | Figura representando as Micro regiões, com destaque para a Micro região 2 em Irajá. | 91 |
| Figura 24: | Análise de Cluster dos amostradores passivos e EMQAr na localidade de Bangu. | 93 |
| Figura 25: | Figura representando as Micro regiões, com destaque para a Micro região 1 em Bangu. | 94 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Figura 26: | Análise de Cluster dos amostradores passivos e EMQAr na localidade de Campo Grande. | 96 |
| Figura 27: | Figura representando as Micro regiões, com destaque para a Micro região 3 em Campo Grande. | 97 |
| Figura 28: | Mapa Gradiente das Concentrações de NO ₂ em Irajá. | 100 |
| Figura 29: | Mapa Gradiente das Concentrações de NO ₂ em Bangu. | 101 |
| Figura 30: | Mapa Gradiente das Concentrações de NO ₂ em Campo Grande. | 102 |
| Figura 31: | Possível local de instalação de uma nova EMQAr em Campo Grande. | 105 |
| Figura 32: | Possível segundo local de instalação de uma nova EMQAr em Campo Grande. | 106 |
| Figura 33: | Vista aérea dos possíveis locais de realocação da EMQAr. | 107 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------|---|----|
| Tabela 1: | Classificação das Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar quanto ao uso do solo e população exposta. | 12 |
| Tabela 2: | Classificação das Estações em termos de representatividade. | 15 |
| Tabela 3: | Densidade populacional das regiões do Município do Rio de Janeiro em hab./km ² . | 26 |
| Tabela 4: | Contabilidade de veículos por tipo de combustível para a Cidade do Rio de Janeiro. | 28 |
| Tabela 5: | Classificação das Estações selecionadas. | 54 |
| Tabela 6: | Especificações Técnicas de um amostrador Passivo de NO ₂ . | 56 |
| Tabela 7: | Localização dos amostradores passivos de NO ₂ e da EMQAr em Irajá. Fonte: Google Earth. | 58 |
| Tabela 8: | - Localização dos amostradores passivos de NO ₂ e da EMQAr em Bangu. Fonte: Google Earth. | 59 |
| Tabela 9: | Localização dos amostradores passivos de NO ₂ e da EMQAr em Campo Grande. Fonte: Google Earth. | 60 |
| Tabela 10: | Síntese das condições sinóticas atuantes no Município entre 22/07/2016 e 24/08/2016. | 71 |
| Tabela 11: | Acumulados históricos de precipitação para os meses de Julho e Agosto. | 72 |
| Tabela 12: | Direção predominante do vento ao longo do período 2011 – 2014. | 74 |
| Tabela 13: | Micro regiões apresentadas em concordância com os amostradores passivos da localidade de Irajá. | 84 |
| Tabela 14: | Micro regiões apresentadas em concordância com os amostradores passivos da localidade de Bangu. | 85 |
| Tabela 15: | Micro regiões apresentadas em concordância com os amostradores passivos da localidade de Campo Grande. | 86 |
| Tabela 16: | Correlação entre as MRs e a EMQAr local (IJPref) | 87 |

| | | |
|------------|---|----|
| Tabela 17: | Correlação entre as MRs e a EMQAr local (BGPref) | 88 |
| Tabela 18: | Correlação entre as MRs e a EMQAr local (CGPref) | 88 |
| Tabela 19: | Comparativo Geral das Maiores Concentrações de NO ₂ medido nos Amostradores Passivos em Irajá, com as concentrações das Micro regiões de melhor representatividade, segundo a Análise de Cluster. | 98 |
| Tabela 20: | Comparativo Geral das Maiores Concentrações de NO ₂ medido nos Amostradores Passivos em Bangu, com as concentrações das Micro regiões de melhor representatividade, segundo a Análise de Cluster. | 98 |
| Tabela 21: | Comparativo Geral das Maiores Concentrações de NO ₂ medido nos Amostradores Passivos em Campo Grande, com as concentrações das Micro regiões de melhor representatividade, segundo a Análise de Cluster. | 99 |

LISTA DE ABREVIATURAS/SIGLAS

PQA – Padrão de Qualidade do Ar

OMS – Organização Mundial de Saúde

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente

INEA – Instituto Estadual do Ambiente

IEA – Instituto de Energia e Ambiente

RMRJ – Região Metropolitana do Rio de Janeiro

PRONAR - Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar

PTS – Partículas Totais em Suspensão

PI – Partículas Inaláveis

MP₁₀ – Material Particulado menor que 10 microns

MP_{2,5} – Material Particulado menor que 2,5 microns

O₃ – Ozônio

NO₂ – Óxido de Nitrogênio

SO₂ – Dióxido de Enxofre

EMQAr – Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar

SMAC – Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

EPA – Environmental Protection Agency

LEPA – Laboratório de Estudos de Poluição do Ar

EEA – Agência Européia do Ambiente

IPP – Instituto Pereira Passos

ASAS – Alta Subtropical do Atlântico Sul

IBGE – Instituto Brasileiro de Geográfico e Estatística

EOM – Empresa Olímpica Municipal

MR – Micro Região

SMAC – Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro

PCRJ – Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Problemas relacionados a degradação da qualidade do ar atingem a sociedade como um todo, desde a fauna e flora, até os seres humanos. Assim, o monitoramento da qualidade do ar torna-se uma ferramenta importante para subsidiar ações que possam trazer benefícios e melhorias a qualidade de vida da população e ao meio ambiente.

Segundo a OMS (2006) desde a revolução industrial, as taxas de emissões de poluentes atmosféricos apresentaram um aumento significativo, levando a degradação da qualidade do ar em algumas regiões. Este fato colaborou para que ações efetivas fossem tomadas, como, por exemplo, no que diz respeito a criação de políticas públicas voltadas para o controle das emissões e a melhoria da qualidade do ar, em geral. Dentre estas políticas, os padrões de qualidade do ar (PQA) foram estabelecidos com o objetivo de limitar os níveis de concentração de determinados poluentes na atmosfera de modo a preservar o bem estar e a saúde da população. As diretrizes recomendadas pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 2006), por exemplo, levam em conta a complexidade de fatores e, em particular, reconhecem que, ao formularem políticas de qualidade do ar, os governos devem considerar cuidadosamente suas circunstâncias locais antes de adotarem os valores propostos como padrões nacionais.

Em IEA (2014) foi apresentado um resumo contendo os padrões de qualidade do ar regulamentados pela Resolução CONAMA nº 03/1990. Esta resolução é uma das ações previstas pelo Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR), estabelecido em 1989, que substituiu os limites fixados pelo Ministério do Interior em 1976.

Segundo CETESB (2009) no ano de 2008, o Estado de São Paulo foi o primeiro estado brasileiro que iniciou um processo de revisão dos padrões de qualidade do ar, baseando-se nas diretrizes estabelecidas pela OMS, com participação de representantes de diversos setores da sociedade. Este processo culminou na publicação do Decreto Estadual nº 59113 de 23 de abril de 2013, estabelecendo novos padrões de qualidade do ar por intermédio de um conjunto de metas gradativas e progressivas para que a poluição atmosférica seja reduzida a níveis desejáveis ao longo do tempo.

Segundo IEA (2014), no ano de 2013, o Ministério do Meio Ambiente formou um grupo de trabalho com intuito de propor atualização nos padrões de qualidade do ar instituídos na Resolução CONAMA 03/90. Tal equipe tem se empenhado em elaborar propostas, mas este trabalho ainda não foi concluído, mas aguarda-se que em breve, algumas medidas possam ser encaminhadas, de forma que futuras alterações na legislação possam ser implementadas.

INEA (2013) relata que o monitoramento da qualidade do ar teve início no ano de 1967 na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), com a Rede Manual de Monitoramento da Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), atual Instituto Estadual do Ambiente (INEA), que ainda está em operação realizando medições de partículas totais em suspensão (PTS) a cada seis dias. Porém, com o crescimento e desenvolvimento desta região houve à necessidade da realização de um monitoramento contínuo e mais abrangente no que tange a quantificação de uma maior gama de poluentes. Assim, a partir do final da década de 90, o Governo do Estado do Rio de Janeiro, adquiriu cinco estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar, bem como ampliou a rede de amostragem manual através do monitoramento de material particulado maior que 10 microm (MP₁₀). A partir do ano de 2012, uma nova ampliação da rede de monitoramento ocorreu com a implementação de mais dezesseis estações automáticas. Assim, atualmente a rede de monitoramento da qualidade do ar do INEA abrange todo o Estado do Rio de Janeiro, e é composta por 21 estações automáticas, que realizam amostragens de gases e material particulado, continuamente, e a rede semiautomática, com 63 amostradores, capazes de realizar o monitoramento das concentrações de material particulado no ar, seja total (PTS), material particulado maior que 10 microm (MP₁₀) ou material particulado menor que 2,5 microm (MP_{2.5}), por 24 horas ininterruptas, de 6 em 6 dias.

Segundo o relatório SMAC (2013) em 2000, a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro também adquiriu e inaugurou Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar (EMQAr) nas localidades do Centro, Copacabana, São Cristóvão e Tijuca, monitorando MP₁₀, Ozônio (O₃), Dióxido de Enxofre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO). Esta rede passou por um processo de expansão no ano de 2012, contemplando assim, os bairros de Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba, contemplando um número maior de poluentes atmosféricos, entre eles o dióxido de nitrogênio (NO₂).

O Município do Rio de Janeiro é um dos maiores da RMRJ, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), com características bem peculiares no que tange ao tipo de terreno, com morros, maciços e baías, além de uma grande concentração populacional. Estes fatores associados a altos níveis de poluição atmosférica proporcionam um cenário crítico para a qualidade do ar.

Segundo o INEA (2011), as principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos na RMRJ são os veículos. Segundo este inventário, um dos precursores do poluente ozônio (O_3), um dos poluentes que mais degradam a qualidade do ar na Cidade e Região Metropolitana do Rio de Janeiro (INEA, 2011 e SMAC, 2012) é o NO_x (Óxido de Nitrogênio). O NO_x , abundantemente emitido por veículos (INEA, 2011) é composto pelo NO_2 (Dióxido de Nitrogênio) e NO (Monóxido de Nitrogênio) (HANNA, 1982).

A OMS (2006) informou que o NO_2 é considerado mais tóxico, quando comparado ao NO ; altas concentrações deste podem causar: irritabilidade aos olhos, nariz e mucosas, além de uma série de graves doenças respiratórias como enfisema pulmonar, bronquites, e em casos mais graves, câncer (OMS, 2006).

Sendo o NO_2 parte integrante na composição do NO_x , poluente fundamental no processo de formação do poluente Ozônio (O_3), um dos principais poluentes que mais influenciam nas condições de qualidade do ar do Município do Rio de Janeiro (INEA, 2011). Uma vez que neste pretende-se empregar a técnica de amostragem por tubos passivos e os amostradores passivos de NO_2 apresentarem informações abundantes e relevantes na literatura, além de baixos custos com sua operação (LEPA, 1999; ECOSOFT 2010), o NO_2 foi o poluente selecionado como referência para a realização deste estudo.

Após a definição do poluente de referência que será utilizado nas análises dos amostradores passivos para fins de avaliações de representatividade dos pontos de monitoramento da qualidade do ar em localidades compreendidas dentro da Cidade do Rio de Janeiro, deu-se mais um passo. E logo, seria interessante que tais locais selecionados, contivessem estações de monitoramento da qualidade do ar que monitorassem tal poluente, NO_2 , o que facilitaria o acesso aos dados para eventuais futuras comparações.

Com esta perspectiva de acessibilidade aos dados do poluente NO₂, os locais selecionados para a alocação dos amostradores passivos continham estações fixas de monitoramento da qualidade do ar, todas pertencentes a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Vale ressaltar que no Rio de Janeiro somente o Governo do Estado, através do INEA, e a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, através da SubSecretaria de Meio Ambiente (SUBMA) monitoram a qualidade do ar. Porém ambas as instituições possuem objetivos específicos neste par ao monitoramento. O INEA, por exemplo, tende a demonstrar que sua rede monitore com maior destaque o impacto causado pela frota veicular, nota-se que em geral suas EMQAr estão bem próximas a grandes vias de tráfego (INEA, 2011). Em contrapartida a Prefeitura do Rio, possui algumas estações próximas a grandes vias de tráfego, mas há EMQAr localizadas em setores mais isolados, ou mais afastados de vias de tráfego, buscando assim informações não somente de background, como também dos impactos que a população local (bairro) tem recebido, devido a emissão de poluentes atmosféricos (ECOSOFT, 2010; SMAC 2012).

Assim, a motivação deste estudo de compreender a representatividade de estações de monitoramento da qualidade do ar, passa pelo impacto que a poluição do ar causa nas pessoas que residem ou trabalham nas proximidades dessas áreas, tanto no aspecto de saúde, como no aspecto social. Sabendo que cada estação de monitoramento possui uma classificação ou objetivo, segundo a EPA (2005) e CETESB (2007). E o poluente NO₂ foi selecionado, por ser precursor do poluente que mais degradada a qualidade do ar na Cidade do Rio de Janeiro (SMAC, 2012).

1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é avaliar a representatividade de três estações de monitoramento da qualidade do ar, utilizando técnicas de agrupamento (estatística multivariada) baseando-se na coleta de dados dos amostradores passivos nos bairros de Irajá, Bangu e Campo Grande no Município do Rio de Janeiro.

1.2 Objetivos específicos

- Compreensão do vento local para a alocação dos amostradores passivos, bem como do período de campanha amostral, afim de se saber se houve influência nas medições realizadas.
- Correlação entre as amostragens passiva e continua.
- Correlacionar através da estatística multivariada os dados de amostragem passiva e os dados da estação fixa de monitoramento da qualidade do ar, buscando indicativos de representatividade desta EMQAr para a localidade.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Monitoramento da Qualidade do Ar

Os poluentes atmosféricos classificam-se em dois grandes grupos: poluentes primários e poluentes secundários (SEINFELD, 1998). Os poluentes primários são emitidos diretamente pelas fontes emissoras e como exemplos cita-se o monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO₂), NO_x, entre outros. Estes poluentes podem, na baixa atmosfera, sofrer transformações e reações fotoquímicas dando origem a poluentes denominados secundários. Dado o tempo para a formação de poluentes secundários, tais como o ozônio, e que esta ocorre à medida que as massas de ar se deslocam, é normal que concentrações elevadas destes poluentes atinjam áreas mais afastadas das fontes de emissão que os poluentes primários (LYONS, 1990; SEINFELD, 1986).

Os poluentes primários, depois de emitidos para a atmosfera passam a estar submetidos a processos complexos de transporte, mistura e transformação química, que dão origem a uma distribuição variável das suas concentrações na atmosfera, tanto no espaço como no tempo. Basicamente, a distribuição das concentrações de poluentes na atmosfera depende das condições de emissão e das condições meteorológicas, podendo alguns poluentes ser transportados a grandes distâncias antes de atingir em o nível do solo (ELSOM, 1989).

Nesse contexto, Frondizi (2008) definiu sobre monitoramento da poluição do ar, que pode ser dividido basicamente em monitoramento das emissões e monitoramento da qualidade do ar. O monitoramento das emissões trata da medição da concentração, ou da taxa de emissão dos poluentes questão sendo emitidos por dutos ou chaminés. A medição das concentrações em pontos fixos e bem definidos visa quantificar o que está sendo lançado a atmosfera. Já o monitoramento da qualidade do ar está dedicado a medir e quantificar as concentrações do ar ambiente, onde as pessoas, animais e plantas estão expostos, podendo afetar sua saúde, a visibilidade e provocar danos materiais, entre outros efeitos.

Logo, o monitoramento sistemático da qualidade do ar torna-se ferramenta central para a adequada gestão deste recurso ambiental. Através de seus resultados podem ser determinadas as prioridades de ações de controle a serem implementadas, racionalizando

a utilização de recursos às ações identificadas como prioritárias, tendo em vista a proteção da saúde da população e ao meio ambiente em geral (IAP, 2016). Nesse sentido, o objetivo de uma rede de monitoramento da qualidade do ar é também avaliar as características que tornam o ar ambiente propício ao ser humano e ao meio ambiente em geral (INEA, 2011), determinando também: as concentrações mais altas de uma determinada região, as concentrações dos poluentes da localidade com maior população ou densidade demográfica, as concentrações para receptores críticos ou de grande sensibilidade, idosos e crianças, por exemplo (CUNHA, 2012).

Dessa forma, o desenvolvimento e a adoção de estratégias apropriadas de gestão da qualidade do ar requer atenção para a obtenção de um diagnóstico adequado dos níveis de poluição. Este foi um dos fatores enfatizados na Agenda 21, elaborada durante a Conferência das Nações Unidas para o desenvolvimento e Meio Ambiente, no Rio de Janeiro, em 1992 (ECO, 1992).

Assim, a avaliação da qualidade do ar, sob um ponto de vista amplo, não é uma tarefa simples, uma vez que envolve não somente a medição da qualidade do ar ambiente, mas também a identificação das principais fontes que causam a poluição medida, estudos de tendência, estimativa da poluição em áreas não monitoradas, e até mesmo a previsão de impacto na qualidade do ar de fontes ainda não instaladas (LOCAVA, 2003).

A Figura 1 apresenta um esquema simplificado das principais ferramentas para a avaliação da qualidade do ar de uma região, segundo a OMS (1991). A partir deste entendimento é possível observar algumas técnicas de monitoramento da qualidade do ar, de forma a contribuir com a construção deste estudo.

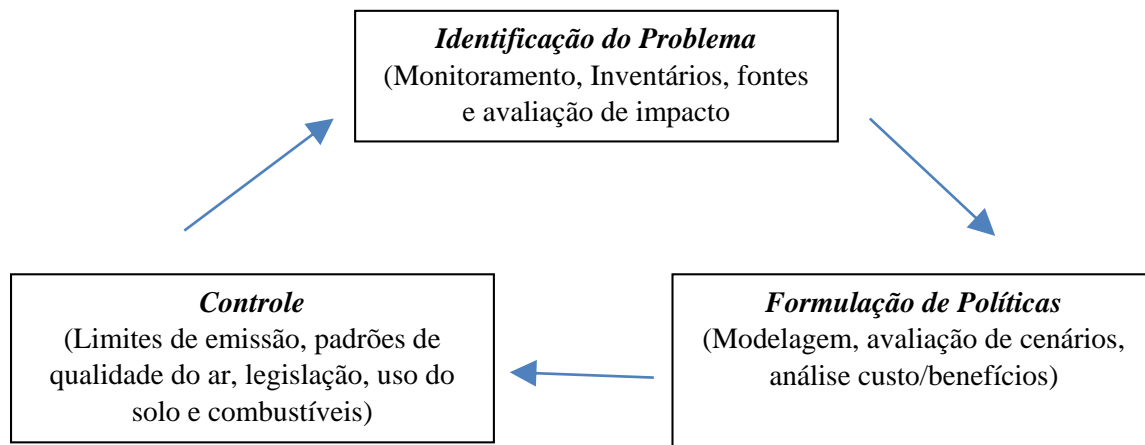


Figura 1: Esquema simplificado das ferramentas de avaliação da qualidade do ar. Fonte: Adaptado OMS, 1991.

O monitoramento da qualidade do ar pode ser realizado através da aplicação de diversas técnicas. Cada uma destas tem por objetivo principal mensurar a concentração de poluentes na atmosfera (MAIA, 2002) em uma determinada localidade e durante um determinado período de tempo. Os métodos de coleta e análise de amostras de poluentes atmosféricos consideram não somente a finalidade das análises a serem realizadas, mas também os recursos disponíveis para as efetuar (HASSIANE *et al.* 2015).

O equipamento de monitoramento contínuo, por exemplo, fornecerá medidas quase instantâneas das concentrações ambientais para determinados poluentes, principalmente, para os definidos pelas agências ambientais como prioritários. Segundo a ECOTEC (2015), o monitoramento contínuo do ar ambiente ocorre através de analisador calibrado, auxiliado por um gás de concentração conhecida, de forma que os resultados obtidos estejam em acordo com a concentração do poluente na atmosfera. Isto possibilita uma melhor confiabilidade nos resultados. Em geral, os dados do monitoramento contínuo são apresentados como médias horárias.

Os métodos de monitoramento do tipo intermitente, em geral, são utilizados para monitoramento por um período a ser determinado de acordo com o objetivo da análise. A rede manual de amostragem de partículas na RMRJ, por exemplo, realiza monitoramento

intermitente das partículas totais em suspensão (PTS) e do MP₁₀ a cada seis dias (FEEMA, 2007).

Outro método de monitoramento a ser destacado é o de amostragem passivo, que segundo Plaisance *et al.* (2004) se apresenta como uma solução efetiva para a avaliação da qualidade do ar em regiões onde à aplicação dos métodos contínuos não são viáveis. Os dispositivos passivos de amostragem podem monitorar os poluentes do ar sem a necessidade de eletricidade e bombas. Estes dispositivos são de pouco peso, portáteis e relativamente simples de serem operados. Nenhum movimento ativo do ar através dos tubos de amostragem é necessário. A amostragem passiva envolve exposição de uma superfície que reage ao ar e a transferência do poluente ocorre por difusão do ar à superfície.

Hassaine *et al.* (2015) revela que o monitoramento da qualidade do ar também pode ser realizado através de analisadores ópticos ou sensores remotos de longo alcance, a partir da medição. Pois realizam medições das concentrações de diversos poluentes integrando-os no caminho entre a fonte de luz e um detector, ou seja, quando o ar ambiente atravessa este feixe de luz uma mensagem é recebida no detector, fazendo a leitura de quais poluentes e de quanto de concentração dos poluentes está contido nesta parcela de ar ambiente que atravessou o feixe de luz.

É importante ressaltar que o monitoramento da qualidade do ar de através de diferentes métodos é essencial para a definição e entendimento das ações a serem tomadas, uma vez que estes não funcionam de forma isolada, e sim de forma complementar. Desta forma, entender a representatividade de uma EMQAr auxilia na definição de quão significativo pode estar sendo o monitoramento realizado (MARTINS *et al.*, 2015).

2.2. Classificação - Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar

Para Frondizi (2008), a instalação de uma EMQAr necessita cumprir alguns requisitos, tal qual, objetivos:

(a) verificar se atende aos padrões estabelecidos pela legislação federal ou estadual;

- (b) indicar a tendência de evolução da concentração de poluentes em locais nos quais os padrões foram ultrapassados;
- (c) avaliar impacto de uma ou mais fontes na qualidade do ar;
- (d) obter dados a serem aplicados em pesquisas;
- (e) fornecer dados para a validação de modelos matemáticos de dispersão de poluentes;
- (f) atender financiamentos de multinacionais, órgãos licenciadores, etc.

A partir do local de instalação de uma EMQAr é possível inferir uma classificação para a mesma. Segundo a CETESB (2007), a classificação de uma dada estação de monitoramento, influencia no conjunto de informações que permite caracterizar a qualidade do ar de uma região, principalmente, no que tange as fontes de emissão de poluentes atmosféricos que a estão influenciando, a população exposta as concentrações monitoradas e a área de abrangência da estação.

As classificações mais usuais são as disponíveis pela US -EPA (2006), sumarizadas nas tabelas 1 e 2, que também são as utilizadas como referência pela CETESB (2007). Tal classificação também será seguida no presente estudo.

Tabela 1 - Classificação das Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar quanto ao uso do solo e população exposta.

| Caracterização da Estação | Descrição |
|----------------------------------|--|
| Comercial | Mede a exposição da população em áreas urbanas centrais, áreas de comércio, com grande movimentação de pedestres e veículos; |
| Residencial | Mede a exposição da população em bairros residenciais e áreas suburbanas das cidades; |
| Industrial | Em áreas onde as fontes industriais têm grande influência nas concentrações observadas, tanto em longo prazo quanto para avaliação de picos de concentração; |
| Urbana/Fundo | Em área urbana, localizada não próximo de fontes específicas, representa as concentrações de fundo da área urbana como um todo; |
| Veicular | Localizada próxima de uma via de tráfego, mede a influência da emissão dos veículos que circulam na via (rua, estrada etc.); |
| Rural | Mede as concentrações em áreas rurais, deve estar situada o mais distante possível de fontes veiculares, industriais e urbanas; |
| Ambiente Fechado | Mede as concentrações em ambientes domésticos e de trabalho (exceto ambientes ocupacionais); |

FONTE: EPA/2005 e CETESB/2007.

A área de abrangência da estação, ou escala espacial de representatividade da estação, caracteriza o entorno da estação onde os valores medidos podem ser considerados similares (CETESB, 2007). A necessidade, em termos de escala de representatividade de uma estação, é baseada nos objetivos do monitoramento da rede e de cada estação individualmente. Na Tabela 2 podem ser observadas as classificações das estações em termos de representatividade das mesmas.

Sobre a temática de representatividade de estações de monitoramento, Frondizi (2008) apresentou um descritivo, onde a configuração da estação, ou seja, os poluentes que serão medidos na estação de monitoramento estão diretamente relacionados com o objetivo das medições, determinando a sua espacialização e a abrangência da área de monitoramento. Em termos de escala observa-se que na microescala e na escala média, que varia de metros a algumas centenas de metros, o monitoramento geralmente torna-se fundamental devido a grande variabilidade das concentrações. Nesta escala, é necessário montar uma rede de monitoramento com uma alta densidade de estações. Já em uma área de ocupação homogênea, como ocorre em bairros residências, por exemplo, uma única estação pode ser representativa de toda área de interesse (escala de bairro). O monitoramento de uma cidade de médio porte ou para monitorar o impacto de grandes empreendimentos industriais com alto potencial poluidor para a atmosfera dentro da escala urbana requer, em geral, de três a oito estações de qualidade do ar e de uma a duas estações meteorológicas. Em escalas regionais, que incluem áreas como as regiões metropolitanas, o monitoramento exige a instalação de algumas dezenas a centenas de estações de monitoramento em conjunto com estações meteorológicas para um diagnóstico real da qualidade do ar.

Tabela 2 - Classificação das Estações em termos de representatividade.

| Escala de Representatividade | Área de Abrangência |
|-------------------------------------|--|
| Microescala | Concentrações abrangendo áreas de dimensão de poucos metros até 100 metros; |
| Média Escala | Concentrações para blocos de áreas urbanas (poucos quarteirões com características semelhantes), com dimensões entre 100 e 500 metros; |
| Escala de bairro | Concentrações para áreas da cidade (bairros), com atividade uniforme, com dimensões de 500 a 4.000 metros; |
| Escala urbana | Concentrações de cidades ou regiões metropolitanas, da ordem de 4 a 50 km; |
| Escala regional | Concentrações geralmente de uma área rural, de geografia razoavelmente uniforme e de dimensões de dezenas a centenas de quilômetros; |
| Escala nacional e global | Concentrações de um país e do planeta como um todo, respectivamente. |

FONTE: EPA 2005 e CETESB/2007.

2.3. Amostradores Passivos

Segundo Denby *et al.* (2008), o monitoramento passivo é uma alternativa às estações automáticas de monitoramento. Uma vez que a possível utilização de técnicas de amostragem passiva pode auxiliar a determinar as concentrações dos poluentes, e assim avaliar a qualidade do ar. Os amostradores passivos, também conhecidos como amostradores difusos, não são ventilados, e como tal, não requerem bombas, e nem medições precisas do fluxo de ar. Estes amostradores são pequenos e baratos e não necessitam de suprimentos elétricos ou manutenção contínua.

