

**DIRETORIA DE ENGENHARIA, TECNOLOGIA E QUALIDADE AMBIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DO AR**  
**DIVISÃO DE TECNOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR**

**Caracterização das Estações da Rede**  
**Automática de Monitoramento da**  
**Qualidade do Ar na RMSP**  
**Estação Moóca**

**Março/2007**

<b>CETESB</b>	<b>FICHA TÉCNICA BIBLIOGRÁFICA</b>
---------------	------------------------------------

## DOCUMENTO

Tipo Relatório	Data Mar/2007	Origem ETQ	Nº Página/V.	Nº Mapas
-------------------	------------------	---------------	--------------	----------

## TÍTULO DO DOCUMENTO

Caracterização das Estações da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar na RMSP - Estação Moóca

## AUTOR RESPONSÁVEL

Assinatura/Carimbo/Data

Rosana Curilov

## AUTORES/ENTIDADES OU UNIDADES A QUE PERTENCEM

Américo Tomio Meenochite - ETQT  
 Carlos Eduardo Negrão – ETQT  
 Maria Cristina Neuscheffer de Oliveira – ETQA  
 Maria Lúcia Gonçalves Guardani – ETQT  
 Masayuki Kuromoto - ETQI  
 Orlando Ferreira Filho – ETQI  
 Ricardo Anazia - ETQM  
 Richard Toyota - ETQT  
 Rosana Curilov - coordenadora - ETQI

## DOCUMENTO AUTORIZADO POR

Assinatura/Carimbo/Data

## DOCUMENTO REVISADO

Assinatura/Carimbo/Data

## CLASSIFICAÇÃO DE SEGURANÇA

☒ EXTERNA ☐ INTERNA

☐ RESERVADA

## PALAVRAS CHAVES

Qualidade do Ar – Rede de Monitoramento – Caracterização de Estação

## CÓDIGO E TÍTULO DO PROJETO

## DISTRIBUIÇÃO INTERNA

Áreas / Nº de cópias  
 ETQ (1), ETQA (1), ETQI (1), ETQM (1), ETQT (1), CDI (1), BIBLIOTECA (2)

## USO DA BIBLIOTECA

	Nº Documento	Visto/Carimbo/Data
--	--------------	--------------------

## RESUMO

Este relatório é parte de um estudo para classificação das estações em termos de área de abrangência, tipos principais de fontes e população exposta. Um dos objetivos principais desse estudo é garantir uma rede otimizada e que avalie de maneira abrangente os diversos aspectos da poluição do ar na região.

Aqui, fez-se um levantamento detalhado das condições físicas e características da estação Moóca, da rede automática de monitoramento da qualidade do ar.

As informações levantadas foram divididas em vários itens: a) características locais da estação, onde se informa a localização geográfica, monitores, condições do entorno da estação etc.; b) avaliação da qualidade do ar, onde se apresenta uma evolução da qualidade do ar ao longo dos anos; c) microinventário de fontes, onde estão registradas as principais fontes de emissão que afetam as concentrações medidas na estação em um raio de 2km; d) influência das condições meteorológicas, relacionando-se as concentrações de poluentes às variáveis meteorológicas, tanto em termos médios quanto em episódios.

## OBSERVAÇÕES

## USO DA BIBLIOTECA

Local	Editora
Idioma	
Português <input type="checkbox"/> Inglês <input type="checkbox"/> Espanhol <input type="checkbox"/> Francês <input type="checkbox"/> Alemão <input type="checkbox"/> Italiano <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Série	

## Índice

Sumário .....	1
1. Introdução .....	2
2. Classificação de Estações de Monitoramento – Aspectos Teóricos .....	4
3. Metodologia .....	6
3.1. Características da Estação.....	6
3.2. Avaliação da Qualidade do Ar .....	6
3.3. Microinventário de Fontes .....	7
3.4. Influência das Condições Meteorológicas .....	8
4. Caracterização das Estações da Rede Automática.....	8
4.1. Estação Moóca.....	11
4.1.1. Características da Estação.....	11
4.1.2. Tendências da Qualidade do Ar.....	16
4.1.3. Microinventário de Fontes.....	19
4.1.4. Influência das Condições Meteorológicas.....	23
4.1.5. Representatividade.....	26
5. Conclusões.....	35
6. Bibliografia.....	37
Equipe de Trabalho.....	37
Colaboração.....	37
Revisão.....	37

