

PLANO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

Distrito de Baixa Emissão Centro

2023



**PLANO DE MONITORAMENTO DA
QUALIDADE DO AR DO DISTRITO DE
BAIXA EMISSÃO DO RIO DE JANEIRO**



**PLANO DE MONITORAMENTO DA
QUALIDADE DO AR DO DISTRITO DE
BAIXA EMISSÃO DO RIO DE JANEIRO**

RTC230017

**C4O
CITIES**

Rio de Janeiro/RJ
Agosto/2023

Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro – RJ

Prefeito Eduardo da Costa Paes

Secretaria Municipal do Ambiente e Clima – SMAC

Tainá Reis de Paula Kapaz

Subsecretaria de Meio Ambiente e Mudanças Climáticas – SUBMC

Artur Miranda Sampaio

Coordenadoria de Mudanças Climáticas – CMC

Tatiana Castelo Branco Dornellas

Gerência de Mudanças Climáticas – GMC

José Miguel Osório de Castro Carneiro Pacheco - Gerente

Bruno Bôscaro França - Engenheiro Químico

Marcos Borges Pereira - Engenheiro Civil

Secretaria Municipal de Fazenda e Planejamento – SMFP

Andrea Riechert Senko

Subsecretaria de Planejamento e Acompanhamento de Resultados – SUBPAR

Jean Leonardus Caris

Escritório de Planejamento – EPL

Daniel Gleidson Mancebo de Araujo - Coordenador Geral

Coordenadoria de Estratégias de Planejamento – CEP

Aline Romeu Xavier

Gerência de Instrumentos de Planejamento – GIP

Thaís Rennó de Andrade - Gerente

Simone Crispim da Silva Moraes - Arquiteta e Urbanista

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Localização do Distrito de Baixa Emissão no município do Rio de Janeiro.	8
Figura 2.2 Mapeamento das áreas de planejamento do Rio de Janeiro (Fonte: Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável do Município).....	9
Figura 2.3 Mapa da quantidade de habitantes do município do Rio de Janeiro (Fonte: IBGE 2010).....	12
Figura 2.4 Mapeamento das escolas do município do Rio de Janeiro (Fonte: Censo Escolar da Educação Básica 2018 – Ministério da Educação/INEP).....	13
Figura 2.5 Mapeamento das unidades de saúde do município do Rio de Janeiro (Fonte: Instituto Pereira Passos - DataRio).....	14
Figura 2.6 Mapeamento das vias do município do Rio de Janeiro (Fonte: OpenStreetMap).	15
Figura 3.1 Localização das estações de monitoramento da Rede de Monitoramento do Ar do Rio de Janeiro (MonitorAr-Rio).....	17
Figura 3.2 Rosas dos ventos sazonais do Aeroporto Santos Dumont no período de janeiro de 2018 a dezembro de 2022.	23
Figura 3.3 Gráfico da média horária da direção e velocidade do vento dos dados do Aeroporto Santos Dumont no período de janeiro de 2018 a dezembro de 2022.....	24
Figura 3.4 Esquema da metodologia de monitoramento perimetral para o Distrito de Baixa Emissão.	25
Figura 3.5 Mapa dos locais candidatos para o monitoramento da qualidade do ar.....	28
Figura 3.6 Gráfico de linhas de monitoramento de PTS e MP ₁₀	32
Figura 3.7 Box plot referente ao monitoramento de MP _{2,5} em três estações numa mesma localidade.....	33
Figura 3.8 Radares de poluente de PTS e MP ₁₀	34
Figura 3.9 Decomposição de dados do monitoramento de MP _{2,5} da cidade de Nova Jersey (Nova Iorque, EUA) - Estação 34-017-1003 (2007 a 2015).....	35

LISTA DE SIGLAS

CO	Monóxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBE	Distrito de Baixa Emissão
ES	Espírito Santo
GEE	Gases de Efeito Estufa
HC	Hidrocarbonetos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBIO	Instituto Estadual do Ambiente e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IPP	Instituto Pereira Passos
MP ₁₀	Material Particulado com diâmetro inferior a 10 µm
MP _{2,5}	Material Particulado com diâmetro inferior a 2,5 µm
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
O ₃	Ozônio
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
Pb	Chumbo
PF	Padrão Final
PI	Padrão Intermediário
RMDBE	Rede de Monitoramento
RS	Radiação Solar
SMAC	Secretaria Municipal do Ambiente e Clima
SMFP	Secretaria Municipal de Fazenda e Planejamento
SMS	Short Message Service
SO ₂	Dióxido de Enxofre
SUBCLA	Subsecretaria de Controle e Licenciamento Ambiental
UR	Umidade Relativa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	7
3. PLANO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR	16
3.1 METODOLOGIA.....	21
3.2 PROPOSTA DE PLANO	26
3.2.1 EQUIPAMENTOS SUGERIDOS.....	29
3.2.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS DE MONITORAMENTO.....	32
4. CONCLUSÃO	36
5. EQUIPE TÉCNICA.....	37

1. INTRODUÇÃO

O Rio de Janeiro é uma das cidades signatárias do grupo C40 - Grandes Cidades para Liderança do Clima, que tem como objetivos principais debater e estimular a proposição de ações para minimizar os efeitos das mudanças climáticas nas cidades.

Em conformidade com a Declaração de Ruas Livres de Combustíveis Fósseis, da C40, o Decreto Rio Nº 46081 de 11/06/2019 e o Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática da Cidade, que tem como uma de suas metas garantir que ao menos uma área da cidade tenha emissão zero de carbono, foi instituído e delimitado, por meio da Lei complementar nº 229/2021, o Distrito de Baixa Emissão (DBE) na região do Centro do Rio de Janeiro, com objetivo de implementar ações de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e de poluentes atmosféricos, de modo a promover a melhoria da qualidade de vida e da saúde, resultando em um ambiente mais atrativo para a população. O Projeto DBE é coordenado pelo Escritório de Planejamento da Secretaria Municipal de Fazenda e Planejamento.

A redução das emissões na região do Distrito está associada à adoção de medidas de como a requalificação urbana sustentável, implantação de ciclovias, o incremento da mobilidade ativa e limpa, o aumento de áreas verdes e incremento de arborização, a elaboração do plano de mobilidade limpa, além de projetos educativos para o engajamento da população, dentre outras atividades. Desta forma, foi firmada parceria entre o C40, a Secretaria Municipal de Fazenda e Planejamento (SMFP) e a Secretaria Municipal do Ambiente e Clima (SMAC), a fim de apoiar a implementação da Área Zero Emissão. Esta parceria se enquadra no Programa de Assistência Técnica de Qualidade do Ar C40, viabilizado pelo Fundo de Ar Limpo.

No âmbito internacional, dentro do sistema da Organização das Nações Unidas (ONU), a Organização Mundial da Saúde (OMS) representa o organismo diretor e coordenador nos assuntos relacionados à saúde. As diretrizes de qualidade do ar, estabelecidas pela OMS e que servem de base para os padrões de qualidade do ar nacionais, foram projetadas para oferecer orientações aos líderes políticos, visando a redução dos impactos da poluição atmosférica sobre a saúde. Nesse contexto, o monitoramento de qualidade do ar se apresenta como uma ferramenta que permite avaliar o grau de exposição aos poluentes atmosféricos que uma população está exposta, bem como acompanhar as tendências de médio e longo prazo para subsidiar a gestão dos recursos atmosféricos.

Em suporte às ações para a redução das emissões, a Cidade do Rio de Janeiro, através da Secretaria Municipal de Fazenda e Planejamento e a Secretaria Municipal do

Ambiente e Clima, e o C40 elaboraram um Plano de Monitoramento da Qualidade do Ar, visando a avaliação sistemática dos níveis de poluentes atmosféricos no DBE antes, durante e depois das ações previstas, como apresentado a seguir.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Distrito de Baixa Emissão está localizado em uma área de aproximadamente 2,3km² na região do Centro do município do Rio de Janeiro (Figura 2.1), delimitada pela Avenida Marechal Floriano, Rua Visconde de Inhaúma, Orla Prefeito Luiz Paulo Conde, Avenida Alfred Agache, Avenida General Justo, Avenida Beira Mar, Rua Teixeira de Freitas, Avenida Mem de Sá, Rua dos Inválidos e Praça da República. Trata-se de uma região predominantemente ocupada por serviços, comércio e turismo que apresenta diversas empresas do setor de Petróleo e Gás e atividades de suporte à operação de embarcações offshore. Além disso, abriga o Porto do Rio, o Aeroporto Santos Dumont e grandes terminais como a Central do Brasil e o terminal aquaviário da Praça XV, sendo, assim, uma região de intenso fluxo de pessoas e de automóveis.

Apesar do DBE representar apenas 0,20% do território da cidade, para a compreensão dos potenciais impactos na área de estudo, torna-se necessária a descrição e a localização das fontes emissoras e dos receptores sensíveis, assim como, a distribuição populacional e o conhecimento dos aspectos relacionados às condições meteorológicas da cidade. Uma vez que a circulação do ar na superfície terrestre não respeita fronteiras legalmente estabelecidas, para subsidiar a elaboração do Plano de Monitoramento do Distrito é preciso conhecer também o seu entorno próximo.

A fim de possibilitar a melhor visualização e compreensão das informações, foi adotada a divisão do território da cidade do Rio de Janeiro em áreas de planejamento (Figura 2.2), conforme descrito no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável do Município (Lei Complementar nº 111/2011). Esta divisão é baseada em critérios de compartimentação ambiental, de características histórico-geográficas e de uso e ocupação do solo.



Figura 2.1 Localização do Distrito de Baixa Emissão no município do Rio de Janeiro.

