



COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

**DIRETORIA DE ENGENHARIA E QUALIDADE AMBIENTAL  
DEPARTAMENTO DE QUALIDADE AMBIENTAL  
DIVISÃO DE QUALIDADE DO AR  
EQQM/EQQT**

**Avaliação da qualidade do ar no  
município de Santos**

**2011 a 2013**

**Março/2014**



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização das estações em relação à área urbana de Santos.....	11
Figura 2 – Localização da estação Santos .....	12
Figura 3 - Vistas do entorno da estação Santos .....	13
Figura 4 – Localização da estação Santos-Ponta da Praia-EM em relação ao Porto.....	14
Figura 5 – Vistas do entorno da estação Santos-Ponta da Praia - EM .....	14
Figura 6 – Rosa de vento de Santos – 2012/2013 - 24h .....	16
Figura 7– Rosa de vento da Estação Santos, por período (1-6h, 7-12h, 13-18h, 19–24h).....	17
Figura 8 – Rosa de vento da Estação Santos-Ponta da Praia - EM – 2012/2013 - 24h .....	18
Figura 9 – Rosa de vento da Estação Móvel Santos-Ponta da Praia, por período (1-6h, 7-12h, 13-18h, 19–24h) .....	19
Figura 10 – Rosa de poluição de Santos-Ponta da Praia – 2012/2013 - 24h .....	28
Figura 11 – Rosa de poluição de Santos-Ponta da Praia - 24h (Imagem Google) .....	29
Figura 12 – Rosa de poluição de Santos-Ponta da Praia, por período (1-6h, 7-12h, 13-18h, 19–24h).....	29

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Distribuição percentual da qualidade do ar - Santos – 2013 .....	22
Gráfico 02 - Distribuição percentual da qualidade do ar - Santos–Ponta da Praia (EM) - 2013 .....	23
Gráfico 03 – $MP_{10}$ - Evolução das concentrações médias anuais .....	24
Gráfico 04 – $MP_{10}$ - Perfil das médias mensais .....	25
Gráfico 05 – $MP_{10}$ – Evolução das concentrações médias diárias .....	25
Gráfico 06 – Perfil mensal de $MP_{10}$ e movimentação de milho e soja .....	26
Gráfico 07 – $MP_{10}$ - Perfil médio horário por dia da semana – Santos.....	27
Gráfico 08 – $MP_{10}$ - Perfil médio horário por dia da semana – Santos-Ponta da Praia (EM).....	27
Gráfico 09 – $MP_{2,5}$ - Evolução das concentrações médias anuais – Santos-Ponta da Praia (EM) .....	33
Gráfico 10 - Perfil das médias mensais das partículas finas - $MP_{2,5}$ – Santos-Ponta da Praia (EM) ...	33
Gráfico 11 — Evolução das concentrações médias diárias de $MP_{10}$ e $MP_{2,5}$ – Santos-Ponta da Praia (EM).....	34
Gráfico 12 - Comportamento do $MP_{2,5}$ em relação ao $MP_{10}$ em Santos-Ponta da Praia (EM) .....	35
Gráfico 13 - Perfil médio horário por dia da semana partículas finas - $MP_{2,5}$ - Santos-Ponta da Praia (EM).....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos poluentes e principais fontes de emissão .....	6
Tabela 2 - Padrões estaduais de qualidade do ar .....	7
Tabela 3 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar .....	8
Tabela 4 – Estrutura do Índice de Qualidade do Ar .....	9
Tabela 5 – Qualidade do ar e efeitos à saúde .....	10
Tabela 6 – Configuração das Estações – 2013 .....	15
Tabela 7 – Partículas Inaláveis – MP <sub>10</sub> .....	20
Tabela 8 – Partículas Inaláveis Finas – MP <sub>2,5</sub> .....	20
Tabela 9 – Dióxido de Enxofre – SO <sub>2</sub> .....	21
Tabela 10 – Ozônio – O <sub>3</sub> .....	21
Tabela 11 – Dióxido de Nitrogênio – NO <sub>2</sub> .....	21
Tabela 12 – Monóxido de Nitrogênio – NO .....	21
Tabela 13 – Óxidos de Nitrogênio - NO <sub>x</sub> .....	22
Tabela 14 - Distribuição percentual da qualidade do ar - Santos – 2013 .....	22
Tabela 15 - Distribuição percentual da qualidade do ar - Santos–Ponta da Praia (EM) 2013 .....	23
Tabela 16 – Concentrações diárias nos dias de episódios de MP <sub>10</sub> em Santos–Ponta da Praia .....	31

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Localização do município de Santos e das estações de monitoramento da qualidade do ar .....	5
--	---

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	4
2 DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS MONITORADOS.....	5
3 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR .....	6
3.1 Padrões Estaduais.....	6
3.2 Padrões Nacionais.....	8
3.3 Classificação da qualidade do ar.....	9
4- MONITORAMENTO.....	11
4.1 Período de Monitoramento .....	11
4.2 Localização .....	11
4.3 Caracterização das Estações.....	12
4.3.1 Estação Santos.....	12
4.3.2 Estação Santos Ponta da Praia - EM.....	13
4.4 Configuração das Estações.....	15
5 RESULTADOS .....	15
5.1 Comportamento dos Ventos .....	15
5.2 Avaliação da Qualidade do Ar .....	20
5.3 Avaliação do Comportamento do Material Particulado .....	23
5.3.1 Partículas Inaláveis – $MP_{10}$ .....	24
5.3.2 Partículas Inaláveis Finas – $MP_{2,5}$ .....	32
6 CONCLUSÃO.....	36
7 REFERÊNCIAS.....	37
8 EQUIPE DE TRABALHO .....	37
9 ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO .....	37
ANEXO Episódios de $MP_{10}$ na estação Santos-Ponta da Praia – EM.....	38



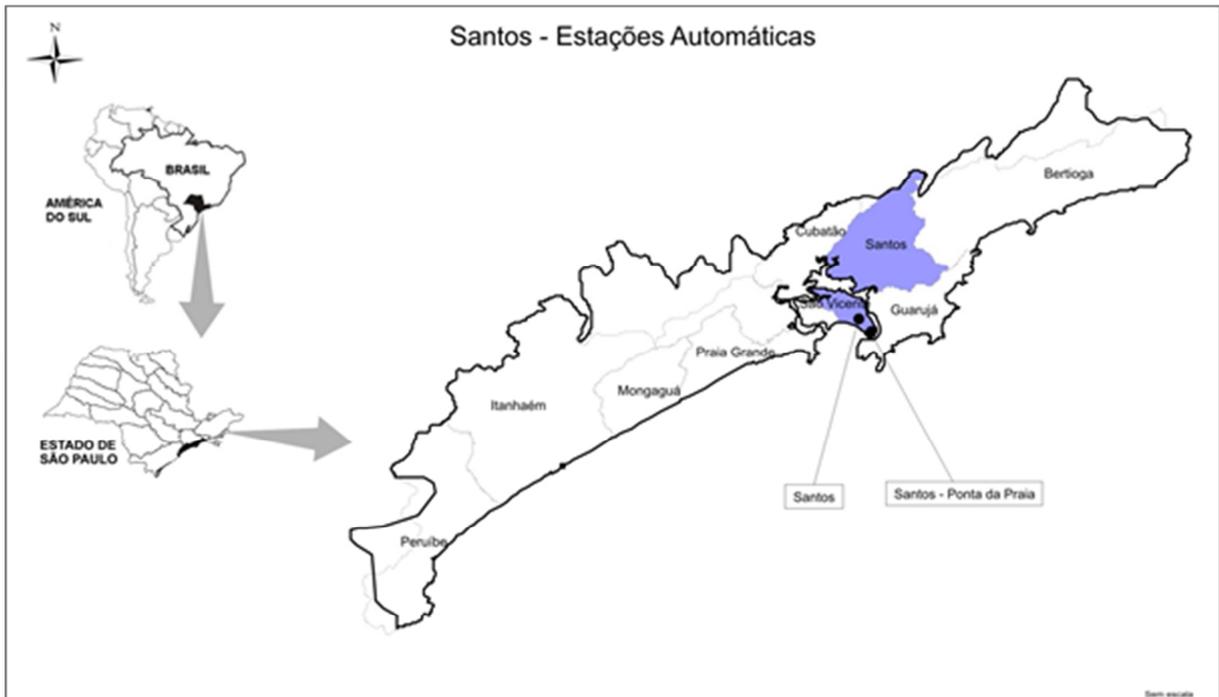
## 1 INTRODUÇÃO

O município de Santos está localizado no litoral do Estado de São Paulo, possui uma área de 271 km<sup>2</sup>, sendo que a parte insular (aproximadamente 39,4 km<sup>2</sup>), na Ilha de São Vicente, é a sede do município e o restante (aproximadamente 231 km<sup>2</sup>) encontra-se no continente. É o principal município e a sede da Região Metropolitana da Baixada Santista, no qual está instalado o principal porto do Brasil. Possui uma população de aproximadamente 433 mil habitantes (Estimativa IBGE 2013), sendo que aproximadamente 99,9% vivem na área urbana.

Na cidade de Santos o monitoramento da qualidade do ar ocorre desde a década de 1980, primeiramente com uma estação manual de monitoramento de fumaça e dióxido de enxofre, localizada na Policlínica do Embaré. Em 2004, 2005 e 2008, foram realizadas campanhas de monitoramento manual de material particulado, na região da Ponta da Praia, próximo ao Porto, quando foi possível constatar a necessidade do monitoramento contínuo do parâmetro material particulado. A partir de 2011, o município conta com duas estações automáticas, localizadas no Bairro do Boqueirão e na Ponta da Praia.

Este relatório, realizado em função de solicitação constante na Ata de reunião realizada na Diretoria Regional de Santos, no dia 30/10/2013, referente ao Inquérito Civil nº 31/2011-UMA, apresenta a avaliação da qualidade do ar resultante do monitoramento realizado em Santos, no período de 2011 a 2013, com um enfoque voltado, especialmente, para o material particulado. São também apresentados, como referência, as principais características dos poluentes monitorados e os padrões de qualidade do ar aplicados no Estado de São Paulo (Decreto Estadual nº 59.113, de 23/04/2013), bem como os padrões nacionais (Resolução Conama nº 03/1990). Em seguida, é descrita a metodologia aplicada na avaliação da qualidade do ar e são apresentados os resultados das medições das variáveis meteorológicas e da concentração dos poluentes atmosféricos, bem como os resultados e conclusões obtidas a partir da análise desses parâmetros.

Mapa 1 – Localização do município de Santos e das estações de monitoramento da qualidade do ar



## 2 DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS MONITORADOS

### Poluentes

Na tabela 1 são descritas as características dos poluentes que foram monitorados, bem como as principais fontes de emissão dos mesmos para a atmosfera.

**Tabela 1 – Características dos poluentes e principais fontes de emissão**

Poluente	Características	Fontes Principais	Efeitos Gerais ao Meio Ambiente
Partículas Inaláveis Finas (MP <sub>2,5</sub> )	Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc., que podem permanecer no ar e percorrer longas distâncias. Faixa de tamanho < 2,5 micra.	Processos de combustão (industrial, veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera) como sulfato e nitrato, entre outros.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Partículas Inaláveis (MP <sub>10</sub> )	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 10 micra.	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), poeira ressuspenso, aerossol secundário (formado na atmosfera).	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser transformado a SO <sub>3</sub> , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa e papel, fertilizantes.	Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas.
Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
Ozônio (O <sub>3</sub> )	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente para a atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais.

### Parâmetros Meteorológicos

As concentrações dos poluentes são diretamente influenciadas pelas condições meteorológicas observadas em um período. Parâmetros como direção e velocidade do vento, altura de inversão térmica, estabilidade atmosférica, umidade e outros, são sabidamente importantes nas condições locais que determinam os níveis medidos de concentração dos poluentes. Altos níveis de concentração em um determinado local podem ocorrer não só pela condição desfavorável à dispersão, como pelo transporte de poluentes de regiões vizinhas, principalmente no caso do ozônio.

## 3 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

### 3.1 Padrões Estaduais

O Decreto Estadual nº 59.113, de 23/04/2013, estabelece que a administração da qualidade do ar no território do Estado de São Paulo será efetuada através de Padrões de Qualidade do Ar, observados os seguintes critérios:

I. Metas Intermediárias - (MI) estabelecidas como valores temporários a serem cumpridos em etapas, visando à melhoria gradativa da qualidade do ar no Estado de São Paulo, baseada na busca pela

redução das emissões de fontes fixas e móveis, em linha com os princípios do desenvolvimento sustentável;

II. Padrões Finais (PF) - Padrões determinados pelo melhor conhecimento científico para que a saúde da população seja preservada ao máximo em relação aos danos causados pela poluição atmosférica.

A tabela 2 apresenta os padrões de qualidade do ar estabelecidos no DE nº 59.113/2013, sendo que os padrões vigentes estão assinalados em vermelho.

**Tabela 2 - Padrões estaduais de qualidade do ar  
(Decreto Estadual nº 59113, de 23/04/13)**

Poluente	Tempo de Amostragem	MI 1 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MI 2 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MI 3 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PF ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
partículas inaláveis (MP <sub>10</sub> )	24 horas	<b>120</b>	100	75	50
	MAA <sup>1</sup>	<b>40</b>	35	30	20
partículas inaláveis finas (MP <sub>2,5</sub> )	24 horas	<b>60</b>	50	37	25
	MAA <sup>1</sup>	<b>20</b>	17	15	10
dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )	24 horas	<b>60</b>	40	30	20
	MAA <sup>1</sup>	<b>40</b>	30	20	-
dióxido de nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	1 hora	<b>260</b>	240	220	200
	MAA <sup>1</sup>	<b>60</b>	50	45	40
ozônio (O <sub>3</sub> )	8 horas	<b>140</b>	130	120	100
monóxido de carbono (CO)	8 horas	-	-	-	<b>9 ppm</b>
fumaça* (FMC)	24 horas	<b>120</b>	100	75	50
	MAA <sup>1</sup>	<b>40</b>	35	30	20
partículas totais em suspensão* (PTS)	24 horas	-	-	-	<b>240</b>
	MGA <sup>2</sup>	-	-	-	<b>80</b>
chumbo** (Pb)	MAA <sup>1</sup>	-	-	-	<b>0,5</b>

Obs.: padrões vigentes em vermelho.

1 - Média aritmética anual.

2 - Média geométrica anual.

\* Fumaça e Partículas Totais em Suspensão - parâmetros auxiliares a serem utilizados apenas em situações específicas, a critério da CETESB.

\*\* Chumbo - a ser monitorado apenas em áreas específicas, a critério da CETESB.

As Metas Intermediárias devem ser atendidas em 3 (três) etapas, assim determinadas:

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

II. Meta Intermediária Etapa 2 - (MI2) - Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados subsequentemente à MI1, que entrará em vigor após avaliações realizadas na Etapa 1, reveladas por estudos técnicos apresentados pelo órgão ambiental estadual, convalidados pelo CONSEMA;

III. Meta Intermediária Etapa 3 - (MI3) - Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados nos anos subsequentes à MI2, sendo que o seu prazo de duração será definido pelo CONSEMA, a partir do início da sua vigência, com base nas avaliações realizadas na Etapa 2.

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

### 3.2 Padrões Nacionais

Os padrões nacionais de qualidade do ar (PQAr) definidos na Resolução CONAMA nº 3, de 28/06/90, são apresentados na tabela 3.