## **Sumário**

Este relatório é parte de um estudo para classificação das estações em termos de área de abrangência, tipos principais de fontes e população exposta. Um dos objetivos principais desse estudo é garantir uma rede otimizada e que avalie de maneira abrangente os diversos aspectos da poluição do ar na região. Aqui, fez-se um levantamento detalhado das condições físicas e características da estação Moóca, da rede automática de monitoramento da qualidade do ar.

As informações levantadas foram divididas em vários itens: a) características locais da estação, onde informa-se a localização geográfica, monitores, condições do entorno da estação etc.; b) avaliação da qualidade do ar, onde apresenta-se uma evolução da qualidade do ar ao longo dos anos; c) microinventário de fontes, onde registrou-se as principais fontes de emissão que afetam as concentrações medidas na estação em um raio de 2km; d) influência das condições meteorológicas, onde apresenta-se uma comparação entre as concentrações de poluentes e as variáveis meteorológicas, tanto em termos médios quanto episódicos.

As análises mostraram que a qualidade do ar observada é influenciada principalmente por emissões veiculares provenientes das vias localizadas a oeste: Avenida Alcântara Machado (Radial Leste) e Rua Bresser, bem como por fontes de ressuspensão de poeira localizadas em microescala e que a estação está bem localizada para medir concentrações de ozônio em média escala, mas recomenda-se a substituição do monitor de material particulado pelo de monóxido de carbono.

## 1. Introdução

A CETESB mantém, desde a década de 70, redes de monitoramento da qualidade do ar que têm permitido a avaliação das concentrações dos principais poluentes do ar ambiente em diversos municípios no Estado de São Paulo. Basicamente, o monitoramento no Estado de São Paulo (RMSP) é realizado por uma rede automática, duas redes manuais e uma rede de monitores passivos.

A primeira rede manual (rede OPS/OMS) instalada mede os teores de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e fumaça (FMC) na RMSP (desde 1973) e interior (desde 1986). Os níveis de fumaça continuam sendo medidos pelo mesmo método até os dias de hoje, enquanto os monitores de SO<sub>2</sub> foram, no interior do Estado, substituídos por monitores passivos. Uma segunda rede mede partículas totais em suspensão (PTS) desde 1983 na RMSP e Cubatão.

A rede automática é composta por analisadores automáticos, instalados em estações remotas e interligados a uma central de recepção e processamento de dados, operando desde 1981 na RMSP e Cubatão. Atualmente, possui 30 estações fixas de amostragem, com a seguinte distribuição: 23 na região metropolitana de São Paulo, 3 em Cubatão, 1 em Paulínia, 1 em Campinas, 1 em São José dos Campos, 1 em Sorocaba e mais 3 estações móveis que são deslocadas conforme a necessidade de estudos especiais da qualidade do ar. Pode-se destacar a renovação dessa rede automática ocorrida em 1996 e a instalação de estações no interior do Estado a partir de 2000.

A rede de estações automáticas da RMSP, projetada no final da década de 70 e implantada no início dos anos 80, atende à maior parte dos objetivos típicos de uma rede local automática de avaliação da qualidade do ar para efeito de gestão da poluição do ar como um todo, dentre os quais podemos citar:

- criar uma base científica para o desenvolvimento e priorização de ações de controle;
- avaliar se os níveis de poluição estão atendendo aos padrões legais;
- avaliar a eficácia de ações de controle;
- avaliar as tendências da qualidade do ar, permitindo inclusive identificar futuros problemas de poluição do ar;
- avaliar os níveis de poluição aos quais a população está exposta e fornecer subsídios para a avaliação dos efeitos da poluição sobre a saúde;
- informar a população dos níveis de poluição do ar;
- fornecer informações para o gerenciamento da qualidade do ar, em termos de planejamento de tráfego e uso do solo;
- identificar as principais fontes poluidoras;
- avaliar o impacto de determinadas fontes;
- identificar a influência sobre os ecossistemas em geral;
- criar subsídios para o desenvolvimento e validação de ferramentas de gestão atmosférica (modelos de qualidade do ar, sistemas de informações geográficas etc.).