Os amostradores passivos são dispositivos capazes de fixar gases ou vapores da atmosfera, a uma taxa controlada por processos físicos, tais como difusão ou permeação, não envolvendo o movimento ativo do ar através do amostrador (CRUZ; CAMPOS, 2008).

Segundo Cruz e Campos (2008), como desvantagens no uso de amostradores passivos podem ser citadas: (a) não fornecer concentrações instantâneas e sim concentrações médias semanais e/ou mensais, não permitindo alteração da taxa de amostragem; (b) não distinguir episódios transitórios de altas e baixas concentrações em um dado período; e (c) não ser indicado como método de referência para monitoramento do ar em normas nacionais ou internacionais.

Denby *et al.* (2008) relataram que o tempo de exposição mais usual é de 1-4 semanas. Um longo tempo de exposição pode provocar saturação nos instrumentos e assim prejudicar as leituras. Informações sobre os níveis de saturação são obtidos a partir do fabricante. Outra possibilidade são os testes de exposição por tempo de amostragem. Como o que ocorre em algumas áreas da Noruega, em relação ao ar ambiente, onde a saturação por NO₂ não ocorre facilmente quando usado os tempos de exposição recomendados pelo fabricante. Outro exemplo são os amostradores passivos IVL, onde a concentração máxima, é de aproximadamente 150 g/m³ para um período de interação de duas semanas (DENBY *et al.*, 2008).

Outro fato a ser destacado é a incerteza dos amostradores passivos que está relacionada com a capacidade real de captação, que pode variar de instrumento para instrumento, de acordo com cada fabricante. Plaisance *et al.* (2002) estimaram que a incerteza do seu

amostrador passivo estava em cerca de 5 g/m^3 , tendo em conta que as concentrações podem variar entre 15 e 45 g/m^3 . Gerboles *et al.* (2005) realizaram um estudo experimental, onde foi verificado que grande parte dos amostradores passivos cumprem com 25% das exigências das diretivas europeias. Os fabricantes, em geral, apresentam incertezas da ordem de 10 - 30 % e isto pode ser visto como uma estimativa de incerteza bem real para uma semana de interação com o ar ambiente.

Vieira (2012) aplicou a técnica de amostragem passiva para avaliar e verificar a viabilidade do uso de amostrador passivo para os poluentes atmosféricos NO_2 , SO_2 e O_3 , comparando os resultados obtidos com os padrões de qualidade do ar e avaliando o seu custo, visando possibilitar o seu uso em estudos de monitoramento ambiental do ar. O local selecionado para este estudo foi o campus da Universidade de Passo Fundo no Rio Grande do Sul. Quanto à representatividade e confiabilidade dos resultados, para os poluentes NO_2 e O_3 foi possível observar resultados com ordem grandeza bem similar ao da estação de monitoramento contínuo ao longo dos meses de estudo, fato este que não foi observado para o poluente SO_2 .

Rosário, Pietro e Francesco (2016) examinaram métodos de medição, de forma a viabilizar um modo mais econômico e eficiente de avaliar preliminarmente a qualidade do ar urbano. Entre novembro e dezembro de 2012, realizaram uma campanha para medir NO_2 , benzeno (C_6H_6) e O_3 no entorno da cidade de Catania (Itália) por meio de amostradores passivos (modelo Passam). Os amostradores foram colocados em locais onde existiam amostradores fixos (automáticos) da rede de monitoramento da cidade, permitindo uma comparação dos valores de concentração medidos por amostragem contínua (método de referência) com os obtidos a partir de amostradores passivos. No estudo, foi possível verificar e avaliar as incertezas associadas aos dados, uma vez que as quantidades das amostras são uma função de variáveis meteorológicas, e estas são coletadas por difusão. Os autores também realizaram uma análise estatística de regressão linear (análise de cluster) detectou uma boa correlação entre os amostradores passivos e as estações de fixas monitoramento.

Plaisance *et al.* (2004) descreveu os resultados obtidos das experiências no tubo passivo (amostrador) para determinar os efeitos da velocidade do vento, temperatura e umidade relativa nas performances dos tubos passivo modelo de Palmes, para medir o dióxido de

nitrogênio (NO_2) no ambiente exterior. Um total de 86 tubos Palmes foram expostos em várias condições: velocidade do vento variando de 0,15 a 2,3 ms^{-1} , temperatura de 2°C a 40°C e umidade relativa de 20% a 85%. O principal resultado verificado foi o aumento da taxa de amostragem com o aumento da velocidade do vento. A formação de redemoinhos na extremidade aberta do tubo induz a uma redução na efetividade da difusão. Essa redução começa a partir das baixas velocidades do vento (ou seja, 0,3 m/s) e é estimado em 47%, até o registro de 2 ms^{-1} . As influências das variáveis temperatura e umidade relativa apresentaram desvios fracos, excedendo 10% apenas em condições normais ($T > 30^\circ\text{C}$ e $\text{RH} > 80\%$). Em condições médias, a taxa de amostragem regularmente aumenta para 0.3%/°C com a temperatura. Algumas soluções práticas são propostas neste estudo para melhorar a precisão de medições, tais como o uso de um dispositivo de proteção e a aplicação de uma função corretiva. Estas aplicações resultam em melhorias efetivas na correção dos efeitos meteorológicos quando se observa a taxa de amostragem do tubo.

Feng *et al.* (2017) propôs um novo coletor passivo desenvolvido para coletar vapor de água do ar ambiente. A construção do amostrador foi melhorando de acordo com as simulações de dinâmica dos fluidos computacionais (CFD), onde foi considerada a influência da turbulência do vento na coleta de vapor d'água. Houveram mudanças nas faixas de temperatura (5°C a 35°C) e umidade relativa (45% a 90%). Com isto, o novo amostrador revelou desempenho estável em relação a taxa de amostragem quando comparado com os amostradores anteriores. O novo amostrador reduziu significativamente o efeito da velocidade do vento. Usando a curva cinética de adsorção do amostrador fornecido nos experimentos de comparação, a relação quantitativa entre a massa adsorvido de água e a exposição cumulativa à umidade absoluta foram estabelecidas. Assim, aplicações em campo realizada nas proximidades de uma usina de energia nuclear, mostraram que os dados obtidos com os novos amostradores são consistentes com os ativos medição.

Kruppa e Legge (2000) realizaram um estudo de amostragem passiva para poluentes gasosos, de forma a apresentar uma visão sustentável deste tipo de monitoramento. Os pontos positivos por eles relatados foram: (a) o custo, pois excluindo as análises laboratoriais, os valores foram considerados baixos pois estes não necessitam de alimentação elétrica; (b) boa representatividade em escala regional; (c) permitem

quantificar as exposições dos poluentes atmosféricos em concentrações totais ou médias durante o período de amostragem. Como ponto negativo, foi destacado o fato de que para exposições de espaço muito curto (algumas horas), estes podem não produzir resultados satisfatórios. Os sistemas funcionam por absorção química ou física por adsorção do gás poluente. Assim, com base nestas informações, os autores, perceberam que estes amostradores também podem subestimar ou superestimar as concentrações de determinados poluentes dependendo do seu tempo de exposição.

Perkauskas e Mikelskiene (1999) aplicaram o método de amostragem difusa para avaliação dos níveis de SO₂ e NO₂ na Cidade de Vilnius, Capital da Lituânia. Foram analisados cerca de 600 amostradores ao longo das quatro estações do ano (Primavera, Verão, Outono e Inverno), para cada poluente entre os anos de 1995 e 1996. Foi verificado que, no caso das concentrações de SO₂, em dias com temperaturas mais elevadas estas variaram entre 7 – 13 µg/m³, e para dias com temperaturas mais baixas entre 17 – 23 µg/m³. Para o NO₂ foi constatado que as concentrações dependiam fortemente do tráfego veicular, apresentando as maiores concentrações em cruzamentos de vias 52 - 82 µg/m³, e concentrações mais baixas em áreas de background 9 - 16 µg/m³.

Bucco (2010) se propôs a construir e validar um modelo de amostrador passivo para detectar os poluentes atmosféricos NO₂ e O₃. A amostragem foi realizada em placas de Petri de polietileno, contendo um filtro de fibra de vidro impregnado com solução absorvedora específica para cada gás, membrana de poliéster e tela de aço inox como barreiras de difusão. Os conjuntos de amostradores passivos foram expostos no período de setembro de 2009 a maio de 2010 e o tempo mínimo de exposição para cada poluente foi de 24 horas e máximo de 264 horas. As leituras dos amostradores passivos foram comparadas com as dos equipamentos automáticos, contínuos, da EMQAr da Praça Ouvidor Pardini em Curitiba, Paraná, onde os amostradores foram expostos. As concentrações acumuladas da Estação foram comparadas com a absorbância medida. A função de regressão foi construída para os poluentes NO₂ e O₃. Em 68,7% dos amostradores passivos para determinação de NO₂ expostos por 24 horas foi constatado um coeficiente de variação de 7,7 a 19,4% concluindo que, o uso do amostrador passivo para determinação de poluição por NO₂ mostrou-se válido quanto à possibilidade de aplicação em novos pontos a serem ampliados na rede de monitoramento, na avaliação de pontos suspeitos de poluição, em outras cidades e locais afastados.

Baumbach (1998) realizou sua pesquisa, com amostradores passivos tipo Surface Active Monitoring (SAM) construídos com placa de Petri com diâmetro de 50 mm. Estes foram expostos em tempos diferentes de exposição, variando com a concentração do ambiente, para NO₂ de 1 dia a 3 semanas e para O₃ de 6 horas a 4 dias. Os resultados foram comparados com dados de uma estação de monitoramento. Os resultados revelaram que o vento não influenciou na amostragem do O₃, mas causou grandes interferências na amostragem do NO₂, pois quanto maior era a velocidade do vento maior era a concentração medida. A temperatura e a umidade do ar mínima de 30% também não influenciaram os resultados.

Cattaneo *et al.* (2013) apresentaram um estudo com objetivo de avaliar a taxa de sulfatação (SO₃) presente na atmosfera, através de amostradores passivos, na bacia hidrográfica do Rio dos Sinos. Esta avaliação ocorreu no período de agosto de 2012 a maio de 2013, sendo a área de estudo dividida em zona rural e em zona urbana. A determinação da taxa de sulfatação através do uso de amostrador passivo mostrou-se válida com eficiência na obtenção de resultados confiáveis.

Masey et al. (2017) avaliou as concentrações de dióxido de nitrogênio (NO₂) por períodos de 2 dias, 3 dias e 7 dias de exposição medidos com os seguintes tipos de amostradores passivos: Tubos Palmes padrão (aberto); Amostradores Ogawa com almofadas absorventes preparados comercialmente (Ogawa [S]); e amostradores de Ogawa modificadas com malhas de aço inoxidável absorvente-impregnadas, normalmente usadas em tubos Palmes (Ogawa [P]). Utilizou-se também dados de um analisador contínuo de NO₂ para fins de comparação. Todas estas medidas ocorreram na Cidade de Glasgow, na Escócia. O desvio padrão relativo duplicado foi menor que 7% para todos os amostradores passivos. Os amostradores Ogawa [P], Ogawa [S] e os amostradores de Palmes explicitaram 93%, 87% e 58% da variação temporal em relação as concentrações do analisador de NO₂, respectivamente. As taxas de absorção para os amostradores de Palmes e Ogawa [S] foram positivamente e linearmente associadas a velocidade do vento ($P < 0,01$ e $P < 0,05$, respectivamente). Ou seja, os cálculos das taxas de absorção puderam ser ajustados, usando a média da velocidade do vento observada durante cada período de amostragem, pois ela auxilia no aumento da variação das concentrações do analisador de NO₂, explicado pelas estimativas de Palmes e Ogawa [S], a 90% e 92%, respectivamente. Tais resultados sugerem que as medidas podem ser corrigidas, no sentido de encurtar o

tempo de difusão devido à velocidade do vento, afim de melhorar a precisão das estimativas de exposição a curto prazo de NO₂. Concluindo as análises, as taxas de absorção das amostragens de Ogawa [P] não foram associadas à velocidade do vento, resultando então em uma alta correlação entre as estimativas das concentrações amostradas, e as concentrações do analisador de NO₂ de background.

2.4. Avaliação da Representatividade de EMQAr

Lozano *et al.* (2010) buscaram um método para a otimização da rede de monitoramento da qualidade do ar na Cidade de Sevilha (e região metropolitana), na Espanha. Para isso, foram utilizados como referência os poluentes NO₂ e O₃. Foram realizadas campanhas com amostradores passivos para auxiliar na nova distribuição da rede, que era composta por 8 estações fixas, sendo que, para cumprir a legislação local era necessário somente duas estações para monitoramento do NO₂ e duas para o monitoramento do O₃. O estudo concluiu que outras áreas da Região Metropolitana de Sevilha estavam sendo impactadas, e assim necessitariam receber realocações de estações de monitoramento, tendo em vista o tráfego veicular, que provoca influência direta nas concentrações de NO₂ nestas regiões, e a densidade populacional (habitantes/km²).

Zarandi *et al.* (2008) apresentaram um estudo utilizando monitoramento passivo e técnicas de mapeamento geo-estatístico para a implementação de estações de monitoramento da qualidade do ar na Cidade de Shiraz, no Irã. Foram utilizados dois tipos de amostradores passivos, o de Palmes e o de Radiello, e os poluentes monitorados neste estudo foram o NO₂, o SO₂ e o benzeno. Os amostradores foram espalhados pela área central (35 amostradores), Subúrbio (40 amostradores) e demais regiões (110 amostradores na área industrial e em regiões de grande tráfego veicular) da Cidade. O método proposto no estudo produziu ferramentas úteis que podem ser facilmente aplicadas em áreas e/ou Cidades poluídas afim de se atingir o objetivo proposto.

Krochmal e Kalina (1997) realizaram medições de amostragem passiva das concentrações de NO₂ e SO₂ durante o período de maio de 1993 à Abril de 1994 em 147 pontos de 30 grandes cidades da Polônia, e em 31 pontos em rurais. Os pontos de medição foram divididos em cinco classes que representam: central, residencial, industrial, tráfego e rural. A consistência dos dados permitiu a comparação dos níveis de poluição do ar em

diferentes cidades e proporcionou a produção dos mapas de distribuição espacial de NO₂ e SO₂ em áreas rurais de Polônia de forma a identificar os gradientes de poluição do ar destas áreas.

Gülzade *et al.* (2017) avaliou as concentrações ambientais de dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂), ozônio (O₃) e composto orgânicos voláteis (COV's), tais medidas ocorreram em diversos locais em Kütahya, uma cidade considerada poluída e afetada pela emissão de, principalmente, três grandes termoelétricas a carvão, na Turquia. Campanhas extensivas de amostragem passiva de duas semanas foram realizadas no verão e no inverno de 2014 em 108 pontos de amostragem que foram classificados em três grupos principais: urbano, rural e industrial. As distribuições espaciais e sazonais dos pontos de medição e poluentes atmosféricos foram avaliadas empregando técnicas do Sistema de Informação Geográfica (SIG), além do uso de modelo de dispersão de poluentes AERMOD, considerando somente o que era emitido pelas termoelétricas (EPA, 2005). Todas as concentrações de poluentes mostraram padrão crescente no inverno, com exceção do ozônio. Os maiores níveis de NO₂ foram observados no centro da cidade, e uma diminuição gradual nos níveis de concentração em pontos mais distantes do centro da cidade. Foi realizada uma avaliação básica de exposição da população para as duas maiores áreas de concentração populacional da província (Centro da cidade de Kütahya e Tavşanlı) combinando os mapas de densidade populacional com o de distribuição dos poluentes NO₂ e SO₂. A exposição ao NO₂ foi avaliada separadamente de outros poluentes, de acordo com a classificação feita para diferentes graus de exposição. Os maiores valores de risco foram obtidos nos locais de amostragem com maior densidade populacional, especialmente no inverno. Os valores de risco estimados em 95 locais de amostragem foram maiores do que o risco aceitável pela EPA, a um valor de 1×10^{-6} .

Mueller *et al.* (2015) trabalhou na geração de mapas de concentração de NO₂ com amostras de duas semanas (14 dias) com uma alta resolução espacial (10 m por 10 m) para a cidade de Zurique, na Suíça, com base em modelagem estatística. Para isso foram utilizados dados a partir de uma densa rede de amostradores passivos, composta por 49 sítios que mediram as concentrações médias de NO₂ por 14 dias no ano de 2008. A partir de uma análise de regressão foram verificadas 26 variações no modelo entre a faixa de 0,66 a 0,79, ou seja, 81% dos dados modelados, e 77% das concentrações previstas de

NO₂, respectivamente, desviaram menos de 25% dos dados observados na região. A abordagem da modelagem delineada neste artigo propôs um aumento no número de pontos das redes de amostragem passiva de rotina urbana, de modo a fornecer uma melhor resolução espacial das concentrações.

Caballero *et al.* (2012) realizou um estudo onde os níveis de dióxido de nitrogênio foram medidos sistematicamente por meio de amostragem passivas em 79 locais da cidade de Elche (sudeste da Espanha) com o objetivo de investigar os fatores que afetam as variações espaço-temporal de NO₂ e avaliar de forma quantitativa o impacto do tráfego urbano nas concentrações deste poluente, sabendo que esta onde predominam as emissões provenientes do tráfego veicular. As campanhas de amostragem foram realizadas aproximadamente uma vez por mês, por períodos de uma semana, durante os anos de 2007 e 2008. A concentração média de NO₂ durante o período de dois anos foi de $32 \pm 12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, com mínimos no verão e máximos desde o outono até o início da primavera. As variações temporais das concentrações de dióxido de Nitrogênio foram principalmente afetados por fatores meteorológicos. Por outro lado, a distribuição espacial relativa dos níveis de NO₂, permaneceram constantes durante o período de estudo, foram controladas tanto pela alocação do fluxo de tráfego, quanto pelo layout das ruas. Usando análise de cluster, os sítios de amostragem foram agrupados em quatro representantes por classes de poluição urbana do NO₂, indicando uma redução considerável no número de medidas. Os pontos para monitorar a variabilidade espacial e temporal dos níveis de dióxido de nitrogênio tornaram-se viáveis após as análises de regressão (análises estatísticas). Assim, estima-se que dentro da Cidade de Elche uma redução de 20 mil veículos por semana nas ruas, com edifícios de ambos os lados levaria a uma redução semanal média de 4 a 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO₂. Esses resultados destacam a utilidade da amostragem passiva nos estudos para gestão da qualidade do ar e planejamento de novas áreas urbanas.

Behera *et al.*, 2015 utilizou amostradores passivos de NO₂ em duas grandes Cidade da Índia: Dehli e Kapur, com população superior a 4 milhões de habitantes com a finalidade de propor a instalação de uma rede de monitoramento da qualidade do ar. Em Dehli, foram utilizados 204 pontos de medição, e, em Kapur, 101 pontos. Os sítios de amostragem foram separados da seguinte forma: suburbano - 31, urbano – 85, tráfego - 88 em Delhi; e suburbano - 18, urbano - 41 e tráfego - 42 em Kanpur. A amostragem durou cerca de dois meses, com repetições em alguns sítios. Complementando, foi utilizada o Sistema de

Informação Geográfica (SIG), com o software ArcGis para a plotagem de mapas de poluição. Os dados observados em todos os locais de amostragem foram utilizados na plataforma do SIG para gerar distribuição espacial dos mapas de poluição (usando o método de interpolação Kriging) e mapas de probabilidade de violações aos padrões de qualidade do ar. Com base nestes resultados da pesquisa sobre atividades de emissão, meteorologia e mapas de poluição, este estudo propôs locais de amostragem da qualidade do ar para uma rede de monitoramento de longo prazo em Delhi e Kanpur.

CAPÍTULO III

MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

A Cidade do Rio de Janeiro é a mais populosa do Estado do Rio de Janeiro, com uma população 6,3 milhões de habitantes, segundo IBGE (2010). A Tabela 3 apresenta as informações da densidade populacional das áreas (zonas) do Município do Rio de Janeiro. A maior concentração populacional está na Zona Norte, onde foi contabilizado um total de mais de dois milhões de pessoas residentes. Esse número corresponde a 37,9% da população. A Zona Oeste, aparece em segundo lugar no total de moradores, com 1,7 milhões de habitantes, correspondente a 27% do total. O setor composto pela Zona Sul e o conjunto de bairros no entorno da Tijuca apresenta 26% da população, embora represente menos da metade da população residente, também concentra mais de um milhão de habitantes. E, por fim, a região central, caracteriza-se pelo baixo número de moradores, cerca de 297 mil, o que representa apenas a parcela de 4,7% da população.

Tabela 3 - Densidade populacional das regiões do Município do Rio de Janeiro em hab./km².

| | |
|------------|-----------|
| Zona Norte | 11.787,10 |
| Zona Oeste | 2.877,50 |
| Zona Sul | 10.048,10 |
| Centro | 8.633,30 |

FONTE: IBGE/2010.

Segundo a Secretaria Municipal de Transportes - SMT (2011), a Cidade tem passado por um processo de modernização em suas vias públicas, com as construções de novos modais de transporte público, o BRT, oriundo da palavra inglesa, que significa Transporte Rápido por Ônibus, além do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT). A configuração do sistema viário da Cidade possui uma característica radial, onde todas as vias apontam para a região do Centro. Atualmente, 3.357 km de vias compõem o sistema viário da Cidade do Rio de Janeiro. Desse total, 2.420 km suportam o transporte coletivo, segundo a SMT (2011) (Figura 2). Essa distribuição tem impacto direto na qualidade do ar.

REALIZADO PARA AS OLIMPÍADAS DE 2016

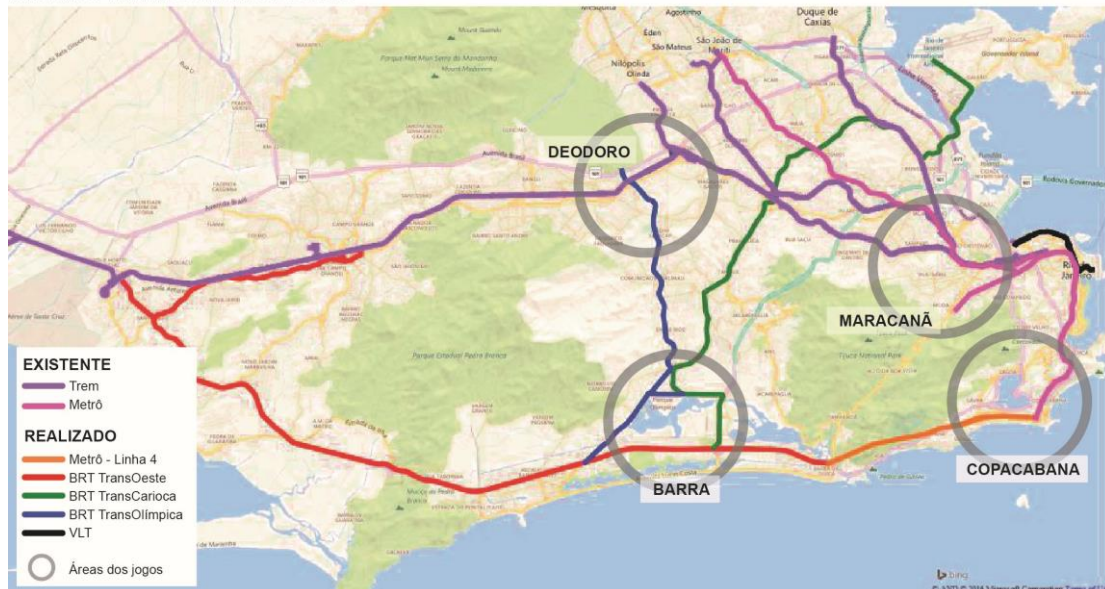


Figura 2- Mapa esquemático dos novos corredores do sistema viário em construção – Município do Rio de Janeiro, 2011. Fonte: EOM (Empresa Olímpica Municipal).

Segundo o Departamento de Trânsito do Estado do Rio de Janeiro (DETRAN-RJ, 2016), até dezembro de 2015 haviam 2.953.500 veículos licenciados na Cidade do Rio de Janeiro. Deste total, a tabela 4 apresenta os números de veículos licenciados por tipo de combustível. Outra informação relevante está quanto a emissão de poluentes por combustível, segundo INEA (2012), o álcool emite 35% menos NO_2 do que a gasolina, e a nova composição do diesel emite 7 vezes mais, devido a quantidade de biodiesel que foi acrescida em sua composição.

Tabela 4 - Contabilidade de veículos por tipo de combustível para a Cidade do Rio de Janeiro.

| Tipo de Combustível | Total |
|----------------------------|--------------|
| Álcool | 211.947 |
| Gasolina (Gas.) | 1.261.788 |
| Diesel | 126.967 |
| Gás Natural Veicular (GNV) | 3 |
| Flex (Gasolina + álcool) | 831.190 |
| Outros* | 521.605 |

Fonte: DETRAN-RJ/2016

*Outros incluem Flex + GNV; Alcool + GNV; Diesel + GNV; Gas. + GNV; Gas. + Alcool + Diesel + GNV.

Outro fator importante é a caracterização topográfica do Município, onde maciços e montanhas influenciam diretamente as condições meteorológicas locais e, por conseguinte, a dispersão dos poluentes (PIMENTEL *et al.*, 2014).

Os maciços são fatores importantes para o Município, tanto do ponto de vista administrativo, quanto do ambiental. O maciço da Tijuca divide o setor Norte do setor Sul da Cidade. O relevo acidentado e diversificado da Cidade conta com mais dois maciços, Gericinó ao norte e da Pedra Branca à oeste (Figura 3), que contribuem também para uma maior distribuição das chuvas, assim como para a circulação dos ventos (DERECZYNSKI *et al.*, 2009).

Ainda segundo Dereczynski *et al.* (2009), os maiores registros de precipitação na Cidade do Rio de Janeiro ocorrem nas proximidades destes maciços. Os totais pluviométricos anuais apresentam valores de 1200 mm junto ao litoral da Zona Sul da Cidade até 1600 mm à barlavento do maciço da Tijuca. A partir deste máximo a precipitação diminui, chegando a 1000 mm na Zona Norte. Um segundo máximo de 1400 mm no extremo norte da cidade é observado próximo ao maciço Gericinó. Nas demais regiões da Cidade a precipitação anual oscila entre 1200 e 1400 mm.