**Tabela 3 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar  
(Resolução CONAMA nº 3, de 28/06/90)**

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Padrão Secundário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
partículas totais em suspensão	24 horas <sup>1</sup>	240	150
	MGA <sup>2</sup>	80	60
partículas inaláveis	24 horas <sup>1</sup>	150	150
	MAA <sup>3</sup>	50	50
fumaça	24 horas <sup>1</sup>	150	100
	MAA <sup>3</sup>	60	40
dióxido de enxofre	24 horas <sup>1</sup>	365	100
	MAA <sup>3</sup>	80	40
dióxido de nitrogênio	1 hora	320	190
	MAA <sup>3</sup>	100	100
monóxido de carbono	1 hora <sup>1</sup>	40.000	40.000
		35 ppm	35 ppm
	8 horas <sup>1</sup>	10.000	10.000
		9 ppm	9 ppm
ozônio	1 hora <sup>1</sup>	160	160

1 – Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano;

2 – Média geométrica anual;

3 – Média aritmética anual;

Como prevê a própria Resolução CONAMA nº 03/90, a aplicação diferenciada de padrões primários e secundários requer que o território nacional seja dividido em classes I, II e III, conforme o uso pretendido. A mesma resolução prevê ainda que, enquanto não for estabelecida a classificação das áreas, os padrões aplicáveis serão os primários.

### 3.3 Classificação da qualidade do ar

Para simplificar o processo de comunicação dos dados de poluição do ar para a população, a CETESB utiliza o Índice de Qualidade do Ar (IQA), cujo valor adimensional é obtido através de funções lineares que relacionam as concentrações dos poluentes com os padrões legais de qualidade do ar. Para cada poluente medido é calculado um índice, sendo que, para efeito de divulgação, utiliza-se o índice mais elevado, isto é, embora a qualidade do ar de uma estação seja avaliada para todos os poluentes monitorados, a sua classificação é determinada pelo maior índice (pior caso). Na tabela 4 pode-se visualizar a nova escala utilizada para classificar a qualidade do ar, em função dos padrões estabelecidos no DE nº 59.113/2013.

Tabela 4 – Estrutura do Índice de Qualidade do Ar

Qualidade	Índice	MP <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	CO (ppm)	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	MP <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
<b>N1 - Boa</b>	0 - 40	0 - 50	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20	0 - 25
<b>N2 – Moderada</b>	41-80	>50 - 100	>100 - 130	>9 - 11	>200 - 240	>20 - 40	>25 -50
<b>N3 – Ruim</b>	81-120	>100 - 150	>130 - 160	>11 - 13	>240 - 320	>40 - 365	>50 - 75
<b>N4 – Muito Ruim</b>	121-200	>150 - 250	>160 -200	>13-15	> 320 - 1130	> 365 - 800	> 75 - 125
<b>N5 – Pessima</b>	>200	> 250	> 200	> 15	> 1130	>800	>125

Quando a qualidade do ar é classificada como BOA os valores-guia para exposição de curto prazo, estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde, que são os respectivos Padrões Finais (PF) estabelecidos no DE nº 59.113/2013, estão sendo atendidos.

Comparando-se a tabela 2 e 4, observa-se que a classificação de qualidade RUIM, não indica obrigatoriamente a ultrapassagem dos padrões de curto prazo vigentes. A única exceção é o CO, em que da qualidade MODERADA em diante o respectivo PQA é ultrapassado.

Esta qualificação da qualidade do ar está associada a efeitos à saúde, portanto independe do padrão de qualidade em vigor, e será sempre realizada conforme a tabela a seguir:

**Tabela 5 – Qualidade do ar e efeitos à saúde**

Qualidade	Índice	Significado
<b>N1 - Boa</b>	<b>0 - 40</b>	
<b>N2 – Moderada</b>	<b>41-80</b>	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
<b>N3 – Ruim</b>	<b>81-120</b>	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
<b>N4 – Muito Ruim</b>	<b>121-200</b>	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
<b>N5 – Péssima</b>	<b>&gt;200</b>	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Os níveis de qualidade do ar, bem como a previsão das condições meteorológicas de dispersão de poluentes, são divulgados diariamente no endereço internet <http://www.cetesb.sp.gov.br>.

## 4- MONITORAMENTO

### 4.1 Período de Monitoramento

Os períodos de monitoramento considerados neste relatório são:

- Estação Santos: 07/06/2011 (início do monitoramento) a 31/12/2013
- Estação Santos-Ponta da Praia - EM: 18/11/2011 (início do monitoramento) a 31/12/2013.

### 4.2 Localização

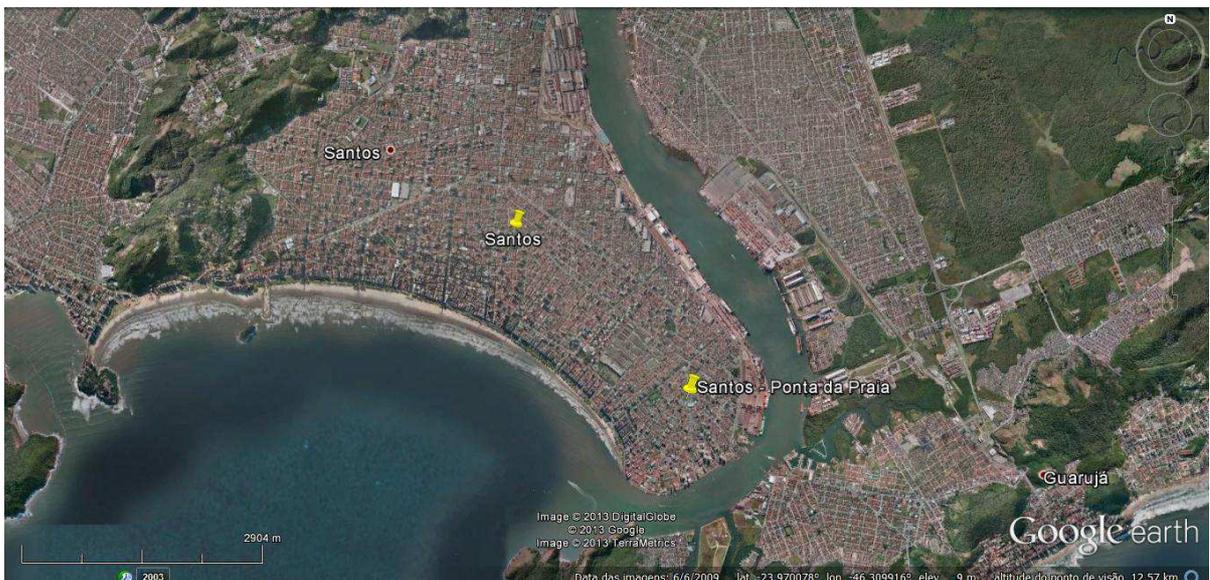
O monitoramento da qualidade do ar foi efetuado por meio de uma estação fixa e uma estação móvel da rede automática da CETESB. A estação Santos (fixa) está instalada na Rua Dr. Oswaldo Cruz, 197, nas dependências do Hospital Guilherme Álvaro, no Boqueirão. A estação Santos-Ponta da Praia - EM (estação móvel) está instalada nas dependências do Complexo Esportivo Rebouças, situado na Praça Eng. José Rebouças, s/n, na Ponta da Praia.

As coordenadas dos locais são:

- Santos: 23k 7349273 e 365630 - DATUM SAD69 (Lat. -23.963108°, Long. -46.321029° - DATUM WGS84);
- Santos-Ponta da Praia - EM: 23k 7347229 e 367696 - DATUM SAD69 (Lat. -23.981250°, Long. -46.300460° - DATUM WGS84).

Na imagem do *Google Earth*, a seguir, é mostrada a localização das estações em relação à área urbana de Santos.

**Figura 1 – Localização das estações em relação à área urbana de Santos.**



### 4.3 Caracterização das Estações

As duas estações automáticas que monitoram a qualidade do ar na cidade de Santos possuem objetivos distintos: a estação localizada no Boqueirão, denominada estação Santos, visa avaliar o ar médio da região insular da cidade e as concentrações dos poluentes atmosféricos às quais a população, nessa parte da cidade, está exposta. Já a estação localizada na Ponta da Praia, denominada estação Santos-Ponta da Praia-EM, tem como objetivo avaliar os impactos das emissões de poluentes provenientes das atividades do Porto nessa parte da cidade.

#### 4.3.1 Estação Santos

A escala de representatividade espacial da estação de Santos, com relação aos poluentes  $MP_{10}$  e  $NO_x$ , é classificada como *bairro*, escala essa que representa concentrações em áreas de bairros urbanos com atividade uniforme e dimensões entre 500 e 4.000 metros, uma vez que não existem emissões significativas de fontes fixas e móveis muito próximas à estação. Já para o poluente  $O_3$  a representatividade pode ser considerada como *urbana*, cujas concentrações medidas representam uma escala espacial entre 4 km podendo chegar até a 50 km.

Quanto às fontes de emissão, a estação é influenciada, basicamente, pelas emissões veiculares e de maneira mais difusa por outras fontes existentes na cidade e na região.

Com relação ao uso do solo e população exposta, o local pode ser classificado como comercial/residencial, que mede a exposição da população em áreas urbanas centrais, áreas de comércio e de presença de veículos.

Figura 2 – Localização da estação Santos

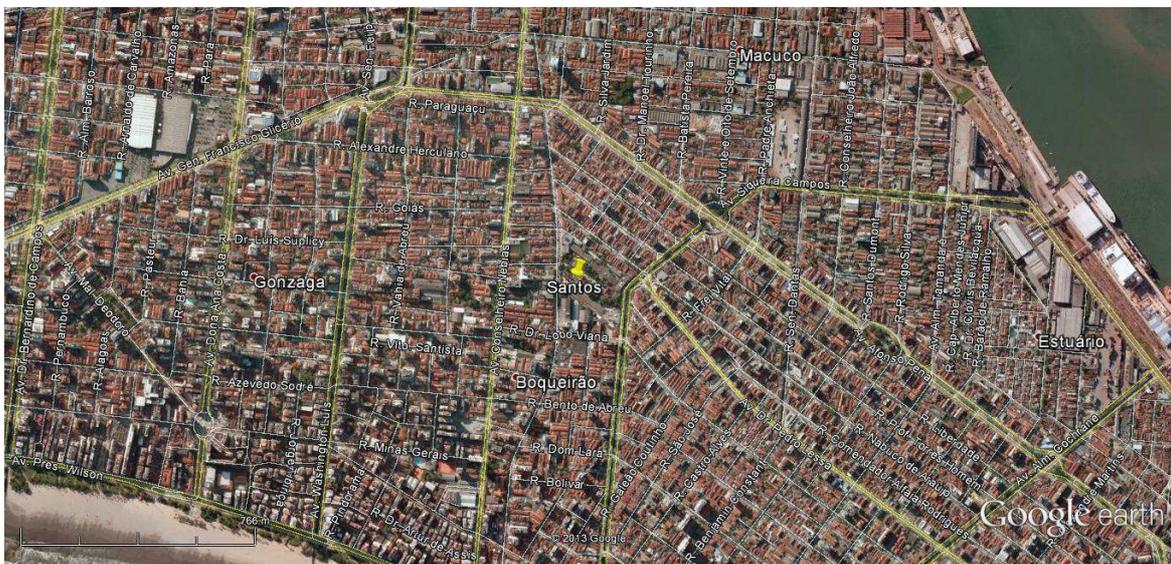




Figura 4 – Localização da estação Santos-Ponta da Praia-EM em relação ao Porto



Fonte: SMAICPLA - Ortofoto 2010.

Figura 5 – Vistas do entorno da estação Santos-Ponta da Praia - EM



#### 4.4 Configuração das Estações

Na tabela 6 é apresentada a configuração em relação aos parâmetros medidos (poluentes e meteorológicos) nas estações de Santos e Santos-Ponta da Praia-EM.

**Tabela 6 – Configuração das Estações – 2013**

UGRHI	ESTAÇÕES	PARÂMETROS												
		MP <sub>2,5</sub>	MP <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	UR	TEMP	VV	DV	P	RAD
7	Santos <sup>1</sup>		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Santos-Ponta da Praia - EVP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

1 - Monitoramento a partir de 07/06/2011.	MP <sub>2,5</sub>	Partículas inaláveis finas	UR	Umidade Relativa do Ar
2 - Monitoramento a partir de 18/11/2011.	MP <sub>10</sub>	Partículas inaláveis	TEMP	Temperatura do Ar
	SO <sub>2</sub>	Dióxido de enxofre	VV	Velocidade do vento
	NO	Monóxido de nitrogênio	DV	Direção do vento
	NO <sub>2</sub>	Dióxido de nitrogênio	P	Pressão atmosférica
	NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrogênio	RAD	Radiação Total e UVA
	O <sub>3</sub>	Ozônio		

## 5 RESULTADOS

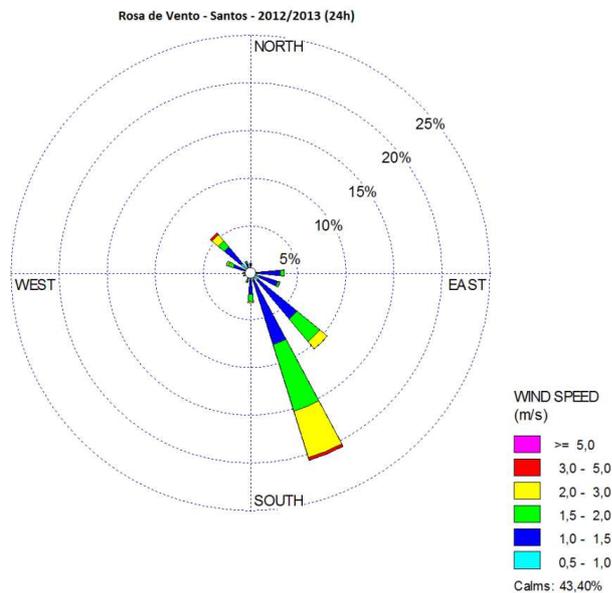
A seguir é apresentada a avaliação dos dados do monitoramento realizado Estação Santos e na Estação Santos-Ponta da Praia - EM.

### 5.1 Comportamento dos Ventos

De maneira geral, o regime de ventos das cidades litorâneas é fortemente afetado pelo sistema meteorológico de mesoescala denominado brisa. As brisas podem ser marítima, com o vento soprando do mar para o continente e cujo início se dá no final da manhã, atuando até o meio da noite ou terrestre cujos ventos sopram da terra para o mar tendo seu início no final da noite até o início da manhã. Dessa forma, os ventos medidos nas duas estações automáticas da CETESB em Santos, serão avaliados levando em conta, principalmente, a dinâmica deste sistema meteorológico. É importante esclarecer que quando há a atuação de sistemas meteorológicos de grande escala, tais como massas de ar (frio ou quente), sistemas frontais, entre outros, os efeitos da circulação dos ventos destes sistemas se superpõem aos das brisas.

O comportamento do vento será analisado através das rosas de vento para 24 horas bem como para quatro períodos do dia: madrugada, manhã, tarde e noite. Para construção dessas rosas foram utilizados os dados de direção e velocidade de todos os ventos horários medidos em cada estação. Na figura 6 é apresentada a rosa de vento da estação Santos durante as 24 horas do dia, para o período de 01/01/12 a 31/12/13. Pode-se observar que o vento predominante é proveniente da direção sul-sudeste (SSE), seguida pela contribuição da direção sudeste (SE) e uma pequena contribuição (cerca de 5%) da direção noroeste (NW). Foi observado também um percentual de 43% de ventos variáveis (ventos fracos) e calmos em todo o período.