Do ponto de vista dos níveis de concentração dos poluentes e para que a rede de monitoramento atenda aos objetivos em termos de gestão da poluição atmosférica, citados anteriormente, é importante que a rede de monitoramento forneça:

- os mais altos níveis de concentração de poluentes esperados para a área de abrangência da rede;
- as concentrações representativas das áreas de maior densidade populacional;
- o impacto da poluição no meio ambiente devido a determinadas fontes ou grupos de fontes;
- os níveis médios de concentração de poluentes na atmosfera para a região.

Esses níveis de concentração podem ser considerados então como necessidades de monitoramento contínuo. Uma rede de monitoramento é formada por diversas estações, e cada uma delas atende a um determinado objetivo prioritário de monitoramento. Embora uma estação possa atender a mais de um objetivo simultaneamente, isso nem sempre é possível. Assim, uma rede de monitoramento da qualidade do ar bem dimensionada consiste de um grupo de estações onde diferentes estações respondem a diferentes necessidades de avaliação.

O objetivo deste trabalho é basicamente o de classificar cada uma das estações das redes de monitoramento da CETESB, especialmente as da rede automática, garantindo assim o atendimento aos objetivos da rede de monitoramento da qualidade do ar. Este trabalho pretende também identificar as principais informações necessárias à adequada classificação das estações, e assim servir de base para criação de um mecanismo de atualização constante das informações. É importante mencionar ainda que, na análise da estação automática, serão analisados também os monitores que compõem as redes manuais que estejam localizados no mesmo local.

A visão geral da rede de monitoramento servirá como instrumento também para:

- planejamento e otimização da rede em termos do número de estações e monitores utilizados. Em outras palavras, espera-se dispor de informações que permitam identificar quantas e quais estações devem monitorar determinado poluente, ou seja, orientar uma distribuição otimizada dos equipamentos existentes e a aquisição de novos equipamentos;
- auxílio no controle de qualidade e validação dos dados de qualidade do ar. O conhecimento prévio das condições das estações irá facilitar a identificação de erros e inconsistências nos dados gerados;
- melhoria na divulgação. A identificação das áreas de abrangência das estações permitirá a divulgação mais precisa das condições da qualidade do ar, tanto para a população em geral, quanto como suporte aos trabalhos a serem desenvolvidos e que utilizam os dados da rede;
- avaliação do grau de transformação e de uso do solo.

Embora o trabalho seja de avaliação da rede de monitoramento da RMSP como um todo, este relatório apresenta, além de uma parte teórica, os aspectos relacionados somente à estação **Moóca**, que estão apresentados a partir do item 4. Posteriormente, as informações aqui apresentadas serão incorporadas a um documento final contendo a análise de todas as estações e da rede como um todo.

## 2. Classificação de Estações de Monitoramento – Aspectos Teóricos

Considera-se como classificação de uma dada estação de monitoramento o conjunto de informações que permite caracterizar a qualidade do ar que a estação está medindo, principalmente em termos:

- das fontes que a estão influenciando;
- da população que está exposta àquelas concentrações;
- da área de abrangência da estação.

Existem várias classificações utilizadas em diversas redes de monitoramento no mundo inteiro, mas todas elas fornecem informações similares. Utilizaremos neste trabalho uma classificação adaptada principalmente das classificações da USEPA<sup>(1)</sup> (Agência de Proteção Ambiental dos EUA) e OMS<sup>(2)</sup> (Organização Mundial da Saúde).