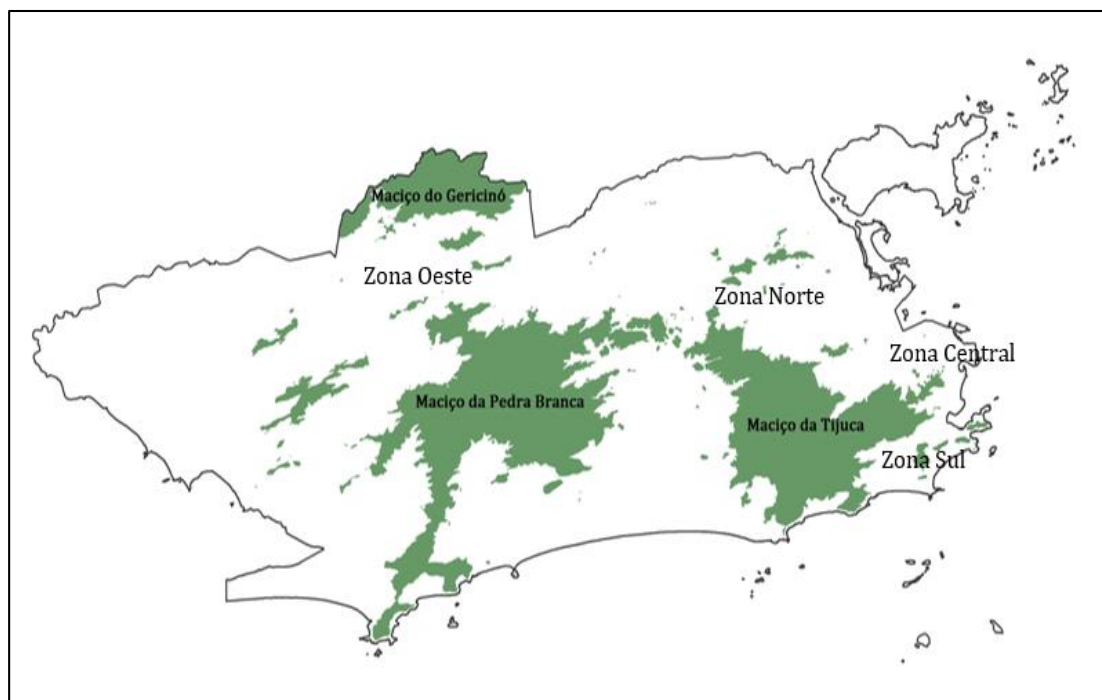


Figura 3 - Maciços da Cidade do Rio de Janeiro, 2015. Fonte: IPP (Instituto Pereira Passos).

3.2. Estações consideradas para o estudo de representatividade

As estações de monitoramento da qualidade do ar localizadas nos bairros de Irajá, Campo Grande e Bangu foram selecionadas por realizarem monitoramento contínuo do poluente NO_2 , permitindo assim as comparações e análises necessárias com os dados obtidos por meio do monitoramento passivo, permitindo a aplicação de ferramentas estatísticas para a avaliação da representatividade das mesmas. Vale ressaltar que estas estações foram selecionadas para o estudo, também por conta da disponibilidade dos dados de monitoramento meteorológico e de qualidade do ar, o que permitiu a realização deste estudo. O entorno das estações de monitoramento selecionadas foi caracterizado, utilizando um raio de 400m, seguindo a metodologia proposta pela CETESB (2007) e pelo EPA (2005).

Ressalta-se que os dados das concentrações de NO_2 provenientes do monitoramento automático realizado nas estações automáticas serão utilizados em conformidade com o período de amostragem passiva, para que os mesmos sejam analisados no mesmo intervalo de tempo. Para complementar as análises também serão utilizados os dados dos

parâmetros meteorológicos (direção e velocidade do vento) registrados nas estações selecionadas.

3.2.1. Estação Irajá

A estação está localizada na zona norte do Município, no bairro de o mesmo nome. O bairro possui característica residencial, porém com amplo comércio e próximo a vias de tráfego bem movimentadas. A estrada da Água Branca, principal avenida do bairro, está a cerca de 100 m da estação de monitoramento. Em outro quadrante, a cerca de 50 m está o setor de carga e descarga de um supermercado da região. Dentro deste raio de 400 m, na direção leste localiza-se também uma garagem de ônibus (Figuras 4 e 5). A população, segundo o IBGE (2010), é de aproximadamente 197 mil habitantes nas proximidades da estação, sendo idosos e crianças, a população mais sensível a exposição de poluentes, aproximadamente de 15 e 19,7% do total da população, respectivamente.



Figura 4 – Mapa estação Iraja com um raio de 400m para o seu redor. Fonte: IPP, 2015

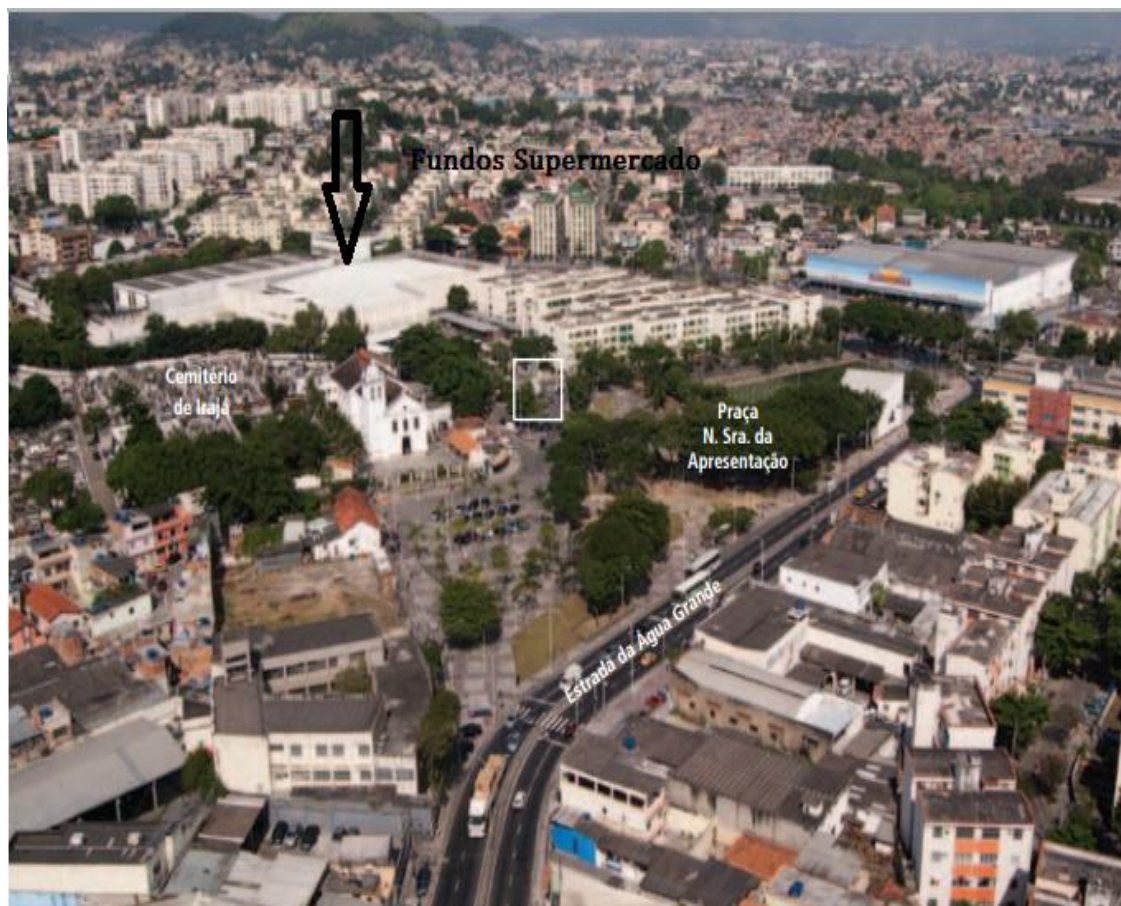


Figura 5 – Vista aérea da estação Iraja. Fonte: SMAC/2011

3.2.2. Estação Bangu

As figuras 6 e 7 apresentam, respectivamente, um mapa com um raio de 400 m no entorno e a vista aérea da estação Bangu, situada no bairro de mesmo nome, localizado na zona oeste da Cidade. A estação está localizada em uma escola Municipal, em zona residencial, a algumas quadras de uma das principais vias do bairro. Segundo o IBGE (2010), a população das ruas próximas ao local onde o monitoramento foi realizado é da ordem de 136 mil habitantes, representando assim 33% do total do bairro. A população mais sensível aos efeitos da poluição do ar, crianças e idosos, representam deste total 21,8% e 12,6% respectivamente. Dentre as fontes mais significativas de emissão, em um raio de 400 m, existem 2 postos de combustíveis, que seriam os principais responsáveis, como fontes fixas/evaporativas, além das vias de tráfego de grande fluxo (Rua Biobi e Rua Rio da Prata).

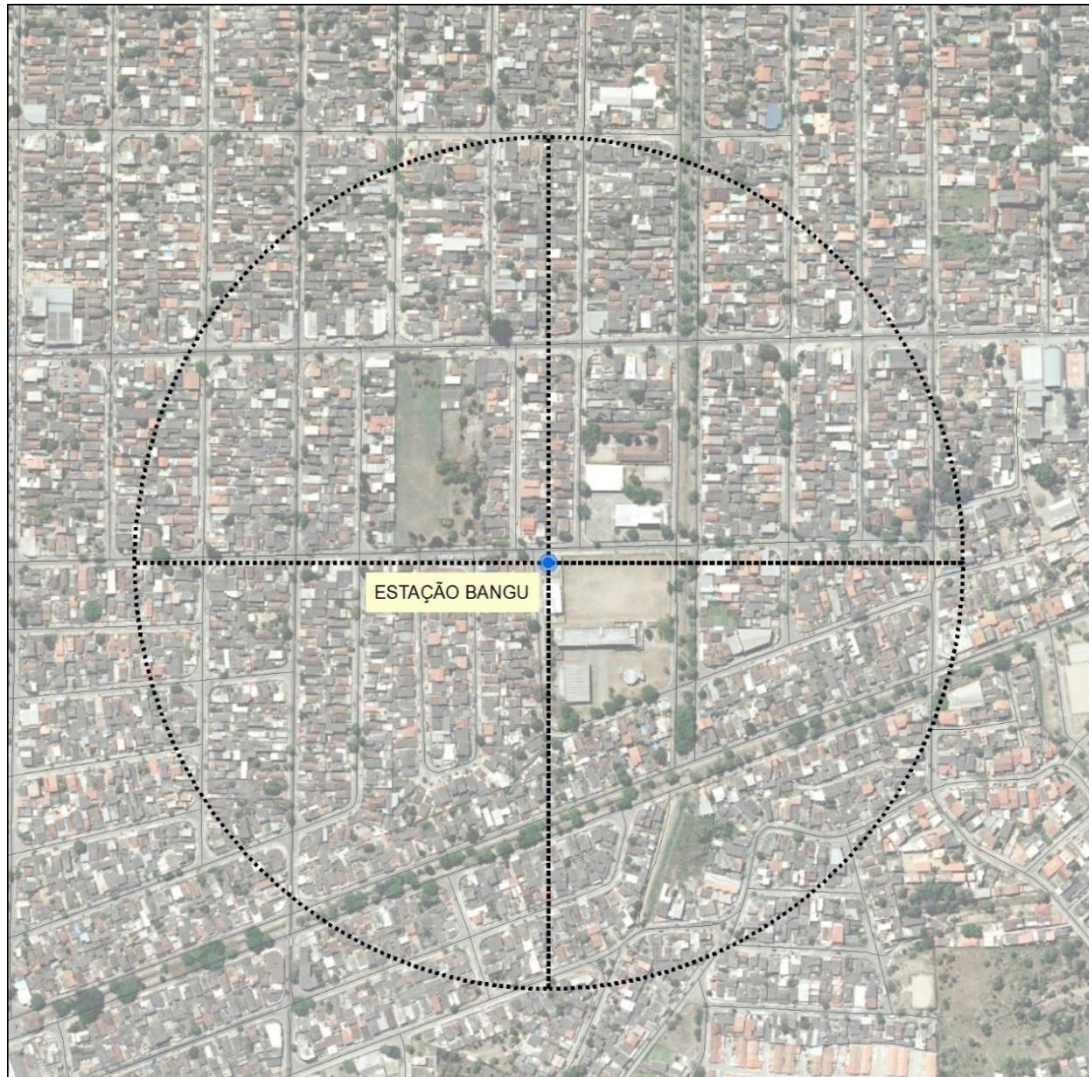


Figura 6 – Mapa estação Bangu com um raio de 400m para o seu redor. Fonte: IPP/2015



Figura 7 – Vista aérea da estação Bangu. Fonte: SMAC/2011

3.2.3. Estação Campo Grande

A estação Campo Grande, localizada na zona oeste do Município, encontra-se em uma escola Municipal, atrás de um grande shopping center e em frente a um ponto de ônibus (Figuras 8 e 9). No entorno da estação há várias residências, tornando a localidade uma mescla entre residencial e comercial. Os dados do IBGE (2010) apontam para um contingente populacional nas ruas próximas ao local de monitoramento de 104 mil habitantes. A população de idosos e crianças representam cerca de 12,5 e 21%, respectivamente deste total. Neste raio de 400 no entorno da estação há postos de gasolina, oficinas mecânicas, além de ser cruzada por uma das principais Avenidas do bairro, a estrada



Figura 8 – Mapa estação Campo Grande com um raio de 400m para o seu redor. Fonte: IPP/2015.



Figura 9 – Vista aérea da estação Campo Grande. Fonte: SMAC/2011.

Com base no definido pela EPA (2005) e de acordo com as características do entorno das estações, é possível classificar as estações conforme o apresentado na tabela 5. Vale ressaltar que as aplicações destas classificações são relevantes em um estudo de representatividade dos locais de monitoramento, tendo em vista que este tal fato está diretamente ligado as fontes de emissão predominantes na região, sendo relevante para a configuração das EMQAr em cada uma das localidades (OTT, 1977). As classificações seguem as orientações da SMAC (2015), baseada nas regulamentações apresentadas na tabela 1.

Tabela 5 - Classificação das Estações selecionadas.

| Estação de Monitoramento | Classificação |
|---------------------------------|----------------------|
| Irajá | Residencial |
| Bangu | Residencial |
| Campo Grande | Comercial |

Fonte: SMAC, 2015

3.3. Amostrador Passivo NO₂

O amostrador passivo de NO₂ da Passam¹ utilizado neste estudo é baseado no descrito por Palmes (1979), onde não é necessária energia para sua operação; e a coleta do NO₂ por difusão molecular é realizada ao longo de um tubo inerte até um absorvente, que neste caso é a trietanolamina. O amostrador da Passam (LEPA, 1999) consiste num tubo de polipropileno de 9,5 mm de diâmetro interno e 7,4 cm de comprimento (Figura 10).



Legenda: Cap = Tampa; Steel Screens = Proteção Metálica;
Tube = Tubo; Stopper = Tampa Fixa.

Figura 10 - Representação esquemática de um amostrador passivo de NO₂. Fonte: LEPA/Passam, 1999.

Os amostradores passivos ao serem alocados nos locais de amostragem do presente estudo, foram colocados em uma espécie de abrigo de proteção, com uma abertura no fundo, para a entrada de ar, minimizando a influência do vento mais intenso conforme indicado por LEPA (1999). Este abrigo atua, também como um isolante térmico para que em altas ou baixas temperaturas, o amostrador passivo possa operar de forma mais adequada as características de temperatura de cada uma das localidades, neste caso a Cidade do Rio de Janeiro.

¹Passam (Laboratório de análises ambientais) – realizou as análises das amostras coletadas neste estudo.

As especificações técnicas do amostrador passivo de NO₂ utilizados neste estudo são apresentadas na tabela 6.

Tabela 6 - Especificações Técnicas de um amostrador Passivo de NO₂.

| | |
|-----------------------|--|
| Taxa de amostragem | 0.8536 ml/min corrigido a 9°C |
| Faixa de trabalho | 1 — 200 µg/m ³ |
| Tempo da amostragem | 1 — 4 Semanas |
| Limite de detecção | 0.3 µg/m ³ exposição quinzenal |
| Influências externas: | |
| Velocidade do vento | Influência da velocidade do vento < 10% acima de 4.5 m/s usando abrigo de proteção |
| Turbulência | Membrana recomendada |
| Temperatura | Sem influência entre 5 e 40°C |
| Umidade | Sem influência entre 20 e 80% |
| Armazenagem | Antes do uso: 24 meses após o uso: 6 meses |
| Sensibilidade cruzada | Óxido nítrico e dióxido de enxofre não interferem. Nitrato de peroxiacetil dará resultados mais altos |
| Incerteza expandida * | 19,0 % ao nível de concentração de 40 µg/m ³ |

FONTE: PASSAM/2015.

O cálculo das concentrações de NO₂ é realizado da seguinte forma, segundo a própria Passam 2015:

$$C_u = \frac{(m_d - m_b) \cdot 10^6}{SR \cdot t}$$

Onde: C_u: Concentração ambiente [µg/m³];

M_d: Massa absorvida [µg/m³];

M_b: Branco [µg/m³];

SR: Taxa de amostragem [%];

t: Tempo de exposição [horas];

A taxa de amostragem usada é 0,8536 ml/min a 9°C (= média anual na Suíça Central).

3.4. Campanhas de Amostragem

Como este estudo se destina a observar a representatividade das estações de monitoramento, tendo como estudo de caso as EMQAr's localizadas em Irajá, Bangu e Campo Grande foi realizada uma campanha de amostragem durante os períodos apresentados nas tabelas 7, 8 e 9 que também apresentam as coordenadas onde cada um dos amostradores passivos foram instalados.

Para a instalação dos amostradores passivos, foram previamente realizadas análises das rosas dos ventos geradas por meio do software WRPLOT, para os anos 2011 a 2014. As rosas dos ventos foram geradas para os períodos de 00h às 05h50, 06h às 11h50, 12h às 17h50, 18h às 23h50, nos trimestres de Janeiro a Março, Abril a Junho, Julho a Setembro e Outubro a Dezembro. As rosas dos ventos foram geradas a partir dos dados meteorológicos de direção e velocidade dos ventos registrados nas estações de interesse. Com estes, foi possível avaliar o comportamento do vento ao longo das estações do ano e ao longo do dia em cada região. Essas análises, juntamente às visitas a campo, foram fundamentais para a definição dos locais de instalação dos amostradores. As rosas dos ventos utilizadas para auxiliar no posicionamento dos amostradores estão apresentadas no ANEXO 1.

Após a avaliação das rosas dos ventos e com base na classificação das EMQAr, segundo a EPA (2005) e CETESB (2007), a instalação dos amostradores passivos foi realizada considerando uma distribuição para a classificação de média escala (distâncias de 100 a 500 m). Os amostradores foram instalados em pontos, tendo como referência central a localização da EMQAr, cobrindo um raio de 400 m.

Nas tabelas 5, 6 e 7 e nas figuras 11, 12 e 13, são apresentadas a localização e distribuição dos amostradores passivos instalados nas localidades de Irajá, Bangu e Campo Grande, respectivamente.

Tabela 7 - Localização dos amostradores passivos de NO₂ e da EMQAr em Irajá.

Fonte: Google Earth.

| Irajá | | | | |
|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| <i>Amostrador</i> | <i>Instalação</i> | <i>Retirada</i> | <i>Latitude</i> | <i>Longitude</i> |
| Ponto 1 | 29/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°49'50.43" S | 43°19'36.76"O |
| Ponto 2 | 29/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°49'54.06" S | 43°19'42.21"O |
| Ponto 3 | 29/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°50'01.41" S | 43°19'39.11"O |
| Ponto 4 | 29/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°50'05.84" S | 43°19'34.86"O |
| Ponto 5 | 29/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°50'02.09" S | 43°19'27.75"O |
| Ponto 6 | 29/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°50'03.22" S | 43°19'46.83"O |
| Ponto 7 | 29/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°49'57.43" S | 43°19'46.29"O |
| Ponto 8 | 29/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°49'49.82" S | 43°19'44.50"O |
| Ponto 9 | 29/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°49'45.63" S | 43°19'42.11"O |
| Ponto 10 | 29/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°49'37.36" S | 43°19'36.04"O |
| Ponto 11 | 29/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°49'44.08" S | 43°19'29.98"O |
| Ponto 12 | 29/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°49'49.67" S | 43°19'24.15"O |
| Estação Irajá | | | 22°49'53.71"S | 43°19'36.71"O |

Tabela 8 - Localização dos amostradores passivos de NO₂ e da EMQAr em Bangu. Fonte: Google Earth.

| Bangu | | | | |
|-------------------|--------------------|--------------------|-----------------|------------------|
| <i>Amostrador</i> | <i>Instalação</i> | <i>Retirada</i> | <i>Latitude</i> | <i>Longitude</i> |
| Ponto 1 | 25/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'09.71" S | 43°28'12.26" O |
| Ponto 2 | 25/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'16.10" S | 43°28'10.92" O |
| Ponto 3 | 25/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'20.81" S | 43°28'14.11" O |
| Ponto 4 | 25/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'20.21" S | 43°28'10.79" O |
| Ponto 5 | 25/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'09.88" S | 43°28'17.50" O |
| Ponto 6 | 25/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'16.42" S | 43°28'18.92" O |
| Ponto 7 | 25/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'16.47" S | 43°28'20.42" O |
| Ponto 8 | 25/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'15.71" S | 43°28'22.60" O |
| Ponto 9 | 25/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'13.35" S | 43°28'24.46" O |
| Ponto 10* | 25/jul/2016 | 24/ago/2016 | - | - |
| Ponto 11 | 25/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'27.24" S | 43°28'24.91" O |
| Ponto 12 | 25/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'09.56" S | 43°28'04.55" O |
| Estação Bangu | | | 22°53'16.53" S | 43°28'15.91" O |

*Amostrador perdido.

Tabela 9 - Localização dos amostradores passivos de NO₂ e da EMQAr em Campo Grande. Fonte: Google Earth.

| Campo Grande | | | | |
|----------------------|--------------------|--------------------|-----------------|------------------|
| <i>Amostrador</i> | <i>Instalação</i> | <i>Retirada</i> | <i>Latitude</i> | <i>Longitude</i> |
| Ponto 1 | 22/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'07.23"S | 43°33'22.76"O |
| Ponto 2 | 22/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'07.19"S | 43°33'17.90"O |
| Ponto 3 | 22/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'10.46"S | 43°33'20.60"O |
| Ponto 4 | 22/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'14.95"S | 43°33'19.37"O |
| Ponto 5 | 22/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'15.42"S | 43°33'23.52"O |
| Ponto 6 | 22/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'13.47"S | 43°33'27.12"O |
| Ponto 7 | 22/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'15.22"S | 43°33'30.42"O |
| Ponto 8 | 22/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'19.79"S | 43°33'28.75"O |
| Ponto 9* | 22/jul/2016 | 24/ago/2016 | - | - |
| Ponto 10 | 22/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'06.30"S | 43°33'23.09"O |
| Ponto 11 | 22/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'07.90"S | 43°33'28.31"O |
| Ponto 12 | 22/jul/2016 | 24/ago/2016 | 22°53'04.43"S | 43°33'17.08"O |
| Estação Campo Grande | | | 22°53'10.25"S | 43°33'24.12"O |

*Amostrador perdido.

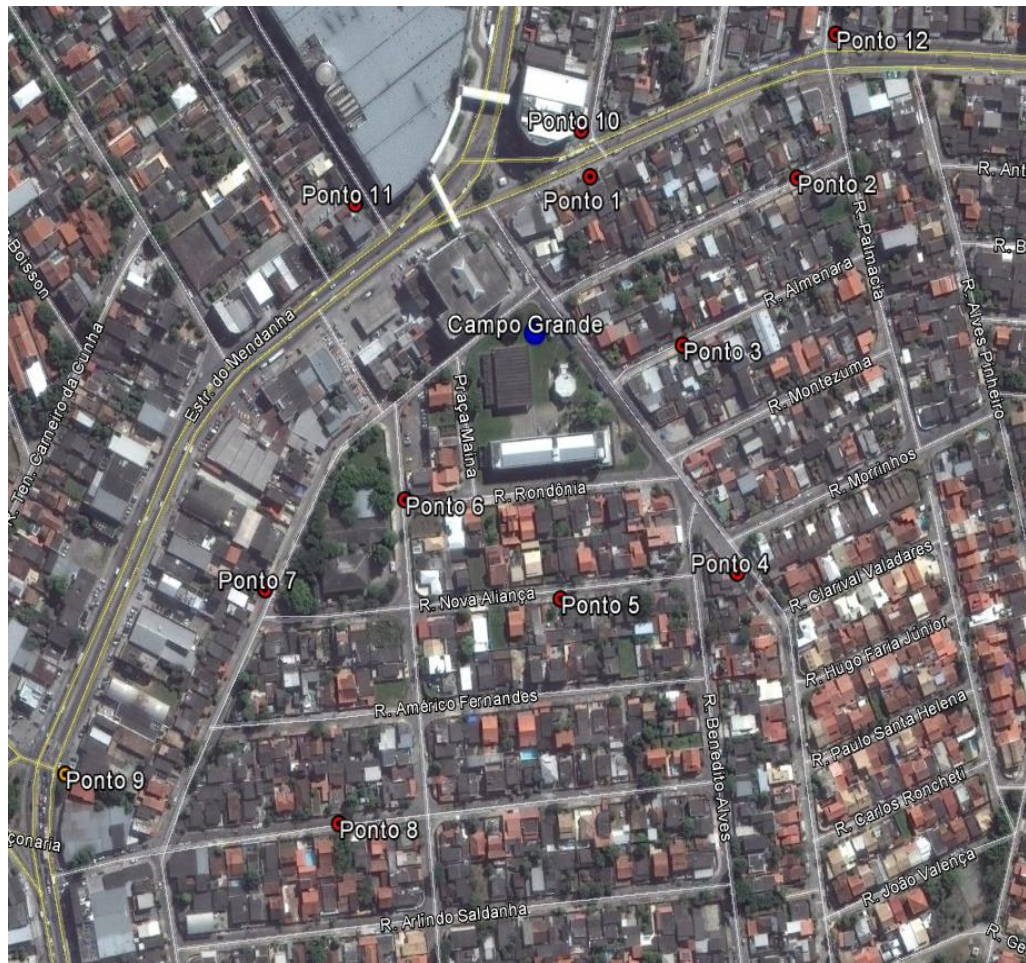


Figura 13 - Localização dos amostradores passivos de NO₂ e da EMQAR em Campo Grande, 2016. Fonte: Google Earth.

3.5. Análises realizadas

Os resultados apresentados pelos amostradores passivos foram comparados entre si e com os dados de concentração de NO₂ registrados nas EMQAr's. Para os dados medidos de forma contínua, na estação de monitoramento, foi realizada uma média dos dados do período em que os amostradores passivos ficaram expostos de modo a haver concordância entre as concentrações passivas e contínuas, técnica semelhante foi utilizado por Rosário, Pietro e Francesco (2016), conforme apresentado na revisão bibliográfica.

3.5.1. Caracterização Meteorologia

Para caracterização meteorológica dos períodos ao longo da campanha de amostragem, foi realizada uma análise das condições sinóticas através de imagens de satélite e cartas sinóticas. O objetivo avaliar as condições meteorológicas que podem causar e/ou influenciar alterações nas concentrações dos poluentes (MAIA, 2002).

As cartas sinóticas utilizadas foram disponibilizadas pela Marinha do Brasil² em dois horários, às 00z e 12Z (MARINHA DO BRASIL, 2016). As imagens de satélite foram disponibilizadas pelo Centro Previsão do Tempo e Estudos Climáticos³ (CPTEC, 2016), sendo disponibilizadas de 03 em 03 horas.

Os dados de precipitação considerados nas análises foram coletados em pluviômetros instalados nas EMQAr's, com frequência de amostragem de 10 em 10 minutos. Os dados pluviométricos coletados nas EMQAr's foram comparados com os dados dos pluviômetros do Sistema Alerta Rio⁴ (ALERTA RIO, 2016), tendo em vista o histórico mais longínquo de dados que estes pluviômetros possuem nestas localidades.

Para análise do campo de vento, utilizou-se os dados medidos nas EMQAr's das localidades. Estes dados possibilitaram a geração de rosas dos ventos, plotadas com o software WRPLOT.