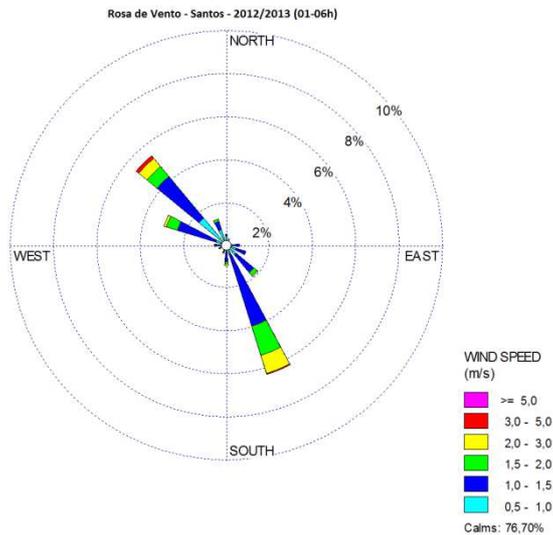
Figura 6 – Rosa de vento de Santos – 2012/2013 - 24h



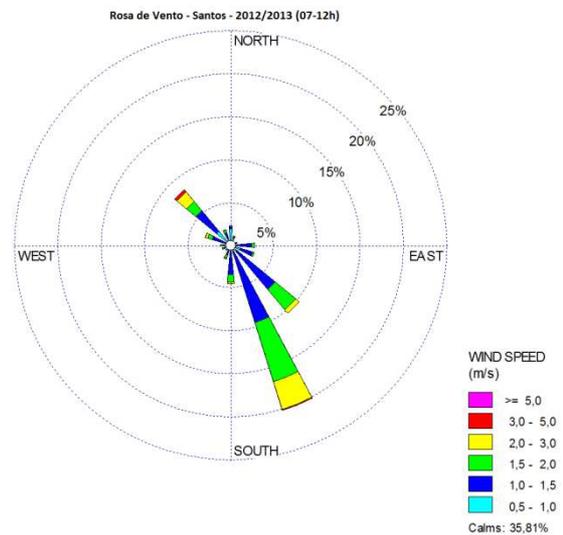
Apesar da predominância do vento de direção sul sudeste (SSE), observam-se variações da direção do vento durante os períodos do dia e noite, conforme se pode verificar na figura 7, na qual são apresentadas as rosas de vento para os seguintes períodos: **a)** 1-6h, **b)** 7-12h, **c)** 13-18h e **d)** 19-24h. Na madrugada há o predomínio de calmaria em mais de 2/3 do tempo (77% do tempo) e, quando venta, predominam os ventos da direção sul-sudeste (SSE) e se observa, também, contribuições da direção noroeste (NW), indicando a atuação da brisa terrestre. No período da manhã, observa-se a diminuição dos ventos de direção NW, o que significa que a brisa terrestre está deixando de atuar para dar lugar à atuação da brisa marítima, uma vez que os ventos predominantes são da direção sul-sudeste (SSE) e sudeste (SE). Observa-se ainda neste período, que a calmaria ocupa cerca de um terço do tempo (36%). Durante a tarde há a predominância dos ventos provenientes da direção sul-sudeste (SSE), seguida pela direção sudeste (SE), com intensidades variando de 1,5 a 3 m/s e pouca ocorrência de calmaria (cerca de 7%). A predominância dos ventos dessa direção é decorrente, na maior parte das vezes, da atuação da brisa marítima. Já durante a noite, em cerca da metade do tempo é de ocorrência de calmaria (cerca de 54%), e quando ocorrem ventos a predominância é de ventos ainda da direção sul-sudeste (SSE) com intensidade variando de 1 a 2 m/s, com contribuições de intensidade um pouco mais baixa (1 a 1,5 m/s) de ventos provenientes das direções sudeste a este (SE a E).

Figura 7– Rosa de vento da Estação Santos, por período (1-6h, 7-12h, 13-18h, 19–24h)

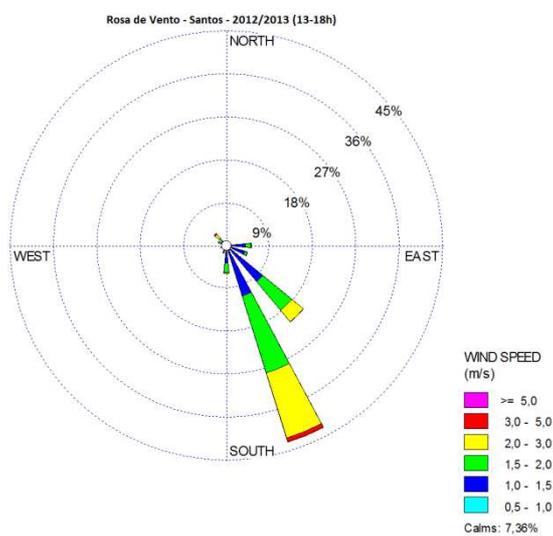
a) Rosa de Vento (1-6h)



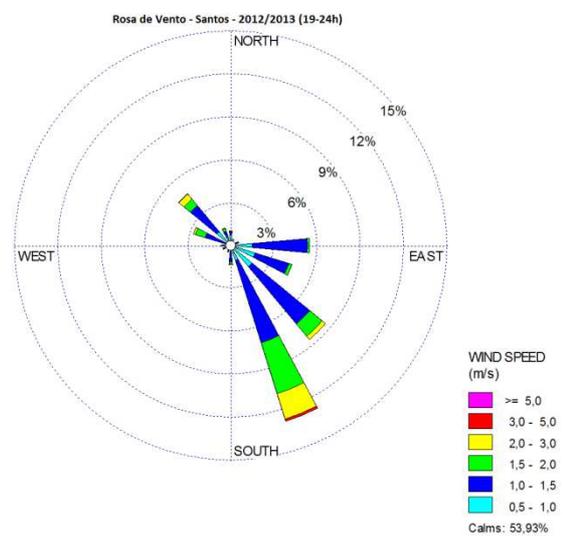
b) Rosa de Vento (7-12h)



c) Rosa de Vento (13-18h)



d) Rosa de Vento (19-24h)

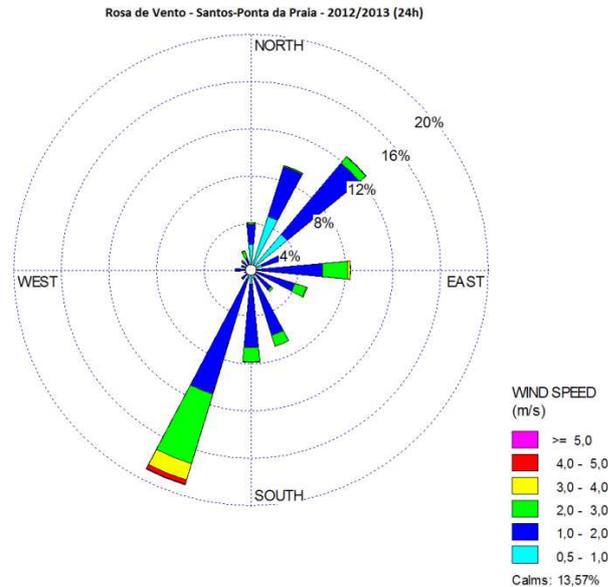


Uma possível explicação para que a porcentagem de ocorrência de períodos de calmaria ser alta na estação Santos pode estar associada ao fato de que os ventos medidos neste local tenham suas velocidades reduzidas devido ao efeito de barreira provocada pelo grande adensamento de edificações nesta parte da cidade bem como pela existência, principalmente no último ano, de vegetação de grande porte próxima a esta estação.

Na figura 8 é apresentada a rosa de vento da estação Santos-Ponta da Praia - EM, durante as 24 horas do dia, para o período de 01/01/12 a 31/12/13. Pode-se observar que os ventos predominantes são provenientes da direção sul-sudoeste (SSW), seguida pelas contribuições das direções nordeste

(NE) e norte-nordeste (NNE); e contribuições menores do quadrante este a sul (E a S). Com relação a ventos variáveis e calmaria, estes correspondem a um percentual em torno de 14% de todo o período.

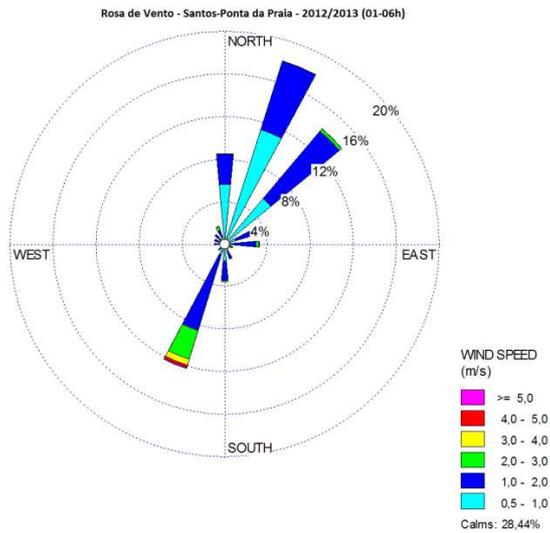
**Figura 8 – Rosa de vento da Estação Santos-Ponta da Praia - EM – 2012/2013 - 24h**



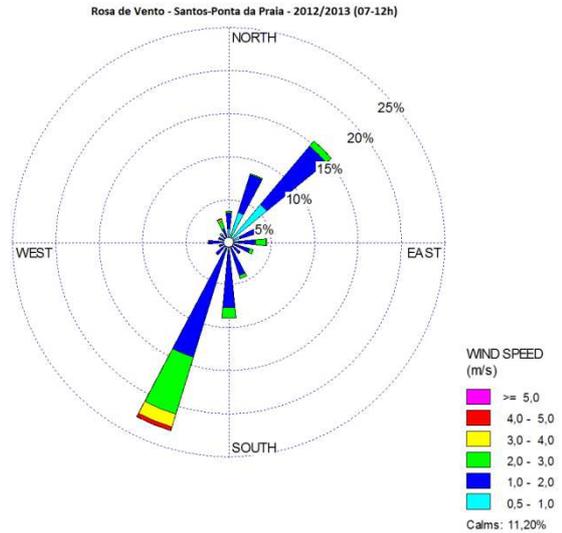
A figura 9 apresenta as rosas de vento elaboradas para os seguintes períodos do dia: **a)** 1-6h, **b)** 7-12h, **c)** 13-18h e **d)** 19-24h. Na madrugada os ventos predominantes sopram de norte-nordeste (NNE), com direções secundárias de norte (N) e de nordeste (NE), o que evidencia a atuação da brisa terra-mar. A calmaria ocorre em cerca de 28% do tempo. No período da manhã o vento começa a girar, sendo que a direção sul-sudoeste (SSW) passa a ser a predominante e, em menor frequência, ocorrem ventos provenientes da direção sul (S), o que evidencia o início da atuação da brisa mar-terra; (a segunda direção o predominante é o da direção nordeste - NE). O percentual de ocorrência de calmaria é menos da metade (cerca de 11%) ao ser comparado com o período da madrugada. No período da tarde os ventos predominantes são de este (E) a sudoeste (SW), o que corrobora a atuação da brisa mar-terra. A ocorrência de calmaria é praticamente nula (menos de 1%). Já no período da noite o vento começa a girar de este (E) para norte-nordeste (NNE), indicando já o início da atuação da brisa terra-mar e o percentual de horas de calmaria começa a aumentar (cerca de 14%), que já é a metade em relação ao período da madrugada subsequente.

Figura 9 – Rosa de vento da Estação Móvel Santos-Ponta da Praia, por período (1-6h, 7-12h, 13-18h, 19-24h)

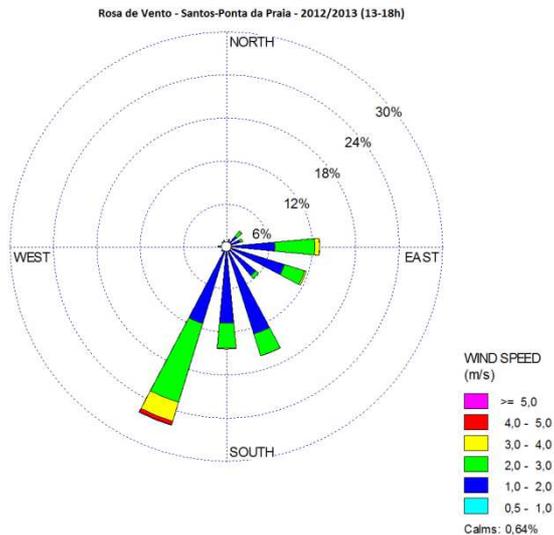
a) Rosa de Vento (1-6h)



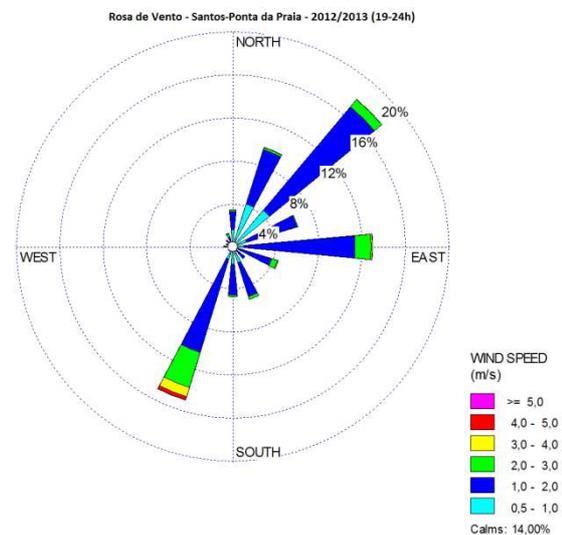
b) Rosa de Vento (7-12h)



c) Rosa de Vento (13-18h)



d) Rosa de Vento (19-24h)



Pelas análises apresentadas observa-se a predominância de ventos da direção sul-sudoeste (SSW) e com intensidades maiores na estação de Santos-Ponta da Praia – EM, portanto, é possível dizer que esta região da cidade apresenta boa condição de dispersão de poluentes. Entretanto, quando for efetuada a avaliação das concentrações das partículas inaláveis (MP<sub>10</sub>) nesta estação, se verificará que em condições de estabilidade atmosférica, ventos fracos e/ou calmos, entre outras variáveis, as concentrações deste poluente aumentam significativamente chegando, inclusive, a ultrapassar o padrão legal vigente, uma vez que há fontes no entorno que contribuem de maneira significativa para estas concentrações.

## 5.2 Avaliação da Qualidade do Ar

Nas tabelas, a seguir, são apresentados os resultados do monitoramento de partículas inaláveis ( $MP_{10}$ ), partículas inaláveis finas ( $MP_{2,5}$ ), dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ) e ozônio ( $O_3$ ) e, para comparação, os respectivos padrões nacionais e estaduais de qualidade do ar, bem como os dados de monóxido de nitrogênio (NO) e óxido de nitrogênio ( $NO_x$ ). As análises dos dados de qualidade do ar consideram os períodos de curto prazo, ou seja, 1, 8 e 24 horas, conforme o poluente, e longo prazo, que neste caso é representado pelas médias anuais das médias diárias.

Deve-se observar que nas tabelas estão respeitados os períodos de medição estabelecidos pela legislação (vide tabelas 2 e 3). Assim, para o  $MP_{10}$ ,  $MP_{2,5}$  e  $SO_2$  são consideradas as médias de 24 horas; para o  $NO_2$ , a máxima de 1 hora do dia; e o  $O_3$  é representado pelo maior valor horário do dia (padrão nacional) e também pela máxima média de 8 horas (padrão estadual).

Os resultados apresentados são cotejados com os padrões de qualidade, conforme a legislação vigente em cada ano de monitoramento, sendo que para comparação com novos padrões estaduais, considerou-se o ano completo de 2013.

Pode-se observar que os poluentes que ultrapassam os padrões de qualidade do ar são as partículas inaláveis ( $MP_{10}$ ) e o ozônio.