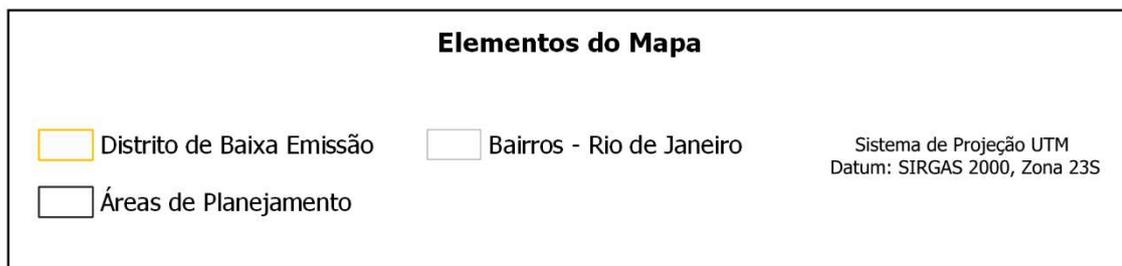
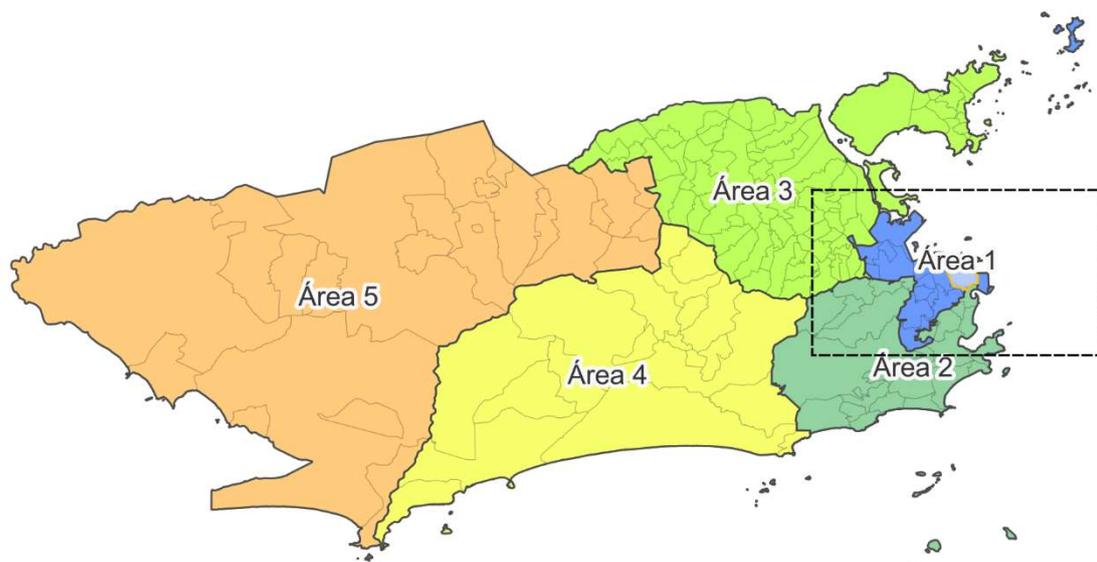


Figura 2.2 Mapeamento das áreas de planejamento do Rio de Janeiro (Fonte: Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável do Município).

A distribuição populacional de um município, o mapeamento das fontes emissoras e dos receptores sensíveis compõem o conjunto de informações essenciais para o gerenciamento estratégico da qualidade do ar de uma região.

As informações relativas à distribuição populacional do município do Rio de Janeiro utilizadas na Figura 2.3 foram obtidas da base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Observa-se que a área do DBE apresenta uma quantidade relativamente baixa de habitantes, mas alta em sua população flutuante, o que se justifica devido ao perfil comercial, de serviços e turístico da região central. Estima-se que a Região Administrativa II, que engloba os bairros da Lapa e Centro, abrigava 42.621 habitantes em 2020, conforme dados do Instituto Pereira Passos (IPP). Cabe ressaltar que a Lei Reviver Centro, que institui o Distrito, tem como um de seus objetivos principais o incremento do uso residencial na região. Entretanto, observa-se também que os demais bairros da área de planejamento 1, como Glória, Catete e Flamengo, apresentam uma quantidade elevada de habitantes.

A Figura 2.4 indica que na região de planejamento 1 há uma concentração de receptores sensíveis de instituições de ensino, tanto dentro da área do DBE, quanto nas demais áreas dessa região. Analisando através da Figura 2.5 a distribuição das unidades de saúde, observa-se que a maior concentração de receptores sensíveis está localizada a oeste do Distrito.

A Figura 2.6 apresenta o mapeamento das vias de maior relevância no município do Rio de Janeiro, como grandes avenidas, túneis e ruas de tráfego intenso. Cabe ressaltar, que os dados de vias, obtidos da base de dados do OpenStreetMap, foram complementados via geoprocessamento, sendo validados pela equipe da SMAC e da EcoSoft. Observa-se a presença de vias com potencial poluidor, devido às emissões dos veículos movidos à combustão, no interior e nas imediações do DBE, com destaque para a Avenida Presidente Vargas, a Avenida Passos e a Rua Primeiro de Março.

As fontes emissoras com contribuição no interior do DBE são compostas pelo serviço de limpeza pública, as atividades comerciais do Centro do Rio de Janeiro e pelo tráfego de veículos, que inclui não só as emissões do escapamento, mas também as emissões as provocadas pela ressuspensão das partículas disponíveis na superfície das vias de tráfego. O tráfego de veículos representa uma importante fonte de emissão de material particulado e de GEE no interior do DBE. Em relação às emissões de partículas, a ressuspensão é o processo predominante na carga emitida. A ressuspensão de partículas é ocasionada em função da turbulência gerada pelo fluxo veicular, contudo, alguns aspectos estão relacionados à quantidade de material particulado que está disponível na superfície das vias, como: partículas provenientes do desgaste de pneus

e freios, desgaste da superfície do pavimento da via, material particulado transportando de superfícies expostas em eventos de chuva, e a própria deposição de partículas da atmosfera. Por outro lado, os gases, incluindo os GEE, lançados à atmosfera por meio do escapamento são produtos da queima de combustíveis fósseis, como gasolina, etanol e diesel. Desta forma, a quantidade de poluentes que é emitida em ao longo de uma via varia de acordo com o volume do tráfego incidente sobre a mesma, o tipo de combustível utilizado pelos veículos e das condições de conservação do pavimento e das condições de limpeza da via. As ações a serem implementadas no DBE com a finalidade de zerar estas emissões devem considerar tais fatores.

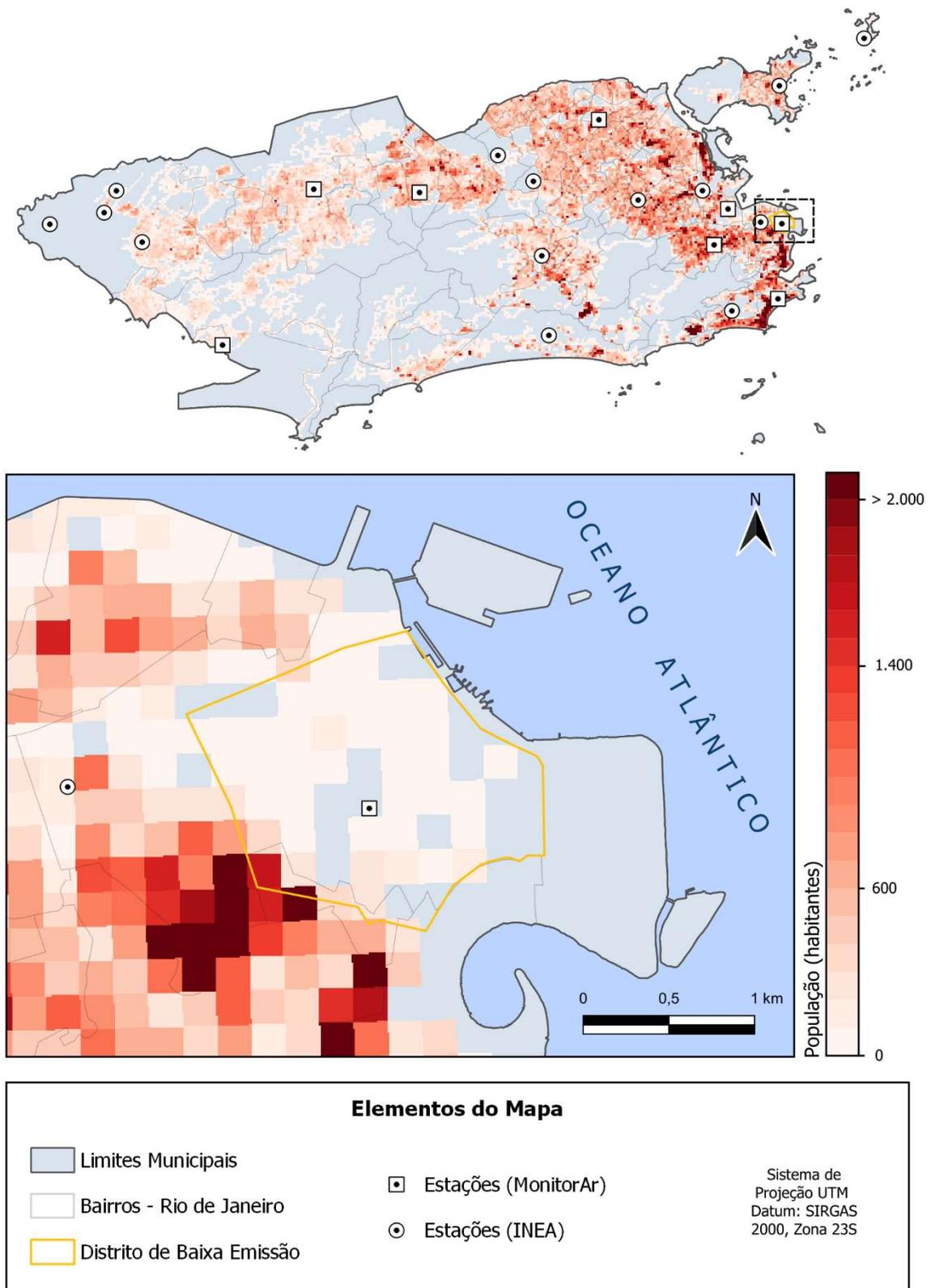


Figura 2.3 Mapa da quantidade de habitantes do município do Rio de Janeiro (Fonte: IBGE 2010).