² Marinha do Brasil - Disponível em <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/index.htm>>

³ Centro de Previsão e Estudos Climáticos – Disponível em <<http://www.cpte.inpe.br>>

⁴ Sistema Alerta Rio – Disponível em <<http://alertario.rj.gov.br>>

É importante ressaltar que os dados de vento foram medidos pelos sensores instalados a uma altura média de 10 m do solo, e utilizados com intervalo de 10 em 10 minutos. Ressalta-se que as rosas dos ventos são ferramentas importantes na compreensão do campo de vento predominante, da ocorrência de calmaria, assim como na percepção de áreas que possivelmente tais poluentes possam estar sendo transportados (PIMENTEL *et al.*, 2014).

3.5.2. Estatística Multivariada

Complementando o estudo, a técnica de estatística multivariada foi aplicada para a investigação da dependência entre as variáveis. A estatística multivariada permite a avaliação de fenômenos complexos, pois possibilita o tratamento de diversas variáveis simultaneamente, mesmo quando se desconhece o modelo teórico das relações entre as variáveis (BRUNS, 2001). As técnicas multivariadas podem ser utilizadas para reduzir ou simplificar estruturalmente os dados, classificar, agrupar e investigar a dependência entre variáveis (LOYOLA, 2012; BAKE, 2008).

Uma das ferramentas utilizadas, dentro da estatística descritiva, é a correlação de Spearman, que utiliza dados não-paramétricos ordinais de quando não se conhece a forma de distribuição exata dos valores (SIEGEL, 1975). Tal técnica permite analisar a correlação entre variáveis, e no caso do presente estudo, permite avaliar a correlação entre os pontos amostrados de forma passiva e a estação fixa de monitoramento da qualidade do ar. Segundo a literatura o valor limite para se estabelecer boas correlações parte de 0,7, sabendo que o valor dito “ideal” é 1,0 (NETO E MOITA, 1998)

Outra técnica utilizada, a análise de conglomerados, também chamada análise de cluster é uma técnica estatística que tem como objetivo principal formar grupos ou conglomerados homogêneos segundo suas características. Os objetos em cada conglomerado tendem a ser semelhantes entre si, porém diferentes dos demais objetos dos outros conglomerados. Os conglomerados obtidos devem apresentar tanto uma similaridade interna (dentro de cada conglomerado), assim como uma grande dissimilaridade externa (entre conglomerados). Em um gráfico, quando os objetos dentro

dos conglomerados estão muito próximos, e os conglomerados distintos estão afastados, pode-se dizer que a aglomeração foi bem-sucedida (HÄRDLE & SIMAR, 2007).

Para a formação dos agrupamentos existem vários métodos. O método utilizado neste trabalho foi o método “Ward”, também é denominado método da variância. Nesse método, a formação dos grupos se dá pela maximização da homogeneidade dentro dos grupos. A soma de quadrados dentro dos grupos é usada como medida de homogeneidade. Isto é, o método de Ward tenta minimizar a soma de quadrados dentro do grupo. Os grupos formados em cada passo, são resultantes de grupo solução com a menor soma de quadrados. Este procedimento hierárquico é considerado mais eficiente para dados de origem ambiental (BELLIDO, 1989; LOYOLA 2012).

O software Statistic 7.0 foi utilizado para o cálculo das Análises de Cluster (AC), com base na metodologia de Ward. Ele será útil para a construção das correlações entre os pontos amostrados passivamente e os dados da estação fixa de monitoramento da qualidade do ar de cada localidade. Através de tal análise poderá se detectar se os pontos amostrados apresentam relações homogêneas e/ou heterogêneas com o ponto da EMQAr.

Para se estabelecer a linha de corte para a formação dos grupos de maior similaridade ou dissimilaridade (homogêneos ou heterogêneos), o módulo dentro Statistic 7.0 utilizado para a construção do dendograma, foi o de Distância Euclidiana (VINCI e SOUZA, 2005). Assim, para o presente trabalho a linha de corte ficou estabelecida a uma distância de ligação de 2,5 para a formação dos assim grupos de similaridade e dissimilaridade.

Para auxiliar na confecção dos clusters via Statistic 7.0, as Micro Regiões (MR) foram definidas devido à pouca quantidade de dados fazendo com que a estatística multivariada se apresente como um indicador nos resultados deste estudo. Pois como informado, somente uma campanha de amostragem fora realizada. Assim, no sentido de viabilizar e confeccionar as análises estatísticas, os pontos foram separados em pequenos grupos de três (3) em cada uma das localidades, e foram chamados de Micro Regiões (MR). Buscou-se realizar uma relação por proximidade dos pontos entre si, para a formação destes pequenos grupos ou MR's, e em seguida da distância deste grupo formado em relação a estação fixa local. Assim as MR's formadas foram: **MR1** – segunda em proximidade da EMQAr; **MR2** – mais próxima a EMQAr; **MR3** – mais distante da EMQAr; **MR4** –

terceira em proximidade. Estas classificações contribuíram para a formação dos pequenos grupos, e conseqüentemente para que os Clusters pudessem ser confeccionados, e as análises pudessem ser efetuadas apresentando assim a correlação entre os pontos amostrados e a estação fixa local.

Ressalta-se que as análises estatísticas basearam-se em amostras de 13 (treze) pontos por localidade, tendo em vista o total de amostradores passivos disponíveis para o estudo, e dentro deste total estão subdivididos em doze (12) amostradores passivos e um (1) amostrador contínuo. O número “ideal” considerado seria por volta de 25 (vinte e cinco) pontos (NETO & MOITA, 1998), contudo, destaca-se que houveram estudos com um quantitativo menor de pontos e/ou medições que foram utilizados e produziram resultados satisfatórios (LOYOLA, 2012).

3.5.3. Mapa gradiente de poluição

O método utilizado para a plotagem dos gradientes de concentração de poluentes foi o de Krig. A krigagem, como usualmente é conhecido, constitui-se de um método de estimação linear e local, efetuado dentro de vizinhanças estacionárias, que procura minimizar, sem viés, o erro de estimação (JOURNEL E HUIJBREGTS, 1978).

Para a avaliação espacial das concentrações de NO₂ foi utilizado o software ArcGis Pro, utilizando a metodologia de Kriging para a interpolação. Foram plotados mapas gradientes de poluição do ar com as concentrações medidas de NO₂ em cada um dos pontos de amostragem passiva e contínua, de modo a se observar o comportamento do gradiente das concentrações do poluente em cada uma das localidades.

O método de Kriging utilizado para a plotagem dos mapas, assume que, pelo menos, algumas das variações espaciais observadas nos fenômenos naturais podem ser modeladas por processos aleatórios com autocorrelação espacial e requerem que a autocorrelação espacial seja explicitamente modelada. O método pode ser usado para descrever e modelar padrões espaciais, prever valores em locais não medidos e avaliar a incertezas associadas a um valor previsto nos locais não medidos (ARCGIS PRO, 2017).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterização Meteorológica

O período utilizado para a caracterização das condições sinóticas foi de 22/07/2016, data quando o primeiro amostrador foi instalado, até 24/08/2016, dia quando o último amostrador foi retirado.

A Alta Subtropical do Atlântico Sul – ASAS, predominou durante todo o período de análises, este período, julho - agosto foi selecionado devido a influência que este fenômeno proporciona, tais como: condições de céu-claro, ventos fracos, além de contribuir na inibição do avanço de sistemas frontais sobre a região. Porém ao longo deste período foram registradas cinco passagens de sistemas frontais que provocaram chuvas em diversos setores da Cidade. Importante ressaltar que as médias de chuvas para a Cidade estão baseadas nas médias históricas fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), tabela 9.

Após a passagem das frentes frias, quando o sistema de alta pressão, que vem após a frente fria, se posiciona sobre o oceano alinhado a costa do Rio de Janeiro, de tal forma que os ventos oriundos de sua circulação advectam sobre o continente a umidade do oceano, deixam o tempo instável. Logo, enquanto houver presença de nebulosidade e de instabilidade, a umidade vinda do oceano evidencia a condição predominante, mantendo o tempo nublado com breves períodos de sol e chuvas eventuais (OLIVEIRA E JUSTI DA SILVA, 2000). Tais condições tendem a influenciar nas concentrações dos poluentes causando variação nas medidas.

Ressalta-se que as condições meteorológicas observadas durante a campanha de monitoramento são inerentes a dinâmica atmosférica da Cidade do Rio de Janeiro para esta época do ano, não sendo este um padrão anômalo.

Na figura 14, como exemplo, uma imagem de satélite e uma carta sinótica, do dia 10/08/2016, data esta que foi registrada a passagem de um sistema frontal pelo Município.

A passagem deste sistema frontal deixou a atmosfera instável, com registros de precipitação ao longo de todo o dia no Município do Rio de Janeiro. Os acumulados de precipitação do período estudado serão apresentados na tabela 9, apresentando os dados de precipitação das proximidades das estações de monitoramento.

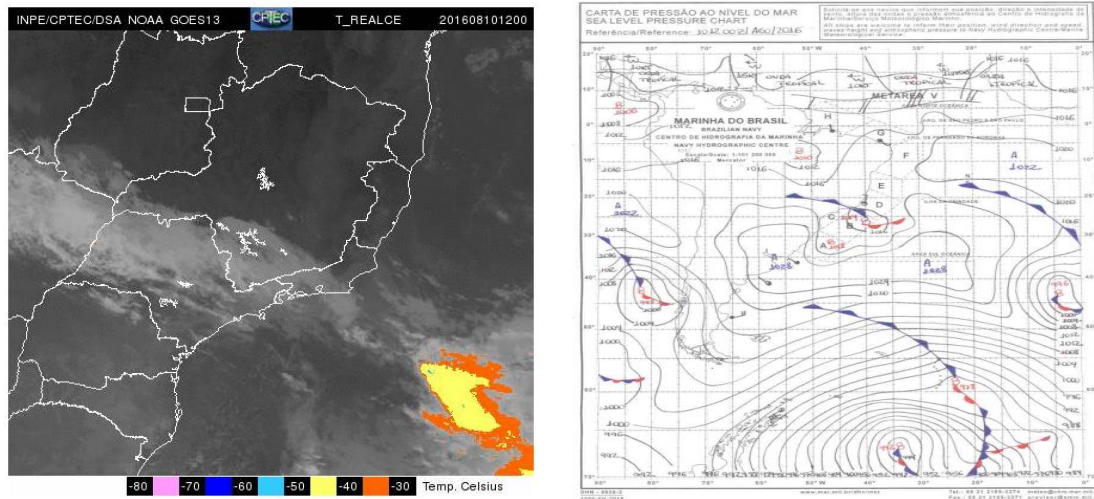


Figura 14 - Imagem de Satélite e Carta Sinótica dia 10/08/2016 às 12Z.

A tabela 10 apresenta uma síntese dos fenômenos meteorológicos atuantes ao longo do período de amostragem. A determinação dos fenômenos atuantes foi feita a partir da análise das cartas sinóticas e imagens de satélite.

Tabela 10 – Síntese das condições sinóticas atuantes no Município entre 22/07/2016 a 24/08/2016.

| FENÔMENO METEOROLÓGICO | PERÍODO DE ATUAÇÃO |
|---|---|
| Alta Pressão – Tempo estável com predomínio de sol e pouca nebulosidade. | 22/07 a 26/07; 30/07 a 02/08; 05/08 a 07/08; 13/08 a 15/08; 17/08 a 20/08; 23/08 e 24/08. |
| Frente Fria – Céu nublado a encoberto, com chuva. | 28/07; 03/08; 08/08; 10/08; 21/08. |
| Alta Pressão pós-frontal produzindo efeitos de circulação transportando umidade do oceano para o continente, mantendo o tempo instável. | 29/07; 04/08; 09/08; 11/08 e 12/08; 22/08. |
| Áreas de Instabilidade – Céu nublado a parcialmente nublado com chuvas ou não devido a condições dinâmicas ou termodinâmicas. | 27/07; 16/08. |

Fonte: SMAC/2016.

Os índices de precipitação acumulados nas estações Irajá, Bangu e Campo Grande estão apresentados na tabela 11, juntamente com os acumulados históricos. Na estação Irajá o acumulado de precipitação foi de 41,8 mm, na estação de Bangu 50,0 mm e em Campo Grande 48,2 mm. Estes valores de acumulado para esta época, associados principalmente a entrada dos sistemas frontais, quando comparados a média histórica do Sistema Alerta Rio entre 1997 - 2016 (tabela 11) para estas localidades, estiveram acima do esperado. Vale destacar que a precipitação é uma das principais variáveis meteorológicas responsáveis pela “remoção” dos poluentes da atmosfera (SEINFELD, 1986).

Tabela 11 – Comparativo dos acumulados de precipitação com a média histórica.

| Localidades | Registro de Chuvas ao longo do período amostrado | Média histórica para o mês de Julho. | Média histórica para o mês de Agosto. |
|--------------------|---|---|--|
| Irajá | 41,8 mm | 37,8 mm | 19,2 mm |
| Bangu | 50,0 mm | 39,4 mm | 22,3 mm |
| Campo Grande | 48,2 mm | 51,0 mm | 33,1 mm |

Fonte: SMAC/2016 e Sistema Alerta Rio/2016.

As rosas dos ventos apresentadas na figura 15 para o período revelam que as direções predominantes para as localidades estudadas foram: **Irajá – Leste; Bangu – Leste; e Campo Grande – Nordeste**. Foi possível observar também que em todas as estações o vento mais intenso, para todo o período analisado foi no sentido Sudoeste. Possivelmente, esta direção Sudoeste, esteve associado a passagem dos sistemas frontais registrados anteriormente.

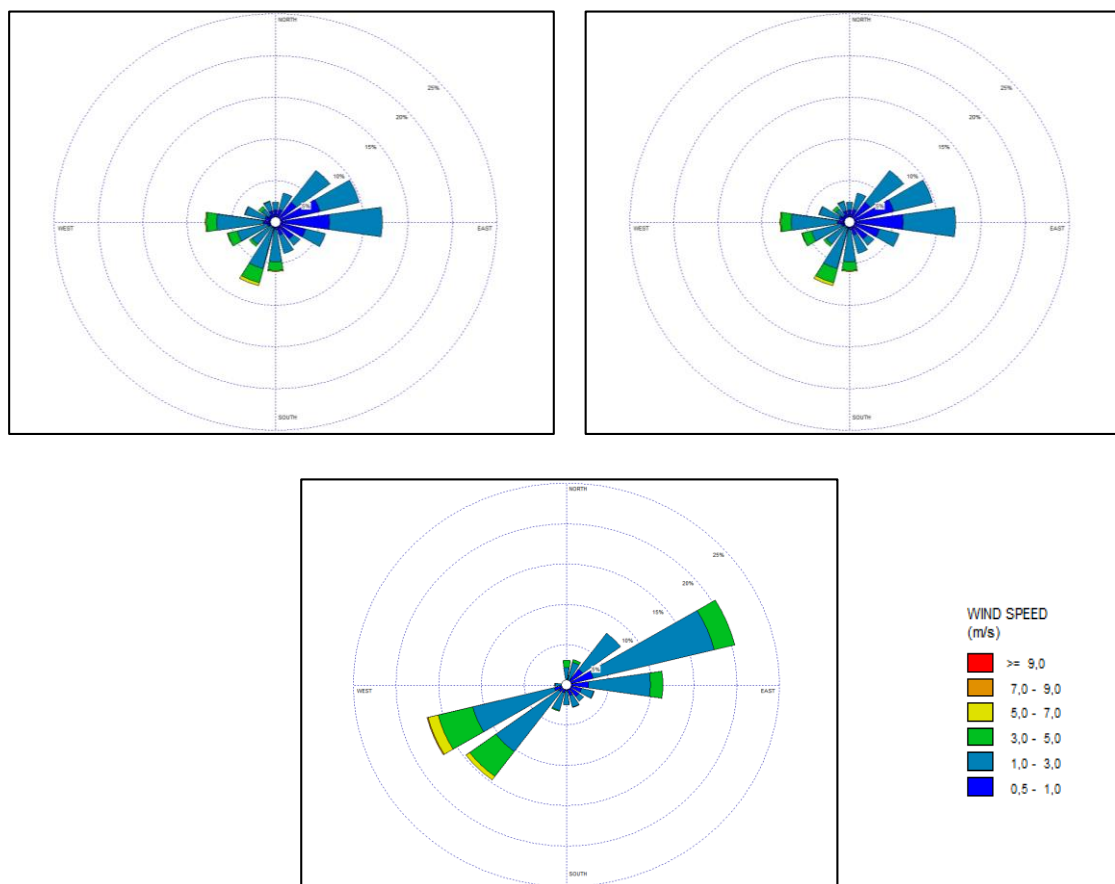


Figura 15 – Rosa dos ventos nas estações de Irajá, Bangu e Campo Grande no período estudado.

As análises dos ventos de acordo com as estações do ano demonstram uma constância no predomínio das direções de vento nas localidades estudadas, que podem ser sintetizadas na tabela 12. Estas informações são de grande relevância, pois apresentam de onde possivelmente o transporte de poluentes pode estar vindo e para onde estão sendo transportados.

Tabela 12 – Direção predominante do vento ao longo do período 2011 – 2014.

| Trimestres/Estações | Irajá | Bangu | Campo Grande |
|---------------------|-----------|-------------------------------------|-------------------|
| Janeiro – Março | Nordeste | Oeste/Leste, passando a Sudeste | Nordeste/Sudoeste |
| Abril - Junho | Oeste/Sul | Oeste/Leste, passando a Sudeste. | Nordeste/Sudoeste |
| Julho – Setembro | Leste | Oeste/Sudeste | Nordeste/Sudoeste |
| Outubro – Dezembro | Leste | Oeste/Sudeste | Nordeste/Sudoeste |

4.2. Comparação entre as amostragens passivas de NO₂ e os dados de monitoramento contínuo das Estações

As concentrações de NO₂ registrada pelos amostradores passivos durante o período do estudo e o verificado nas EMQAr de Irajá, Bangu e Campo Grande podem ser observadas nas figuras 15, 18 e 20. Vale destacar que os métodos de monitoramento ativo (contínuo) e passivo apresentam diferenças em suas metodologias, o que poderia dificultar a comparação direta, porém, Rosário, Pietro e Francesco (2016), Cruz e Campos (2008) e Vieira (2012) realizaram comparações dessa natureza.

Irajá

No entorno da estação Irajá (Figura 15), os pontos de amostragem que apresentaram as maiores concentrações estão próximos as vias de grande fluxo veicular, com alta movimentação de veículos leves e pesados. Conforme caracterização apresentada, o bairro possui uma área comercial, associado a um grande número de residências, fazendo com que os dados amostrados nestes pontos com concentrações mais elevadas tenham uma relevância nas análises, devido ao impacto que as altas concentrações deste poluente podem causar a população exposta.

Para fins de comparação, entre a concentração de NO₂ medida na estação e o ponto de amostragem passiva com maior concentração, ponto 11 (figura 16), a diferença foi da ordem de 173,3% maior para o amostrador passivo. O ponto 11, (figura 17) esteve a uma

distância de aproximadamente 330 m da EMQAr, próximo a um posto de combustíveis e exposto em uma das principais vias de circulação de veículos da região, a Estrada da Água Grande. Tais condições de exposição podem de fato ter contribuído para as altas concentrações registradas no amostrador.

O ponto 3, segunda maior concentração registrada, com $96,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ apresenta uma concentração 155,8% maior do que a amostrada na EMQAr (figura 17) e a uma distância de aproximadamente 257 m a sudoeste da estação fixa. Este ponto instalado na Estrada da Água Grande, encontrava-se próximo a um ponto de ônibus.

Outro fator a ser destacado está na barra de erros associados aos dados de amostragem passiva, que está em torno de 25% para cada uma das medidas, diferentemente do erro embutido nos dados medidos no analisador contínuo da EMQAr, onde o erro é próximo a zero. Assim, ressalta-se que os dados podem estar próximos a uma realidade das medições da estação fixa local em Irajá, principalmente nos pontos de maiores concentrações conforme destacado acima, ou até maiores que os registrados, tendo em vista que este erro varia tanto para cima, como para baixo.

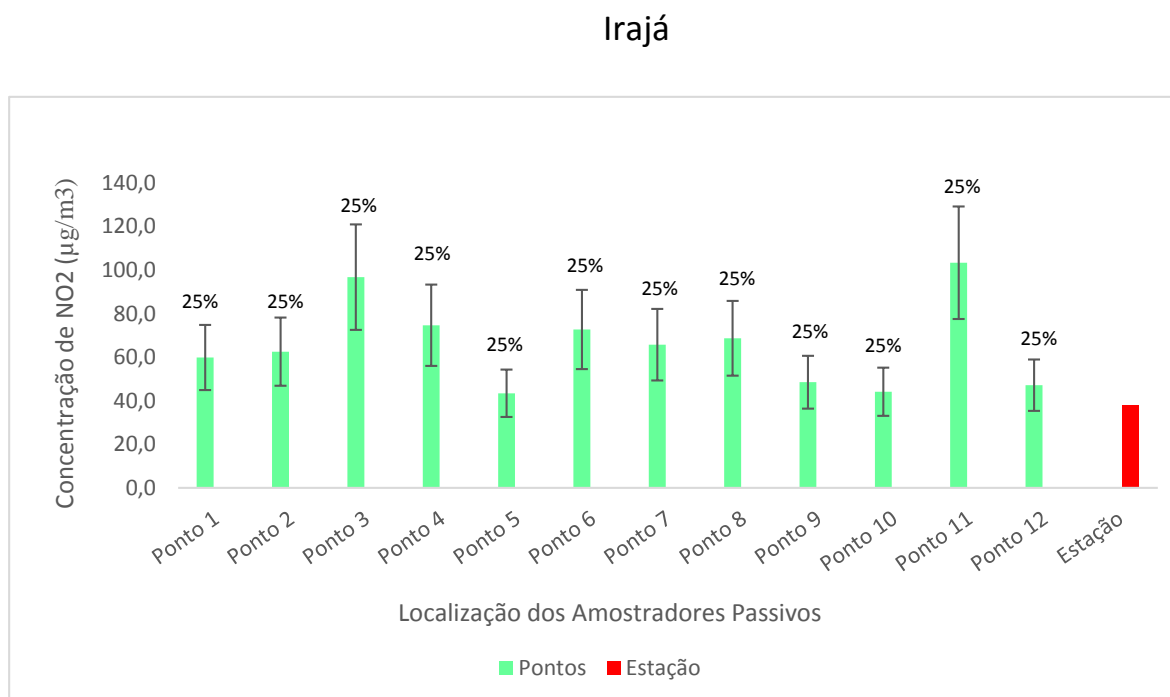


Figura 16 – Comparação das concentrações passivas, com as concentrações contínuas para a Estação Irajá.

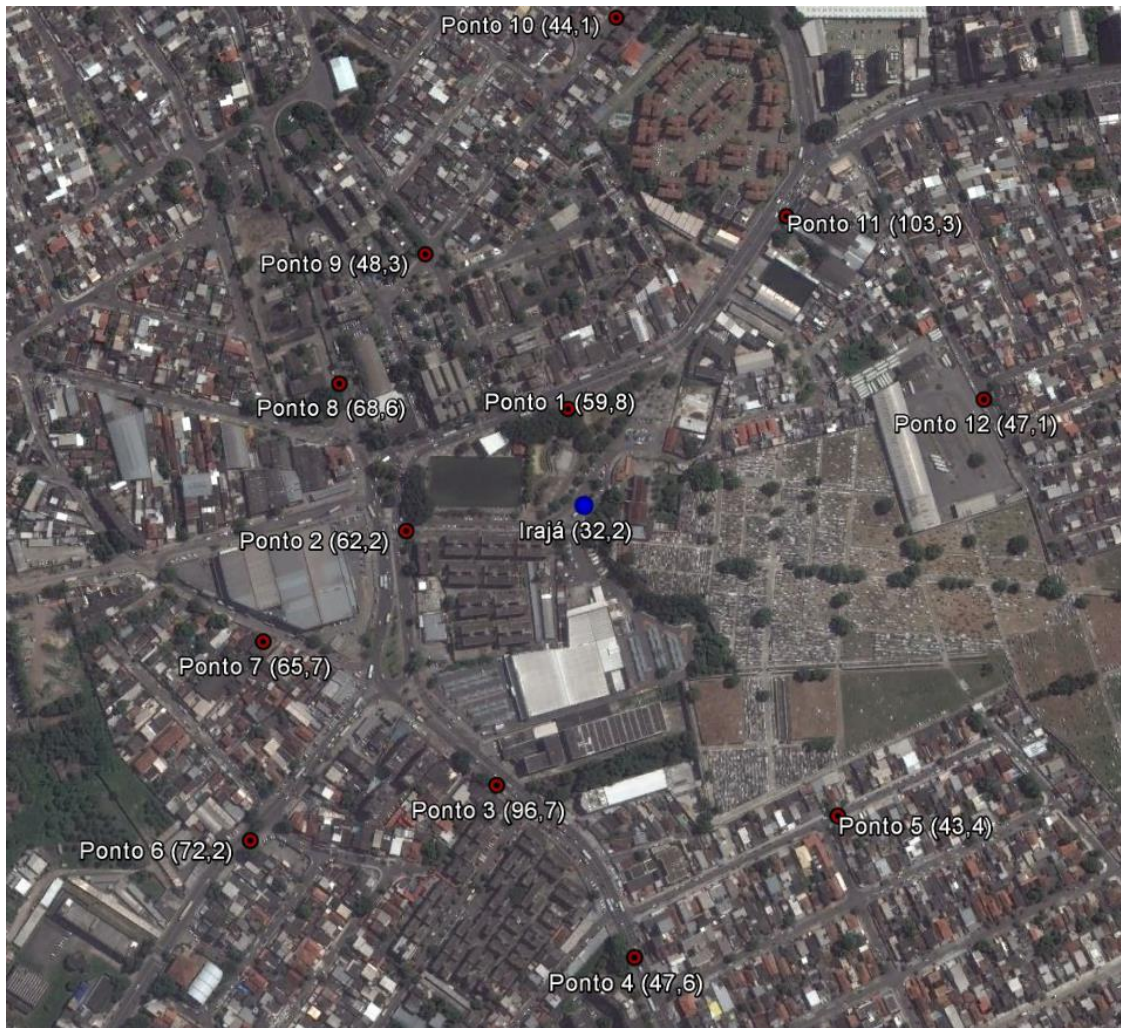


Figura 17 - Localização dos amostradores passivos e concentrações de NO₂ em Irajá.

Bangu

Bangu é um bairro de predominância residencial, contudo nas proximidades, a norte da EMQAr, há vias com fluxo veicular pesado. Quando analisados os dados de concentração de NO₂, nota-se que os pontos a norte foram os que registraram as maiores concentrações do poluente, medidos através dos amostradores passivos. Foi possível verificar que as concentrações mais elevadas estiveram entre 10 e 20 µg/m³ maiores que o valor registrado na EMQAr.

As figuras 18 e 19 apresentam as comparações entre as concentrações medidas passivamente e de modo contínuo. As três maiores concentrações registradas, estiveram localizadas a norte e nordeste da EMQAr Bangu, sendo estes pontos de amostragem situados em uma via de grande fluxo da região, a rua Rio da Prata, onde estiveram instalados os pontos 1, 12 e 5, tais pontos estão a uma distância de 222,7 m, 377,7 m e 202,5 m, respectivamente. Ou seja, todos os pontos estão localizados a mais de 200 m da estação de monitoramento. E os percentuais superiores ao registrado de forma contínua são da ordem de 56,2% (ponto 1); 48,6% (ponto 12) e 33,0% (ponto 5).