**Tabela 7 – Partículas Inaláveis –  $MP_{10}$**

LOCAL DE AMOSTRAGEM	2011						2012					2013									
	Repres.	N	Média Aritm. $\mu g/m^3$	Máximas 24h		Nº de Ultrap.	Repres.	N	Média Aritm. $\mu g/m^3$	Máximas 24h		Nº de Ultrap.	Repres.	N	Média Aritm. $\mu g/m^3$	Máximas 24h				Nº de Ultrapassagens	
				1ª $\mu g/m^3$	2ª $\mu g/m^3$					PQAr Nac.	1ª $\mu g/m^3$					2ª $\mu g/m^3$	PQAr Nac.	1ª $\mu g/m^3$	2ª $\mu g/m^3$	3ª $\mu g/m^3$	4ª $\mu g/m^3$
Santos <sup>1</sup>	N	201	40	100	91	0	S	355	32	91	88	0	S	363	29	100	82	80	79	0	0
Santos - Ponta da Praia - EM <sup>2</sup>	N	40	38	93	82	0	S	364	44	204	169	5	S	365	48	202	186	174	172	14	8

PQAr Nacional de Curto Prazo =  $150 \mu g/m^3$ -24h; PQAr Nacional de Longo Prazo =  $50 \mu g/m^3$

PQAr Estadual de Curto Prazo =  $120 \mu g/m^3$ -24h; PQAr Estadual de Longo Prazo =  $40 \mu g/m^3$

Repres.: atende ao critério de representatividade anual - S (sim) e N (não)

N: Número de dias válidos

1. Início de operação - 07/06/2011

2. Início de operação - 18/11/2011

**Tabela 8 – Partículas Inaláveis Finas –  $MP_{2,5}$**

LOCAL DE AMOSTRAGEM	2011					2012				2013								
	Repres.	N	Média Aritm. $\mu g/m^3$	Máximas 24h		Repres.	N	Média Aritm. $\mu g/m^3$	Máximas 24h		Repres.	N	Média Aritm. $\mu g/m^3$	Máximas 24h				Nº de Ultrapassagens
				1ª $\mu g/m^3$	2ª $\mu g/m^3$				1ª $\mu g/m^3$	2ª $\mu g/m^3$				1ª $\mu g/m^3$	2ª $\mu g/m^3$	3ª $\mu g/m^3$	4ª $\mu g/m^3$	
Santos Ponta da Praia - EM <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	S	298	16	51	42	S	365	19	57	56	54	51	0

PQAr Estadual de Curto Prazo =  $60 \mu g/m^3$ -24h; PQAr Estadual de Longo Prazo =  $20 \mu g/m^3$

Repres.: atende ao critério de representatividade anual - S (sim) e N (não)

N: Número de dias válidos

1. Início de operação – 01/01/2012

Tabela 9 – Dióxido de Enxofre – SO<sub>2</sub>

LOCAL DE AMOSTRAGEM	2011						2012						2013								
	Repres.	N	Média Aritm. µg/m <sup>3</sup>	Máximas 24h		Nº de passagens PQAr Nac.	Repres.	N	Média Aritm. µg/m <sup>3</sup>	Máximas 24h		Nº de passagens PQAr Nac.	Repres.	N	Média Aritm. µg/m <sup>3</sup>	Máximas 24h				Nº de Ultrapassagens	
				1ª µg/m <sup>3</sup>	2ª µg/m <sup>3</sup>					1ª µg/m <sup>3</sup>	2ª µg/m <sup>3</sup>					1ª µg/m <sup>3</sup>	2ª µg/m <sup>3</sup>	3ª µg/m <sup>3</sup>	4ª µg/m <sup>3</sup>	PQAr Est.	PQAr Nac.
Santos Ponta da Praia - EM <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	-	S	364	13	41	40	0	S	357	10	37	37	32	32	0	0

PQAr Nacional de Curto Prazo = 365 µg/m<sup>3</sup>.24h; PQAr Nacional de Longo Prazo = 80 µg/m<sup>3</sup>  
 PQAr Estadual de Curto Prazo = 60 µg/m<sup>3</sup>.24h; PQAr Estadual de Longo Prazo = 40 µg/m<sup>3</sup>  
 Repres.: atende ao critério de representatividade anual - S (sim) e N (não)  
 N: Número de dias válidos  
 1. Início de operação – 01/01/2012

Tabela 10 – Ozônio – O<sub>3</sub>

LOCAL DE AMOSTRAGEM	2011					2012					2013									
	Repres.	N	Máximas 1h		Nº de Ultrap. PQAr Nac. (1h)	Repres.	N	Máximas 1h		Nº de Ultrap. PQAr Nac. (1h)	Padrão Estadual (8h)				Nº de Ultrap. Est.	Padrão Nacional (1h)		Nº de Ultrap. PQAr Nac.		
			1ª µg/m <sup>3</sup>	2ª µg/m <sup>3</sup>				1ª µg/m <sup>3</sup>	2ª µg/m <sup>3</sup>		1ª µg/m <sup>3</sup>	2ª µg/m <sup>3</sup>	3ª µg/m <sup>3</sup>	4ª µg/m <sup>3</sup>		1ª µg/m <sup>3</sup>	2ª µg/m <sup>3</sup>			
Santos <sup>1</sup>	N	201	189	173	4	S	324	181	167	2	S	356	117	117	115	114	0	200	179	2
Santos Ponta da Praia - EM <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	S	363	153	151	0	N	238	117	112	104	97	0	183	147	1

PQAr Nacional (1h) = 160 µg/m<sup>3</sup>.1h;  
 PQAr Estadual (8h) = 140 µg/m<sup>3</sup>.8h;  
 Repres.: atende ao critério de representatividade anual - S (sim) e N (não)  
 N: Número de dias válidos  
 1. Início de operação – 07/06/2011  
 2. Início de operação – 01/01/2012

Tabela 11 – Dióxido de Nitrogênio – NO<sub>2</sub>

LOCAL DE AMOSTRAGEM	2011						2012						2013												
	R	N	Média Aritm. µg/m <sup>3</sup>	Máximas 1h		Nº de Ultrapassagens PQAr Nac. AT	R	N	Média Aritm. µg/m <sup>3</sup>	Máximas 1h		Nº de Ultrapassagens PQAr Nac. AT	R	N	Média Aritm. µg/m <sup>3</sup>	Máximas 1h				Nº de Ultrapassagens					
				1ª µg/m <sup>3</sup>	2ª µg/m <sup>3</sup>					1ª µg/m <sup>3</sup>	2ª µg/m <sup>3</sup>					1ª µg/m <sup>3</sup>	2ª µg/m <sup>3</sup>	3ª µg/m <sup>3</sup>	4ª µg/m <sup>3</sup>	PQAr Est.	AT	PQAr Nac.	AT		
Santos <sup>1</sup>	N	173	35	157	153	0	0	S	349	37	128	122	0	0	S	334	29	125	120	117	105	0	0	0	0
Santos Ponta da Praia - EM <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	S	352	31	129	128	0	0	S	257	28	150	147	140	134	0	0	0	0	

PQAr Nacional de Curto Prazo = 320 µg/m<sup>3</sup>.1h; PQAr Nacional de Longo Prazo = 100 µg/m<sup>3</sup>  
 PQAr Estadual de Curto Prazo = 260 µg/m<sup>3</sup>.1h; PQAr Estadual de Longo Prazo = 60 µg/m<sup>3</sup>  
 Repres.: atende ao critério de representatividade anual - S (sim) e N (não)  
 N: Número de dias válidos  
 1. Início de operação – 07/06/2011  
 2. Início de operação – 01/01/2012

Tabela 12 – Monóxido de Nitrogênio – NO

LOCAL DE AMOSTRAGEM	2011					2012					2013						
	R	N	Média Aritm. µg/m <sup>3</sup>	Máximas 1h		R	N	Média Aritm. µg/m <sup>3</sup>	Máximas 1h		R	N	Média Aritm. µg/m <sup>3</sup>	Máximas 1h			
				1ª µg/m <sup>3</sup>	2ª µg/m <sup>3</sup>				1ª µg/m <sup>3</sup>	2ª µg/m <sup>3</sup>				1ª µg/m <sup>3</sup>	2ª µg/m <sup>3</sup>	3ª µg/m <sup>3</sup>	4ª µg/m <sup>3</sup>
Santos <sup>1</sup>	N	173	29	367	278	S	349	28	321	315	S	334	28	348	321	318	290
Santos Ponta da Praia - EM <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	S	352	28	499	372	S	257	31	644	594	546	508

Repres.: atende ao critério de representatividade anual - S (sim) e N (não)  
 N: Número de dias válidos  
 1. Início de operação – 07/06/2011  
 2. Início de operação – 01/01/2012

Tabela 13 – Óxidos de Nitrogênio - NO<sub>x</sub>

LOCAL DE AMOSTRAGEM	2011					2012					2013						
	R	N	Média Aritm. ppb	Máximas horárias		R	N	Média Aritm. ppb	Máximas horárias		R	N	Média Aritm. ppb	Máximas horárias			
				1 <sup>a</sup> ppb	2 <sup>a</sup> ppb				1 <sup>a</sup> ppb	2 <sup>a</sup> ppb				1 <sup>a</sup> ppb	2 <sup>a</sup> ppb	3 <sup>a</sup> ppb	4 <sup>a</sup> ppb
Santos <sup>1</sup>	N	173	42	340	270	S	349	42	311	298	S	334	38	318	306	287	280
Santos Ponta da Praia <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	S	352	39	466	364	S	257	40	572	514	473	460

Repres.: atende ao critério de representatividade anual - S (sim) e N (não)

N: Número de dias válidos

1. Início de operação – 07/06/2011

2. Início de operação – 01/01/2012

A partir dos valores diários e dos índices de qualidade do ar (tabela 4) que tem por base os novos padrões de qualidade do ar do Estado de São Paulo, foram elaboradas as tabelas a seguir que mostram as distribuições percentuais da qualidade do ar nas estações, em 2013, para os poluentes regulamentados.

Tabela 14 - Distribuição percentual da qualidade do ar - Santos – 2013

Poluente	Total dias	BOA		MODERADA		RUIM		MUITO RUIM		PÉSSIMA	
		dias	%	dias	%	dias	%	dias	%	dias	%
MP <sub>10</sub>	363	338	93,1	25	6,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0
NO <sub>2</sub>	340	340	100,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
O <sub>3</sub>	364	357	98,1	7	1,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Obs.: Total de dias de monitoramento.

Gráfico 01 - Distribuição percentual da qualidade do ar - Santos – 2013

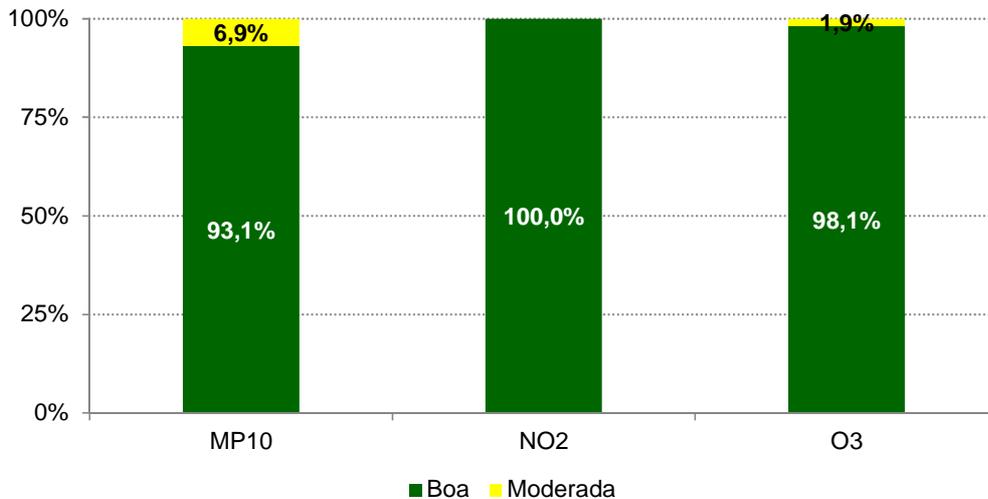
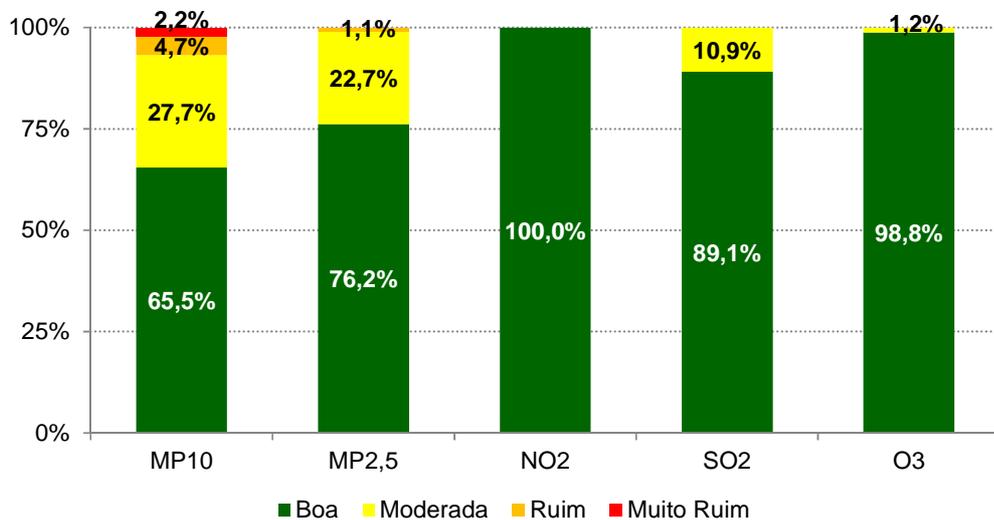


Tabela 15 - Distribuição percentual da qualidade do ar - Santos–Ponta da Praia (EM) 2013

Poluente	Total dias	BOA		MODERADA		RUIM		MUITO RUIM		PÉSSIMA	
		dias	%	dias	%	dias	%	dias	%	dias	%
MP <sub>10</sub>	365	239	65,5	101	27,7	17	4,7	8	2,2	0	0,0
MP <sub>2,5</sub>	365	278	76,2	83	22,7	4	1,1	0	0,0	0	0,0
NO <sub>2</sub>	259	259	100,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
SO <sub>2</sub>	357	318	89,1	39	10,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0
O <sub>3</sub>	246	243	98,8	3	1,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Obs.: Total de dias de monitoramento.

Gráfico 02 - Distribuição percentual da qualidade do ar - Santos–Ponta da Praia (EM) - 2013



A seguir são efetuadas as análises do comportamento do material particulado de cada estação de monitoramento, tendo em vista que a estação Santos–Ponta da Praia – EM registra altas concentrações de MP<sub>10</sub>, com episódios de ultrapassagem do padrão de qualidade. Essas análises são feitas para os anos de 2012 e 2013.

### 5.3 Avaliação do Comportamento do Material Particulado

As características do material particulado em suspensão na atmosfera variam muito em função de sua composição química e física, das fontes de emissão e do tamanho da partícula.

Partículas com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm, denominadas partículas inaláveis (MP<sub>10</sub>), são de grande importância, já que são suficientemente pequenas para penetrar no trato respiratório.

As partículas são frequentemente classificadas como primárias, aquelas emitidas diretamente para a atmosfera, ou secundárias, aquelas formadas ou modificadas na atmosfera a partir da transformação de gases e vapores em particulados.

A distribuição do tamanho das partículas é ditada pelo processo que gera o aerossol, sendo que as partículas inaláveis ( $MP_{10}$ ) se concentram em 2 faixas de tamanho, comumente designadas partículas inaláveis finas ( $<2,5 \mu m$ ) e partículas inaláveis grossas ( $2,5 \mu m$  a  $10 \mu m$ ). As partículas inaláveis finas ( $MP_{2,5}$ ) são, geralmente, emitidas por atividades tais como combustão industrial, exaustão de veículos automotores, queima de biomassa, etc. Elas também se formam na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e compostos orgânicos voláteis, que são emitidos em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar. As partículas inaláveis grossas ( $MP_{2,5-10}$ ) na atmosfera são, sobretudo, o resultado de processos mecânicos, como operações de moagem e ressuspensão de poeira. Materiais geológicos tendem a dominar essa moda.