A classificação baseada em termos do uso do solo e população exposta está apresentada na tabela 1.

**Tabela 1 – Classificação das estações em termos de uso do solo e população exposta**

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

É importante esclarecer que no caso da rede de monitoramento automático da CETESB, não há estações com objetivo de avaliar concentrações em áreas rurais e em ambientes fechados.

A área de abrangência da estação, ou escala espacial de representatividade da estação, caracteriza o entorno da mesma onde os valores medidos podem ser considerados similares. A necessidade, em termos de escala de representatividade de uma estação, é baseada nos objetivos de monitoramento da rede e de cada estação individualmente. As escalas de maior interesse para atendimento dos objetivos típicos de uma rede de monitoramento estão apresentadas na tabela 2.



**Tabela 2 – Classificação das estações em termos de representatividade**

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

Obviamente, as classificações apresentadas nas tabelas 1 e 2 são genéricas e consideram uma rede completa de monitoramento. Todavia, cada poluente medido apresenta características próprias em termos de distribuição espacial, fontes que o originam e padrões legais.

Tais características determinam as necessidades individuais em termos dos locais e escalas de representatividade mais adequados ao monitoramento. Assim, nem sempre um mesmo local é adequado para medir todos os tipos de poluentes. Por exemplo: estações próximas de vias de tráfego são importantes para monitoramento de poluentes emitidos pelos veículos, mas não são adequadas ao monitoramento do ozônio, uma vez que o ozônio é consumido quimicamente pelo NO emitido pelos veículos. De maneira geral, uma vez que poluentes secundários, como o O<sub>3</sub> e parte do NO<sub>2</sub>, são formados na atmosfera, pode-se considerar que a variabilidade espacial desses poluentes tende a ser mais homogênea que a dos poluentes primários, como o CO e o SO<sub>2</sub>.

### **3. Metodologia**

O trabalho foi desenvolvido procurando abordar e levantar o maior número possível de informações que permitam classificar as estações, bem como fornecer um histórico da qualidade do ar no período monitorado. Apresentam-se, a seguir, as informações e análises realizadas no trabalho.

#### **3.1. Características da Estação**

Estão apresentadas informações como endereço, coordenadas geográficas, altitude, parâmetros medidos, altura de captação da amostra, etc. Também é apresentada uma descrição das principais características locais da estação, ou seja, fontes de emissão, anteparos e outras informações relevantes com relação ao entorno da estação e que possam estar interferindo nos dados medidos. Para esse levantamento, foram feitas vistorias em um raio de cerca de 200 metros no entorno de cada estação. Foram feitos também registros fotográficos de cada estação e das condições locais de significativa importância.

Ainda nesse item, apresentam-se os registros de ocorrências relevantes ao monitoramento, tais como instalação e retirada de monitores e sensores meteorológicos, métodos de medição, alterações nas emissões próximas como, por exemplo, obras de infra-estrutura, pavimentação de ruas, etc.

#### **3.2. Avaliação da Qualidade do Ar**

A rede automática de avaliação da qualidade do ar da CETESB traz em seus registros as mudanças significativas que ocorreram ao longo dos anos nas regiões monitoradas. Na RMSP, tais mudanças incluem, principalmente, os efeitos do crescimento em grande parte desordenado da área urbana que trouxe variações nas emissões atmosféricas, devidas principalmente ao aumento do tráfego de veículos e à redução do número de indústrias nas áreas mais próximas das regiões centrais. Em Cubatão, as principais mudanças ocorreram nas emissões industriais, que foram reduzidas nesse período principalmente como consequência das medidas de controle.

Além de classificar as estações com base nas condições atuais, optou-se neste trabalho por também fazer um levantamento da evolução da qualidade do ar ao longo dos anos nas estações de monitoramento, possibilitando assim um estudo de tendência e estimativa, mesmo que qualitativa, do impacto na qualidade do ar das mudanças ocorridas nas fontes emissoras durante o período.