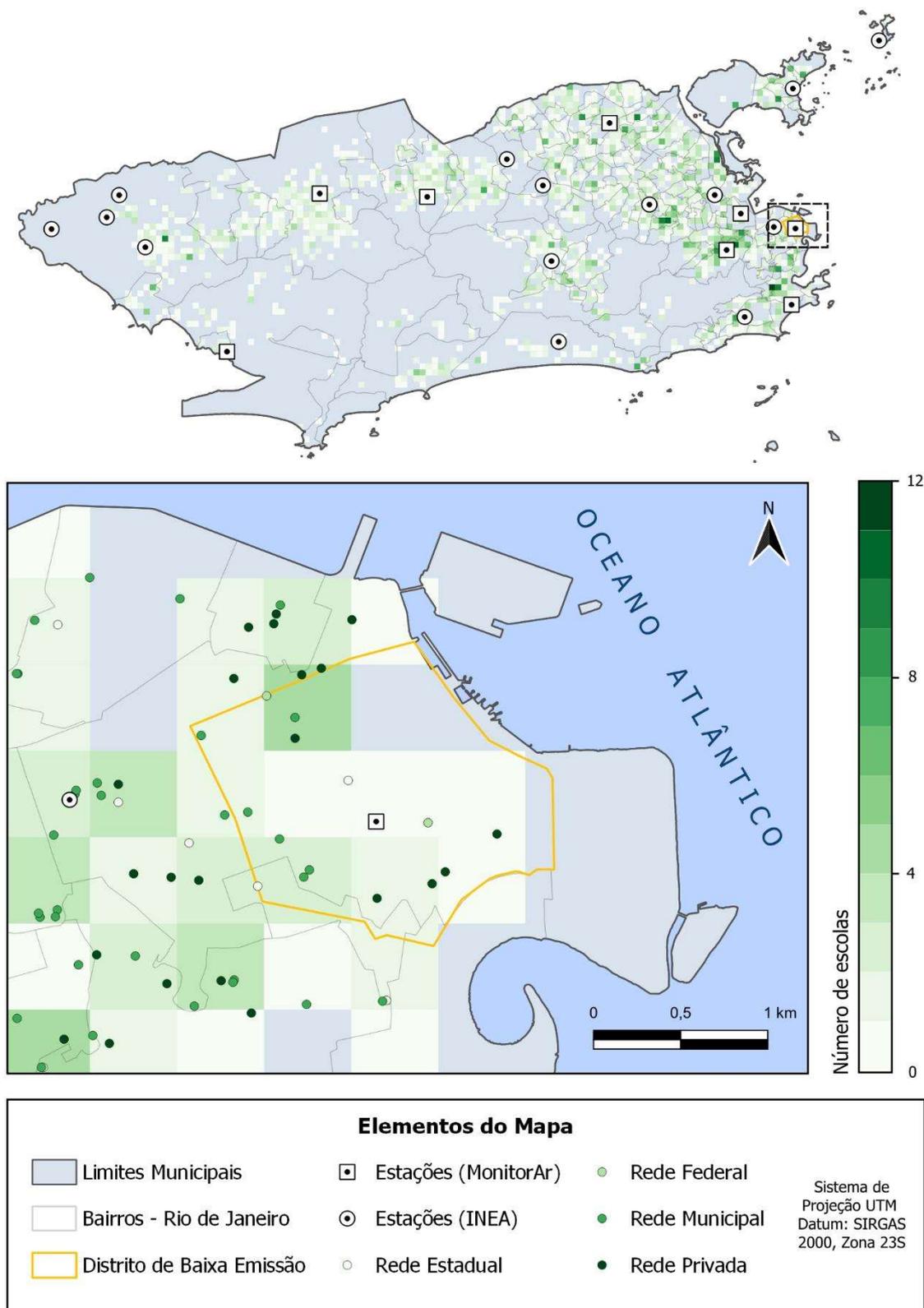


Figura 2.4 Mapeamento das escolas do município do Rio de Janeiro (Fonte: Censo Escolar da Educação Básica 2018 – Ministério da Educação/INEP).

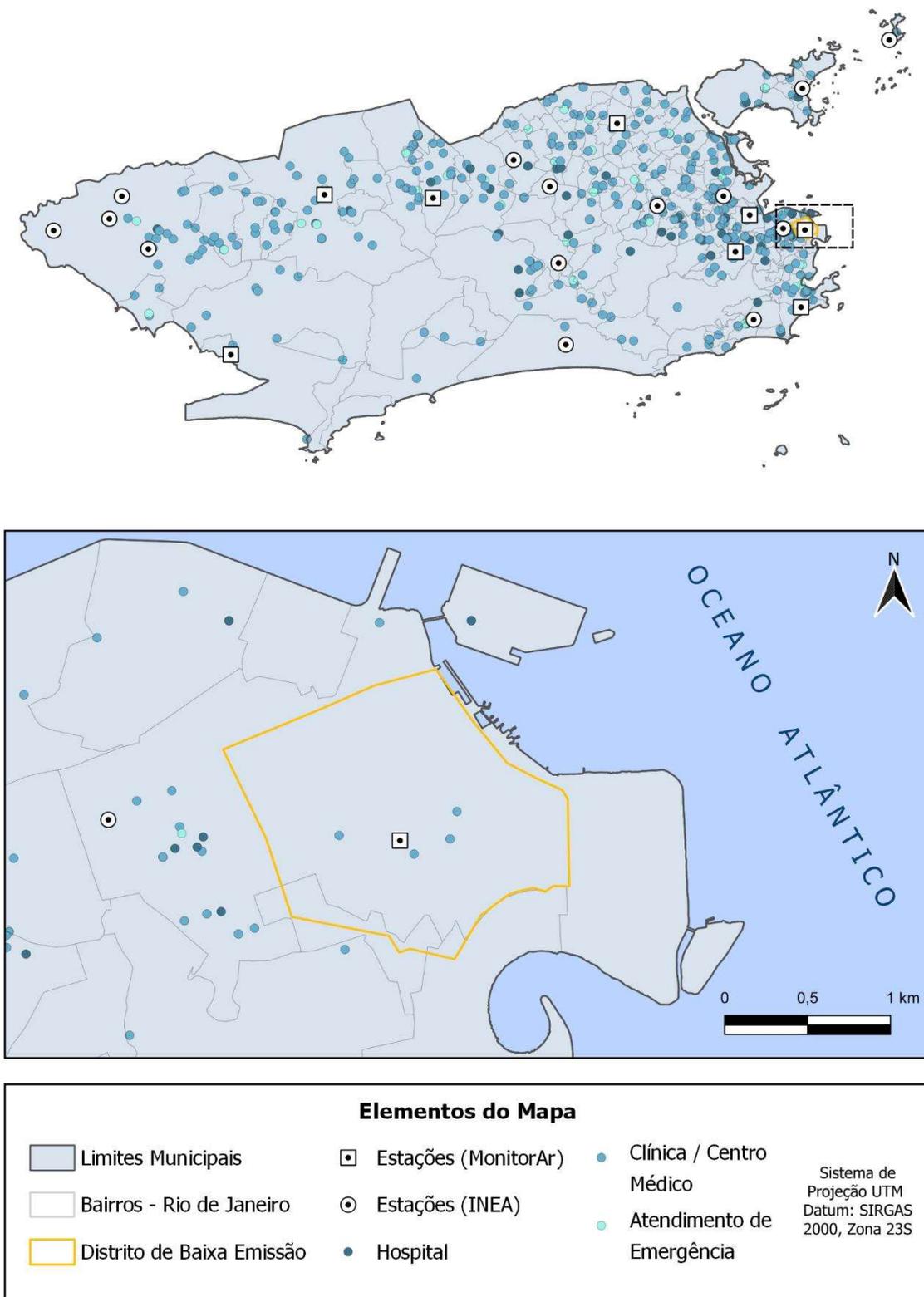


Figura 2.5 Mapeamento das unidades de saúde do município do Rio de Janeiro (Fonte: Instituto Pereira Passos - DataRio).

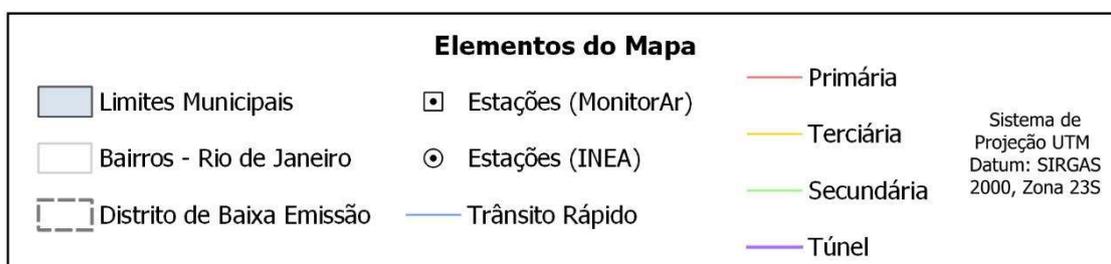
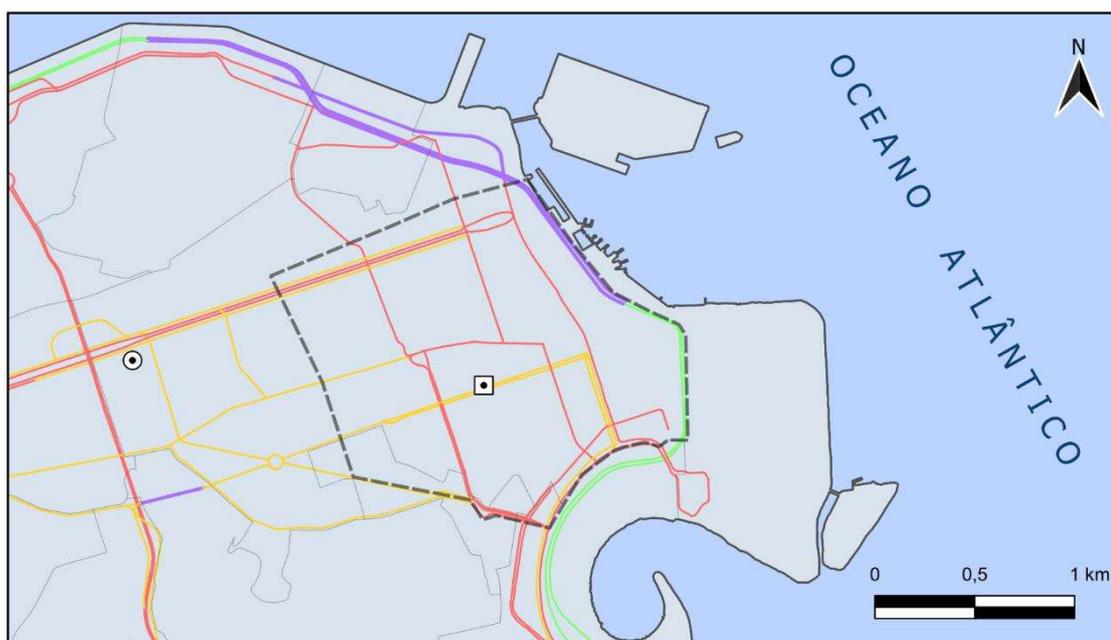
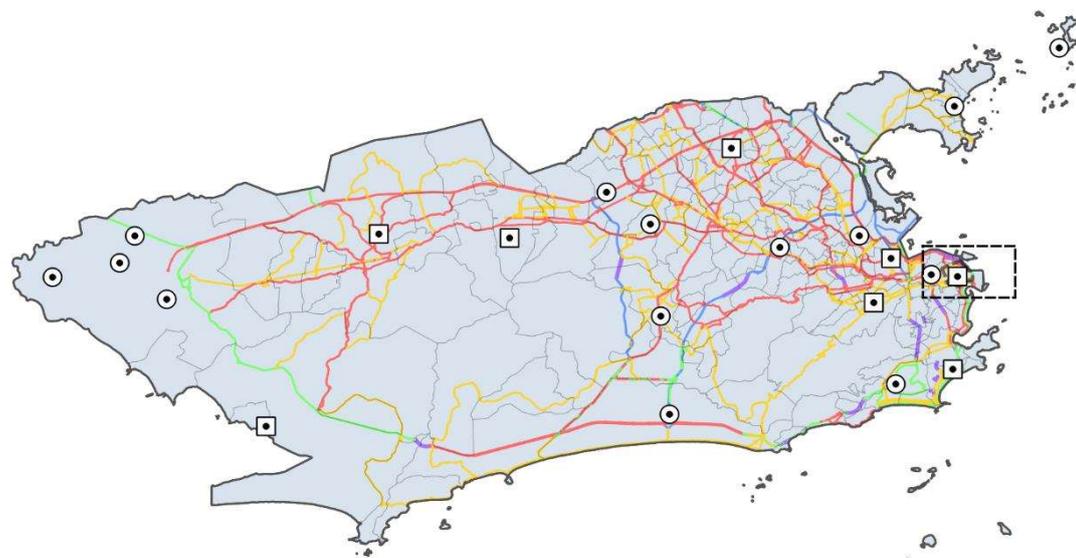


Figura 2.6 Mapeamento das vias do município do Rio de Janeiro (Fonte: OpenStreetMap).