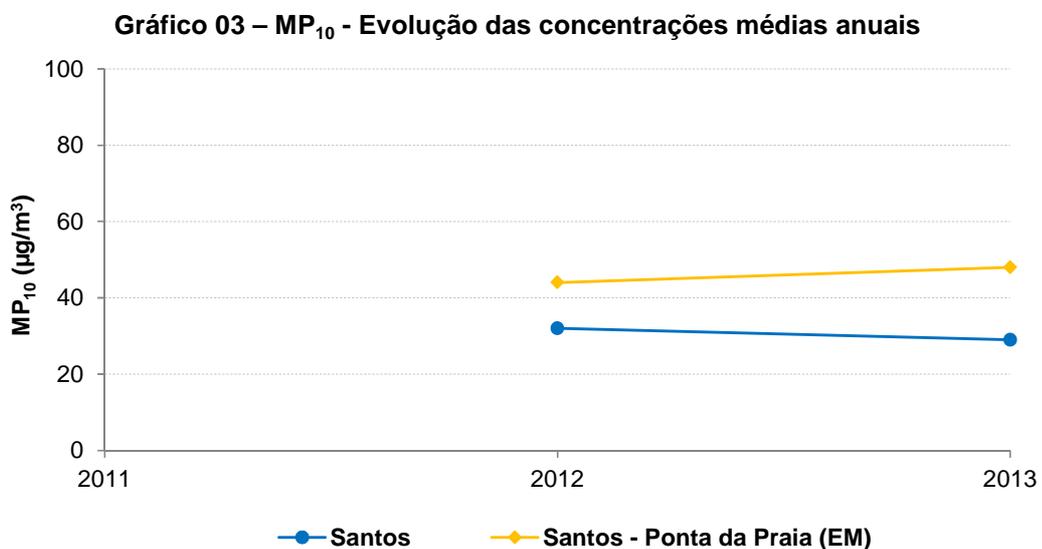
### 5.3.1 Partículas Inaláveis – $MP_{10}$

Observa-se na tabela 8 que o padrão anual estadual ( $40 \mu g/m^3$ ) foi ultrapassado na estação Santos-Ponta da Praia (EM), em 2013. Neste ano o PQAr estadual diário ( $120 \mu g/m^3$ ) foi excedido 14 vezes. Foram observadas 5 ultrapassagens de PQAr nacional diário ( $150 \mu g/m^3$ ) em 2012 e 8 ultrapassagens em 2013. Os padrões não foram violados na estação de Santos.

Conforme se verifica nas tabelas 14 e 15, as partículas inaláveis ( $MP_{10}$ ), apresentam diferenças substanciais na distribuição de qualidade. Pode-se verificar nos gráficos 1 e 2, qualidade BOA na estação Santos por este poluente praticamente, todos os dias (93%) enquanto que na Ponta da Praia foram registradas as qualidades MODERADA a MUITO RUIM em cerca de 1/3 dos dias de monitoramento.

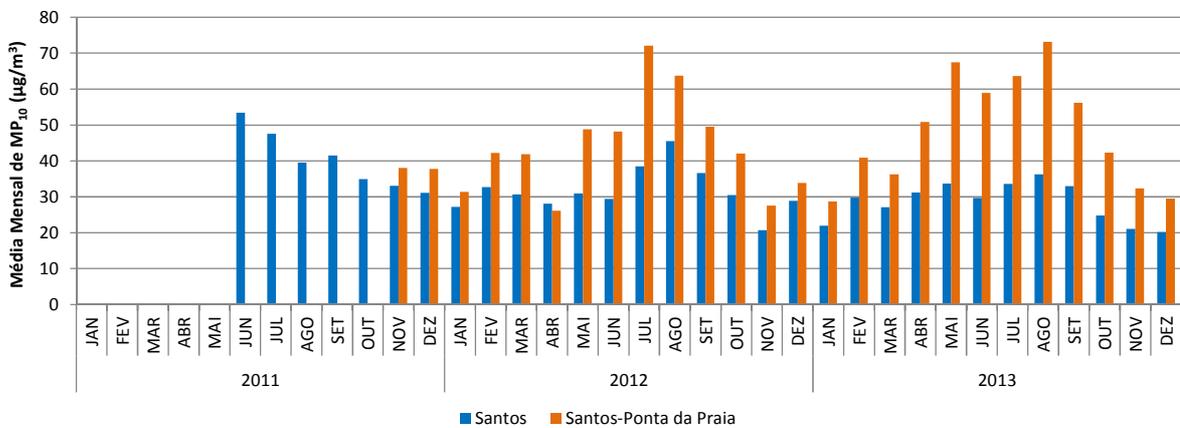
#### 5.3.1.1 Avaliação do comportamento do $MP_{10}$

O gráfico 3 mostra a evolução das concentrações médias anuais nas duas estações.

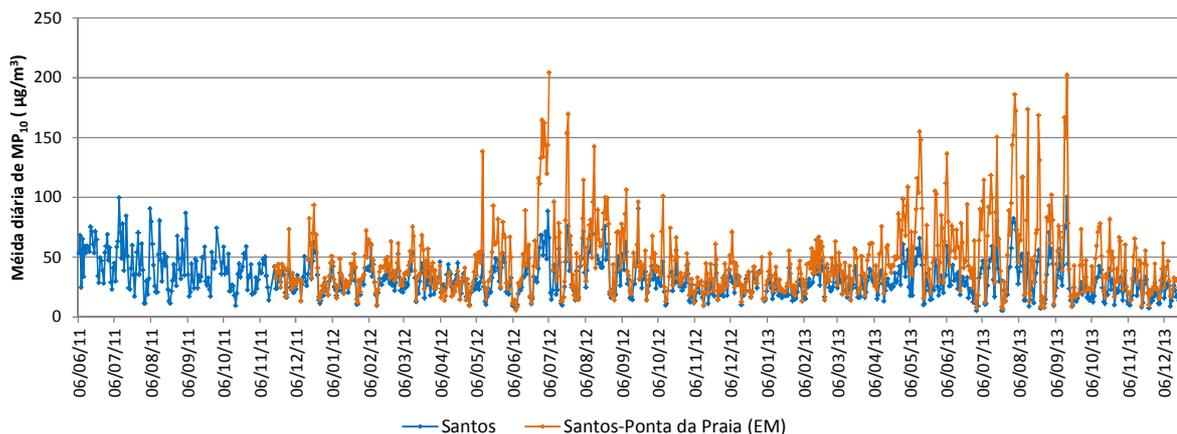


O gráfico 4 mostra o perfil das médias mensais das concentrações das partículas inaláveis e o gráfico 5, a evolução das concentrações médias diárias. Observa-se que, a maior parte das altas concentrações incluindo os dias de ultrapassagem dos padrões ocorre no período de “inverno” (maio a setembro) quando as condições de dispersão dos poluentes são mais desfavoráveis devido à falta de chuva, períodos de ventos fracos e calmaria, inversões térmicas de baixa altitude, etc.

**Gráfico 04 – MP<sub>10</sub> - Perfil das médias mensais**



**Gráfico 05 – MP<sub>10</sub> – Evolução das concentrações médias diárias**



Observa-se nos gráficos 3, 4, 5, que as concentrações de MP<sub>10</sub> registradas na estação da Ponta da Praia, principalmente no período do “inverno”, são maiores do que na estação de Santos, o que indica a presença de fontes de emissão específicas na Ponta da Praia.

No período de outubro a março, quando é observada maior pluviosidade e maior ventilação, as concentrações nos dois locais são próximas.

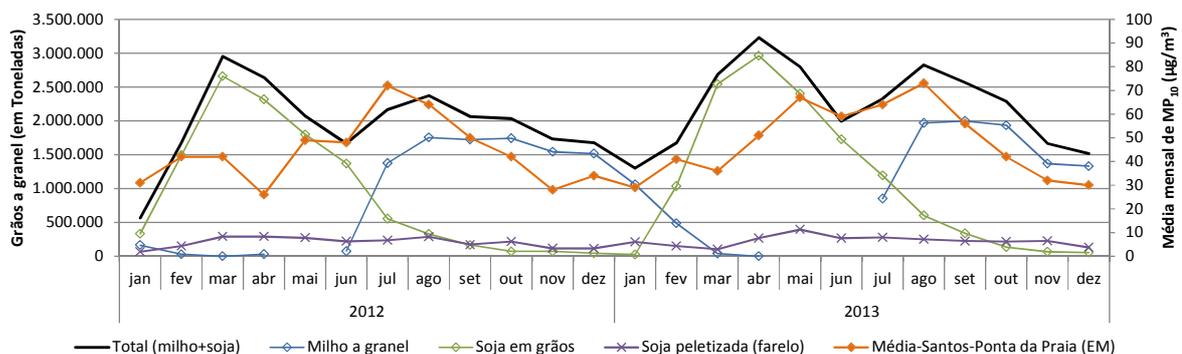
De maneira genérica, as principais fontes de emissão das partículas inaláveis são: processos de combustão (associados principalmente aos veículos e às indústrias), poeira ressuspensa da rua, formação de aerossol secundário.

No caso da região da Ponta da Praia em estudo, deve-se acrescentar as emissões decorrentes da atividade portuária que incluem principalmente a manipulação e transferências de grãos, a circulação de caminhões nas proximidades do Porto, que além de emitir material particulado pela queima do diesel, podem provocar a fragmentação mecânica de grãos que caem nas vias sendo este material ressuspensão para atmosfera pela ação dos ventos ou pela própria movimentação dos veículos, a queima de óleo combustível pelos navios, entre outros.

Neste sentido, o gráfico 6 mostra o perfil mensal das concentrações médias do material particulado inalável e da movimentação de milho e soja, em grãos e peletizada (farelo), obtidas no relatório “Análise do movimento físico do Porto de Santos” da Cia Docas do Estado de São Paulo - CODESP, que são os principais produtos movimentados nos armazéns do Porto próximos à estação. Estas informações da CODESP se referem a todo o Porto e não especificamente ao setor da Ponta da Praia, importante setor de movimentação de milho e soja, responsável por cerca de um terço deste movimento.

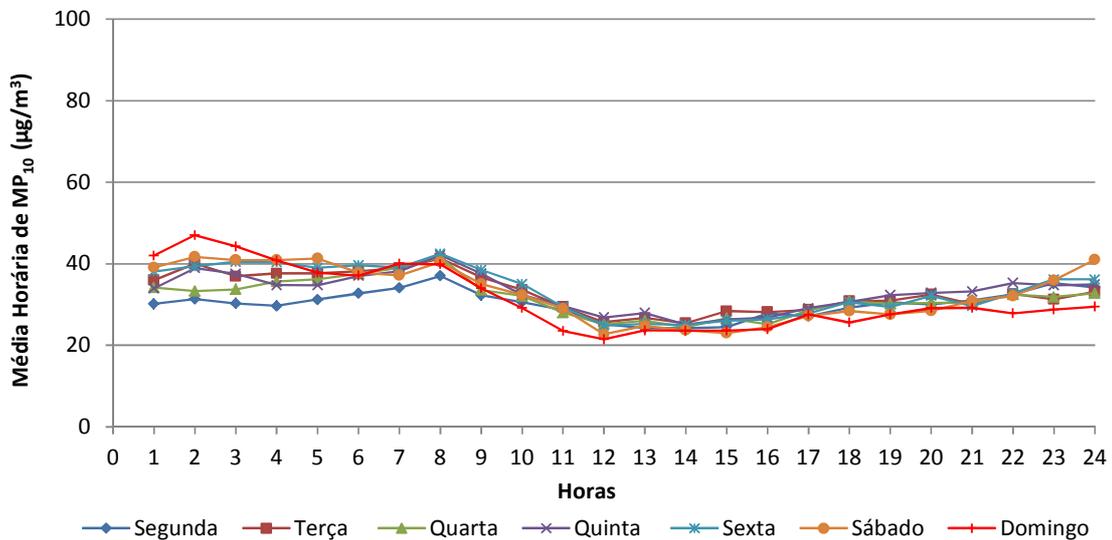
Ainda no gráfico 6, observa-se que a maior movimentação de milho se dá entre os meses de julho a dezembro enquanto que a soja tem sua maior movimentação entre os meses de fevereiro até julho. Dessa forma, verifica-se que a movimentação desses dois produtos se dá ao longo de todo o ano, sendo que durante os meses de maio a setembro (“inverno”), nos quais se concentra o maior número de dias de condições desfavoráveis à dispersão de poluentes, a atividade de exportação é intensa, e são verificadas as maiores concentrações de material particulado na estação da Ponta da Praia. Observa-se também, que no período do “inverno” de 2013, a movimentação de milho e soja sofreu um acréscimo em comparação ao mesmo período de 2012.

**Gráfico 06 – Perfil mensal de MP<sub>10</sub> e movimentação de milho e soja**

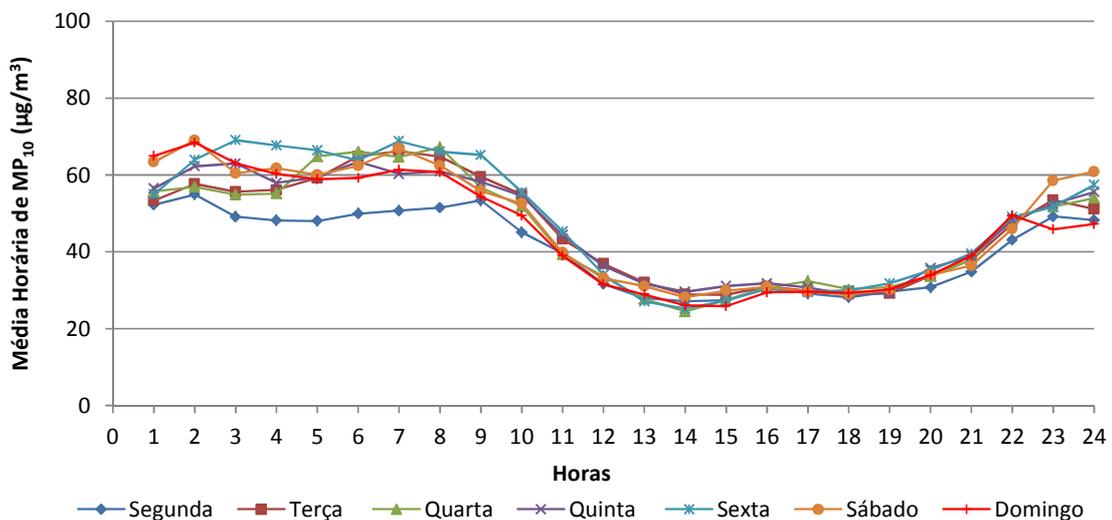


Os gráficos 7 e 8 apresentam perfis médios horários de concentrações das partículas inaláveis por dia da semana, que são influenciadas tanto pelas variações das emissões, quanto pelas condições meteorológicas. Verifica-se uma semelhança no comportamento destes perfis, ou seja, entre o final da noite e início da manhã as concentrações são mais altas e, durante o dia, devido ao aquecimento há maior convecção e ventos mais fortes, as concentrações são mais baixas. Observa-se também que as concentrações são mais elevadas na estação da Ponta da Praia, onde as variações no perfil horário são de maior magnitude. As duas estações apresentam menores médias horárias no período da madrugada e início da manhã de segunda-feira.

**Gráfico 07 – MP<sub>10</sub> - Perfil médio horário por dia da semana – Santos**



**Gráfico 08 – MP<sub>10</sub> - Perfil médio horário por dia da semana – Santos-Ponta da Praia (EM)**



5.3.1.2 Rosas de poluição de partículas inaláveis -  $MP_{10}$  na estação Santos-Ponta da Praia-EM

Tendo em vista que as maiores concentrações das partículas inaláveis, incluindo ultrapassagens dos padrões nacional e estadual para este poluente, ocorrem na estação Santos-Ponta da Praia - EM, foram elaboradas rosas de poluição, que são utilizadas para verificar as contribuições dos ventos para as concentrações de poluentes. As rosas de poluição, apresentadas na sequência, foram elaboradas utilizando-se dados de concentração de partículas inaláveis -  $MP_{10}$  e de direção do vento agrupados hora a hora. Na figura 10 é mostrada a rosa de poluição durante as 24 horas do dia, durante o período de 01/01/12 a 31/12/13. Pode-se observar que as maiores concentrações horárias (maiores que  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) foram provenientes, em sua grande maioria, das direções nordeste (NE) e norte-nordeste (NNE), ou seja, quando ventava do Porto em direção à estação. Observa-se também, um percentual de 14% de ventos variáveis e/ou calmos em todo o período. Durante o período de calmaria, quando a velocidade do vento é menor do que  $0,5 \text{ m/s}$ , foram observadas concentrações horárias acima de  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  em 7% do tempo e de  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  em 1% do tempo. Os maiores valores de concentração horárias foram observadas nos dias 06/07/2012 ( $976 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , às 3:00 horas) e 03/08/2013 ( $581 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , às 2:00 horas), ou seja, na madrugada quando a atmosfera está mais estável e, também, a frequência de ocorrência de períodos de calmaria e ventos fracos é maior. Outra observação importante é que esses picos ocorreram em meses de “inverno”.