Em Bangu a barra de erros dos amostradores passivos esteve em torno de 25%, tendendo assim a uma possível leitura dos dados medidos passivamente para uma realidade mais próxima dos dados medidos na EMQAr local, onde o erro estimado esteve próximo a zero.

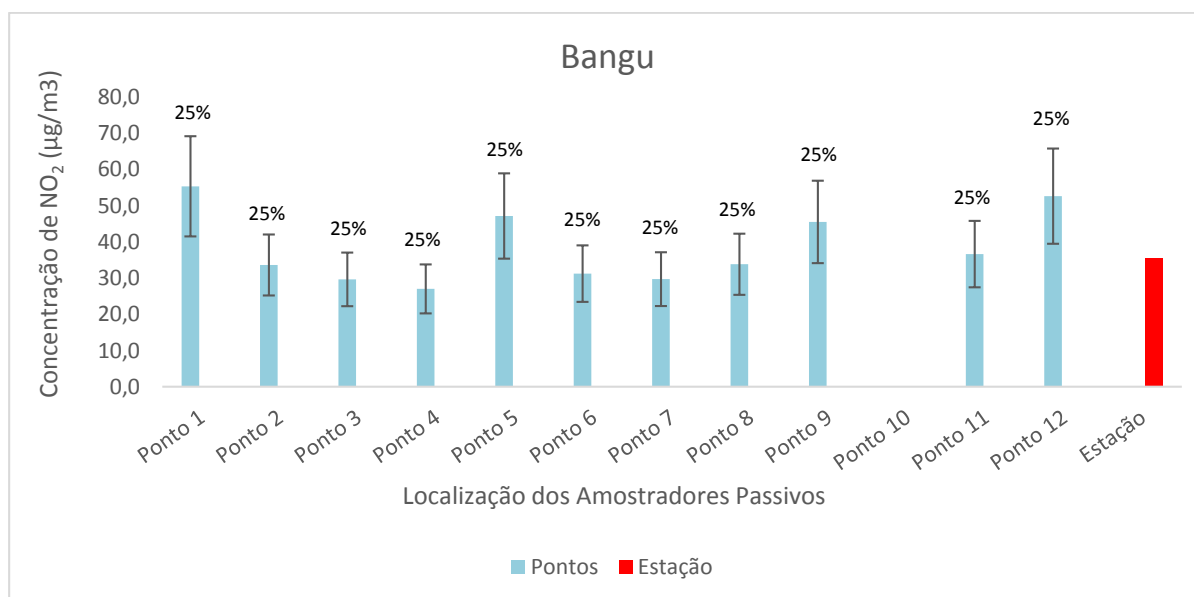


Figura 18 - Comparação das concentrações passivas, com as concentrações contínuas para a Estação Bangu.



Figura 19 – Localização do Amostrador Passivo e concentração do poluente NO₂ em Bangu.

Campo Grande

A estação Campo Grande, está localizada, em um ponto de divisão do bairro, com áreas comerciais e residências. Na área onde o comércio é mais ativo, há importantes vias de tráfego, com circulação de veículos leves e pesados. Tais vias estão localizadas, principalmente nos setores norte e nordeste da EMQAr. Nestes setores foram registradas as maiores concentrações de NO₂, através da amostragem passiva, com valores até 100,9% maiores que os identificados nos amostradores contínuos da EMQAr.

Segundo as figuras 20 e 21, no que tange as três maiores concentrações do poluente NO₂, estes foram encontrados nos pontos: 11 – 57,1 µg/m³, 1 – 64,7 µg/m³ e 12 – 50,2 µg/m³, localizadas a 140,6 m, 99,7 m e 266,5 m da estação, respectivamente. Vale destacar que a maior concentração registrada ocorreu no setor norte (ponto 1) em relação a EMQAr, porém, assim como nas outras localidades estudadas, os pontos em destaque estão próximos a corredores de tráfego da região, neste caso a Estrada do Mendanha. Também é importante ressaltar que a concentração encontrada na EMQAr Campo Grande registrou valores de 10 a 20 µg/m³ menores do que os verificados demais pontos destacados.

Em Campo Grande a barra de erros em torno de 25%, tende a produzir efeito semelhante ao detectado nas localidades de Irajá e Bangu, o que significa que as leituras medidas passivamente, tendem a estar mais próxima as medidas da EMQAr local variando para mais ou para menos, ressaltando que o erro referente ao dado medido pela estação fixa não é medido, pois está próximo a zero.

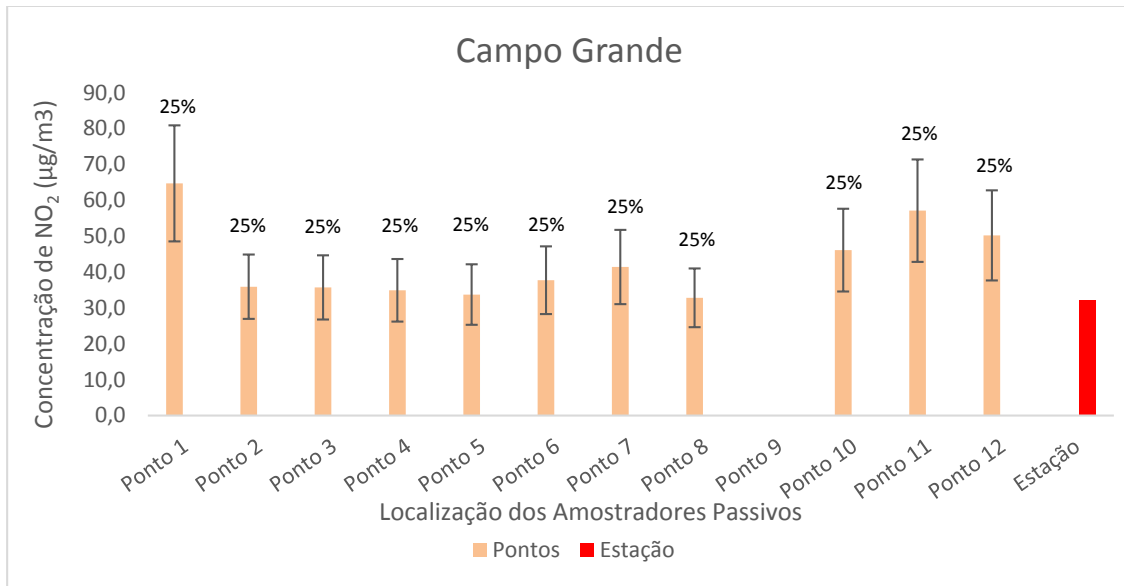


Figura 20 - Comparação das concentrações passivas, com as concentrações contínuas para a Estação Campo Grande.

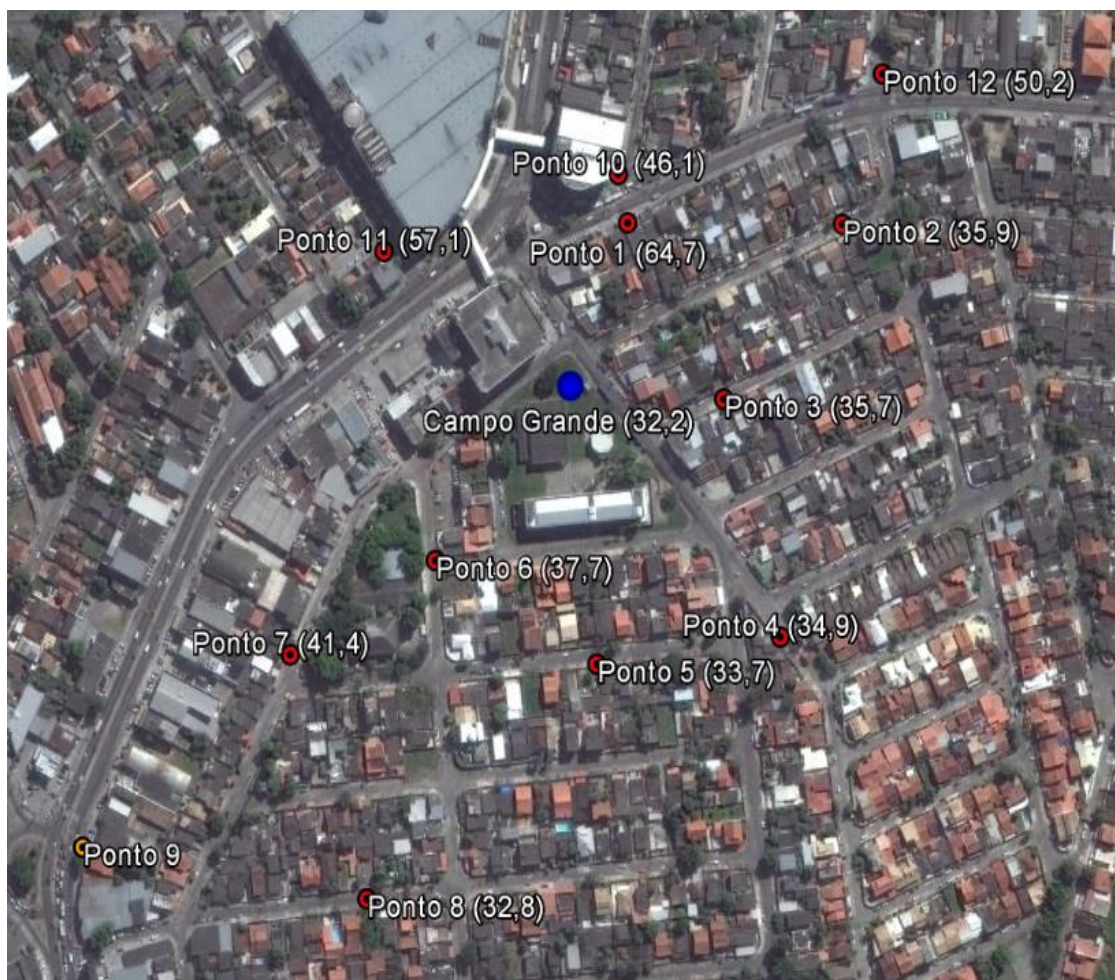


Figura 21 - Localização do Amostrador Passivo e concentração do poluente NO₂ em Campo Grande.

4.3. Análises Estatísticas

Reforçando que as análises estatísticas funcionaram como um indicador, tendo em vista o volume de dados estudados. Primeiramente, serão apresentadas as Micro Regiões (MRs), que consistem num agrupamento de amostradores passivos em 3 a 3. As tabelas 13, 14 e 15 apresentam as concentrações de NO₂ registradas nas MRs, e sua proximidade com relação a EMQAR local, ou seja, há uma MR mais próxima da estação onde chama-se de MR1, uma em segunda mais próxima, que seria a MR 2, até a MR 4, que seria a área de amostragem, mais distante da estação fixa local. Os códigos são referentes aos pontos onde os amostradores passivos foram alocados. Uma outra informação importante é que cada MR, refere-se a um grupo de amostradores passivos.

Tabela 13 – Micro regiões apresentadas em concordância com os amostradores passivos da localidade de Irajá.

| Localidade | Código amostrador | Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Micro região 1 (2° + perto da fixa) |
|------------|-------------------|---|--|
| Irajá | Ponto 10 | 44,1 | |
| Irajá | Ponto 11 | 103,3 | |
| Irajá | Ponto 12 | 47,1 | |
| Irajá | SMAC | 37,8 | |

| Localidade | Código amostrador | Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Micro região 2 (+ perto da fixa) |
|------------|-------------------|---|-------------------------------------|
| Irajá | Ponto 9 | 48,5 | |
| Irajá | Ponto 8 | 68,6 | |
| Irajá | Ponto 1 | 59,8 | |
| Irajá | SMAC | 37,8 | |

| Localidade | Código amostrador | Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Micro região 3 (+distante da fixa) |
|------------|-------------------|---|---------------------------------------|
| Irajá | Ponto 3 | 96,7 | |
| Irajá | Ponto 4 | 74,6 | |
| Irajá | Ponto 5 | 43,4 | |
| Irajá | SMAC | 37,8 | |

| Localidade | Código amostrador | Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Micro região 4 (3° + perto da fixa) |
|------------|-------------------|---|--|
| Irajá | Ponto 2 | 62,5 | |
| Irajá | Ponto 7 | 65,7 | |
| Irajá | Ponto 6 | 72,6 | |
| Irajá | SMAC | 37,8 | |

Tabela 14 - Micro regiões apresentadas em concordância com os amostradores passivos da localidade de Bangu.

| Localidade | Código amostrador | Concentração (µg/m³) | Micro região 1 (2° + perto da fixa) |
|-------------------|--------------------------|--|--|
| Bangu | Ponto 5 | 47,1 | |
| Bangu | Ponto 1 | 55,3 | |
| Bangu | Ponto 12 | 52,6 | |
| Bangu | SMAC | 35,4 | |

| Localidade | Código amostrador | Concentração (µg/m³) | Micro região 2 (+ perto da fixa) |
|-------------------|--------------------------|--|-------------------------------------|
| Bangu | Ponto 7 | 29,7 | |
| Bangu | Ponto 8 | 33,8 | |
| Bangu | Ponto 6 | 31,2 | |
| Bangu | SMAC | 35,4 | |

| Localidade | Código amostrador | Concentração (µg/m³) | Micro região 3 (+distante da fixa) |
|-------------------|--------------------------|--|---------------------------------------|
| Bangu | Ponto 11 | 36,6 | |
| Bangu | Ponto 10 | - | |
| Bangu | Ponto 9 | 45,5 | |
| Bangu | SMAC | 35,4 | |

| Localidade | Código amostrador | Concentração (µg/m³) | Micro região 4 (3° + perto da fixa) |
|-------------------|--------------------------|--|--|
| Bangu | Ponto 2 | 33,6 | |
| Bangu | Ponto 4 | 27,0 | |
| Bangu | Ponto 3 | 29,6 | |
| Bangu | SMAC | 35,4 | |

Tabela 15 - Micro regiões apresentadas em concordância com os amostradores passivos da localidade de Campo Grande.

| Localidade | Código amostrador | Concentração (µg/m³) | Micro região 1 (2° + perto da fixa) |
|-------------------|--------------------------|--|--|
| Campo Grande | Ponto 12 | 50,2 | |
| Campo Grande | Ponto 2 | 35,9 | |
| Campo Grande | Ponto 10 | 46,1 | |
| Campo Grande | SMAC | 32,2 | |

| Localidade | Código amostrador | Concentração (µg/m³) | Micro região 2 (+ perto da fixa) |
|-------------------|--------------------------|--|-------------------------------------|
| Campo Grande | Ponto 1 | 64,7 | |
| Campo Grande | Ponto 3 | 35,7 | |
| Campo Grande | Ponto 11 | 57,1 | |
| Campo Grande | SMAC | 32,2 | |

| Localidade | Código amostrador | Concentração (µg/m³) | Micro região 3 (+distante da fixa) |
|-------------------|--------------------------|--|---------------------------------------|
| Campo Grande | Ponto 8 | 32,8 | |
| Campo Grande | Ponto 7 | 41,4 | |
| Campo Grande | Ponto 9 | - | |
| Campo Grande | SMAC | 32,2 | |

| Localidade | Código amostrador | Concentração (µg/m³) | Micro região 4 (3° + perto da fixa) |
|-------------------|--------------------------|--|--|
| Campo Grande | Ponto 6 | 37,7 | |
| Campo Grande | Ponto 5 | 33,7 | |
| Campo Grande | Ponto 4 | 34,9 | |
| Campo Grande | SMAC | 32,2 | |

4.3.1. Correlações de Spearman

Para as MRs foram calculados os coeficientes de correlação de Spearman, com um nível de significância de 95%, para se obter uma informação inicial sobre as principais correlações entre os amostradores e a estação fixa local, em cada uma das localidades de amostragem.

As correlações entre as variáveis identificadas na tabela 16 para a região de Irajá apresentam um resultado excelente entre o MRIJ2 e IJPref (1,00), ou seja, entre os amostradores alocados na MRIJ2 e a estação fixa de monitoramento da qualidade do ar local. Nota-se que na tabela, o valor encontrado é o equivalente ao dele, comparado com ele mesmo.

Há correlações inversas conforme as encontradas entre as próprias micro regiões, exemplo MRIJ1 e MRIJ4 (-0,99), porém foge ao objetivo do estudo em correlacionar as MRs com a EMQAr local.

Tabela 16 - correlação entre as MRs e a EMQAr local (IJPref)

| | MRIJ1 | MRIJ2 | MRIJ3 | MRIJ4 | IJPref |
|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| MRIJ1 | 1,00 | 0,53 | 0,10 | -0,99 | 0,54 |
| MRIJ2 | 0,53 | 1,00 | -0,79 | -0,42 | 1,00 |
| MRIJ3 | 0,10 | -0,79 | 1,00 | -0,22 | -0,78 |
| MRIJ4 | -0,99 | -0,42 | -0,22 | 1,00 | -0,43 |
| IJPref | 0,54 | 1,00 | -0,78 | -0,43 | 1,00 |

Para Bangu, os resultados da tabela 17 apontam que a MRBG1, possui a melhor correlação (0,94) com a estação fixa da localidade (BGPref) isto sem desconsiderar a MRBG2 que também apresentou uma boa correlação (0,79), ou seja, os pontos alocados na MRBG2 se correlacionam bem com a EMQAr local.

Outro fato a ser destacado em Bangu é que as correlações entre as MRs também se apresentaram boas, como por exemplo, a MRBG2 e MRBG3 (0,96), exemplificando que entre os pontos amostrados também houve correlações significativas.

Tabela 17 - Correlação entre as MRs e a EMQAr local (BGPref)

| | MRBG1 | MRBG2 | MRBG3 | MRBG4 | BGPref |
|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| MRBG1 | 1,00 | 0,95 | 0,82 | -1,00 | 0,94 |
| MRBG2 | 0,95 | 1,00 | 0,96 | -0,97 | 0,79 |
| MRBG3 | 0,82 | 0,96 | 1,00 | -0,86 | 0,59 |
| MRBG4 | -1,00 | -0,97 | -0,86 | 1,00 | -0,92 |
| BGPref | 0,94 | 0,79 | 0,59 | -0,92 | 1,00 |

Os resultados de correlação identificados na região de Campo Grande, segundo a tabela 18, não apresentam boas correlações com a EMQAr, a melhor correlação ocorreu entre MRCG3 e CGPref (0,58), o que não corresponde a um bom resultado para este tipo de análise.

Entre as demais MRs houveram até correlações boas, como a MRCG 1 e a MRCG4 (0,90), indicando que mesmo que a correlação com a estação local, que era o objetivo não se apresentou da forma esperada, houve correlação entre algumas MRs.

Tabela 18 - Correlação entre as MRs e a EMQAr local (CGPref)

| | MRCG1 | MRCG2 | MRCG3 | MRCG4 | CGPref |
|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| MRCG1 | 1,00 | 1,00 | 0,14 | 0,90 | -0,72 |
| MRCG2 | 1,00 | 1,00 | 0,17 | 0,88 | -0,70 |
| MRCG3 | 0,14 | 0,17 | 1,00 | -0,31 | 0,58 |
| MRCG4 | 0,90 | 0,88 | -0,31 | 1,00 | -0,95 |
| CGPref | -0,72 | -0,70 | 0,58 | -0,95 | 1,00 |

A análise de estatística multivariada baseada nas correlações de Sperman, se apresentaram como um bom indicador de representatividade das estações fixas quando relacionadas com os agrupamentos de amostradores passivos. Ou seja, significa dizer que dentre os pontos amostrados de forma passiva para as localidades de Irajá, Bangu e Campo Grande e correlacionando estas com a estações fixas de monitoramento existente em cada uma das localidades, obteve-se que nas duas primeiras (Irajá e Bangu) uma boa correlação em alguns setores, demonstrando que as estações fixas apresentam uma representatividade sobre as localidades estudadas. Para a região de Campo Grande, as

análises estatísticas não apresentam uma boa correlação, logo uma representatividade baixa pode ser detectada, em relação aos pontos amostrados de forma passiva na região.

4.3.2 Análises de Cluster

A análise de cluster (figura 22) resultante que os dados oriundos do monitoramento realizado em Irajá formaram quatro grupos que deram base ao cálculo. O primeiro grupo formado por Irajá EMQAr (IJPref) e Micro região Irajá 2 (MRIJ2) apresentaram uma distância de ligação pequena, com valores próximos a zero, o que conseqüentemente indica uma maior similaridade entre elas, ou seja, uma boa correlação. E estas duas encontram-se ligadas a variável da Micro região Irajá 1 (MRIJ1) com distância de ligação maior apresentando assim uma maior dissimilaridade em relação ao primeiro grupo (IJPref e MRIJ2), porém com a linha de corte estabelecida em 2, esta encontra-se no grupo com boa similaridade, formando o grupo dois [MRIJ1, (IJPref e MRIJ2)]. E um terceiro grupo formado foi composto pelas Micros regiões Irajá 3 e 4 (MRIJ3 e MRIJ4) com distância de ligação maior que a dois, porém ainda abaixo da linha de corte o que contribui para uma boa similaridade entre elas. E o quarto grande grupo seria {(MRIJ3 e MRIJ4); [MRIJ1, (IJPref e MRIJ2)]}, contudo, neste grupo a dissimilaridade se torna grande, tendo em vista a linha de corte estabelecida. Assim, pode-se dizer que os grupos um e dois se correlacionam bem, o grupo três mesmo com boa similaridade, não se correlaciona bem com os grupos um e dois.

As análises de cluster para a região de Irajá, utilizando o poluente NO₂ como referência, demonstraram que de maneira geral a estação representa bem a região estudada. Nota-se que os pontos localizados a norte apresentaram uma melhor similaridade e correlação do que os pontos amostrados a sul (figura 23).

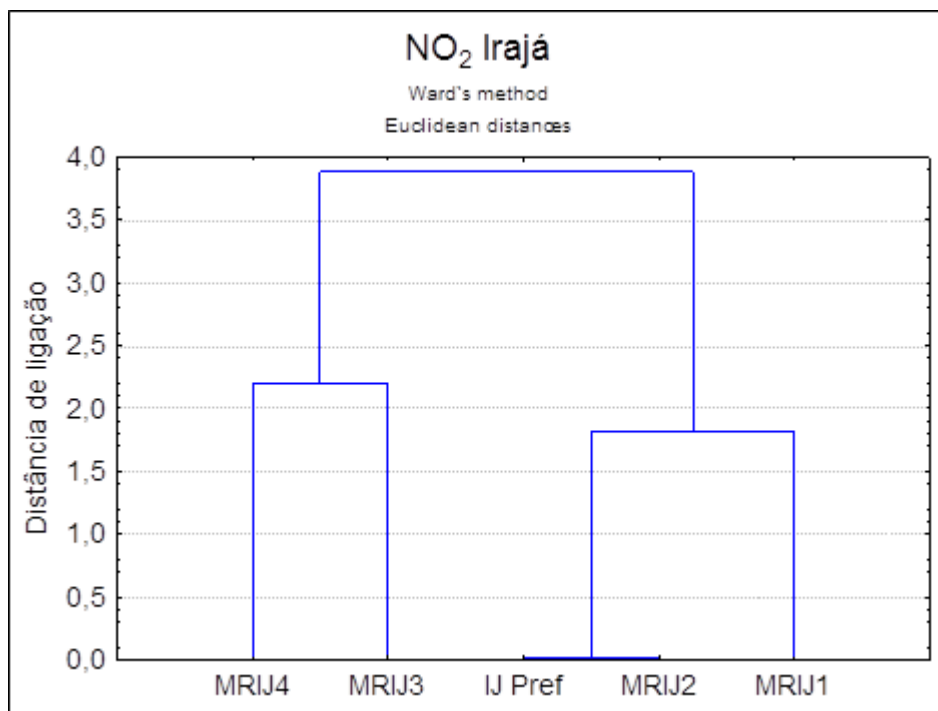
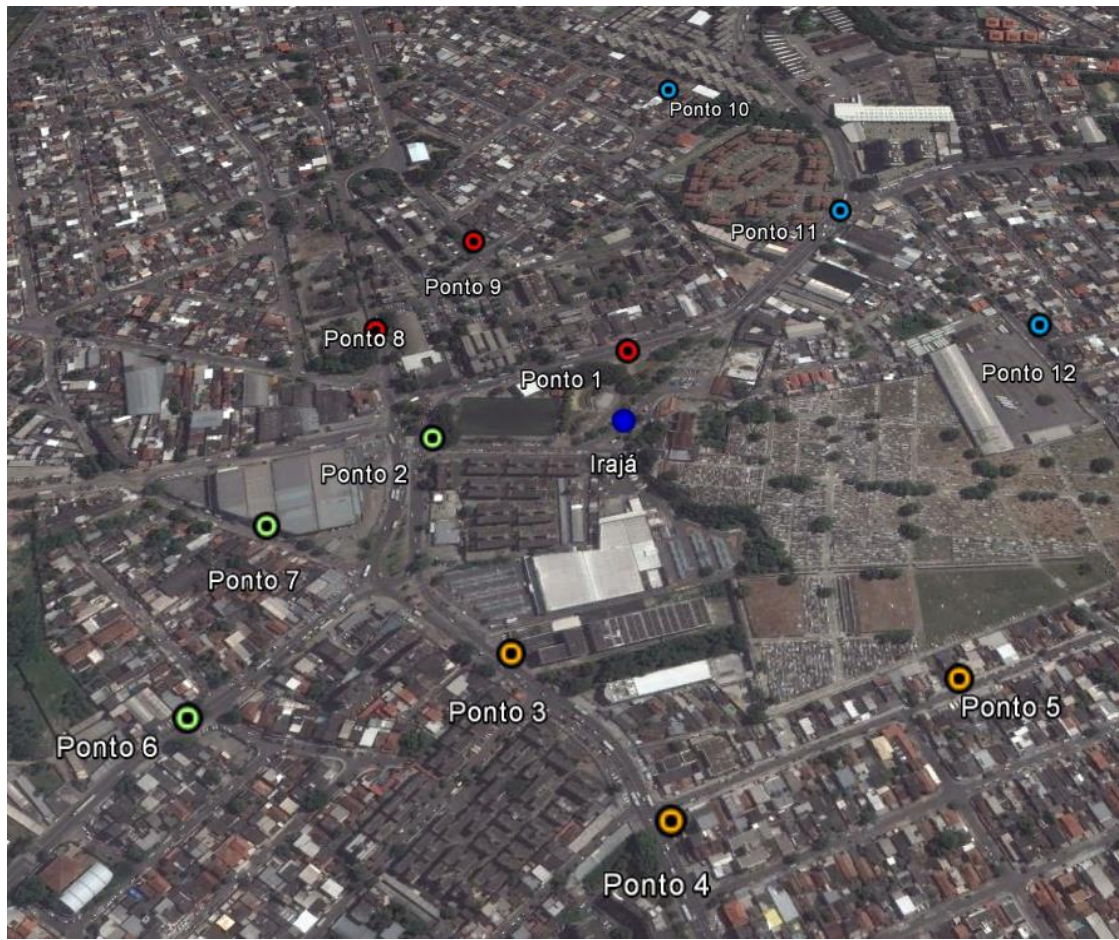


Figura 22 – Análise de Cluster dos amostradores passivos e EMQAr na localidade de Irajá



■ MR1
 ■ MR2 (área de destaque).
 ■ MR3
 ■ MR4

Figura 23 – Figura representando as Micro regiões, com destaque para a Micro região 2 em Irajá.