Os dados utilizados para avaliação da qualidade do ar são todos os poluentes medidos pela rede automática e manuais da CETESB, que são:  $MP_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$  ( $NO_2$  e  $NO$ ),  $O_3$ ,  $CO$ ,  $BTEX$ ,  $PTS$ ,  $FMC$ ,  $MP_{2,5}$  e outros que eventualmente tenham sido monitorados. Obviamente, não há dados de todos os parâmetros em todas as estações, bem como há parâmetros que não foram medidos em todo o período.

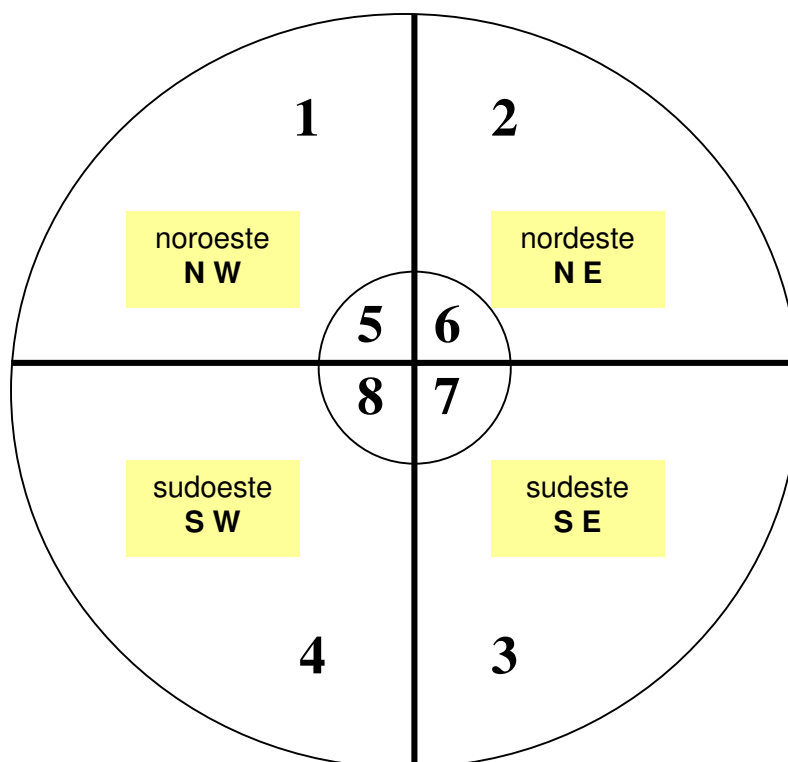
As análises realizadas para cada poluente não são necessariamente as mesmas devido às diferentes características dos poluentes em termos de tempo de exposição referendado nos padrões legais e valores de referência. Porém, as análises da qualidade do ar basicamente consideraram:

- tendências de longo prazo, como por exemplo médias anuais;
- tendências em períodos de curto prazo, como médias de 24 horas ou 1 hora;
- análises por meses do ano, para identificação das variações sazonais;
- análises por hora do dia, para verificação do comportamento ao longo do dia;

- análises do comportamento médio dos episódios de ultrapassagens do PQAr.

### 3.3. Microinventário de Fontes

Para avaliar o impacto das fontes sobre a estação, foram definidas duas regiões delimitadas por dois círculos concêntricos, de 400 e 2.000m de raio. No raio de 400 metros, por estar muito próximo da estação, procurou-se identificar todas as fontes que possam estar influenciando nas medições na estação. Entre 400 e 2.000m, foram levantadas as principais fontes. As fontes de emissão foram então localizadas em termos de quadrantes (NW, NE, SE e SW) e setores (1 a 8), cada quadrante com dois setores, um no raio menor e outro no maior, conforme ilustrado na figura 1.