Figura 10 – Rosa de poluição de Santos-Ponta da Praia – 2012/2013 - 24h

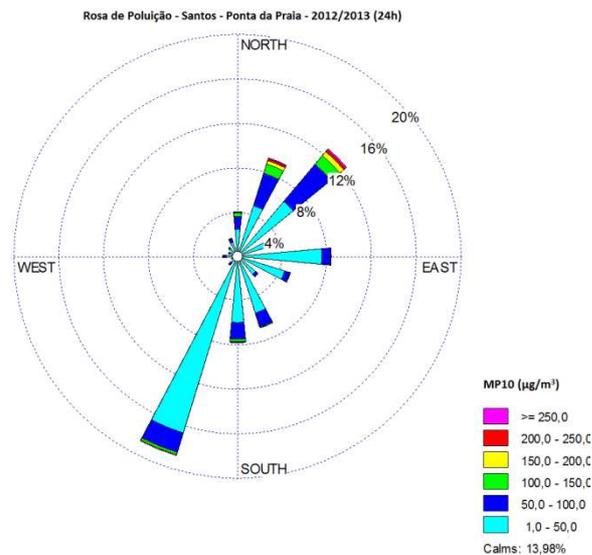
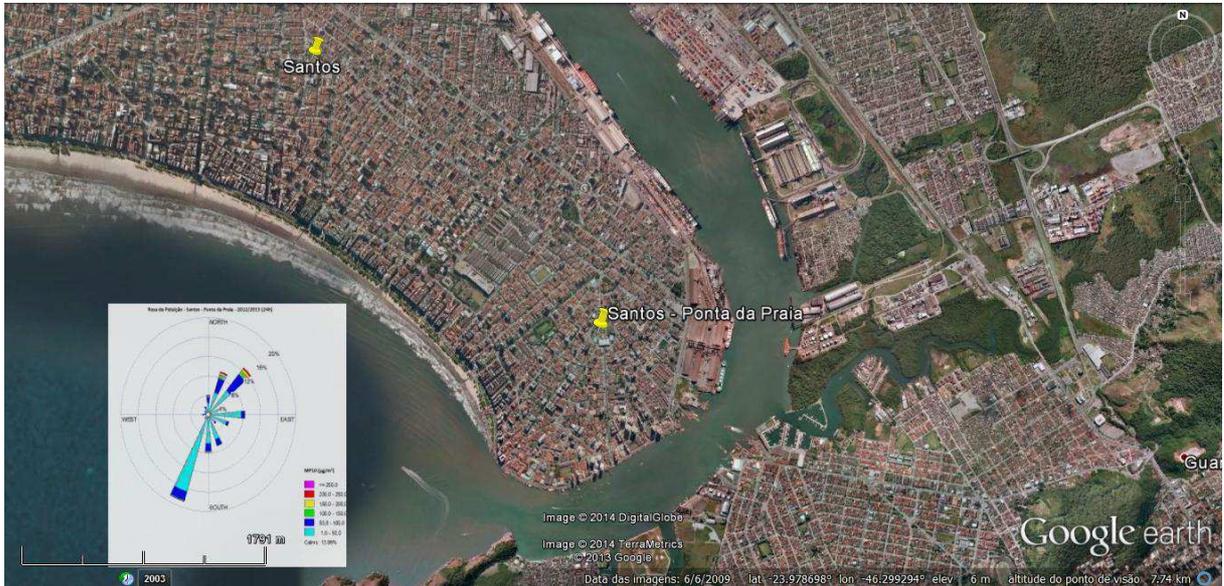


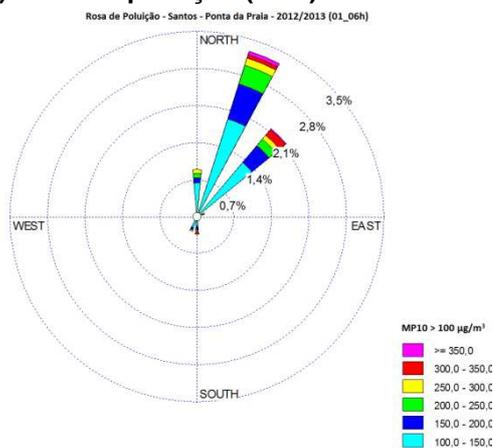
Figura 11 – Rosa de poluição de Santos-Ponta da Praia - 24h (Imagem Google)



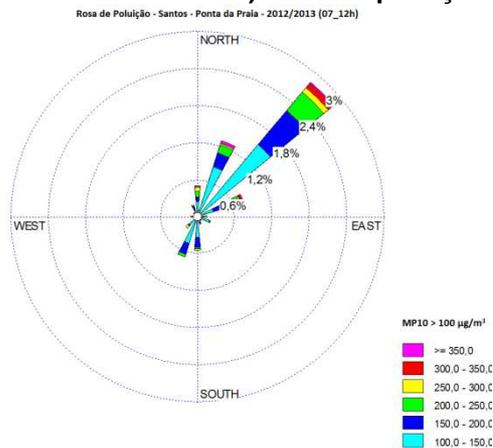
Na figura a seguir são apresentadas as rosas de poluição por período: **a) 1-6h**, **b) 7-12h**, **c) 13-18h** e **d) 19-24h**, considerando as concentrações maiores do que  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pode-se afirmar que as maiores concentrações ocorreram entre o final da noite e o início da manhã foram provenientes das direções NE e NNE, ou seja, quando ventava do Porto em direção à estação. As concentrações horárias maiores que  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ocorreram de madrugada e início da manhã, durante períodos de calma ou com ventos provenientes da direção NNE.

Figura 12 – Rosa de poluição de Santos-Ponta da Praia, por período (1-6h, 7-12h, 13-18h, 19-24h)

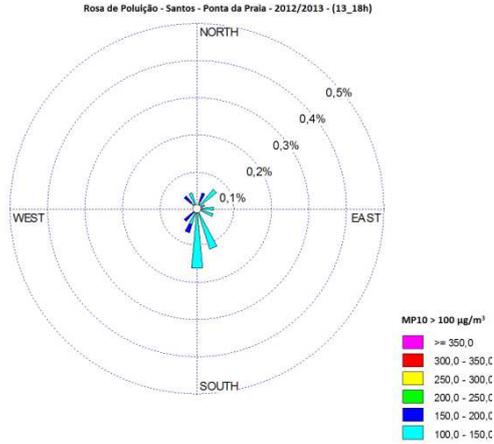
a) Rosa de poluição (1-6h)



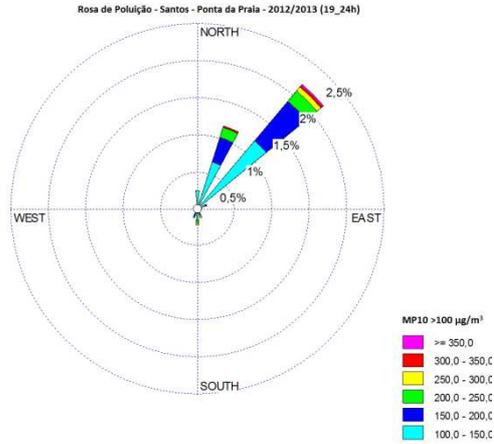
b) Rosa de poluição (7-12h)



**c) Rosa de poluição (13-18h)**



**d) Rosa de poluição (19-24h)**



**5.3.1.4 Episódios de partículas inaláveis - MP<sub>10</sub> em Santos-Ponta da Praia – EM**

A tabela 16 apresenta as concentrações diárias de partículas inaláveis medidas nos dias em que os valores diários de MP<sub>10</sub> em Santos-Ponta da Praia foram maiores que 120 µg/m<sup>3</sup>, bem como as respectivas concentrações diárias de MP<sub>2,5</sub> em Santos-Ponta da Praia e de MP<sub>10</sub> em Santos.

**Tabela 16 – Concentrações diárias nos dias de episódios de MP<sub>10</sub> em Santos–Ponta da Praia**

Data	Santos	Santos-Ponta da Praia	
	MP <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	MP <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	MP <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
11/05/2012	52	138	32
29/06/2012	68	133	35
30/06/2012	68	164	51
01/07/2012	52	134	42
02/07/2012	62	162	--
03/07/2012	71	144	--
05/07/2012	88	144	--
06/07/2012	66	204	--
21/07/2012	75	154	--
22/07/2012	76	169	--
13/08/2012	--	143	--
14/05/2013	66	155	34
15/05/2013	52	148	34
06/06/2013	59	137	41
18/07/2013	80	150	51
31/07/2013	79	144	44
01/08/2013	82	152	56
02/08/2013	79	186	57
03/08/2013	73	172	50
13/08/2013	53	174	41
22/08/2013	56	169	54
23/08/2013	51	131	32
13/09/2013	76	167	48
14/09/2013	75	150	47
15/09/2013	100	202	42

A seguir são analisados os episódios, que duram de um ou mais dias, de ultrapassagem dos padrões nacional e estadual de curto prazo (24 horas). Para definir um episódio é verificada a hora na qual a média móvel de 24 horas ultrapassa o padrão e, quantos dias essa média móvel continua ultrapassando o padrão de qualidade. Durante o ano de 2012 ocorreram quatro episódios, nos quais foram observados cinco dias de ultrapassagem do padrão nacional (150 µg/m<sup>3</sup>) e, em 2013, foram sete episódios, nos quais ocorreram 14 dias de ultrapassagens do padrão estadual (120 µg/m<sup>3</sup>), conforme se verifica nos gráficos do Anexo I.

Todos os episódios de altas concentrações de partículas inaláveis, medidos na estação Santos-Ponta da Praia - EM, ocorreram quando os ventos foram provenientes de Norte a Este (N a E) com fraca

intensidade, durante o período entre o fim da noite até a manhã do dia seguinte e, também, com ventos classificados como calmaria (menores que 0,45 m/s). Dessa forma, é possível inferir que esses episódios estão relacionados a emissões provenientes das atividades portuárias referentes à movimentação de grãos (soja e milho), incluindo a circulação de caminhões, ressuspensão de material particulado, quer por veículos, quer pelos ventos, uma vez que este setor se localiza entre nordeste e este (NE e E) e a distâncias que variam de 650 a 900 metros da estação.

Ao se comparar, nos gráficos do Anexo I, o perfil das concentrações das partículas inaláveis da estação Santos com o perfil da estação Santos-Ponta da Praia (EM), verifica-se, de maneira geral, o mesmo comportamento. Ou seja, quando a concentração aumenta em uma estação também aumenta na outra estando associadas às condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão de poluentes. O que difere são os valores de concentrações, uma vez que no entorno da estação Santos não existem fontes de emissão significativas, ao contrário da estação Santos – Ponta da Praia (EM) que sofre os impactos das emissões do setor do Porto, onde a atividade de movimentação de grãos é intensa e está próximo da estação de monitoramento deste local da cidade.

A seguir serão analisadas as concentrações das partículas inaláveis finas, já que as mesmas fazem parte do  $MP_{10}$  e são mais agressivas à saúde.

### **5.3.2 Partículas Inaláveis Finas – $MP_{2,5}$**

As partículas inaláveis finas são produzidas principalmente nos processos de combustão a partir de emissão direta, como a queima de combustível nos veículos e, também, a partir dos gases precursores emitidos como o dióxido de enxofre -  $SO_2$ , os óxidos de nitrogênio -  $NO_x$  e compostos orgânicos voláteis - COVs que reagem na atmosfera. Partículas ressuspensas das vias, ou partículas provenientes de processos mecânicos, não são significativas neste tipo de material.

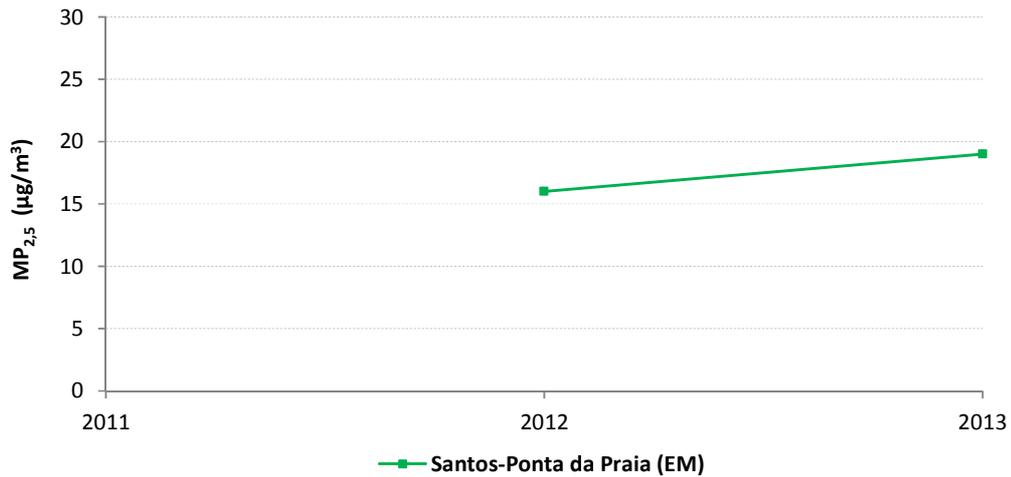
As partículas inaláveis finas ( $MP_{2,5}$ ) estão contidas nas partículas inaláveis ( $MP_{10}$ ), sendo a relação média do  $MP_{2,5}/MP_{10}$  em Santos – Ponta da Praia (EM) de 0,4 o que reflete condições locais diferentes das encontradas na RMSP, cuja relação média  $MP_{2,5}/MP_{10}$  é de 0,6, com a fração fina, que é mais nociva à saúde, predominando sobre a fração grossa. Segundo a Organização Mundial de Saúde, a razão de 0,5 é característica de zonas urbanas de países em desenvolvimento e corresponde ao limite inferior da faixa encontrada em regiões urbanas de países desenvolvidos (0,5-0,8).

#### **5.3.2.1 Avaliação do comportamento do $MP_{2,5}$ em Santos-Ponta da Praia (EM)**

A legislação nacional vigente (Tabela 2) não estabelece padrão de qualidade para este poluente, que teve padrão estabelecido no Decreto Estadual nº 591 13/13, de 23/04/13 (Tabela 1). O gráfico 9

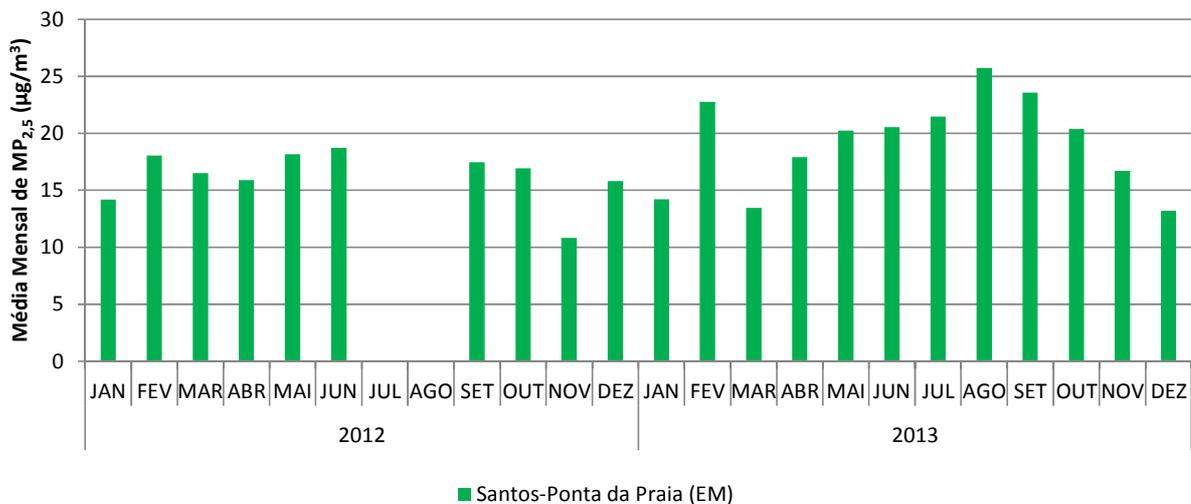
mostra que a média anual de 2013 esteve próxima ao PQAr estadual de longo prazo (anual) de 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Gráfico 09 – MP<sub>2,5</sub> - Evolução das concentrações médias anuais – Santos-Ponta da Praia (EM)**



O gráfico 10 mostra perfil das médias mensais das concentrações das partículas inaláveis finas. Considerando o ano de 2013 onde houve monitoramento todos os meses, observa-se um comportamento semelhante ao MP<sub>10</sub> com aumento das concentrações no período de “inverno”.