O gráfico de análise de cluster (figura 24) gerado com os dados obtidos do monitoramento em Bangu apresentou o seguinte comportamento com base nas AC, e a mesma linha corte na coluna de distância de ligação de dois e meio (2,5). A análise gerou quatro grupos, sendo o primeiro formado pelas Micro regiões Bangu 3 e 2 (MRBG3 e MRBG2), com ótima similaridade e boa correlação, entre as variáveis. O segundo grupo foi formado pela EMQAr local e a Micro região 1 (BGPref e MRBG1), com boa similaridade. O terceiro grupo é formado pelos grupos 1 e 2 [(MRBG3 e MRBG2); (BGPref e MRBG1)], e este também com boa similaridade entre si, demonstrando boa correlação entre os grupos, tendo como horizonte a linha de corte. E por fim o último grupo formado foi o quatro (4), sendo ele {MRBG4; [(MRBG3 e MRBG2); (BGPref e MRBG1)]}, com uma grande dissimilaridade, ou seja, a sua correlação com os demais grupos não foi satisfatória, tendo em vista a linha de corte implementada.

Assim, foi possível observar que as Micro regiões compostas pelos grupos 1,2 e 3 (figura 25) são os que possuem melhor representatividade quando comparada com a EMQAr local.

Em Bangu nota-se que todas as MRs interagem bem com a BGPRref (EMQAr local), logo é possível perceber que a estação representa a região para qual o estudo foi proposto, mesmo tendo os pontos localizados na MRBG4 apresentado uma maior dissimilaridade, a maioria dos pontos contidos nas demais MR's correlacionam-se bem com a estação fixa local (figura 25).

Com base nesta informação nota-se que somente os pontos localizados a sudeste da estação não se correlacionaram tão bem quanto os demais pontos analisados, lembrando que o vento predominante nesta localidade esteve entre os quadrantes Oeste e Leste.

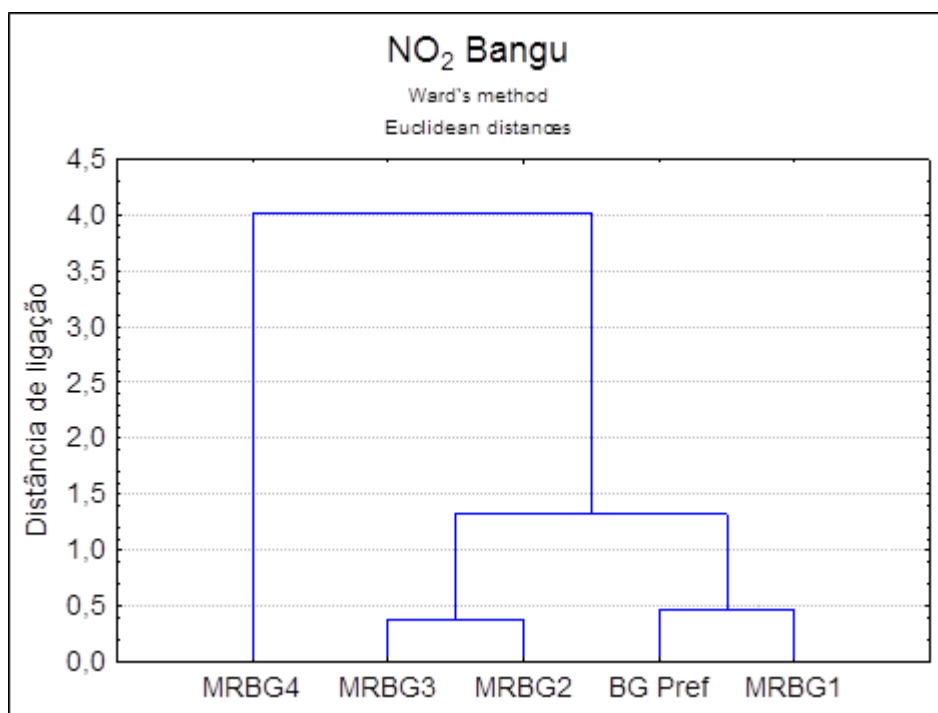


Figura 24 – Análise de Cluster dos amostradores passivos e EMQAr na localidade de Bangu.



■ MR1 (área de destaque) ■ MR2 ■ MR3 ■ MR4

Figura 25 – Figura representando as Micro regiões, com destaque para a Micro região 1 em Bangu.

A análise de cluster (figura 26) realizada com os dados obtidos do monitoramento em Campo Grande gerou quatro grupos, lembrando o a linha de corte na distância de ligação permanece em 2,5. O grupo um (1) foi formado pelas Micro regiões 1 e 2 (MRCG1 e MRCG2) sendo esta a de menor distância de ligação, apresentando uma excelente similaridade entre as MRs dentro deste grupo. O segundo grupo foi formado pelas Micro regiões 4 e as do grupo 1 [MRCG4; (MRCG1 e MRCG2)] também com boa similaridade entre si, com distância de ligação menor que 1. O terceiro grupo, EMQAr local e a Micro região 3 (CGPref e MRCG3), apresentaram uma boa similaridade e correlação. E por fim o grupo quatro (4) que liga o grupo dois ao grupo três {[MRCG4; (MRCG1 e MRCG2)]; (CGPref e MRCG3)}, esta porém apresentou dissimilaridade, com distância de ligação superior a 4, ou seja, a correlação entre estes grupos é baixa comparada as demais.

Com isso, as AC demonstraram que os grupos 1 e 2 se correlacionam bem entre si, de forma que as fontes de emissão de NO₂, possivelmente são as mesmas para ambos os grupos, que envolvem as MRCG1, 2 e 4. Para o grupo 3, este mesmo raciocínio pode ser aplicado, logo a MRCG3 e a CGPref (EMQAr) possivelmente possuem a mesma origem de fonte de emissão de NO₂, devido as suas boas correlações. Diante dos dados estatísticos apresentados na AC, a MRCG 3 apresentou a melhor representatividade junto a EMQAr local (figura 27).

Diferentemente das demais estações contempladas neste trabalho, somente os pontos localizados na MRCG3 apresentaram boa correlação com a estação fixa local (CGPref), os demais pontos contidos nas MRs até se correlacionaram bem entre si, mas apresentaram certa dissimilaridade com a EMQAr local. A localização dos pontos da MRCG3 esteve a sudoeste da estação de monitoramento, lembrando que este foi o setor que registrou os ventos mais intensos ao longo do período estudado, porém não o setor de vento predominante, que foi o Nordeste.

Portanto diante de tais observações, e levando em consideração a metodologia de análise aplicada no presente estudo, foi possível detectar que entre todas as estações analisadas, e tendo o poluente NO₂ como referência, a EMQAr Campo Grande não apresentou tão boa representatividade para a região analisada, quando comparada as demais.

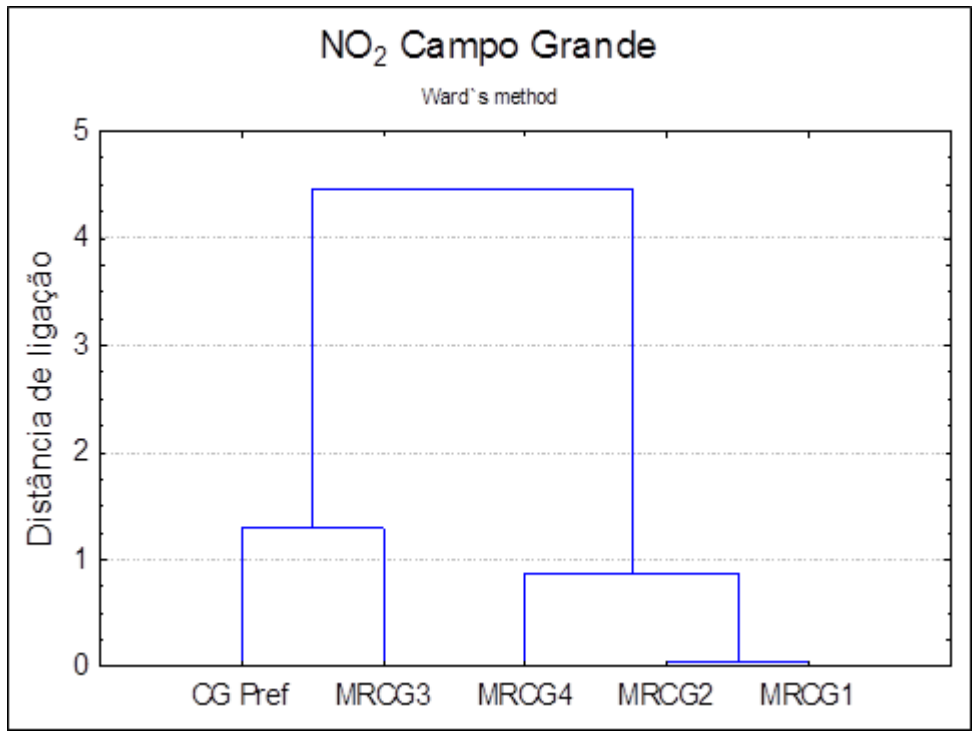
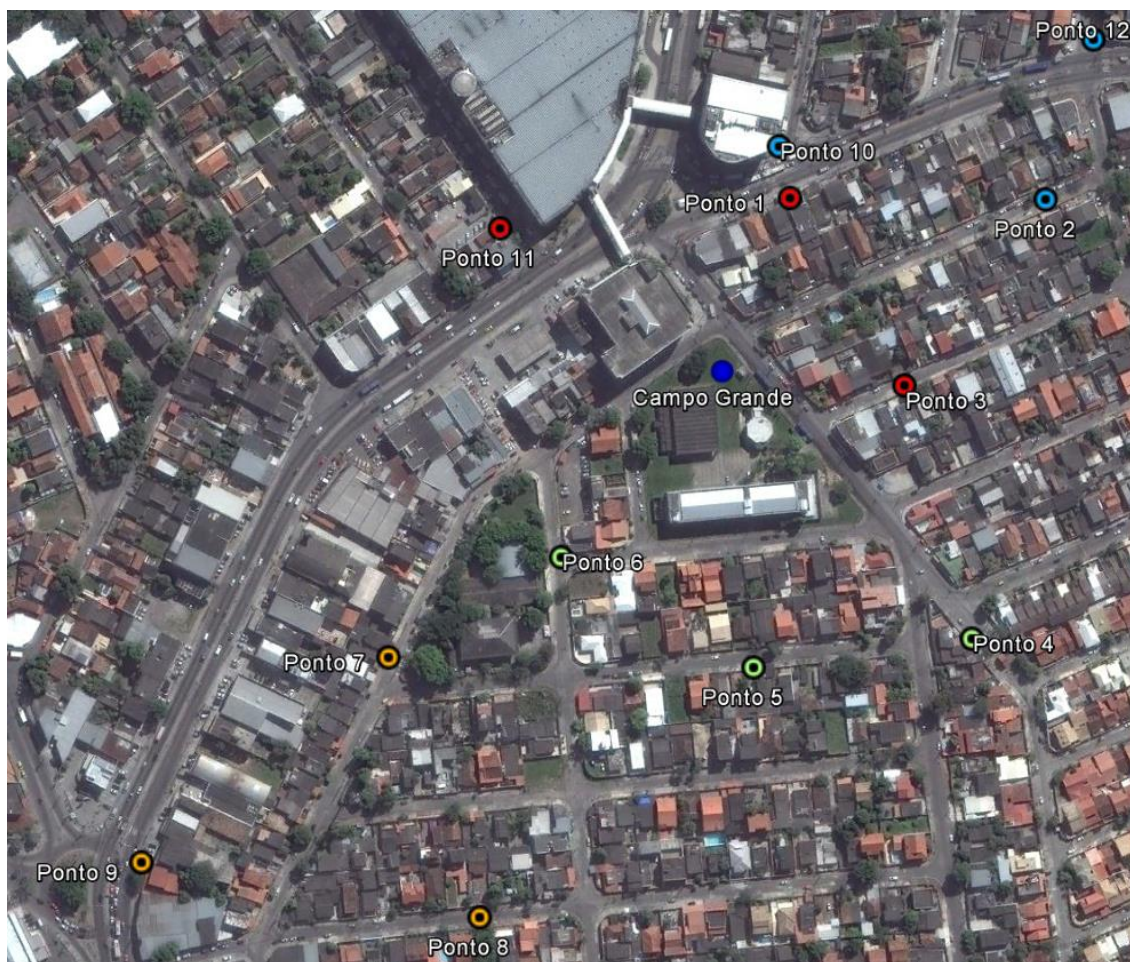


Figura 26 – Análise de Cluster dos amostradores passivos e EMQAr na localidade de Campo Grande



■ MR1 ■ MR2 ■ MR3 (área de destaque). ■ MR4

Figura 27 – Figura representando as Micro regiões, com destaque para a Micro região 3 em Campo Grande.

Com base nas análises apresentadas acima, foi possível detectar em Bangu um maior número de Micro regiões (MRBG 1,2 e 3), três no total, que estiveram englobadas no setor de melhor representatividade da EMQAr local. A segunda nesta linha de classificação seria Irajá, que apresentou duas Micro Regiões (MRIJ 1 e 2). E por fim, Campo Grande, que apresentou somente uma Micro região (MRCG3), com melhor representatividade em relação a sua EMQAr local.

As tabelas 19, 20 e 21 permitem uma comparação entre as maiores concentrações de NO₂ medidos nos amostradores passivos em cada uma das localidades, bem como as MRs selecionadas estatisticamente que melhor representariam as EMQAr do estudo.

Tabela 19 – Comparativo Geral das Maiores Concentrações de NO₂ medido nos Amostradores Passivos em Irajá, com as concentrações das Micro regiões de melhor representatividade, segundo a Análise de Cluster.

| Localidade | Código Amostrador Passivo | Maior Concentração (µg/m ³) | MRIJ 1 Código Amostrador Passivo | Concentração (µg/m ³) | MRIJ 2 Código Amostrador Passivo | Concentração (µg/m ³) |
|------------|---------------------------|---|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Irajá | Ponto 3 | 96,7 | Ponto 10 | 44,1 | Ponto 9 | 42 |
| Irajá | Ponto 4 | 74,6 | Ponto 11 | 103,3 | Ponto 8 | 59,5 |
| Irajá | Ponto 11 | 103,3 | Ponto 12 | 47,1 | Ponto 1 | 59,8 |

Tabela 20 – Comparativo Geral das Maiores Concentrações de NO₂ medido nos Amostradores Passivos em Bangu, com as concentrações das Micro regiões de melhor representatividade, segundo a Análise de Cluster.

| Localidade | Código Amostrador Passivo | Maior Concentração (µg/m ³) | MRBG 1 Código Amostrador Passivo | Concentração (µg/m ³) | MRBG 2 Código Amostrador Passivo | Concentração (µg/m ³) | MRBG 3 Código Amostrador Passivo | Concentração (µg/m ³) |
|------------|---------------------------|---|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Bangu | Ponto 1 | 55,3 | Ponto 5 | 52,6 | Ponto 7 | 29,7 | Ponto 11 | 36,6 |
| Bangu | Ponto 12 | 47,1 | Ponto 1 | 55,3 | Ponto 8 | 33,8 | Ponto 10 | - |
| Bangu | Ponto 5 | 52,6 | Ponto 12 | 47,1 | Ponto 6 | 31,2 | Ponto 9 | 46,5 |

Tabela 21 – Comparativo Geral das Maiores Concentrações de NO₂ medido nos Amostradores Passivos em Campo Grande, com as concentrações das Micro regiões de melhor representatividade, segundo a Análise de Cluster.

| Localidade | Código Amostrador Passivo | Maior Concentração (µg/m ³) | MRCG 3 Código Amostrador Passivo | Concentração (µg/m ³) |
|--------------|---------------------------|---|----------------------------------|-----------------------------------|
| Campo Grande | Ponto 1 | 64,7 | Ponto 8 | 32,8 |
| Campo Grande | Ponto 11 | 57,1 | Ponto 7 | 41,4 |
| Campo Grande | Ponto 12 | 50,2 | Ponto 9 | - |

4.4. Mapas gradiente de poluição

A figura 28 apresenta o gradiente de concentrações observados em Irajá, onde dois núcleos de maior concentração ficaram mais evidentes. Estes núcleos estão nos setores nordeste e sudoeste, e as menores concentrações apontam para os setores noroeste e sudeste, todas tendo como referência a EMQAr que se encontra centrada no mapa.

Estes resultados corroboram com a rosa dos ventos da região, onde os ventos mais intensos estão registrados no setor sudoeste concordando assim com uma das áreas de maior concentração.

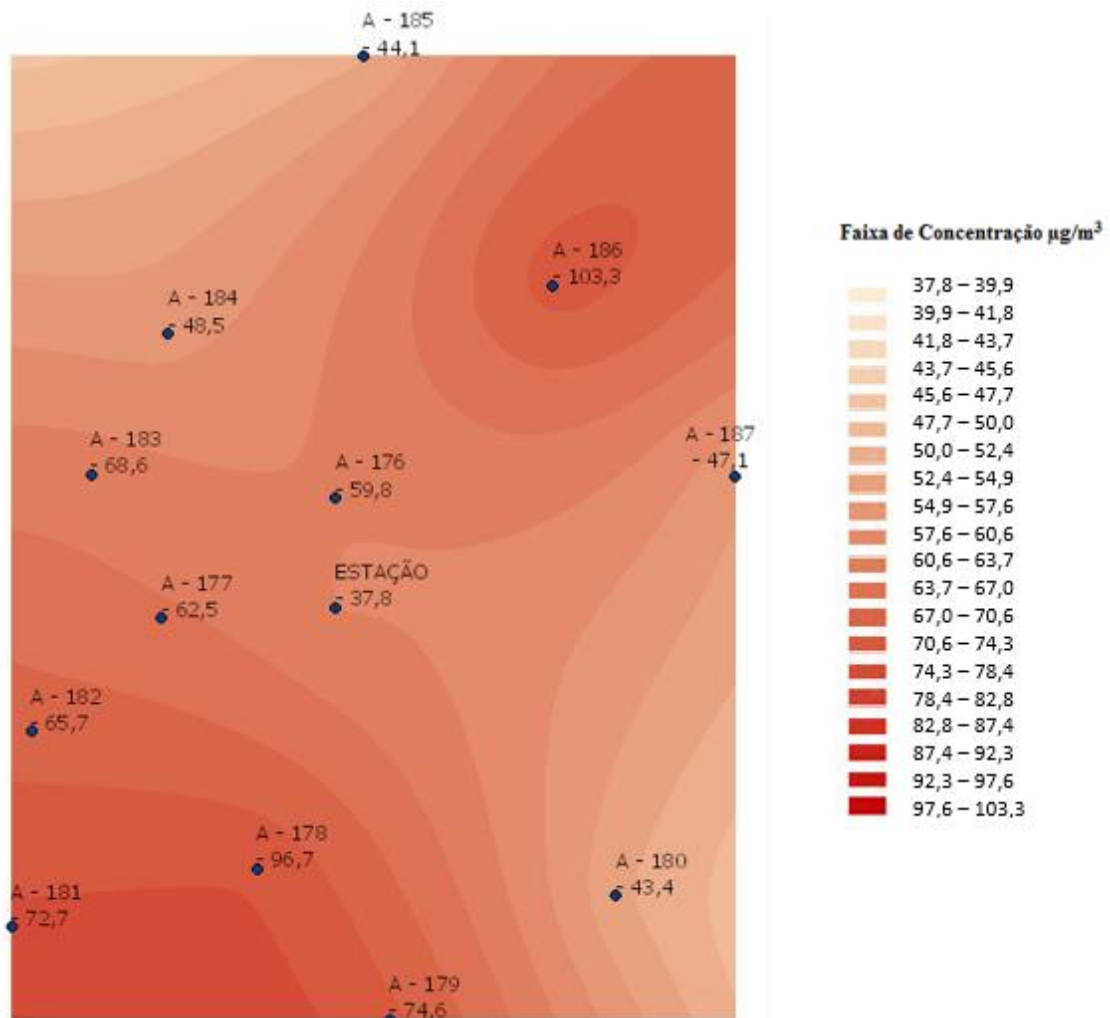


Figura 28 – Mapa Gradiente das Concentrações de NO₂ em Irajá.

Em Bangu, o gradiente das concentrações, figura 29, aponta para o setor norte, onde pode ser observado a partir de uma escala maior, a Avenida Brasil, um dos principais corredores de tráfego veicular da Cidade. Neste ponto também foi medida uma das maiores concentrações de NO₂ da região amostrada, sempre tendo como referência a EMQAr ao centro do mapa. Outro destaque relevante é que no setor sul estão representadas as menores concentrações da região.

Corroborando as informações dos mapas de gradiente, as análises de estatística multivariada também apontaram para os pontos amostrados no setor norte como sendo o que melhor se correlacionou com a EMQAr local, demonstrando que a localidade está bem representada para o monitoramento do poluente NO₂.

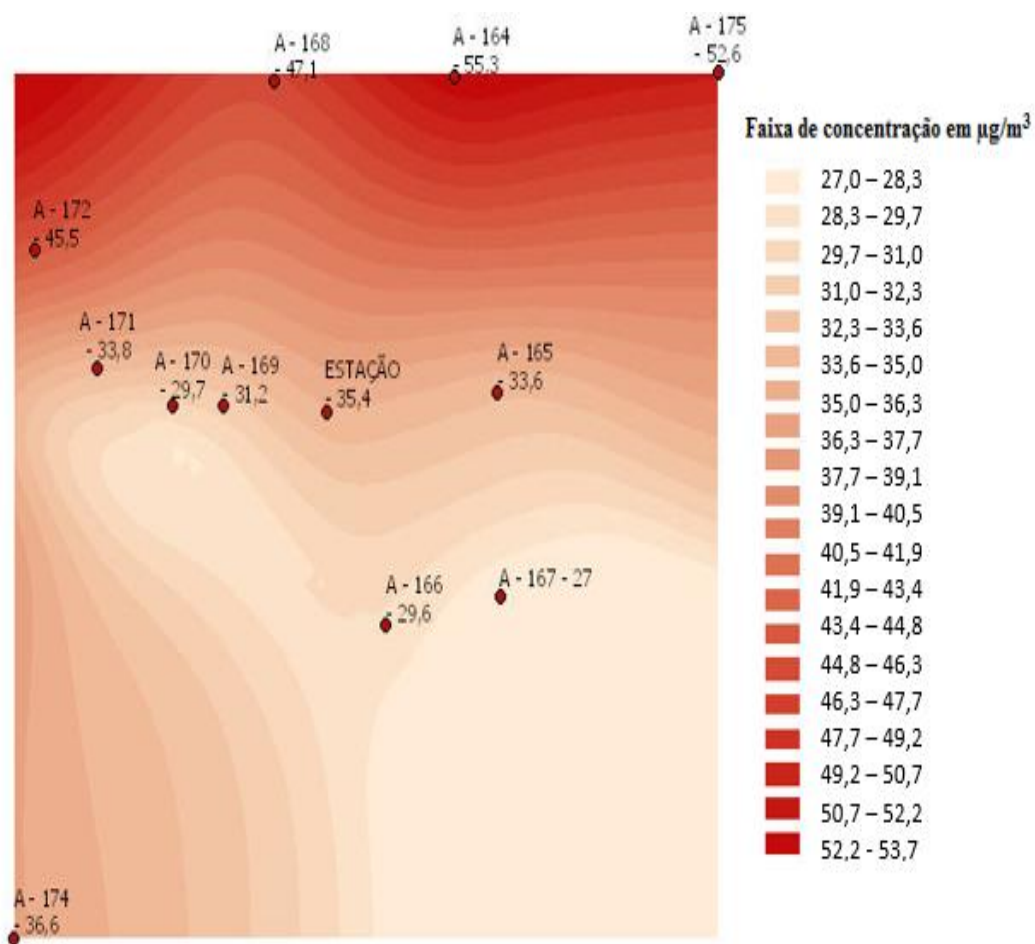


Figura 29 – Mapa Gradiente das Concentrações de NO₂ em Bangu.

O mapa contendo os pontos de amostragem e a estação Campo Grande, figura 30 apontaram um gradiente para o setor norte, local onde se registraram as maiores concentrações de NO₂ na região ao longo do período de estudo. O local onde está inserida a estação está entre os núcleos de menores concentrações registradas. É importante ressaltar que este setor norte, é onde se localiza a principal área comercial da região, bem como as vias de tráfego mais movimentadas do bairro.

Somando este resultado do mapa do gradiente de poluição com as análises de estatística multivariada, observa-se que a estação de Campo Grande não apresentou boa representatividade no que tange o poluente NO₂.

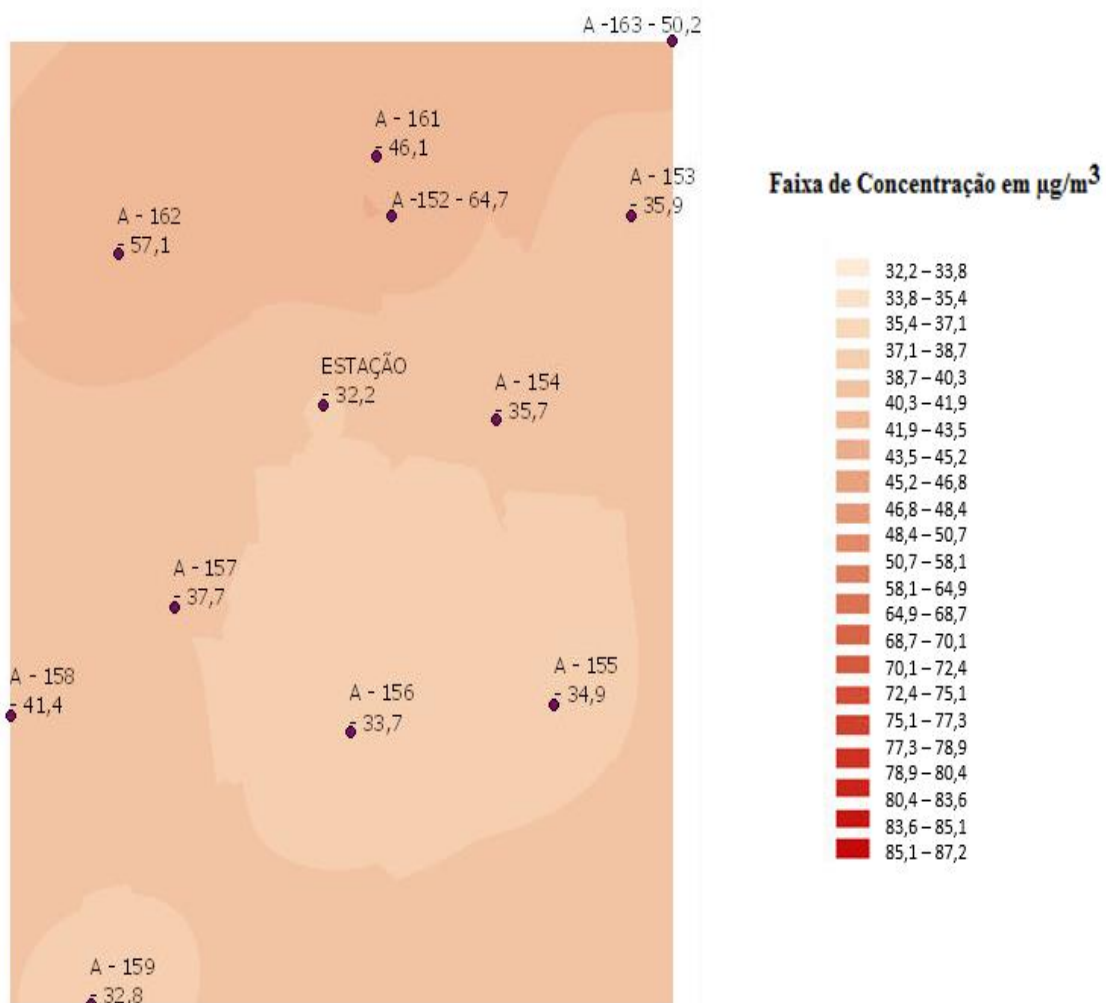


Figura 30 – Mapa Gradiente das Concentrações de NO₂ em Campo Grande.