**Figura 1 - Quadrantes considerados para localização das fontes e direção do vento**

No caso das fontes industriais, foram utilizados os dados e as estimativas de emissão mais atuais disponíveis, fornecidos pelas agências ambientais da CETESB. No caso de fontes móveis, as estimativas foram realizadas considerando-se as vias de tráfego como fontes linha. As estimativas de tráfego foram obtidas a partir de contagens de veículos nas principais vias, realizadas pela própria equipe durante o trabalho ou fornecidas pelos órgãos de trânsito, e de fatores de emissão médios para os principais poluentes, estimados pela CETESB.

A avaliação do impacto das fontes na estação de monitoramento, tanto fixas como veiculares, em termos de sua posição geográfica, foi feita dividindo-se a área de abrangência em oito setores, conforme apresentado na figura 1. Basicamente, foram somadas as emissões das fontes fixas e das fontes veiculares para cada um dos setores.

Para auxiliar na caracterização das fontes e comparação com os dados de particulado inalável do microinventário, apresentam-se ainda os estudos realizados pela CETESB utilizando a técnica de modelo receptor. Embora não haja estudo com modelo receptor para todas as regiões monitoradas e tais estudos tenham sido realizados em períodos distintos, os resultados apresentados ajudam a identificar as fontes de emissão que mais contribuem para a degradação da qualidade do ar por partículas inaláveis.

### **3.4. Influência das Condições Meteorológicas**

Para avaliação das condições meteorológicas, foram consideradas as variáveis disponíveis na estação (ou estação mais representativa), tais como direção e velocidade do vento, umidade, temperatura e radiação. Os dados de umidade, temperatura e radiação foram utilizados principalmente para avaliação da influência das condições meteorológicas na formação dos poluentes secundários. No caso da dispersão atmosférica, ou seja, de transporte dos poluentes, foram considerados os dados horários de direção e velocidade do vento, subdivididos nos quadrantes preferenciais (conforme apresentados na figura 1) e calmaria.

Os dados de direção e velocidade dos ventos a leste e a oeste da estação foram relacionados às concentrações dos poluentes no mesmo horário, construindo-se gráficos que indicam a frequência e velocidade com que o vento soprou de cada direção e a respectiva concentração média associada, incluindo as diferenças obtidas entre os períodos diurno e noturno. Ressaltando-se que no estudo desta estação não se adotou o procedimento usual que consiste em considerar os quadrantes NE, SE, SW e NW já que há uma fonte que se localiza entre os quadrantes NE e SE e que deve ser considerada como um todo.

Por fim, foram comparados os resultados de qualidade ambiental e meteorologia com os dados de emissão inventariados de cada quadrante ou setor, procurando estabelecer uma relação de causa-efeito, ou seja, quais são efetivamente as fontes que mais contribuem para os valores de concentração observados na estação de monitoramento.

Para complementar as informações relativas às concentrações médias observadas para cada quadrante, fez-se ainda a análise das condições meteorológicas observadas em dois casos de ultrapassagem do limite legal de qualidade do ar.