**Gráfico 10 - Perfil das médias mensais das partículas finas - MP<sub>2,5</sub> – Santos-Ponta da Praia (EM)**

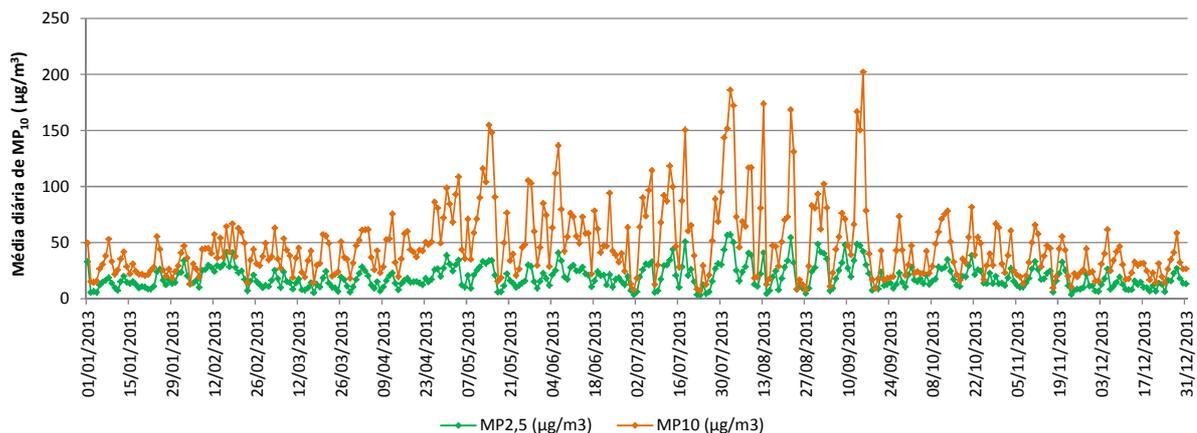


O gráfico, a seguir, mostra a evolução das médias diárias, onde pode ser observado que, nos meses de “inverno” de 2013, ocorreram os maiores valores diários, com os valores máximos registrados no

mês de agosto de 2013. O PQAr estadual diário de  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  não foi ultrapassado, embora em 4 dias a qualidade tenha sido classificada RUIM para este poluente (gráfico 2).

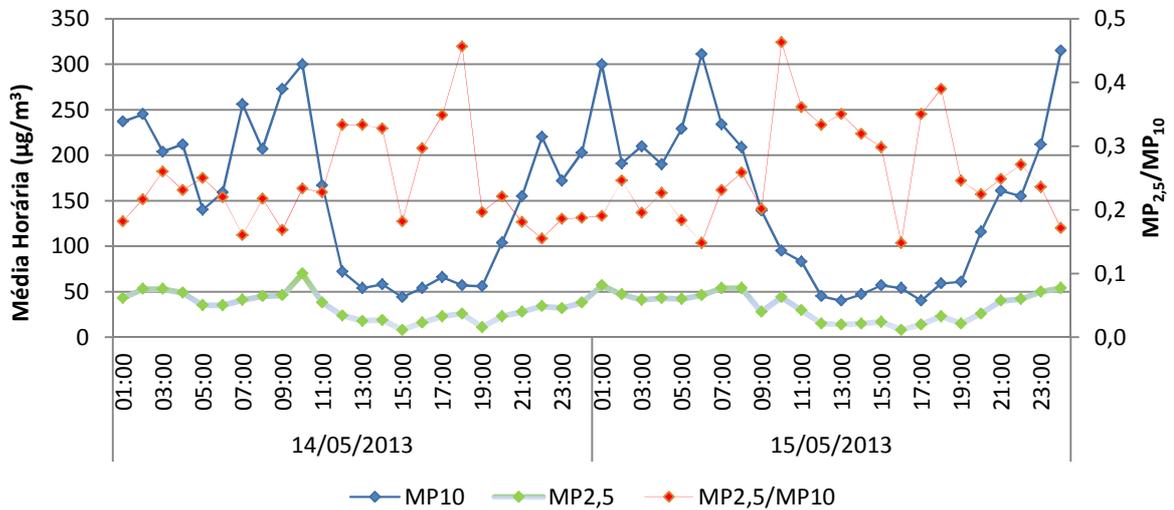
Observa-se no gráfico 11 que o comportamento das concentrações das partículas inaláveis e finas tem um perfil semelhante, ou seja, quando um aumenta o outro tem o mesmo comportamento, uma vez que as partículas finas representam em média 40% das partículas inaláveis. Entretanto, em alguns dias específicos há um maior aumento do  $\text{MP}_{10}$ , que não é acompanhado na mesma proporção pelo  $\text{MP}_{2,5}$ , sendo que nos dias em que a concentração de  $\text{MP}_{10}$  é maior que  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , a relação  $\text{MP}_{2,5}/\text{MP}_{10}$  é sempre menor que 0,4, indicando uma atuação mais significativa de fontes de material particulado de maior tamanho, geralmente associadas a processos mecânicos.

**Gráfico 11 — Evolução das concentrações médias diárias de  $\text{MP}_{10}$  e  $\text{MP}_{2,5}$  – Santos-Ponta da Praia (EM)**



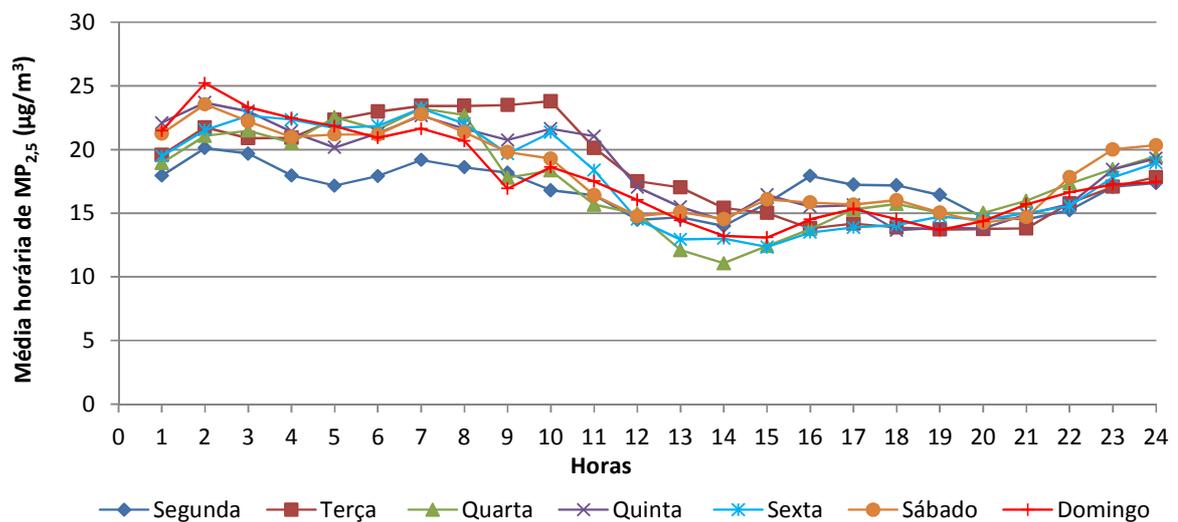
O comportamento descrito acima, fica mais evidenciado no gráfico 12, que ilustra o episódio ocorrido entre 14 e 15/05/2013, que mostra as concentrações das partículas inaláveis ( $\text{MP}_{10}$ ) e das partículas finas ( $\text{MP}_{2,5}$ ) e a razão entre elas ( $\text{MP}_{2,5}/\text{MP}_{10}$ ). Nesse gráfico observa-se que quando ocorrem valores horários de  $\text{MP}_{10}$  superiores a  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , a razão  $\text{MP}_{2,5}/\text{MP}_{10}$  é cerca de 0,2, ou seja, o  $\text{MP}_{2,5}$  representa cerca de 20% do  $\text{MP}_{10}$  e quando os valores das concentrações de  $\text{MP}_{10}$  são abaixo de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , esta razão sobe. Isto indica que o aumento das concentrações de  $\text{MP}_{10}$  está associado a um incremento maior de partículas na faixa de 2,5 a  $10 \mu\text{m}$ , que geralmente são emitidas através de processo mecânicos, como a transferência de grãos, ressuspensão da poeira de rua, etc.

**Gráfico 12 - Comportamento do MP<sub>2,5</sub> em relação ao MP<sub>10</sub> em Santos-Ponta da Praia (EM)**



O gráfico 13 apresenta o perfil médio por dia da semana das partículas finas que, de maneira geral, guarda semelhança com o gráfico 9 das partículas inaláveis.

**Gráfico 13 - Perfil médio horário por dia da semana partículas finas - MP<sub>2,5</sub> - Santos-Ponta da Praia (EM)**



## 6 CONCLUSÃO

Os únicos poluentes que ultrapassaram os padrões de qualidade do ar foram o ozônio e as partículas inaláveis ( $MP_{10}$ ). Em relação ao primeiro, foram observadas poucas violações do PQAr nacional nas duas estações (Santos e Santos-Ponta da Praia). Já no caso do  $MP_{10}$ , foram verificadas na estação da Santos-Ponta da Praia, em 2013, além da ultrapassagem do PQAr estadual anual, 14 ultrapassagens do PQAr estadual diário (24 horas), onde os valores encontrados são bem superiores aos observados na estação de Santos, situada no Boqueirão.

As análises dos dados, das rosas de vento, das rosas de poluição e dos episódios, assim como a comparação com os dados da estação de Santos, entre outros, permitem inferir que além da contribuição das fontes de emissão inerentes à cidade e à região, parte significativa das concentrações das partículas inaláveis monitoradas na estação Santos-Ponta da Praia, principalmente nos dias de episódios de altas concentrações, está associada às emissões provenientes das atividades do setor do Porto de Santos localizado na Ponta da Praia, responsável pela movimentação granéis sólidos vegetais (grãos de soja e milho e farelo de soja) para exportação.

Dentre as atividades desse setor do Porto que geram a emissão de material particulado para a atmosfera, destaca-se a atividade de manipulação e movimentação de grãos/farelos. Associados à atividade portuária, também podem contribuir os caminhões que além de emitir material particulado pela queima do diesel, podem provocar a fragmentação mecânica de grãos/farelos que caem nas vias e são ressuspensos para atmosfera pela ação dos ventos; e as emissões provenientes da queima de combustível pelos navios, entre outros.

Embora as atividades portuárias ocorram praticamente o ano todo, é no período de “inverno” (maio a setembro), que as concentrações de material particulado são mais elevadas, uma vez que nesse período ocorrem condições mais desfavoráveis à dispersão dos poluentes na atmosfera.



## 7 REFERÊNCIAS

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Estimativa da população residente no Brasil. Diretoria de Pesquisas-DPE. <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 3/10/2013.

CODESP - Companhia das Docas do Estado de São Paulo. Análise do movimento físico do Porto de Santos. Diretoria de Desenvolvimento Comercial-SCM/GCE. Edições de Janeiro/2011 a Dezembro/2013. Santos. <http://www.portodesantos.com.br>. Acesso em: 04/12/2013 e 03/02/2014.

CODESP - Companhia das Docas do Estado de São Paulo. Mensário Estatístico do Porto de Santos. Edições Dezembro/2012 e Dezembro/2013.

SÃO PAULO. CETESB. Relatório de Qualidade do ar no Estado de São Paulo 2012. São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>.

## 8 EQUIPE DE TRABALHO

EQQA – Setor de Amostragem e Análise do Ar

EQQM – Setor de Meteorologia

EQQT – Setor de Telemetria

CMN - Agência Ambiental de Santos

## 9 ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO

Met. Clarice Aico Muramoto

Quim. Maria Helena R. B. Martins

Met. Ricardo Anazia

Tec. Adm. Roseli Sachi Arroio

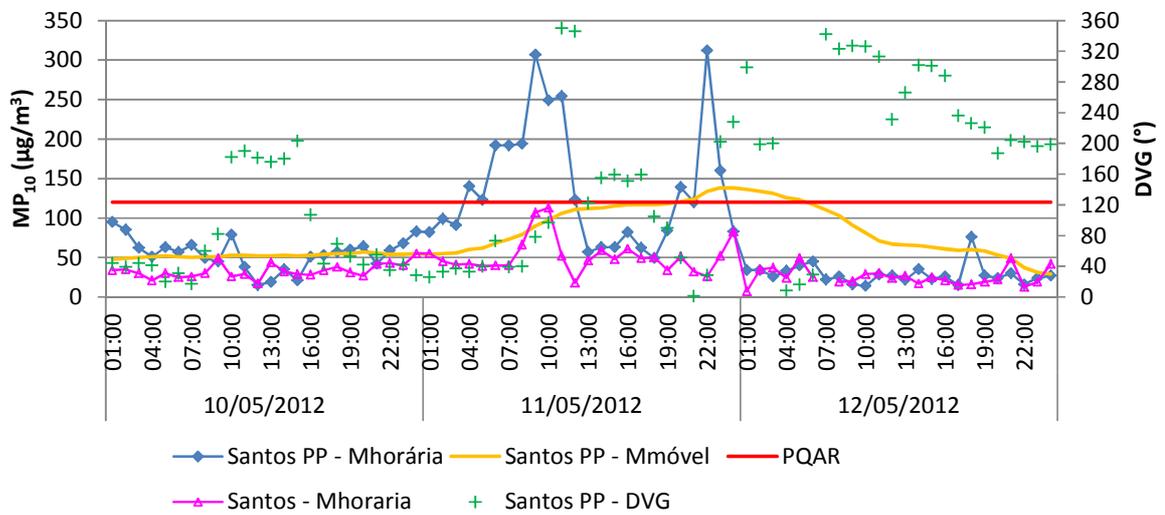
Fís. Thiago De Russi Colella

Est. Yoshio Yanagi

**ANEXO Episódios de MP<sub>10</sub> na estação Santos-Ponta da Praia – EM**

Legenda dos gráficos:  
 Mhorária – concentração horário de MP<sub>10</sub>  
 Mmóvel – média móvel de 24 horas de MP<sub>10</sub>  
 DVG – direção global dos ventos