4.5. Discussões

A caracterização meteorológica, as análises estatísticas multivariadas e a plotagem dos mapas de poluição podem e devem estar alinhados aos instrumentos já existentes, como por exemplo, a instalação de uma nova EMQAr, ou seja, a metodologia aplicada/utilizada no estudo, pode vir contribuir para que tal metodologia de implantação possa se tornar mais robusta do que hoje.

Sobre as análises realizadas no presente estudo pode-se observar que entre as três localidades selecionadas como estudo de caso para avaliação de representatividade, duas delas apresentaram boa correlação entre os pontos amostrados e a estação fixa de monitoramento local, sendo estas Irajá e Bangu. A terceira localidade, Campo Grande, apresentou um resultado diferente das demais, pois sua representatividade, segundo as análises estatísticas não estiveram tão bem correlacionadas com a grande maioria dos pontos amostrados na localidade, mostrando que a estação possui baixa representatividade espacial quanto comparada as demais.

Os resultados apresentados pelos mapas de gradiente de poluição corroboraram com as análises estatísticas e permitiram uma melhor avaliação das regiões pertencentes ao estudo, auxiliando na detecção dos maiores “focos”, ou maiores concentrações do poluente NO₂, a partir do gradiente observado em cada uma das localidades.

Os resultados dos mapas nas localidades de Irajá e Bangu obtiveram seus núcleos de maior concentração corroborando com os sentidos observados nas rosas dos ventos. Em Irajá destacou-se a direção de maior intensidade, no setor Sudoeste, um dos setores de maior concentração observada. Em Bangu, os setores de maior concentração estão a Norte da EMQAr, porém estão ao longo de um eixo zonal, corroborando com os ventos de predominantes de Leste detectados na região. E por fim, Campo Grande, onde o setor de maior concentração esteve a Norte e os ventos predominantes detectados estiveram a Nordeste, e os mais intensos a Sudoeste, ou seja, não havendo uma concordância muito clara.

Portanto, levando em consideração que toda abordagem estatística nos proporcionou um bom indicador, associado as demais análises, uma possível recomendação sobre realocação da estação de monitoramento na localidade de Campo Grande pode ser

considerada, buscando como uma melhora nas condições de monitoramento do poluente NO₂.

Ressalta-se que a metodologia aplicada para todo este estudo teve como referência um raio de 400 m da EMQAr de cada localidade. Logo, um deslocamento dentro desta esfera para um setor onde os demais pontos amostrados se relacionaram melhor, pode ser uma solução.

Dentro desta perspectiva, em Campo Grande foi possível observar que uma área no setor norte poderia ser mais representativa para fins de monitoramento deste poluente atmosférico.

Assim, em busca de tal localidade encontrou-se uma que poderia ser viável a instalação de uma EMQAr. Esta fica localizada a 684 m da localização atual, há noroeste, na Estrada do Tingui próximo ao número 310, em uma praça pública, quase em frente a Faculdade Machado de Assis. Neste local há uma grande quantidade de residências e alguns pontos comerciais próximos. A Figura 31 apresenta uma foto do local selecionado.



Figura 31 – Possível local de instalação de uma nova EMQAr em Campo Grande.

Uma segunda opção interessante seria ocupar uma praça da própria Prefeitura, onde está sendo construída uma clínica da família, Praça Sangradouro, 330 m a norte da EMQAr, na Av. Marechal Dantas Barreto, onde o fluxo de veículos não é tão intenso quanto na via principal do bairro, e que segundo os resultados obtidos apresentaria valores mais representativos no que se refere o monitoramento da qualidade do ar do que a localização atual, tendo em vista que ocupa um setor próximo, onde pontos amostrados apresentaram uma melhor correlação entre si.

A Praça em obras pode ser observada na figura 32 seria um possível local para realocação futura. A instalação de uma estação de monitoramento próxima a clínica da família poderia fornecer dados para estudos futuros da relação poluição e saúde na região.



Figura 32 – Possível segundo local de instalação de uma nova EMQAr em Campo Grande.

A figura 33 apresenta a localização espacial dos possíveis pontos para a realocação da EMQAr de Campo Grande. Ressaltando que a segunda opção está dentro do raio de 400 m proposto pelo estudo e também dentro do setor de boa correlação estatística.

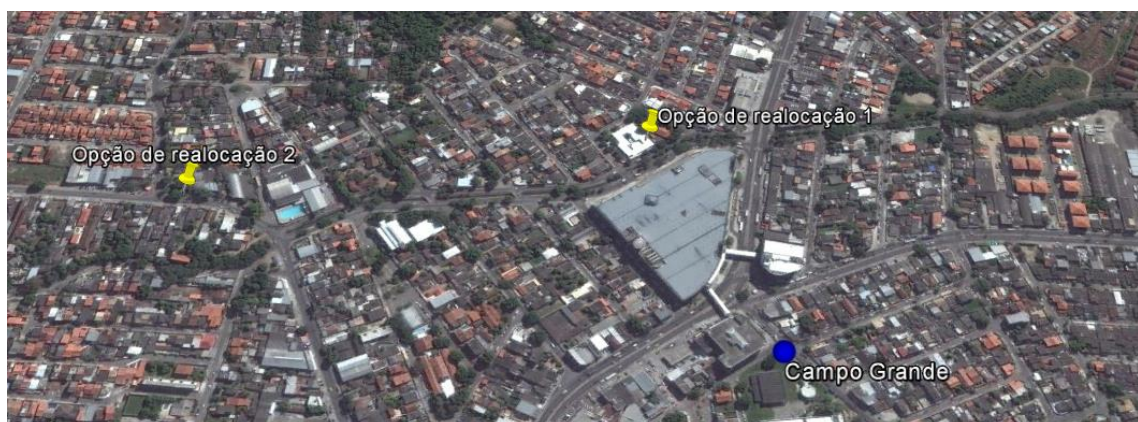


Figura 33 – Vista aérea dos possíveis locais de realocação da EMQAr.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

5. Conclusões

Os resultados obtidos subsidiaram a avaliação da representatividade de estações de monitoramento da qualidade do ar, utilizando como estudo de caso, as três localidades na Cidade do Rio de Janeiro, e tendo como referência o poluente NO₂, através da utilização de amostradores passivos.

Para que este objetivo pudesse ser atingido, houve uma seleção dos locais a serem amostrados passivamente, dando-se preferência a localidades onde o poluente NO₂ fosse monitorado de forma contínua. Assim, estudos do campo de vento entre os anos de 2011 e 2014 apontaram as direções predominantes em cada uma das localidades selecionadas: Irajá, Bangu e Campo Grande, de forma a auxiliar nos pontos de instalação dos amostradores passivos de NO₂. Com base nesta análise dos ventos, os amostradores ficaram em exposição por um período de aproximadamente 30 dias.

Os resultados amostrados revelaram, em geral, que as maiores concentrações ocorreram em pontos alocados ao longo das principais vias de circulação dos bairros, onde o fluxo de veículos leves e pesados são mais intensos. A comparação entre as concentrações amostradas passivamente com as concentrações medidas de forma contínua mostrou resultados diferentes em cada uma das localidades, porém notou-se que todas estavam dentro de uma mesma ordem de grandeza. Mas cabe ressaltar que o fato de os amostradores passivos estarem mais expostos a estas vias de grande circulação veicular e associado ao comportamento do vento em cada uma das regiões, detectou-se concentrações elevadas em determinados pontos, quando comparadas com a EMQAr local.

A análise estatística multivariada possibilitou um melhor entendimento do estudo de representatividade. Em geral, as estações contempladas neste estudo apresentaram boa correlação, entre os pontos amostrados passivamente e as EMQAr das localidades de Irajá e Bangu. Para Campo Grande os resultados mostraram uma dissimilaridade entre os pontos amostrados e a EMQAr. Dessa forma, os resultados indicam, se possível, a realocação da estação para uma melhor representatividade da região. Ressaltando que os

resultados estatísticos funcionaram como indicadores, tendo em vista a quantidade de dados em virtude de tão somente uma campanha de amostragem ter sido realizada. No entanto, se como indicador os resultados se mostraram satisfatórios, entende-se que ao ampliar o estudo, os resultados serão ainda melhores.

Concluindo, destaca-se que a metodologia utilizada foi eficaz para a análise da representatividade de uma EMQAr. Contudo, vale destacar, que tais análises e estudos necessitam serem realizados com certa periodicidade, pois as localidades onde estão inseridas as EMQAr ou onde virão a ser instaladas são dinâmicas e em constante mudança.

Para futuros trabalhos recomenda-se utilizar um maior número de amostradores passivos, de forma a se obter mais dados para análises estatísticas, além de mais campanhas para a mesma localidade, bem como obter uma maior área de cobertura dos pontos. E também um aumento gradual no raio: de 400 m, para 800 m e 1200 m, afim de se ampliar a área de população impactada bem como avaliar a representatividade em pontos mais distantes.

CAPÍTULO VI

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1. Artigos Científicos

ALONSO, C.D.; GODINHO, R. **A Evolução da Qualidade do Ar em Cubatão**. Revista Química Nova, Vol. 15 No. 2, p. 126 – 136, 1992.

BAKKE, H. A; LEITE, A. S.M, SILVA, L.B. **Estatística Multivariada: Aplicação da Análise Fatorial na Engenharia de Produção de Estatística Multivariada: Aplicação da Análise Fatorial em Engenharia de Produção**. Revista Gestão Industrial, v.4, p 1-14, 2008.

BAUMBACH, G. **Air Quality Control**. 1 ed. Stuttgart: Springer, 1998. cap.5, p. 58 - 69.

BELLIDO, A.V.B. **Neutron Activation Analysis of Ancient Egyptian Pottery, 1989** Tese (Doutorado em Geoquímica) – University of Manchester,U.K. , 1989.

BENDER, A.P. **A influência da legislação de ocupação do solo para a qualidade do ar: estudo de caso nos eixos estruturais em Curitiba – Paraná**. Dissertação Mestrado em Gestão Ambiental – Universidade Positivo, 2008, Curitiba.

BENDER, A.P; DZIEDZIC, M. **Dispersão de poluentes nos eixos estruturais em Curitiba (PR), Brasil**. Revista Engenharia Sanitária Ambiental, Edição Especial, p. 31-42, 2014.

BENSON, P. **A review of the development and application of the CALINE3 and 4 models**. Atmospheric Environment. v. 26B, n.3, p. 379-390, 1992.

BENSON, P. **CALINE4 A Dispersion Model for Predicting Air Pollutant Concentrations Near Roadways**. Report No. FHWA/CA/TL-84/14. California Department of Transportation, CA, 1989.

BRASIL. Resolução CONAMA n°. 003, de 28 de junho de 1990. **Diário Oficial da União**, Brasília, de 22/08/90, p. 15937-15939, Seção I.

- BRUNS, R. E.; NETO, B. B.; SCARMINIO, I. S. **Como fazer experimentos, pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria.** Editora da Unicamp, Campinas, SP, Brasil 2001.
- BUCCO, M.V.S. **Construção e Testes de Validação Amostradores Passivos para Dióxido de Nitrogênio e Ozônio.** 2010. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2010.
- CASTRO A.H.S.; ARAÚJO R.S.; SILVA G.M.M. **Qualidade do Ar – Parâmetros de Controle e Efeitos na Saúde Humana: Uma Breve Revisão.** Holos, Ano 29, Vol. 5, p. 107 – 121.
- CATTANEO, A.; OSÓRIO, D.M.M.; BACKES, E.; GHENO J. **Uso de Amostradores Passivos para Avaliar a Qualidade do Ar na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos.** IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2013. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/IV-004.pdf>. Acesso em: 14/06/2016.
- CAVALCANTI, P. M. P. S. **Modelo de gestão da qualidade do ar: abordagem preventiva e corretiva.** 2010. Tese(Doutorado em Planejamento Energético) – COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Classificação Preliminar da Representatividade Espacial das Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar da CETESB no Estado de São Paulo.** São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2013.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2007.** São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2008.
- CRUZ L.P., CAMPOS V.P. **Amostragem Passiva de Poluentes Atmosféricos. Aplicação ao SO₂.** Química Nova. São Paulo. V. 25. No 3. P. 406 – 411, 2012.
- CRUZ L.P.S.; CAMPOS V.P. **Métodos de Amostragem e Análise para Compostos Reduzidos de Enxofre Atmosférico.** Química Nova. v. 31, n. 5, p. 1180 -1189, 2008.

- DENBY B.; SUNDVOR I. **Air quality mapping of NO₂ with the use of passive samplers.** Norwegian Institute for Air Research. NILU (NILU OR, 65/2008).
- DERECZYNSKI, C.P.; OLIVEIRA, J. S., MACHADO C.O. **Climatologia da Precipitação no Município do Rio de Janeiro.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.24, n.1, 24-38, 2009.
- BEHERA S.N.; SHARMA M.; MISHRAP.K.; NAYAK P.; FONTAINE B.D.; TAHON R. **Passive measurement of NO₂ spatially-distributed air monitoring network in urban environment.** Atmospheric Environment. V. 14. p. 396–413, 2015.
- ECOSOFT. 2010. **Estudo de Ampliação da Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar da Cidade do Rio de Janeiro.** Secretaria Municipal de Meio Ambiente. 68p.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). **The EEA air quality monitoring and information network.** EEA: Copenhagen, 1999. 56p. Technical Report, 12. Criteria for EUROARINET.
- FRANCO, N.J.N. **Aplicação de um modelo de trajetórias na simulação do transporte de radionuclédeos na atmosfera, 2005.** Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005, Rio de Janeiro.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE (FEEMA). **Inventário de Fontes de Emissão de Poluentes do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2007.
- GERBOLES M.; BUZICA D.; AMANTINI L. **Modification of the Palmes diffusion tube and semi-empirical modeling of the uptake rate for monitoring nitrogen dioxide.** Atmospheric Environment. V. 39. p. 2579–2592, 2005.
- GUARDANI, R.; AGUIAR, J.L.; NASCIMENTO, C.A.O.; LACAVA, C.I.V.; YANAGI, Y. (2003). **Ground-Level Ozone Mapping in Large Urban Areas Using Multivariate Statistical Analysis: Application to the São Paulo Metropolitan Area.** Journal of the Air & Waste Management Association 2003; 53: 553-559. ISSN 1047-3289.
- HANNA, S.; SCHULMAN, L.; PAINE, R.; PLEIM, J.; BAER, M. **Development and Evaluation of the Offshore and Coastal Dispersion Model.** Journal of the Air Pollution Control Association, V. 35, No.10, p. 1039- 1047, 1985.

- HÄRDLE, W; SIMAR, L; (2007). **Applied multivariate statistical analysis**. 2. ed. Berlin: Springer, p 458.
- INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). **Relatório de Qualidade do Ar no Estado do Rio de Janeiro 2010 – 2011**. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente, 2011.
- JERRETT M., ARAIN A., KANAROGLOU P., BECKERMAN B., CROUSE D., GILBERT N., BROOK J., FINKELSTEIN N., AND FINKELSTEIN M. **Modeling the intraurban variability of ambient traffic pollution in Toronto, Canada**. J Toxicol Environ Health A. V. 70. p. 200–212, 2007.
- KORC M.E. **A Socioeconomic Assessment of Human Exposure to Ozone in the South Coast Air Basin of California**. Journal of the Air & Waste Management Association. Vol. 46. p. 546 – 557, 1996. Publicado on-line 2012.
- KRUUPA S.V.; LEGGE A.H. **Passive sampling of ambient, gaseous air pollutants: an assessment from an ecological perspective**. Environmental Pollution. V.107. p. 31 – 45, 2000.
- LABORATÓRIO DE ESTUDOS EM POLUIÇÃO DO AR (LEPA). **Estudo diagnóstico da qualidade do ar na Cidade do Rio de Janeiro a partir da aplicação do método de amostragens passivas**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011. 45p. Relatório Consolidado, II.
- LOYOLA, J.S. **Caracterização de Metais Traço presentes no Material Particulado Atmosférico devido as emissões de veículos leves e pesados, 2012**. Tese(Doutorado em Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- LINDEN, R. **Técnicas de Agrupamento**. Revista de Sistemas de Informação da FSMA, Rio de Janeiro. No 4. p. 18 – 36, 2009.
- MAIA, L. F. P. G, SALES J.A. **Indicadores da Qualidade do Ar na Cidade do Rio de Janeiro a partir de Diferentes Métodos de Monitoramento**. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, X, 1998, Brasília. Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia. Brasília/DF: 1998.

- MAIA, L.F.P.G.; OLIVEIRA V. 1998. **Estudo de Dimensionamento da Rede de Qualidade do Ar da Cidade do Rio de Janeiro – Parte II: Dimensionamento Qualitativo, Quantitativo e Definição Locacional da Rede de Monitoramento.** Universidade Federal do Rio de Janeiro/Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 57p.
- MARTINS, E.M; FORTES, J.D.N.; LESSA, R.A. **Modelagem de Dispersão de Poluentes Atmosféricos: Avaliação de Modelos de Dispersão de Poluentes emitidos por Veículos.** Revista Internacional de Ciências, V.5, No.1, 2015.
- MAZZEO N.A.; VENEGAS L.E.; MARTIN P.B. **Analysis of Full-Scale Data Obtained in a Street Canyon.** *Atmósfera* v. 20, No1, p. 93-110, 2007.
- MELCHERT W.R.; CARDOSO A.A. **Construção do Amostrador Passivo de Baixo Custo para Determinação de Dióxido de Nitrogênio.** *Revista Química Nova*, Vol. 29, No. 2, p. 65-367, 2006.
- MOREIRA, D. & TIRABASSI, T. **Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera: um instrumento técnico para a gestão ambiental.** *Revista Ambiente e Sociedade*, V. 7, No. 2, p. 159-172, 2004.
- NETO, J.M.M; MOITA, G.C. **Uma Introdução à Análise Exploratória de Dados Multivariados.** *Revista Química Nova*, V.21. No.4 p. 467 – 469.
- OMS. **WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide.** Global update 2005. Genebra: OMS, 2006.
- OMS. **WHO air quality guidelines global update.** Report on a Working Group meeting. Bonn: WHO, 2005.
- OSSES A.; GALLARDO L.; FAUNDEZ T. **Combining statistical information tools for the analysis of air quality monitoring networks.** *Tellus*. V.2, 2012. Última Modificação:
http://www.dim.uchile.cl/~axosses/articles/2012_Enviado_Osses_Gallardo_Faundez_TellusB.pdf. Acesso em: 13/06/2015.
- PALMES E.D.; LINDENBOOM R.H. **Ohm's law, Fick's law, and diffusion samplers for gases.** *Analytical Chemistry*. v.51, n. 14, p. 2400 – 2401, 1979.

- PERKAUSKAS D.; MIKELINSKIENE A. **Evaluation of SO₂ and NO₂ concentration levels in Vilnius (Lithuania) using passive diffusion samplers.** Environmental Pollution. v.102, p. 249 – 252, 1998.
- PIMENTEL L.C.G.; MARTON E.; SILVA M.S.; JOURDAN P. **Caracterização do Regime de Vento em Superfície na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.** Revista Engenharia Sanitária Ambiental, v.19, No.2, p. 121 – 132, 2014.
- PLAISANCE H.; SAGNER I.; SAISON J.Y.; GALLOO J.C.; GUILHERMO R. **Performances and Application of a Passive Sampling Method for the Simultaneous Determination of Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide in Ambient Air.** Environmental Monitoring and Assessment. V. 79, p. 301 – 315, 2002.
- RIBEIRO, F. A. L. **Aplicação de métodos de análise multivariada no estudo de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. 2001.** Dissertação de mestrado. UNICAMP, Campinas, São Paulo, 2001.
- SANTANA E.; CUNHA K.B.; FERREIRA A.L.; ZAMBONI A. **Padrões de Qualidade do Ar – Experiência comparada Brasil, EUA e União Européia.** Instituto de Energia e Meio Ambiente. São Paulo, 2012.
- SCHLEICHER N.; NORRA S.; CHEN Y.; CHAI F.; WANG S. **Efficiency of mitigation measures to reduce particulate air pollution—A case study during the Olympic Summer Games 2008 in Beijing, China.** Science of the Total Environment 427– 428 (2012) 146 – 158.
- SEINFELD, J.H. **Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution.** New York: John Willey & Sons, 1986.
- SILVA, M.S.S, CUNHA, B.D'AIUTO, PIMENTEL, L.C.G, GUERRERO, J.P.S, VICENTINI, P.C. **Análise Comparativa da Concentração de Dióxido de Enxofre via Modelos Regulatórios AERMOD e CALPUFF e Monitoramento Próximo às Fontes de Emissão da Bacia Área III – RMRJ.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.29, No. 2, p. 281 - 298, 2014.
- SPANGL, W; SCHNEIDER, J; MOOSMANN, L.; NAGL, C. **Representativeness and classification of air quality monitoring stations.** Vienna: umweltbundesamt,

2007. Relatório Final do Projeto. Disponível em: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>. Acesso em: 16/05/2016.
- UGUÇIONE C., MACHADO, C. M. D., CARDOSO, A. A. **Avaliação de NO₂ na Atmosfera de Ambientes Externos e Internos na Cidade de Araraquara, São Paulo**. Revista Química. Nova, Vol. 32, No. 7, p. 1829-1833, 2009.
- UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA. DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA DO AMBIENTE. **Campanhas para a Avaliação Preliminar da Qualidade do Ar em Portugal – NO₂ e SO₂ – Tubos de Difusão**. Alfragide: UNL, 2001.
- VARDOULAKIS, S.; FISHER, B.E.A.; PERICLEOUS, K.; FLESCA, N.G. **Modelling air quality in street canyons: a review**. Atmospheric Environment, V. 37, No. 2, p. 155-182, 2003.
- VINCI, L. SOUZA, A.M. **Análise Multivariada da Teoria à Prática**. Santa Maria: UFSM, CCNE, 215p. Rio Grande do Sul, 2005.
- VIEIRA L.C. **Uso de Amostradores Passivos para o Monitoramento do Ar**. Trabalho de conclusão do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Passo Fundo. Rio Grande do Sul, 2012.
- WARD, C.; RANZIERI, A.; SHIRLEY, E. **CALINE 2: an improved microscale model for the dispersion of air pollutants from a line source**. Federal Highway Administration Report, FHWA-RD-77-74, Washington, DC, 1977.
- YURA, E.; KEAR, T.; NIEMEIER, D. **Using CALINE dispersion to assess vehicular PM_{2,5} emissions**. Atmospheric Environment, V.41, p. 8747-8757, 2007.
- ZARANDI, M.; KHAJEVANDI, M.; DAMEZ – FONTAINE, D.; ARDESTANI, M. **Determination os Air Pollution Monitoring Stations**. International Journal of Environmental Research, v.2, n.3, p 313 -318, 2008.
- KOO Y. S. E KIM S. T.: **The Simulation of Aerosol Transport over East Asia Region Using CMAQ. Nucleation and Atmospheric Aerosols**, Nucleation and Atmospheric Aerosol, p. 522–525, 2007.

- CUNHA, D'AIUTO. B. **Modelagem das Emissões dos Percursos do SMAOG Fotoquímico na Região Amazônica.** Dissertação de Mestrado do Programa de Engenharia Civil - COOPE – UFRJ, Rio de Janeiro, 2012.
- HASSAINE. S.; TRASSY. C. PROLUX P. **Continuos Emission Monitoring of Metals Influence Gases By ICP – OES: Role of Calibration and Sample Gas.** High Temperature Matera Process: An International Quartely of Hihg Technology Plams Precesses, V.5. DOI: 10.1615/HIGHTEMPMATPROC.V5.I3.30.
- OLIVEIRA, J. L., JUSTI DA DILVA, M. G. A. **Verificação da Previsões de Precipitação divulgadas pelos Jornais para a Cidade do Rio de Janeiro.** In: Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, RJ, outubro, 2000
- VIANA DONI, M. **Análise de Cluster: Métodos Hierárquicos e de Particionamento.** Trabalho de conclusão do Curso de Computação e Informática da Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 2004.
- STURARO, J.R.; LANDIM. P.M.B. & RIEDEL, P.S. **O emprego da técnica Geoestatística da krigagem indicativa em Geotécnica Ambiental.** Solos e Rochas, vol. 23(3), p.157-164. São Paulo, 2000.
- JOURNEL, A. G., HUIJBREGTS, J.C.H. **Mining geostatistics.** Academic Press. P.600. Cambridge, Massachusetts, EUA, 1978.

6.2. Sítios da Internet

DEPARTAMENTO DE TRANSITO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (DETRAN-RJ). **Estatísticas de veículos por Cidade no Estado do Rio de Janeiro**. Última modificação: http://detran.rj.gov.br/_estatisticas.veiculos/07.asp. Acesso em: 14/10/2016.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 40 CFR Part 50, (2006) **Rules and Regulations (2006)**. Environmental Protection Agency. National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter; Final Rule. **Federal Register**. v71, n°. 200 / Tuesday, October 17, 2006 / Última modificação: <http://www.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/pm25/pt5006.pdf>. Acesso em: 15/12/2015.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, (2005). 40 CFR Part 50 [OAR-2001-0017; FRL-8015-8]. RIN 2060- AI44. **National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter**. Última modificação: <http://www.epa.gov/pm/pdfs/rule20051220standards.pdf>. Acesso em: 15/12/2015.

INEMA – INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Monitoramento da Qualidade do ar**. Última Modificação: <http://www.meioambiente.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=108>. Acesso em: 21/11/2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **CENSO 2010**. Última Modificação: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>. Acesso em 12/03/2016.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). **Diretrizes de criação. Lei 5104 de 04/10/2007**. Última modificação: <http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/e9589b9aabd9cac8032564fe0065abb4/674aaff783d4df6b8325736e005c4dab?OpenDocument>. Acesso em: 02/10/2016.

IPA – INSTITUTO AMBIENTAL DO PARÁ. **Monitoramento da Qualidade do Ar.**

Última

Modificação:

<http://www.meioambiente.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=108>.

Acesso em: 21/11/2016.

LOZANO A.; USERO J; VANDERLINDEN E.; RAEZ J.; CONTRERAS J.; NAVARRETE B.; EL BAKOURI H. **Optimization of Design of Air Quality Monitoring Networks and its Application to NO₂ and O₃ in Seville, Spain.** Última

Modificação: <http://www.intechopen.com/books/air-quality/development-of-a-method-to-design-air-quality-networks-in-compliance-with-the-european-directive-200>. Acesso em: 13/06/2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA 03/90.** Última Modificação:

<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>. Acesso em: 19/03/2016.