3. PLANO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

Considerando as características de uso e ocupação do solo observadas no Distrito de Baixa Emissão, é possível inferir que a redução das emissões de poluentes nessa região está fortemente associada à adoção de medidas de planejamento urbano que visem a mitigação das emissões veiculares.

Nesse contexto, a fim de avaliar o impacto das ações de redução das emissões previstas para o Distrito em questão, torna-se necessário o conhecimento prévio dos níveis de concentração de poluentes atmosféricos na região e o acompanhamento dessas concentrações durante as ações e a longo prazo. Desta forma, para realizar o acompanhamento dos níveis de poluentes atmosféricos da região do DBE de maneira adequada, é fundamental a elaboração de um Plano de Monitoramento da Qualidade do ar, garantindo a qualidade do acompanhamento, sua representatividade e a compatibilidade com os objetivos do Rio de Janeiro e da C40.

O monitoramento do grau de exposição de uma região, povoada ou não, à poluição atmosférica deve ser realizado por meio de uma rede de medição dimensionada especificamente para tal fim. Uma rede de monitoramento adequada deve garantir que as áreas que apresentam maior potencial de alteração da qualidade do ar estejam contempladas, além de possuir quantidade de pontos de monitoramento suficientes para cobrir espacialmente, de forma eficiente, a área de interesse. Atualmente, a Prefeitura do Rio possui e mantém a Rede de Monitoramento do Ar da Cidade do Rio de Janeiro (MonitorAR-Rio), composta por oito estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar. As estações estão localizadas nos bairros do Centro, Copacabana, São Cristóvão, Tijuca, Irajá, Bangu, Campo Grande e Pedra de Guaratiba. A seguir são apresentadas a localização (Figura 3.1) e as características gerais dos pontos de monitoramento existentes na cidade do Rio (Tabela 3.1).

As diretrizes de qualidade do ar da OMS foram projetadas com o objetivo de fornecer orientação para o poder público, visando a redução dos impactos da poluição atmosférica sobre a saúde da população. Essas diretrizes são revisadas periodicamente com base no conhecimento científico disponível. Atualmente, os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar são estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018, estruturada em etapas intermediárias (Padrões Intermediários - PI) com a finalidade de atingir os valores sugeridos pela OMS (Padrão Final). Os padrões de qualidade do ar vigentes no Brasil encontram-se compilados na Tabela 3.2.

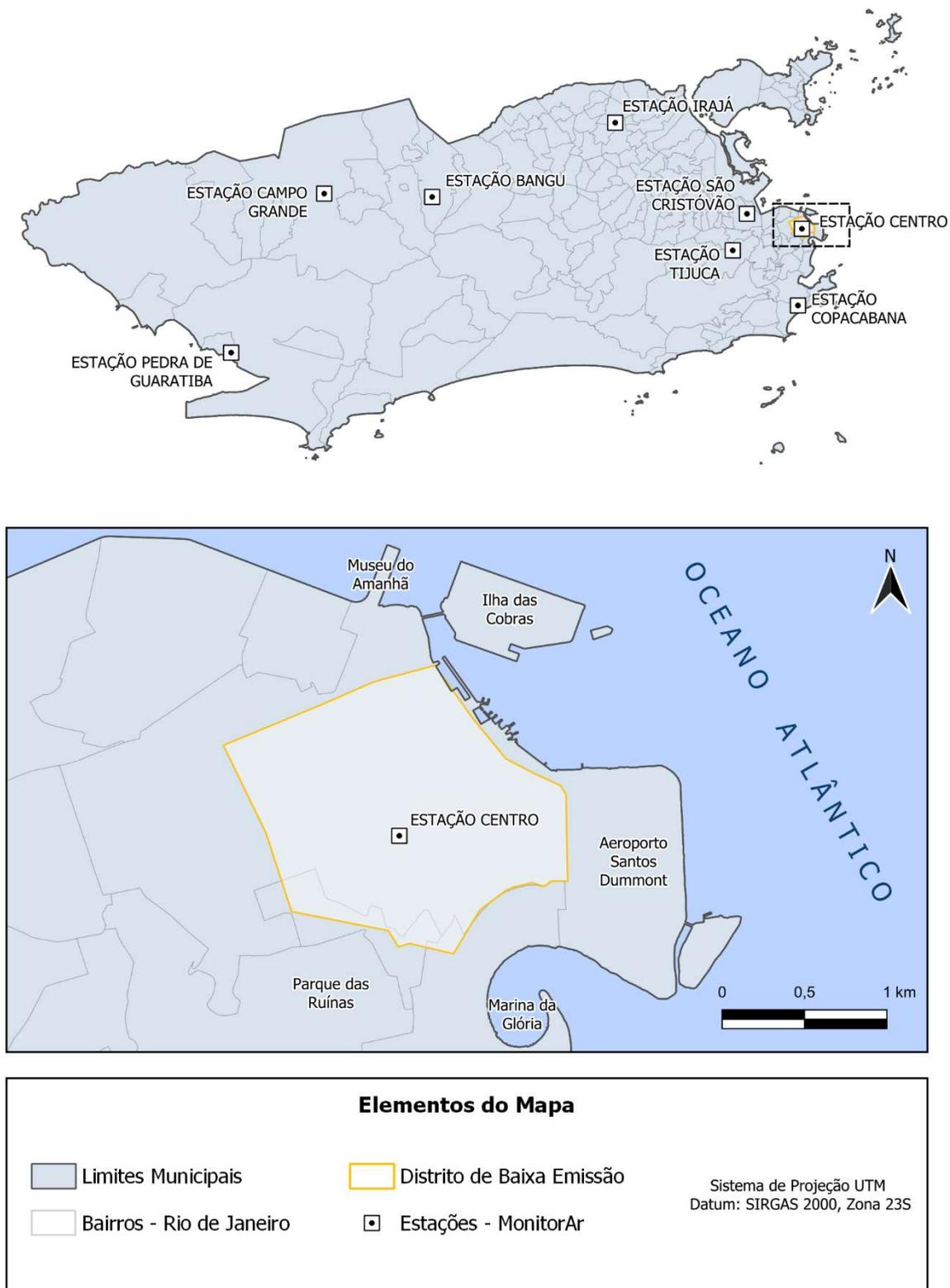


Figura 3.1 Localização das estações de monitoramento da Rede de Monitoramento do Ar do Rio de Janeiro (MonitorAr-Rio).

Tabela 3.1 Configuração da Rede de Monitoramento do Ar do Rio de Janeiro.

Parâmetros	Estação de Monitoramento / Data de início de operação								
	Centro	Copacabana	São Cristóvão	Tijuca	Irajá	Bangu	Campo Grande	Pedra de Guaratiba	
	06/05/2010	06/05/2010	06/05/2010	10/08/2010	21/12/2011	21/12/2011	21/12/2011	21/12/2011	
Poluentes Atmosféricos	SO ₂					X	X	X	
	CO	X				X			
	O ₃	X	X	X	X	X	X	X	X
	MP ₁₀	X	X	X	X	X	X	X	X
	MP _{2,5}					X			
	NO _x				X	X	X	X	
	HC					X			
Meteorologia	Temp.	X	X		X			X	X
	UR	X	X		X			X	X
	Vento	X	X	X	X	X	X	X	X
	Chuva	X	X	X	X	X	X	X	X
	Pressão	X	X	X	X	X	X	X	X
	RS	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabela 3.2 Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, conforme Resolução CONAMA 491/2018.

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

Notas:

- 1 - Média aritmética anual;
- 2 - Média horária;
- 3 - Máxima média móvel obtida no dia;
- 4 - Média geométrica anual;
- 5 - Medido nas partículas totais em suspensão.

No contexto do monitoramento da qualidade do ar no DBE, a estação Centro é a única que está localizada dentro da área de interesse do projeto. Esta estação realiza o monitoramento dos parâmetros MP_{10} , O_3 e CO, e conta com equipamentos de referência homologados para o monitoramento regulatório. A Tabela 3.3 apresenta uma descrição detalhada dos equipamentos existentes nesta estação, especificando marca, modelo e ano do início da operação.

Tabela 3.3 Configuração de monitoramento da Estação Centro.

Estação Centro			
Equipamento	Marca	Modelo	Início da Operação
Analisador de Monóxido de Carbono	Ecotech	Serinus 30	2010
Analisador de Ozônio	Ecotech	EC9810	2009
Analisador de Partículas – MP_{10}	MetOne	BAM 1020	2009
Sensor de Temperatura e Umidade	Rotronic	Hygroclip	2000
Sensor de Velocidade e Direção do Vento	GILL	Windsonic	2009
Sensor de Radiação Solar	Li-Cor	Pyranometer	2009
Sensor de Precipitação Pluviométrica	JCTM	-	2009
Sensor de Pressão Atmosférica	SutronCorp	5600-0120-1	2009
Oxidante Térmico	Ecotech	HTO 1000	2000
Sistema de Geração de Ar Zero	Ecotech	8301 LC	2000
Painel Terminal	Ecotech	-	2000

As Tabelas 3.4 e 3.5 apresentam respectivamente as concentrações máximas dos poluentes da Estação Centro da rede MonitorAr-Rio em 2021 e as concentrações médias anuais de MP_{10} , na mesma estação, no período de 2017 ao de 2021. A análise dos dados, tendo como base os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018, indica que a concentração máxima de MP_{10} no ano de 2021 atende ao padrão intermediário PI- 2 da legislação, enquanto o O_3 atendeu ao padrão intermediário PI-3, para ambos os poluentes o padrão em vigor é o PI-1, conforme apresentado pela Tabela 3.2. Em relação ao poluente CO, as concentrações máximas atendem ao padrão final estabelecido pela legislação.

Sendo assim, os poluentes MP_{10} e O_3 em 2021 atenderam padrões mais restritivos que o regulamentado atualmente. Ao observar as concentrações médias anuais de MP_{10} a partir de 2017, observa-se o atendimento ao PI-2, e no ano de 2021 um discreto aumento da concentração média, que apresenta ainda assim o atendimento ao padrão anual em vigor PI-1. A análise do comportamento histórico dos dados de monitoramento da Estação Centro auxilia no processo de tomada de decisão na elaboração do Plano de Monitoramento do DBE.

Tabela 3.4 Concentrações máximas diárias de MP₁₀, O₃ e CO observadas na Estação Centro da rede MonitorAr-Rio em 2021.

Poluente (µg/m ³)	Referência temporal	1ª Máxima	2ª Máxima
MP ₁₀	24 horas	86	75
O ₃	8 horas	116	113
CO	8 horas	1,6	1,5

Tabela 3.5 Concentrações médias anuais de MP₁₀ observadas na Estação Centro da rede MonitorAr-Rio nos anos de 2017 à 2021.