**Gráfico 1 – 11/05/12**



**Gráfico 2 – 29/06 a 06/07/12**

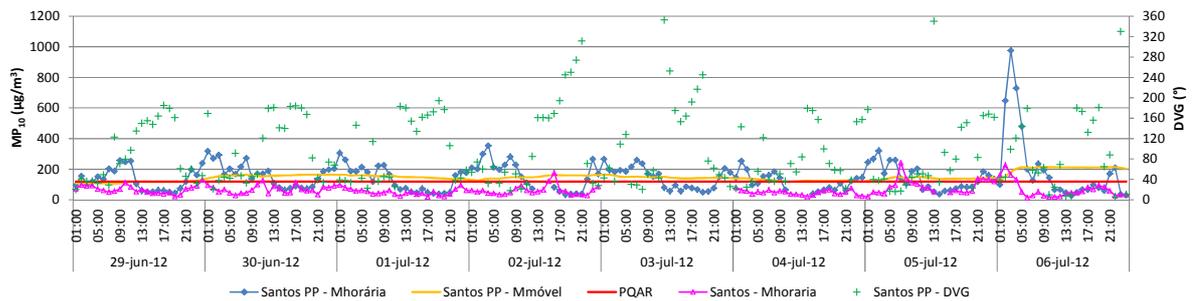


Gráfico 3 – 21 e 22/07/12

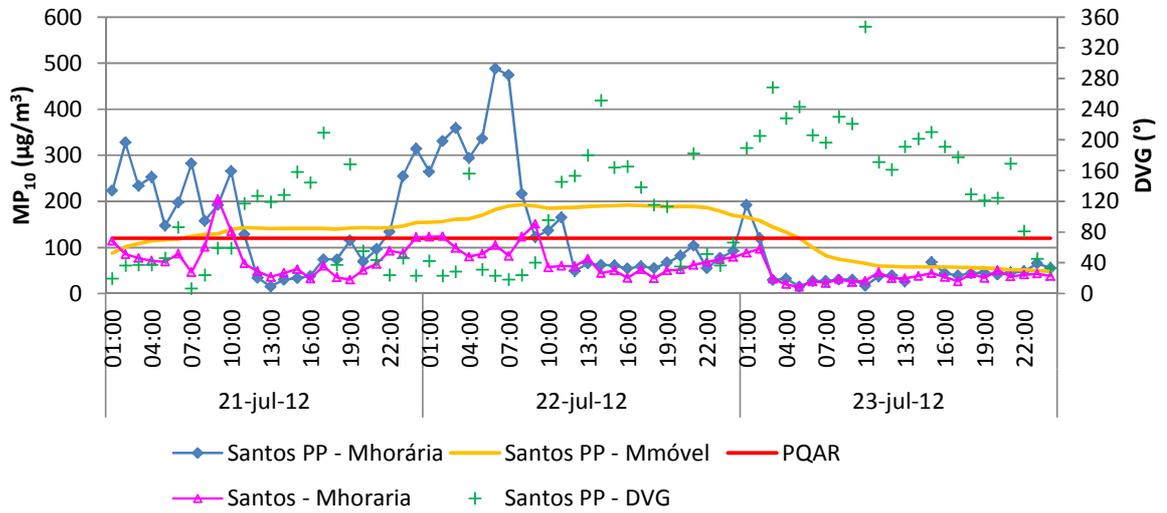


Gráfico 4 – 13/08/12

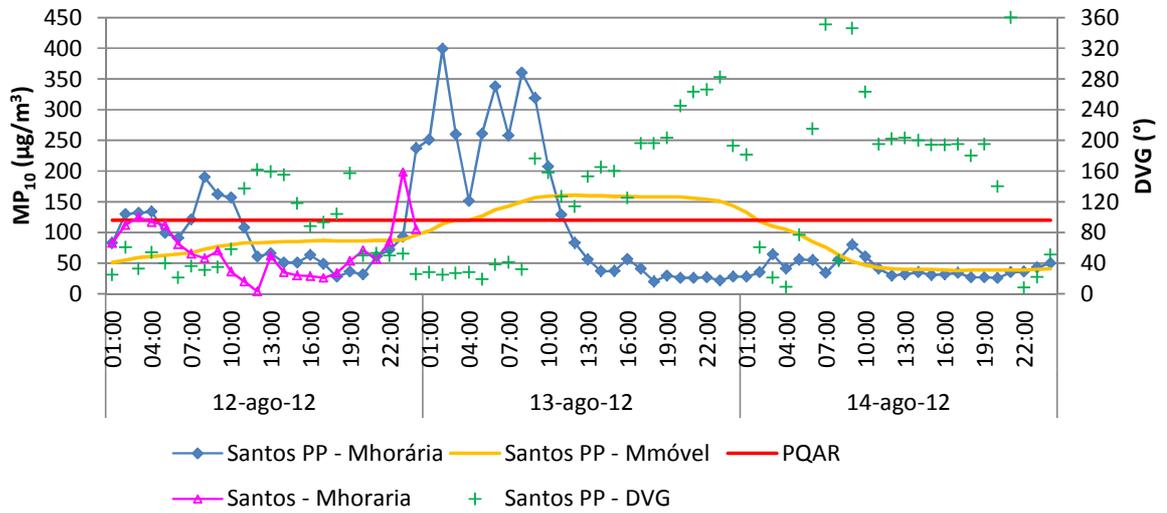


Gráfico 5 – 14 e 15/05/13

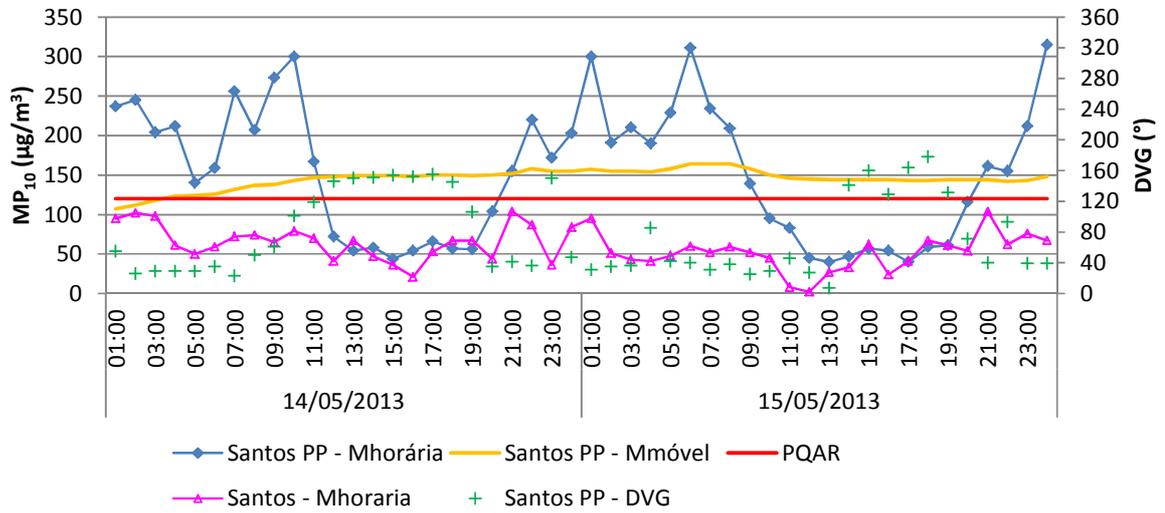


Gráfico 6 – 06/06/13

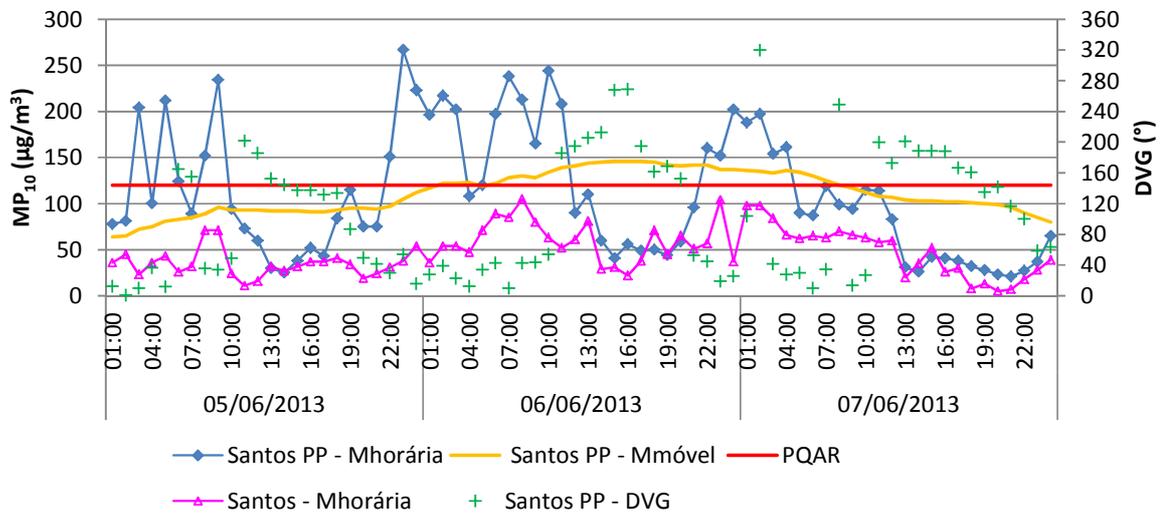


Gráfico 7 – 18/07/13

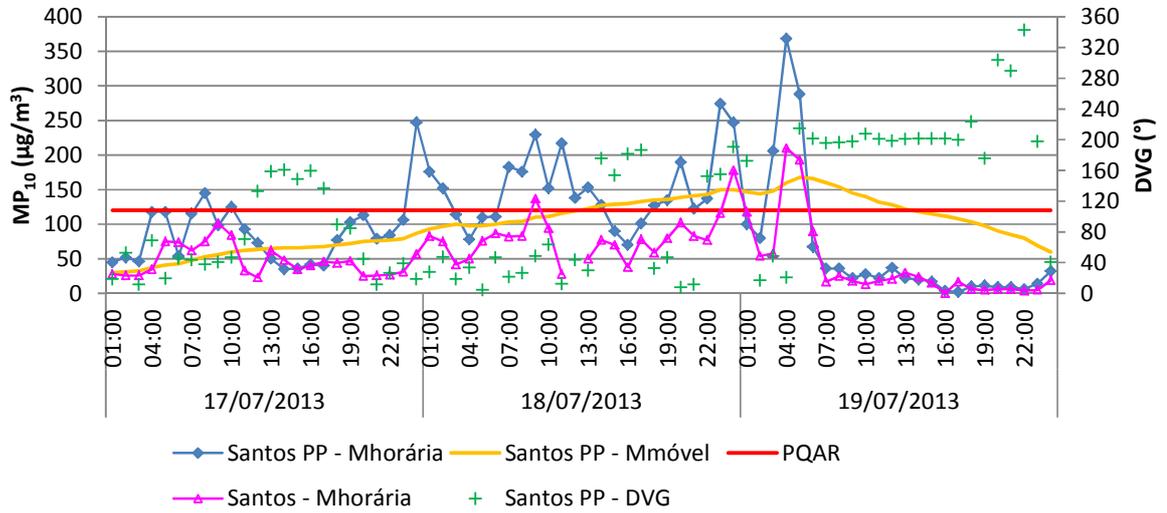


Gráfico 8 – 31/07 a 03/08/13

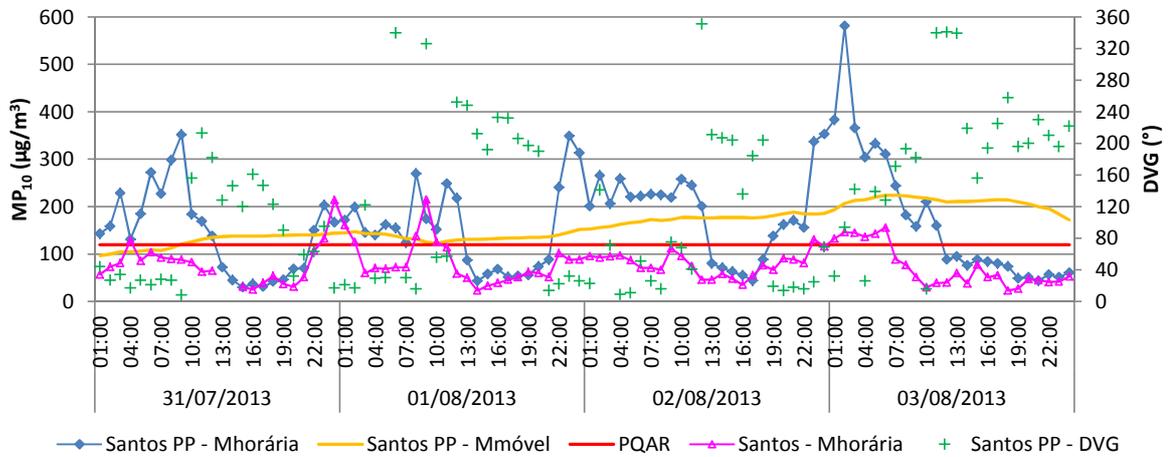


Gráfico 9 – 13/08/13

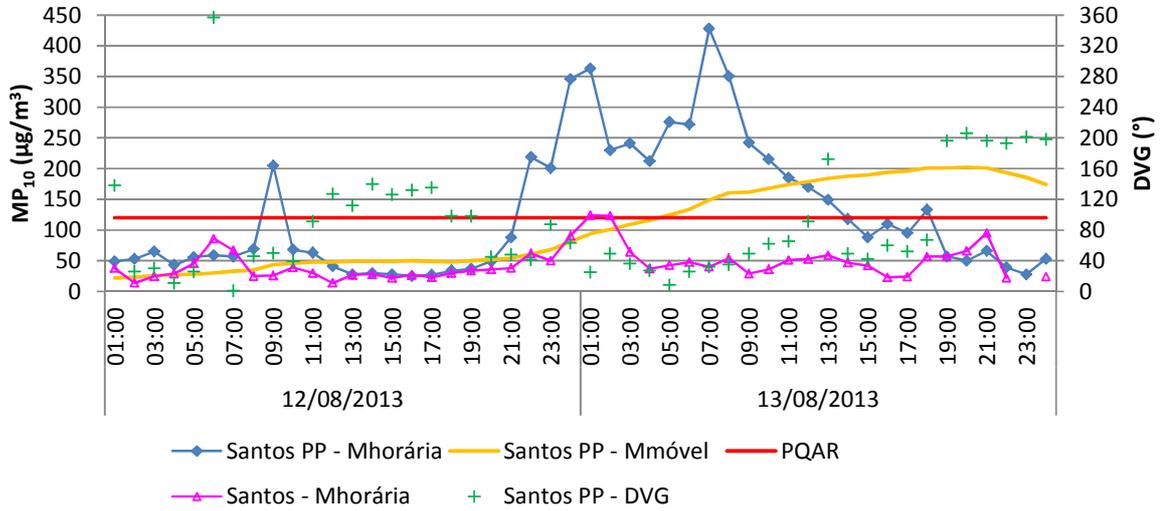


Gráfico 10 – 22 e 23/08/13

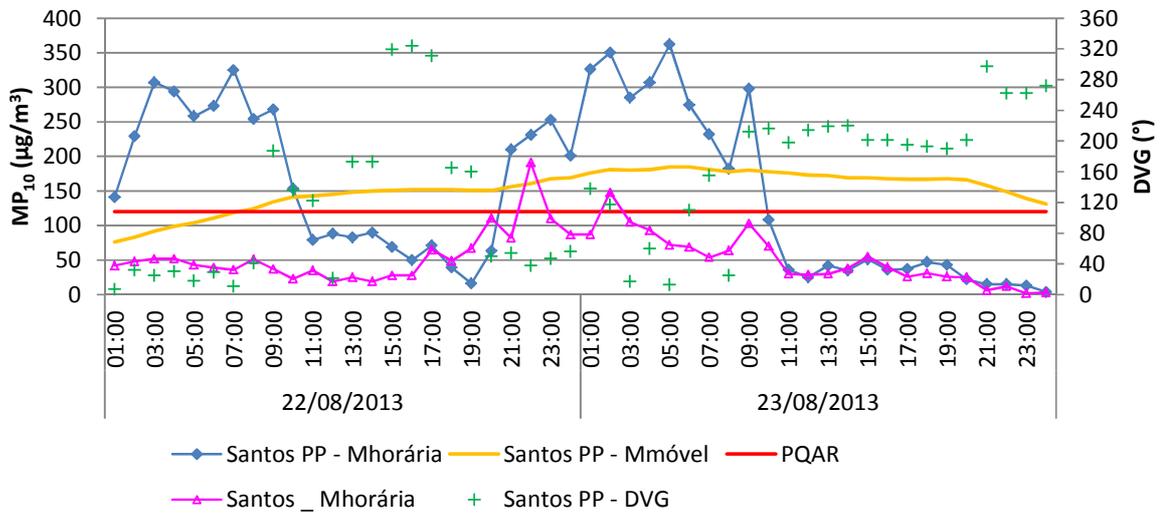


Gráfico 11 – 13 a 15/09/13