MONTHLY WEATHER REVIEW. **Função OACRES.** Volume 87 No. 1 Janeiro 1959. Última Modificação: <http://journals.ametsoc.org/toc/mwre/87/1>. Acesso em: 04/11/2016.

PASSAM – LABORATORY ENVIROMENTAL ANALYSIS. **Instruções e especificações na utilização do amostrador passivo de NO₂.** Última Modificação: <http://www.passam.ch/products.htm>. Acesso: 17/11/2016.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO (SMAC).

Relatório de Qualidade do Ar 2011 – 2012. Última Modificação:

<http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/3252594/4114836/RelatorioMonitorar20112012.pdf>. Acesso em: 12/12/2015.

ECOTECH

Manual Aurora 3000 Multi Wavelength Integrating Nephelometer, versão 1.5. Última Modificação: <https://www.ecotech.com/wp-content/uploads/2015/02/M010002-Aurora-3000-User-Manual-Rev-1.5.pdf>.

Acesso em 20/06/2017.

ANEXO 1

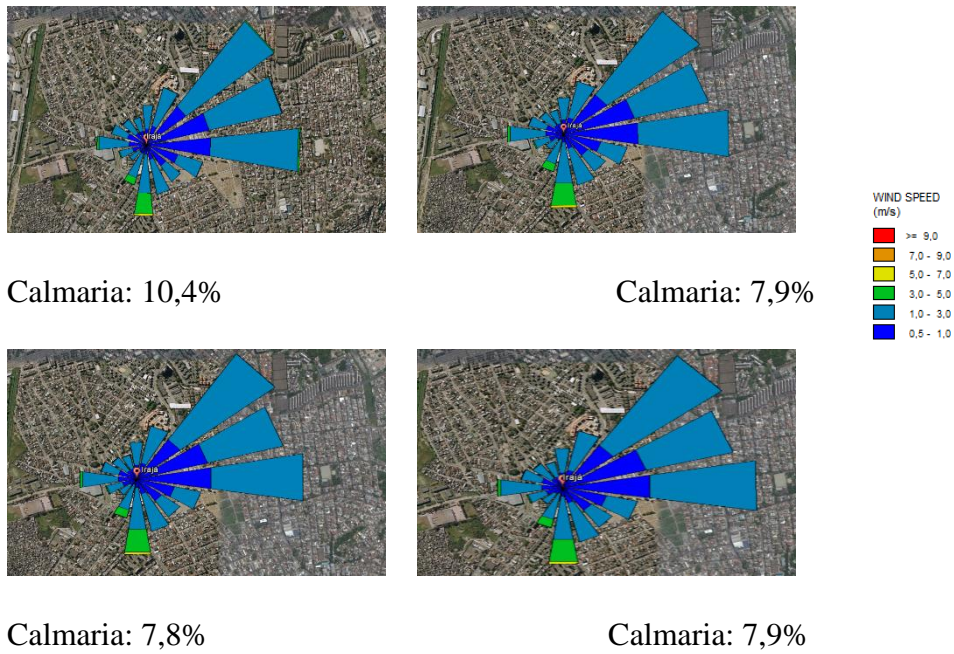


Figura 1 A – Dados de janeiro a março de 2014 da Estação Irajá para os horários 00 às 05; 06 às 11; 12 às 17 e 18 às 23h. Fonte: WRPLOT.

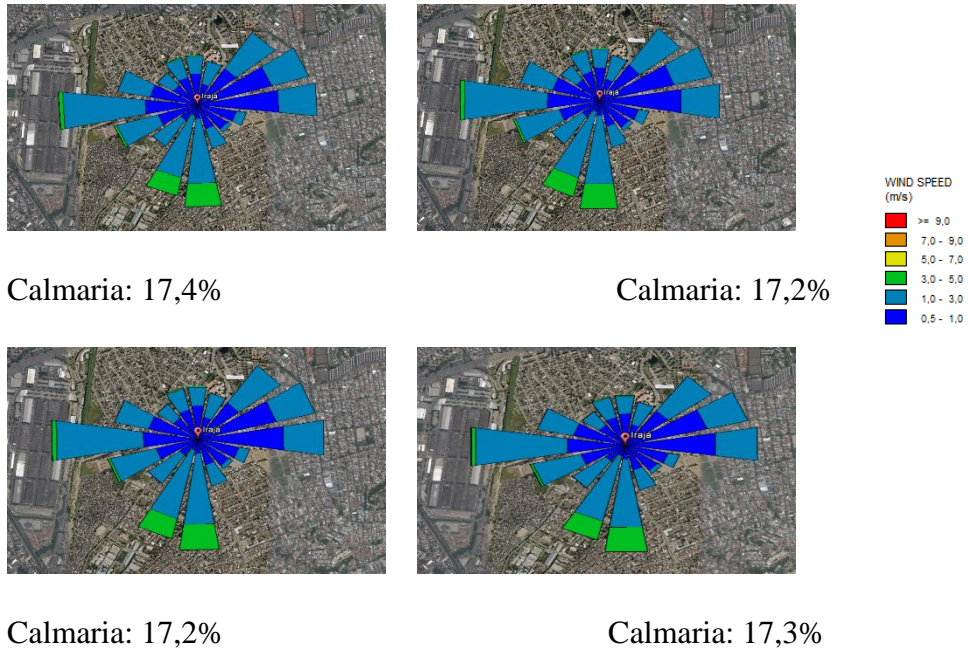


Figura 2 B – Dados de abril a junho de 2014 da Estação Irajá para os horários 00 às 05; 06 às 11; 12 às 17 e 18 às 23h. Fonte: WRPLOT.

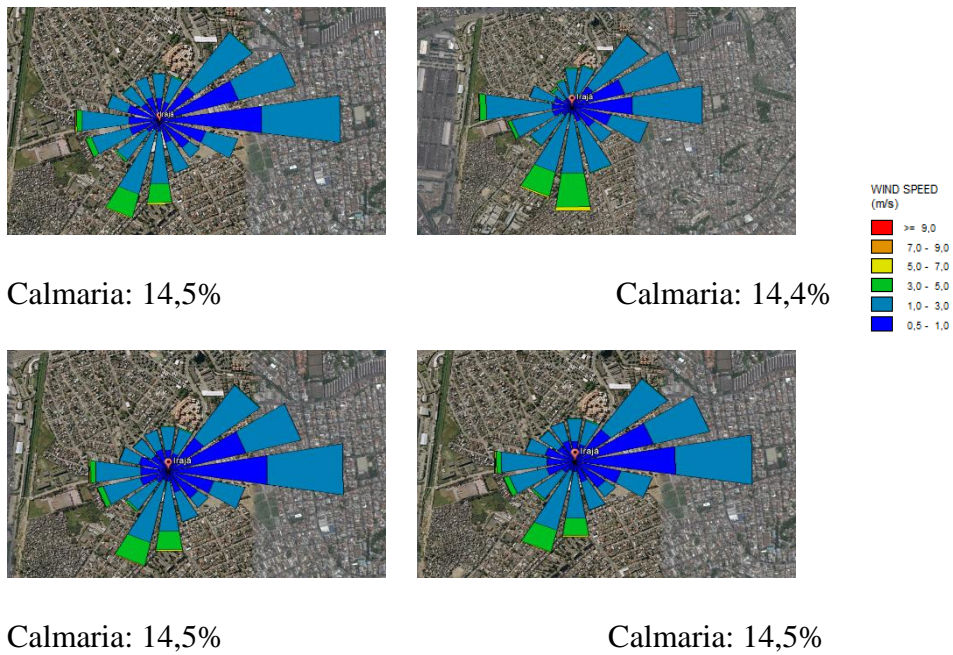


Figura 3 C – Dados de julho a setembro de 2014 da Estação Irajá para os horários 00 às 05; 06 às 11; 12 às 17 e 18 às 23h. Fonte: WRPLOT.

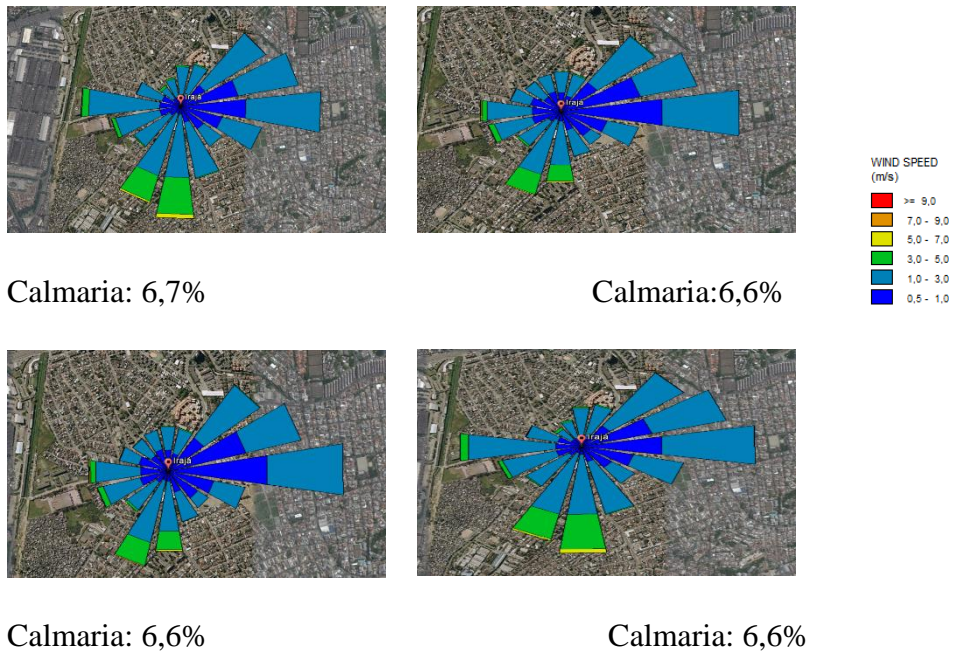


Figura 4 D – Dados de outubro a dezembro de 2014 da Estação Irajá para os horários 00 às 05; 06 às 11; 12 às 17 e 18 às 23h. Fonte: WRPLOT.

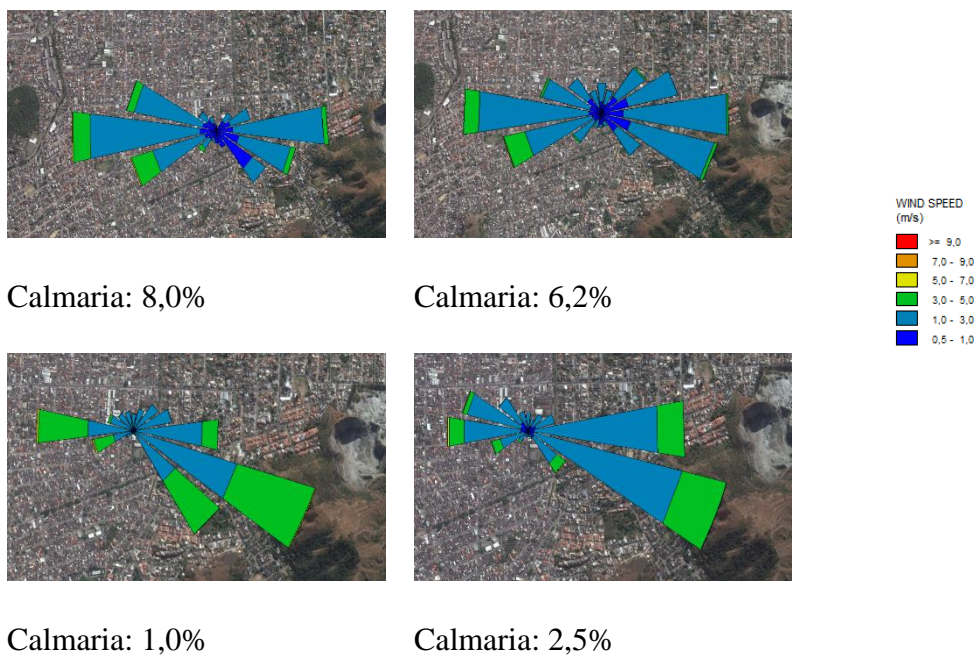


Figura 5 A – Dados de janeiro a março de 2014 da Estação Bangu para os horários 00 às 05; 06 às 11; 12 às 17 e 18 às 23h. Fonte: WRPLOT.

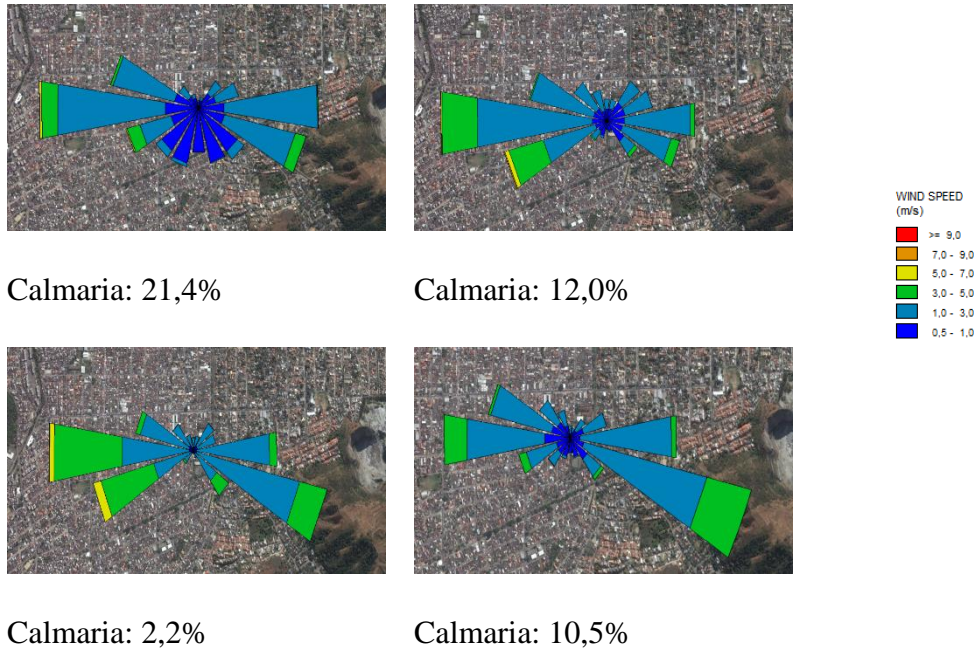


Figura 6 B – Dados de abril a junho de 2014 da Estação Bangu para os horários 00 às 05; 06 às 11; 12 às 17 e 18 às 23h. Fonte: WRPLOT.

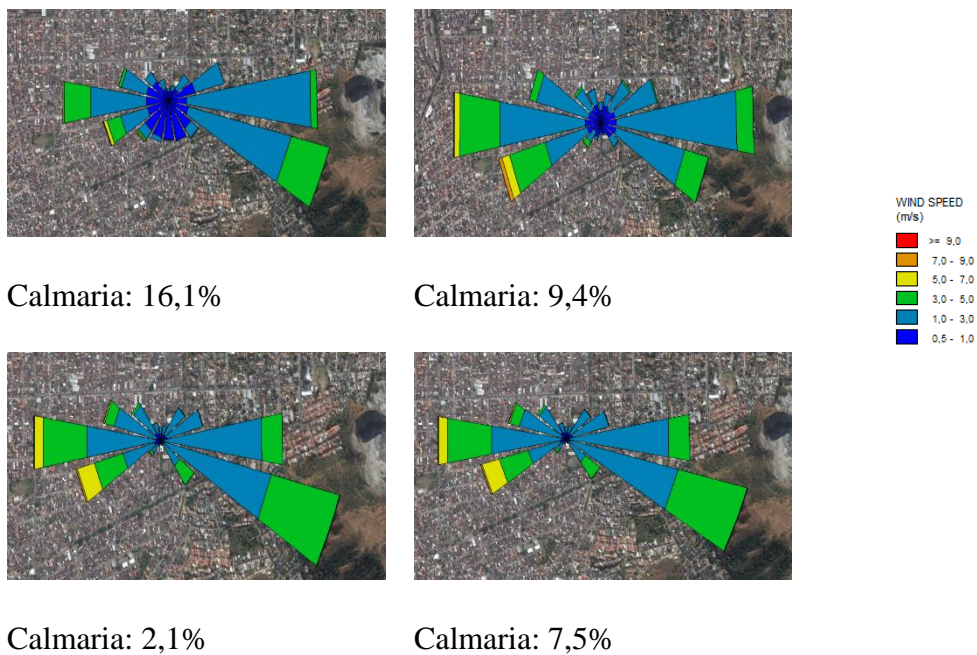


Figura 7 C – Dados de julho a setembro de 2014 da Estação Bangu para os horários 00 às 05; 06 às 11; 12 às 17 e 18 às 23h. Fonte: WRPLOT.

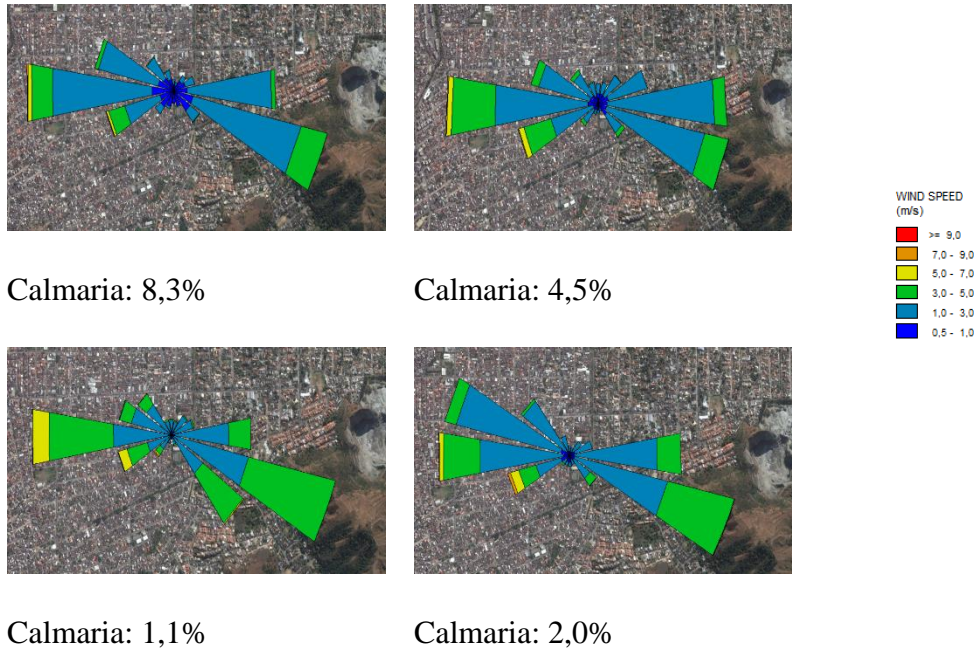


Figura 8 D – Dados de outubro a dezembro de 2014 da Estação Bangu para os horários 00 às 05; 06 às 11; 12 às 17 e 18 às 23h. Fonte: WRPLOT.

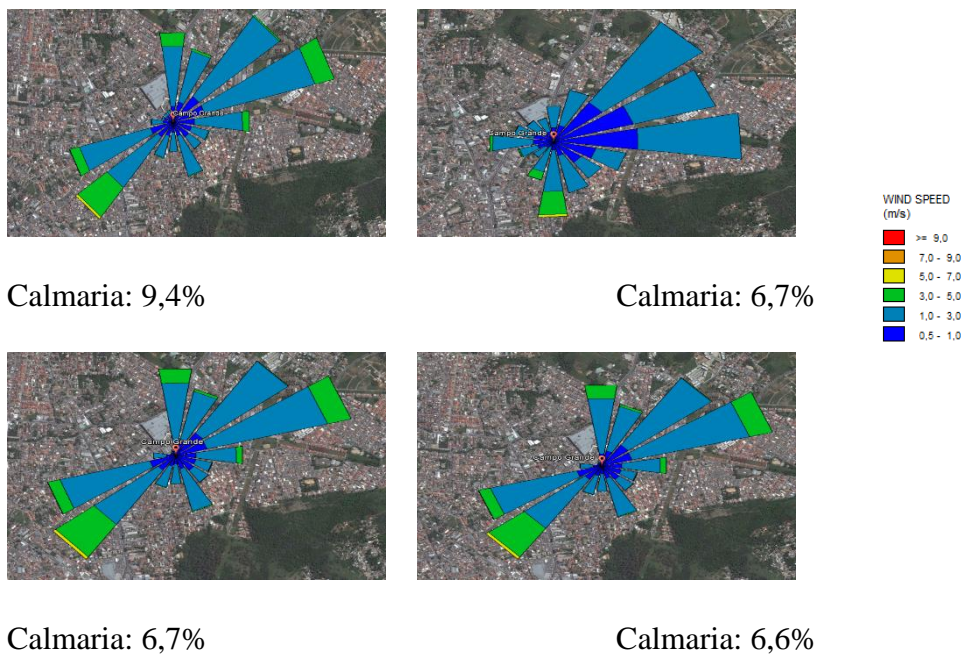


Figura 9 A – Dados de janeiro a março de 2014 da Estação Campo Grande para os horários 00 às 05; 06 às 11; 12 às 17 e 18 às 23h. Fonte: WRPLOT.

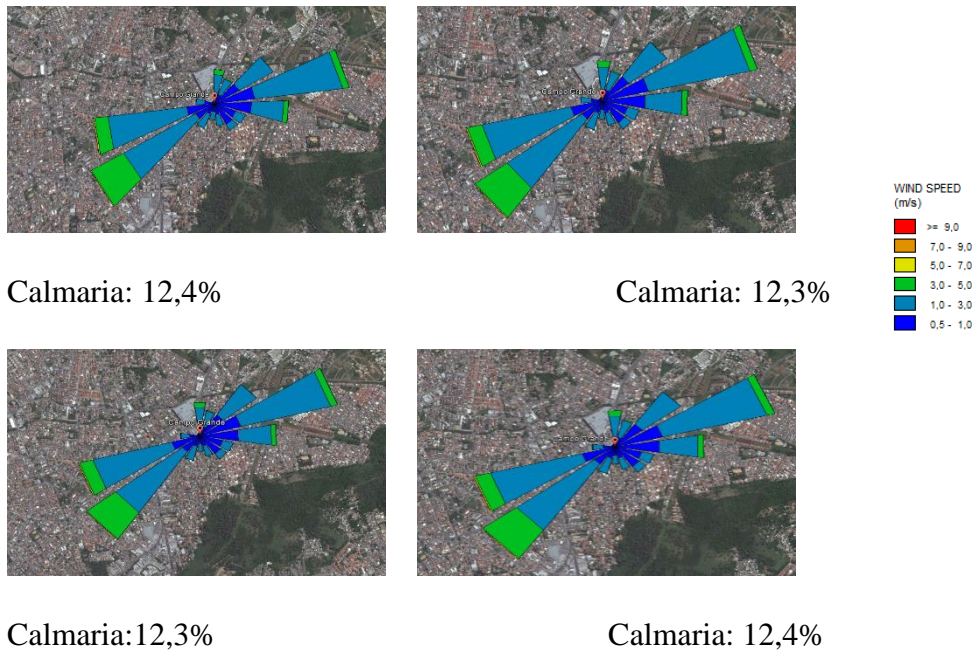


Figura 10 B – Dados de abril a junho de 2014 da Estação Campo Grande para os horários 00 às 05; 06 às 11; 12 às 17 e 18 às 23h. Fonte: WRPLOT.

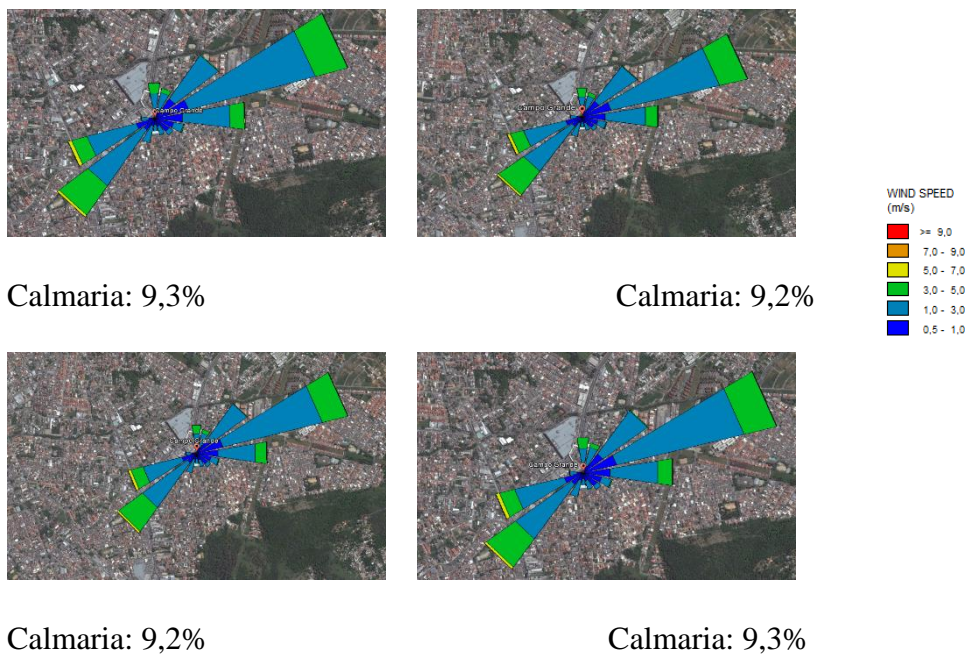
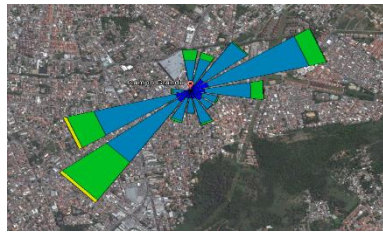
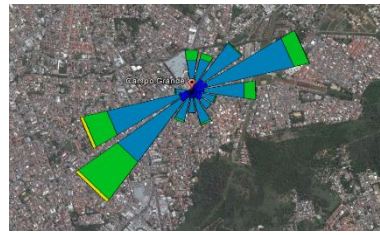


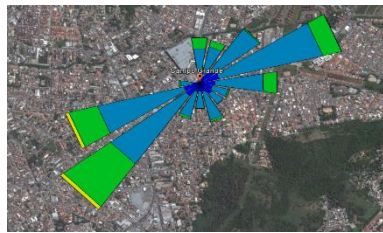
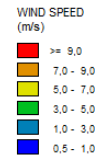
Figura 11 C – Dados de julho a setembro de 2014 da Estação Campo Grande para os horários 00 às 05; 06 às 11; 12 às 17 e 18 às 23h. Fonte: WRPLOT.



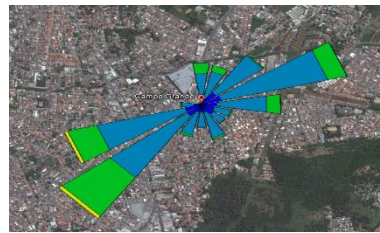
Calmaria: 5,1%



Calmaria: 5,1%



Calmaria: 5,2%



Calmaria: 5,2%

Figura 12 D – Dados de outubro a dezembro de 2014 da Estação Campo Grande para os horários 00 às 05; 06 às 11; 12 às 17 e 18 às 23h. Fonte: WRPLOT.