Poluente (µg/m ³)	Ano				
	2017	2018	2019	2020	2021
MP ₁₀	29	32	29	25	38

3.1 METODOLOGIA

Considerando as especificidades, objetivos e metas desejadas para o Distrito de Baixa Emissão, observa-se que a estação Centro, pertencente à rede MonitorAR-Rio, instalada no interior da área estudada, não seria suficiente para cobrir com a resolução espacial e a eficiência desejada todo território demarcado. A necessidade de complementação desse monitoramento é motivada pelos seguintes aspectos, principalmente:

- a) a qualidade do ar no interior do DBE é significativamente influenciada pelas fontes emissoras situadas no seu entorno, o que dificulta identificar se eventuais alterações na qualidade do ar são decorrentes de fontes internas ou externas ao DBE;
- b) as reduções de emissões a serem alcançadas no interior do DBE serão mais perceptíveis na qualidade do ar em locais muito próximos às fontes controladas ou suprimidas (microescala), o que demanda o uso de monitores com maior portabilidade para permitir o acompanhamento eficaz dos efeitos das ações de controle;
- c) faz-se necessário conhecer os fluxos de poluentes que adentram e saem do DBE, o que só se torna viável com a adoção de monitoramento específico, a ser alcançado com um conjunto de monitores instalados em pontos perimetrais da região de interesse.

Então, para que as ações de controle das emissões sejam adequadamente mensuradas quanto aos efeitos de redução dos níveis de poluentes no ar do interior do Distrito, faz-se necessário adensar a cobertura espacial da rede de monitoramento, bem como utilizar monitores capazes de proporcionar facilidade e flexibilidade de instalação, operação e manutenção, sem abrir mão da qualidade metrológica.

O Plano de Monitoramento da Qualidade do Ar também deverá proporcionar a avaliação das tendências relativas à qualidade do ar em diferentes escalas temporais, para a área que se deseja estudar. Para a compreensão acerca do comportamento dos poluentes na atmosfera, dois fatores principais devem ser levados em consideração: a localização das fontes emissoras e as características meteorológicas da região.

Conforme já mencionado, a presença de fontes de poluição atmosférica no entorno do DBE impacta diretamente nas medições realizadas pela rede de monitoramento a ser instalada. A pequena extensão da área do Distrito, que representa menos de 1% da área do município, potencializa a influência do “efeito de borda”, ou seja, os eventos de

emissões atmosféricas que acontecem ao redor do distrito impactam diretamente na qualidade do ar monitorada em seu interior.

O comportamento dos ventos na região central da cidade do Rio de Janeiro também foi analisado para o desenvolvimento deste trabalho. Foram elaboradas rosas dos ventos sazonais (Figura 3.2) com dados de direção e velocidade medidos no período de 2018 a 2022 com base em dados do Aeroporto Santos Dummont. Além disso, foram elaborados gráficos de evolução horária para a direção e a velocidade dos ventos (Figura 3.3). A análise em conjunto dos dois gráficos indicou a predominância, na região, dos ventos provenientes das direções sul, sul-sudeste e norte e a mudança de direção nos períodos da manhã e fim da tarde, devido à ocorrência de brisa marítima.

A partir da compreensão das características principais da região de estudo, e tendo em vista a pequena extensão da área do DBE para realizar o monitoramento de forma eficiente e representativa, a estratégia delimitada consiste no monitoramento perimetral, onde os equipamentos são instalados ao longo do perímetro da área de interesse.

Esta abordagem permite o acompanhamento das condições de qualidade do ar em diferentes pontos do distrito, além de cobrir a entrada e saída em suas interfaces, independente da variação no regime de ventos, permitindo que os pontos de monitoramento à barlavento do Distrito detectem as concentrações de background do ar que adentra no Distrito, assim como as estações de monitoramento situadas a sotavento meçam as concentrações de poluentes que saem do Distrito. Este princípio encontra-se ilustrado na Figura 3.4.

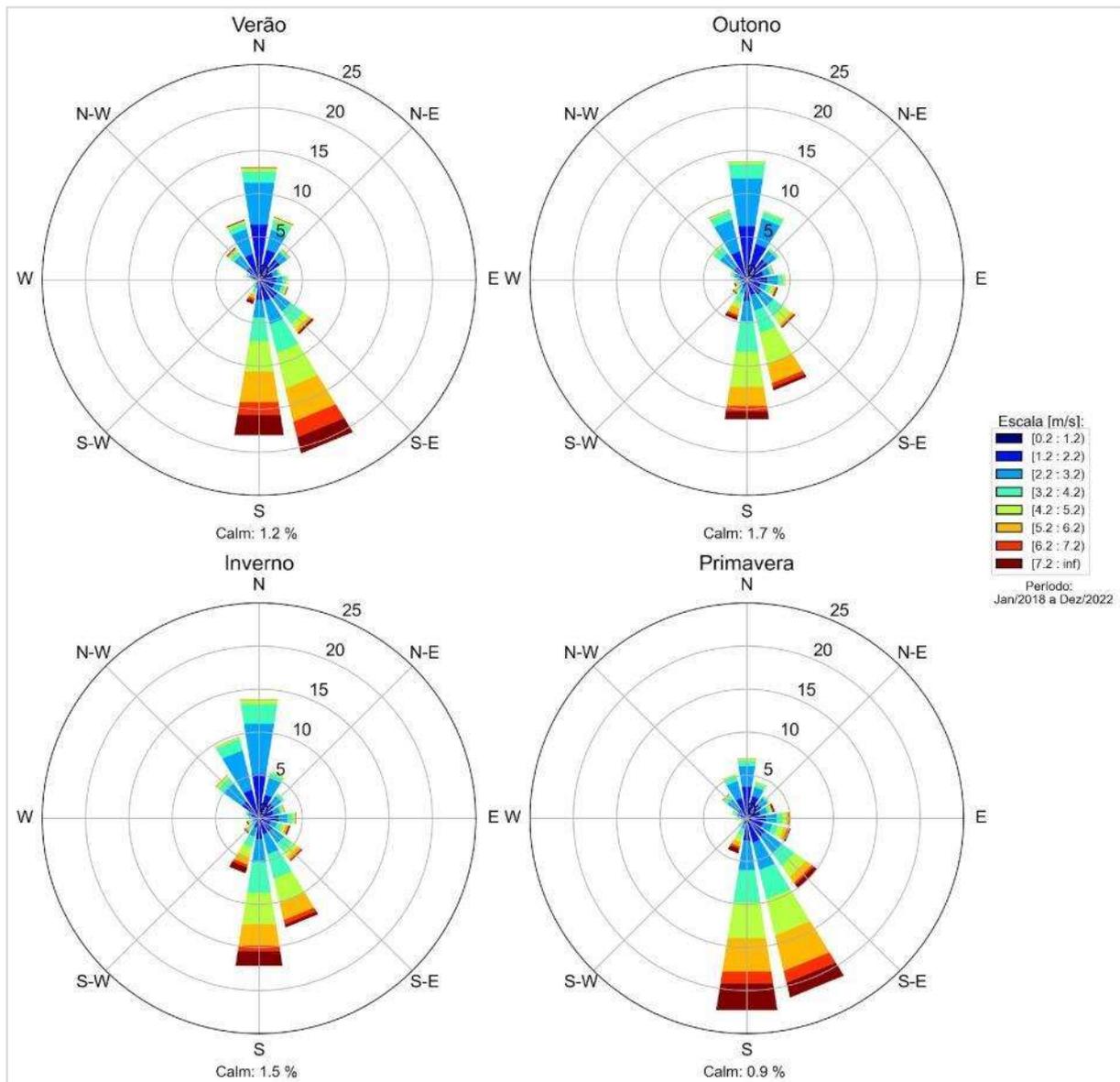


Figura 3.2 Rosas dos ventos sazonais do Aeroporto Santos Dumont no período de janeiro de 2018 a dezembro de 2022.

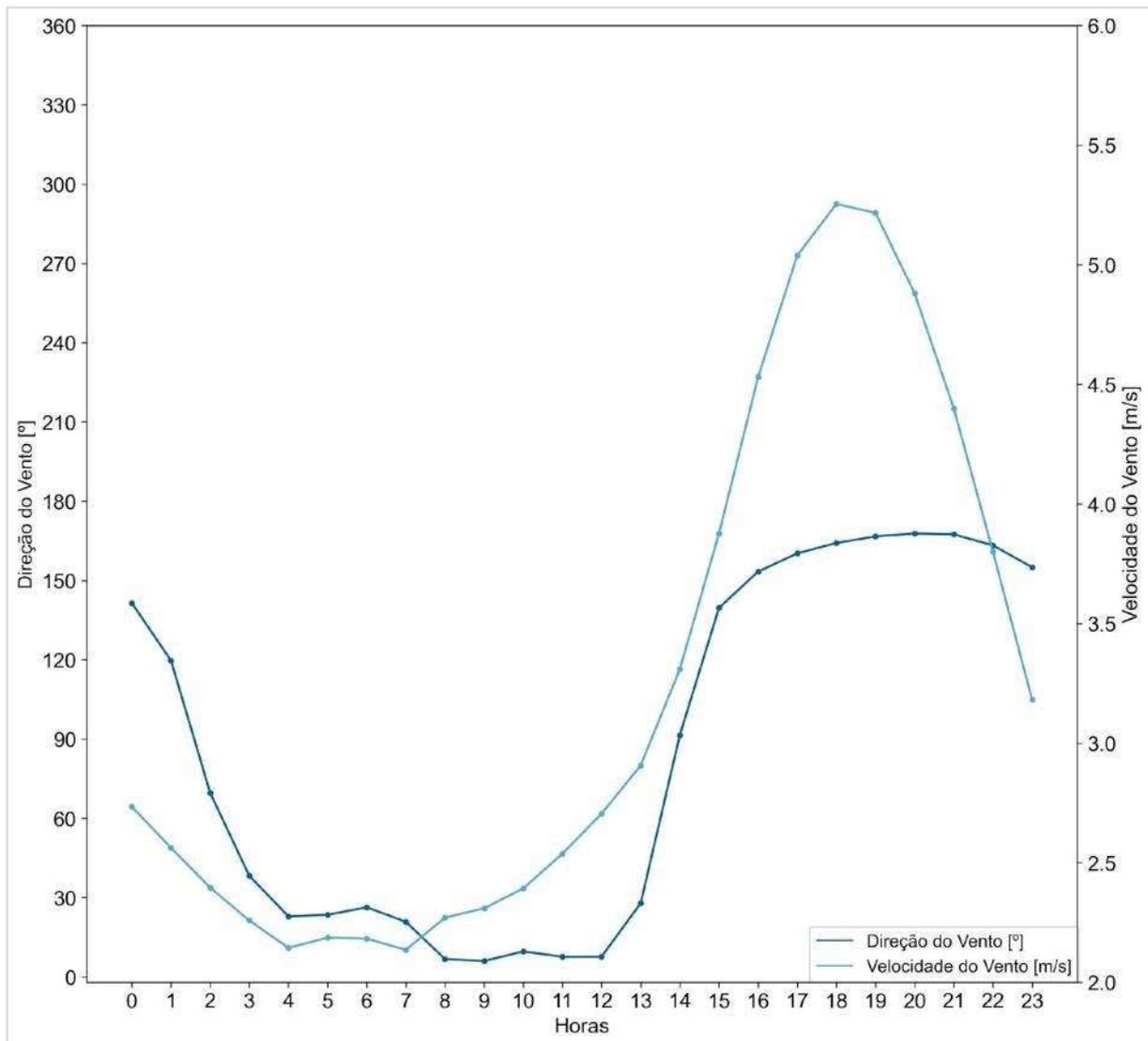


Figura 3.3 Gráfico da média horária da direção e velocidade do vento dos dados do Aeroporto Santos Dumont no período de janeiro de 2018 a dezembro de 2022.

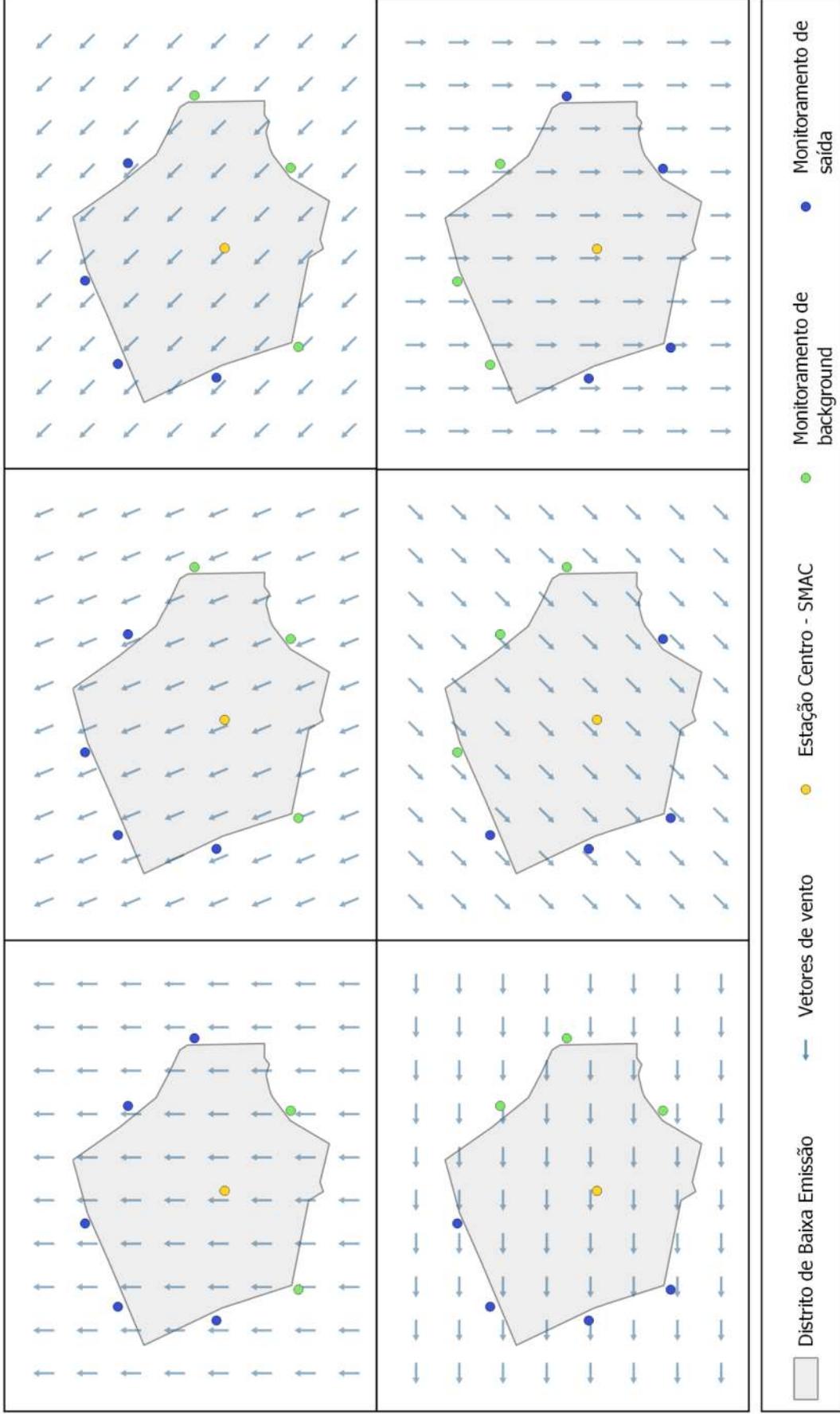


Figura 3.4 Esquema da metodologia de monitoramento perimetral para o Distrito de Baixa Emissão.

3.2 PROPOSTA DE PLANO

Com base no exposto nas seções anteriores, considerando os objetivos do Distrito de Baixa Emissão, e amparado ainda por visita de campo da equipe técnica da EcoSoft, foram definidos locais candidatos para alocação dos pontos da Rede de Monitoramento proposta.

Alguns critérios foram observados a fim de garantir que os locais candidatos atendam aos requisitos técnicos de representatividade, disponibilidade e adequabilidade para a instalação dos equipamentos de monitoramento. Foram considerados ainda como critérios de escolha dos locais a presença de fontes poluidoras que possam interferir no monitoramento, a viabilidade e facilidade da implantação e manutenção dos equipamentos, além das condições mínimas de infraestrutura, como rede de energia elétrica acessível, pavimentação adequada e ventilação.

Outro aspecto avaliado foi a condição de segurança patrimonial de cada local candidato, tendo em vista que o Distrito está localizado na região central do município do Rio de Janeiro, cujo fluxo de pessoas no período noturno é reduzido. Sendo assim, foram observadas as condições de vigilância 24 horas do local, dando prioridade a pontos com acesso restrito. Priorizaram-se, também, locais que possibilitem a cobertura do perímetro do Distrito, permitindo um melhor acompanhamento das concentrações em seu interior e exterior.

A estação Centro, em operação e gerenciada pela SMAC, também foi assimilada à composição da Rede Proposta, servindo de referência devido à sua localização no centro da área de interesse, por executar monitoramento de meteorologia e por utilizar equipamentos de referência (homologados para o monitoramento regulatório da qualidade do ar).

A Tabela 3.6 apresenta possíveis sítios para alocação de monitores, identificados na região de estudo e dotados das características necessárias para o monitoramento no Distrito, além de 3 locais alternativos (pontos 8, 9 e 10) e a estação Centro, que compõe a Rede de Monitoramento da cidade do Rio. Os mesmos pontos também estão representados no mapa da Figura 3.5.

Tabela 3.6 Locais candidatos avaliados em visita técnica para o monitoramento da qualidade do ar.

Locais Candidatos	Coordenadas (UTM Zona 23S UTM)	
	X (m)	Y (m)
1. Escola Municipal Rivadavia Corrêa	685.821	7.465.986
2. Praça dos Correios	687.112	7.466.305
3. Espaço de Desenvolvimento Infantil Campos Salles	686.001	7.465.517
4. Centro	686.853	7.465.469
5. Museu Histórico Nacional	687.663	7.465.753
6. CIEP José Pedro Varela	686.514	7.465.136
7. Posto Petrobras	687.571	7.465.135
8. Museu Histórico e Diplomático do Itamaraty (alternativa ao Ponto 1)	685.825	7.466.063
9. Praça XV de Novembro (alternativa ao Ponto 2)	687.367	7.466.141
10. Localiza (alternativa ao Ponto 7)	687.681	7.464.930

As redes de monitoramento compostas por equipamentos automatizados e com operação contínua proporcionam um conhecimento mais aprofundado e detalhado da qualidade do ar, permitindo uma gestão mais aprimorada dos recursos atmosféricos. Os dados são gerados com alta frequência e de forma padronizada, permitindo avaliações precisas do atendimento dos padrões de qualidade do ar, identificação e resposta imediata a eventos extremos de poluição atmosférica; observação de tendências e sazonalidades de curto, médio e longo prazos; correlação da qualidade do ar com a saúde da população, dentre outras aplicações. Além disso, estações de monitoramento desse tipo permitem integração e transmissão dos dados medidos em tempo real para o órgão ambiental.

Tendo em vista o objetivo de reduzir os índices de concentração de poluentes no DBE, torna-se necessário o dimensionamento estratégico da rede de monitoramento que terá características específicas, capaz de detectar e mensurar as variações na qualidade do ar dentro do Distrito, possibilitando ainda a análise e segregação da influência das fontes externas ao perímetro da área estudada.

Recomenda-se finalmente que a Rede de Monitoramento do Distrito de Baixa Emissão (RMDBE) seja composta pela estação Centro (MonitorAR-Rio) e por 6 monitores de material particulado adicionais a serem instalados nos locais candidatos descritos na Figura 3.5, monitorando PTS, MP₁₀ e MP_{2,5}. Tal arranjo proporcionará uma cobertura eficiente de toda a área de interesse, incluindo o monitoramento da entrada e saída de poluentes no perímetro da área estudada, independente da variação do regime de ventos. Recomenda-se ainda a complementação da estação Centro (MonitorAR-Rio) com a inclusão de equipamentos automáticos de medição contínua das concentrações dos poluentes MP_{2,5} e NO_x.



Figura 3.5 Mapa dos locais candidatos para o monitoramento da qualidade do ar.

Além dos equipamentos sugeridos para a Rede de Monitoramento, recomenda-se a utilização de 2 monitores adicionais com a finalidade de atuar em medições móveis. Tais monitores atuariam de forma itinerante, sendo instalados próximo a vias de tráfego que sofrerão ou sofreram intervenções de redução das emissões, proporcionando à SMAC e C40 o acompanhamento *in loco* dos efeitos imediatos das ações de controle, podendo ainda mensurar o grau de eficácia de tais ações. Para tal, se faz necessária a obtenção de dados anteriores e posteriores às intervenções propostas, que serão utilizados em caráter comparativo. Recomenda-se o período mínimo de 30 dias para a coleta destas informações em cada um dos intervalos de tempo, podendo este intervalo ser estendido em situações que comprometam a representatividade da informação, como períodos de dinâmicas meteorológicas adversas e de circulação atípica de veículos na região.

3.2.1 EQUIPAMENTOS SUGERIDOS

A rede de monitoramento da qualidade do ar proposta para o Distrito de Baixa Emissão deve proporcionar cobertura espacial e temporal adequadas aos objetivos estabelecidos. Dada a especificidade do projeto, foi sugerida a adoção de metodologia que adota o conceito de monitoramento perimetral do Distrito, utilizando monitores compactos contínuos, mas com qualidade metrológica, apoiados pela estação automática Centro, que já compõe a rede MonitorAR-Rio.

O arranjo de monitoramento proposto é híbrido, onde uma estação de monitoramento convencional homologada (Centro) trabalha em conjunto com um maior número de monitores compactos calibrados, proporcionando uma cobertura espacial de alta densidade e resolução, ao mesmo tempo que preserva a qualidade e confiabilidade dos dados gerados.

A estação convencional Centro já se encontra instalada e em operação, sendo composta pelos monitores apresentados na Tabela 3.3. Os monitores compactos sugeridos para adensar e dar flexibilidade à rede de monitoramento em questão deverão ser adquiridos e instalados pela SMAC, devendo ser capazes de medir os poluentes Partículas Totais em Suspensão (PTS), Material Particulado Menor que 10 μm (MP_{10}), Material Particulado Menor que 2,5 μm ($\text{MP}_{2,5}$) e Material Particulado Menor que 1,0 μm ($\text{MP}_{1,0}$).

Cabe ressaltar que o monitoramento por meio de equipamentos automatizados, gera um grande volume de dados medidos. Desta forma, a utilização de um software para gestão eficiente destes dados se faz necessária. De forma geral, um software de gerenciamento de monitoramento ambiental deve possuir as funções de armazenar,

verificar, acompanhar, supervisionar, analisar, reportar e gerenciar informações, a qualquer tempo e em qualquer local com acesso à internet. É altamente recomendado que também seja capaz de armazenar dados em um banco de dados estruturado. Desta forma, o software e o banco de dados podem ser hospedados na nuvem, em um datacenter seguro e com alta disponibilidade, sendo acessível via internet em desktops e notebooks, a partir de um navegador.

Além de proporcionar uma gestão avançada do planejamento, gerenciamento e análise do monitoramento ambiental, o software deverá ser capaz de automatizar diversas tarefas relativas ao monitoramento ambiental, como realizar análises estatísticas, compilar dados, plotar gráficos, enviar ou disponibilizar online as informações monitoradas para os órgãos ambientais, ou para a comunidade, caso desejado. Dentre as funcionalidades recomendadas para o software, destacam-se:

- Tela principal, com a possibilidade de visualizar os dados dos locais de monitoramento online, permitindo visualização dos valores mais altos por local, o status operacional, o percentual de dados válido, os valores máximos e mínimos, a média e um gráfico de evolução das últimas 24 horas;
- Tela de medição, permitindo ao usuário visualizar e analisar a base histórica dos dados monitorados, discriminados por filtros de pesquisa local de monitoramento, por parâmetro e outros;
- Monitoramento em tempo real, com autodiagnose, para a detecção de violações de padrões ou limites estabelecidos pelo usuário, empresa ou legislação vigente.
- Envio de alertas via SMS, e-mail e *push notifications* (notificações no browser ou no dispositivo móvel) no caso de ocorrência de ultrapassagens de limites estabelecidos para cada variável ambiental monitorada. Assim, é possível detectar rapidamente eventos ou anomalias, permitindo a adoção de medidas pelos respectivos responsáveis e, assim, minimizando ou mitigando os potenciais impactos ambientais;
- Possibilidade de geração de médias para qualquer frequência de medição;
- Validações de dados por ausência de dados, variação brusca, carta controle, repetição de dados e por tipo de flag;
- Validação de dados de forma individual, valor a valor, ou validar um conjunto de dados selecionados de uma só vez;

- Análises estatísticas, como estatísticas descritivas, gráfico de evolução, rosa dos ventos, tendência, sazonalidade e percentil;
- Funcionalidades de geoprocessamento integradas à base de mapas diversas, permitindo a inserção de pontos, polígonos e várias representações;
- Acesso controlado ao sistema por login e senha, específica para cada usuário previamente cadastrado, de forma a garantir a segurança dos dados;
- Níveis de acesso (administrador, analista, usuário em geral), permitindo a definição das funcionalidades disponíveis e restringidas para cada nível.

O sistema de gerenciamento das informações ambientais deve, ainda, ser compatível com os aplicativos atualmente utilizados nos órgãos ambientais, possibilitando uma integração facilitada e o pleno aproveitamento dos dados gerados pela Rede de Monitoramento.

As especificações das tecnologias e equipamentos de monitoramento para a rede de detecção de partículas totais em suspensão, sugeridas neste trabalho visam garantir o adequado monitoramento complexo e dinâmico da área do DBE, devendo ser considerados como requisitos mínimos a serem observados no momento da aquisição dos equipamentos. A Tabela 3.7 apresenta uma estimativa de custos para aquisição e manutenção dos equipamentos e softwares descritos anteriormente.

Tabela 3.7 Estimativa de custos para o monitoramento da qualidade do ar.

Produto	Custo estimado
Monitor automático de partículas em suspensão	R\$ 65.000,00
Software de gerenciamento de monitoramento ambiental	R\$ 2.000,00 / mês
Manutenção (logística para envio ao laboratório e calibração)	R\$ 6.000,00

3.2.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS DE MONITORAMENTO

A adoção de ferramentas de análise de dados é fundamental para a visualização e compreensão dos dados medidos, tornando sua interpretação mais acessível e maximizando o uso dessas informações para decisões estratégicas de gestão e gerenciamento da qualidade do ar. Há diversas possibilidades de análises estatísticas aplicáveis às séries temporais de monitoramento da qualidade do ar. Os tópicos seguintes apresentam algumas destas ferramentas, a título de demonstração, que devem estar à disposição da equipe que opera a rede de monitoramento, bem como dos gestores da qualidade do ar.

VISUALIZAÇÃO GRÁFICA DOS DADOS MEDIDOS

A representação gráfica por meio de um gráfico de linhas é uma ferramenta essencial e amplamente utilizada na análise de dados de monitoramento ambiental. Esse tipo de gráfico, ilustrado na Figura 3.6, explicita, de forma clara e intuitiva, o comportamento das variáveis numéricas ou qualitativas, permitindo uma melhor compreensão do comportamento dos poluentes de interesse ao longo de um determinado período.

De forma a elaborar um gráfico de linhas, é necessário preparar as séries de dados a serem plotadas em listas organizadas e sincronizadas. Isso garante a representação gráfica racional e facilita a interpretação das informações. Os sistemas informatizados de gestão do monitoramento oferecem a vantagem de automatizar a organização e formatação dos dados, permitindo gerar rapidamente estes gráficos com ajustes automáticos de escala, títulos e legendas, simplificando as tarefas diárias de operação e gestão das redes de monitoramento.

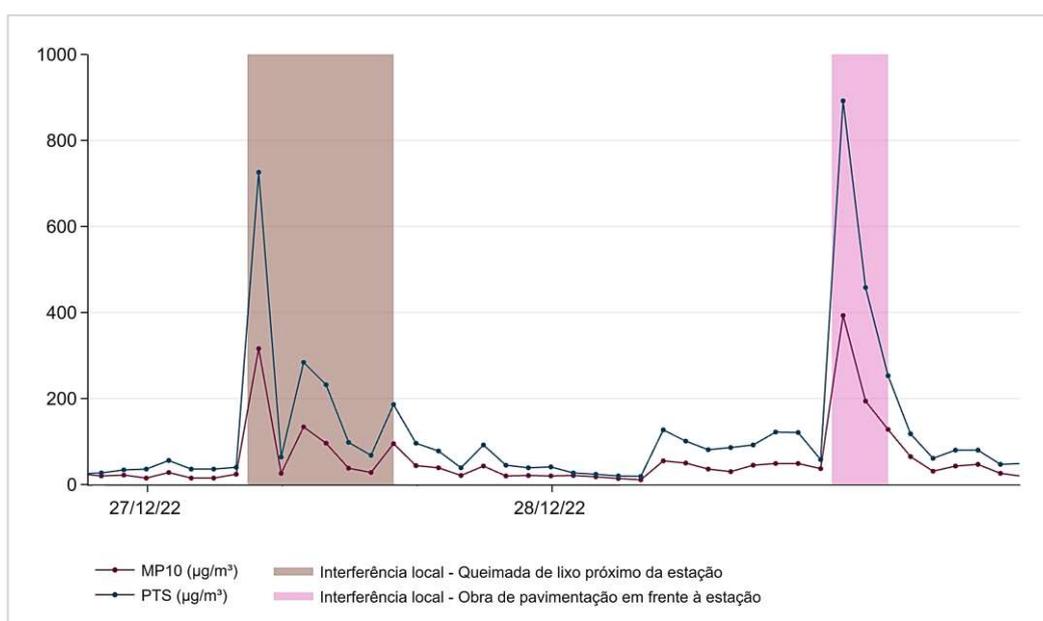


Figura 3.6 Gráfico de linhas de monitoramento de PTS e MP₁₀.

BOX PLOT

O *box plot*, também conhecido como diagrama de caixa, é uma ferramenta gráfica que permite a visualização das medidas de tendência central, a dispersão dos valores e a presença de possíveis outliers, fornecendo assim um meio complementar para desenvolver uma perspectiva sobre o caráter dos dados. O *box plot* é composto por medidas estatísticas descritivas, como o valor mínimo, máximo, primeiro quartil, segundo quartil (ou mediana) e terceiro quartil, de forma a proporcionar uma disposição gráfica comparativa.

A Figura 3.7 apresenta um gráfico *box plot* referente ao monitoramento de $MP_{2,5}$ em três diferentes localidades, num mesmo período. Os gráficos tornam mais explícitos os diferentes patamares dos níveis de $MP_{2,5}$ medidos em cada localidade, bem como as diferentes variabilidades de cada série. Nesse caso, considerando que os locais de medição estão relativamente próximos e em contextos similares em termos de sítios de medição, é possível questionar se tais diferenças entre as concentrações de $MP_{2,5}$ são de fato reais ou se existem problemas com a qualidade dos dados gerados.

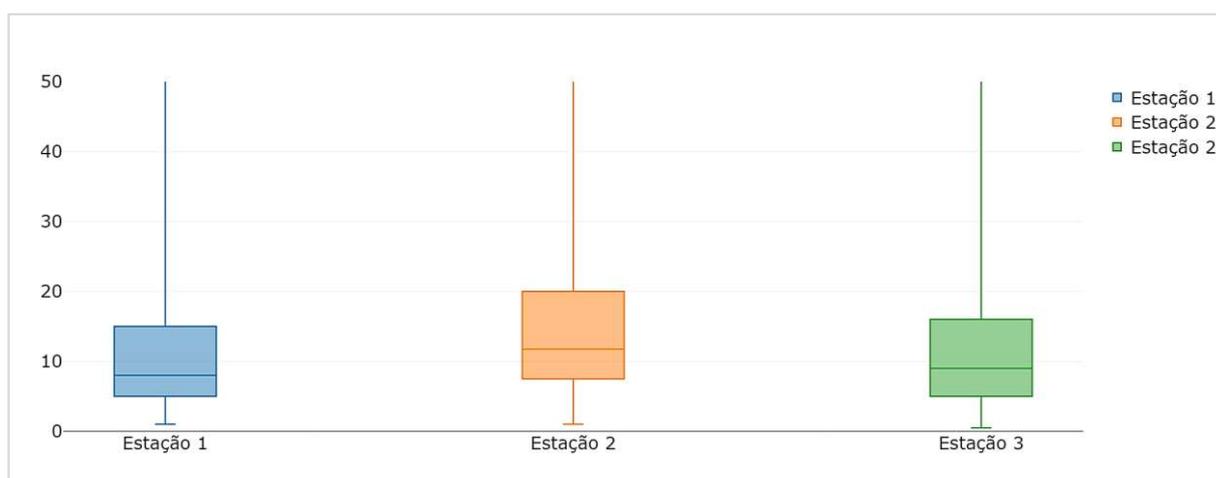


Figura 3.7 *Box plot* referente ao monitoramento de $MP_{2,5}$ em três estações numa mesma localidade.

RADAR DE POLUENTES

O radar de poluentes é uma ferramenta que possibilita a interpretação conjunta dos níveis de poluentes com o regime de ventos da região monitorada. As concentrações de poluentes são agrupadas em valores médios, máximos e mínimos, de acordo com o setor da direção do vento prevalente a cada intervalo de medição. Dessa forma, o radar é muito utilizado na investigação de possíveis fontes em eventos de emissão, uma vez que, pela posição da estação de monitoramento e a direção do vento na região, é

possível inferir a chance de influência de determinada fonte emissora na estação de monitoramento.

A Figura 3.8 apresenta, a título de ilustração, os radares de poluentes para material particulado nas frações MP₁₀ e PTS. Nesses exemplos, observa-se que, em geral, as concentrações de MP₁₀ são mais acentuadas quando o vento é proveniente das direções do quadrante Noroeste (NW), enquanto que as menores concentrações de MP₁₀ e PTS são observadas quando o vento é proveniente das direções do quadrante Sudeste (SE).

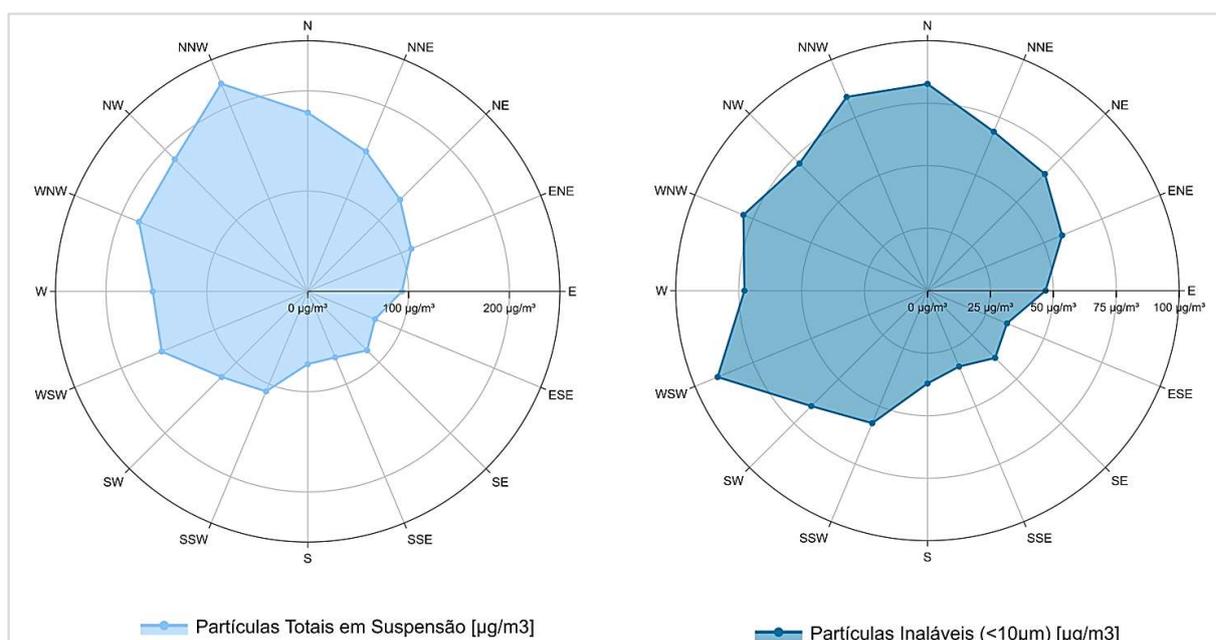


Figura 3.8 Radares de poluente de PTS e MP₁₀.

DECOMPOSIÇÃO DE SÉRIE TEMPORAL

A análise de decomposição de série temporal é uma ferramenta muito útil para o entendimento de tendências e sazonalidades da série de monitoramento. Essa análise consiste na divisão da série temporal em três componentes distintas: a componente de tendência, a sazonalidade e o ruído (ou resíduo). A soma dessas componentes, no modelo aditivo, reconstitui a série temporal original. São diversos os métodos para decomposição de séries temporais que, de forma geral, consistem na aplicação de um filtro para determinação da componente de tendência, geralmente utilizando a média móvel. Em seguida, a tendência é removida da série e a componente sazonal é obtida com base nas médias de intervalos ou períodos de tempo estabelecidos. Por fim, a diferença entre a série de dados, tendência e a sazonalidade resulta na componente do ruído.

A Figura 3.9 apresenta uma decomposição realizada nos dados de monitoramento de $MP_{2,5}$ da cidade de Nova Jersey (Nova Iorque, EUA), estação 34-017-1003, no período de 2007 a 2015. É possível observar uma clara tendência de redução nos níveis de concentração de $MP_{2,5}$ no período analisado, bem como as influências sazonais marcadas pelas estações do ano.

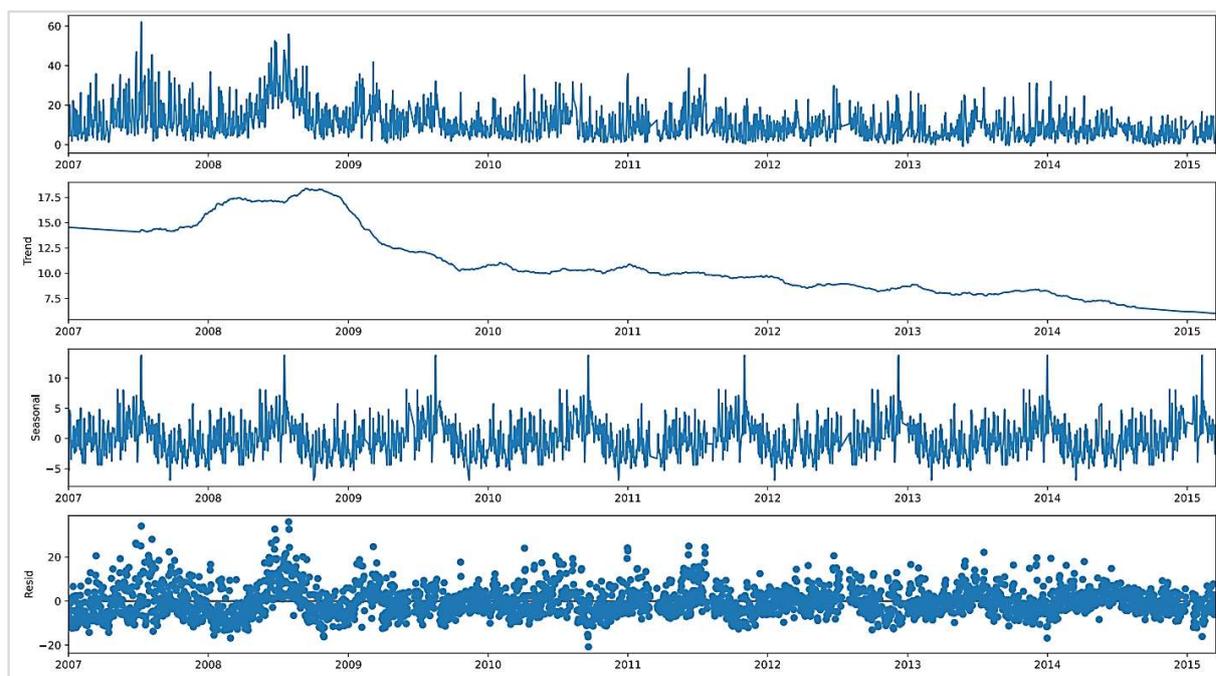


Figura 3.9 Decomposição de dados do monitoramento de $MP_{2,5}$ da cidade de Nova Jersey (Nova Iorque, EUA) - Estação 34-017-1003 (2007 a 2015).

4. CONCLUSÃO

O Plano de Monitoramento da Qualidade do Ar do Distrito de Baixa Emissão ora proposto visa atender às iniciativas da parceria entre o C40 e o município do Rio de Janeiro, para realizar uma avaliação sistemática dos níveis de poluentes atmosféricos no Distrito de Baixa Emissão antes, durante e depois da implementação das ações estratégicas de redução de emissões atmosféricas, visando atingir a meta de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) até 2030.

No desenvolvimento do estudo, a caracterização da área do Distrito de Baixa Emissão, compreendeu a avaliação de dados meteorológicos, que indicaram a predominância de ventos nas direções, sul, sul-sudeste e norte, com mudança de direção característica do fenômeno de brisa marítima, assim como a avaliação da localização das fontes emissoras e dos receptores sensíveis, como unidades de ensino e saúde.

A partir da compreensão das características principais da região de estudo, e tendo em vista as peculiaridades da área a ser monitorada, a estratégia recomendada para o Plano de Monitoramento do Distrito de Baixa Emissão consiste num monitoramento híbrido, onde a estação homologada Centro (existente) trabalhará em conjunto com novos monitores compactos instalados na região perimetral do Distrito. Tal arranjo proporcionará uma cobertura de monitoramento de alta densidade e resolução espacial, potencializando a mensuração dos impactos positivos na qualidade do ar a serem obtidos a partir das ações de redução das emissões atmosféricas no interior do Distrito.

Sendo assim, recomenda-se a aquisição e instalação de 6 monitores ao longo do perímetro do Distrito de Baixa Emissão, além da aquisição de dois sensores extras para utilizar em campanhas em locais adjacentes às áreas de intervenção de controle ou mitigação das emissões atmosféricas. Recomenda-se ainda que a estação Centro da Rede de Monitoramento do Ar do Rio de Janeiro (MonitorAR-Rio) seja incorporada à Rede de Monitoramento do Distrito de Baixa Emissão, com a adição da aquisição de equipamentos de monitoramento dos parâmetros $MP_{2,5}$ e NO_x , poluentes diretamente associados às emissões veiculares. Recomenda-se, ainda, a utilização de técnicas de análise estatística nos dados de monitoramento obtidos de forma a tornar sua interpretação mais acessível e otimizar seu uso em decisões estratégicas.

A abordagem proposta para o Plano de Monitoramento do Distrito de Baixa Emissão proporcionará o acompanhamento da qualidade do ar com alta resolução em diferentes pontos no interior do Distrito, cobrindo ainda o fluxo de poluentes atmosféricos em suas interfaces, independente da variação no regime de ventos, permitindo uma adequada

avaliação, acompanhamento e gestão atmosférica da qualidade do ar, em consonância com os objetivos traçados pela SMAC e C40 para o Distrito de Baixa Emissão.

5. EQUIPE TÉCNICA

Luiz Cláudio Donadello Santolim	Coordenador Técnico Mestre em Engenharia Ambiental Engenheiro Mecânico CREA: ES-4.531/D
Julius César Zamprogno Mergulhão	Engenheiro Ambiental CREA: ES-26.913/D
Honofre Junior Daleprani	Engenheiro Mecânico CREA: ES-8.554/D
Flávio Curbani	Doutor em Ecologia Mestre em Engenharia Ambiental Engenheiro Mecânico Engenheiro de Segurança do Trabalho CREA: ES-7.864/D
Gabriel Miller de Oliveira	Meteorologista CREA: MG-209352/D
Layara Lima Costa	Analista Ambiental
Gustavo Baptista de Almeida	Analista Ambiental