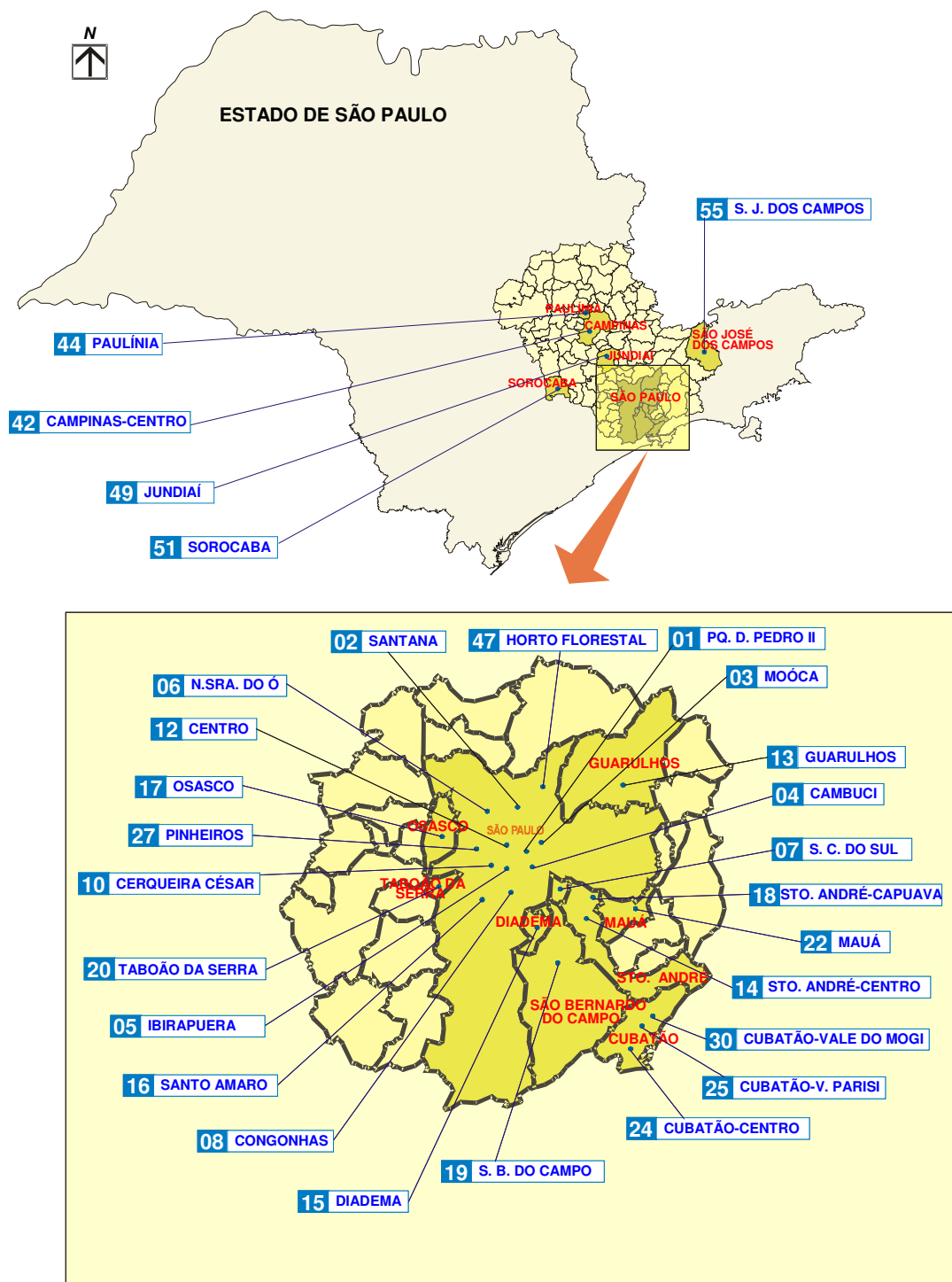
A análise das principais fontes que exercem influência na estação permitiu então a classificação de cada estação em termos de área de abrangência (escala de representatividade), tipos principais de fontes e população exposta às concentrações medidas na estação ou níveis equivalentes.

## **4. Caracterização das Estações da Rede Automática**

A rede automática da CETESB é composta por 30 estações fixas de amostragem e 3 estações móveis. Vinte e três locais de amostragem estão situados na RMSP, conforme ilustrado na figura 2. Há ainda 3 estações em Cubatão, 1 em Paulínia, 1 em Campinas, 1 em Sorocaba e 1 em São José dos Campos. As estações móveis são deslocadas em função da necessidade de monitoramento em locais onde não existem estações de amostragem ou para estudos complementares à própria rede.

A atual rede mede os seguintes parâmetros: partículas inaláveis ( $MP_{10}$ ); dióxido de enxofre ( $SO_2$ ); óxidos de nitrogênio ( $NO$ ,  $NO_2$  e  $NO_x$ ); ozônio ( $O_3$ ); monóxido de carbono ( $CO$ ); benzeno, tolueno, xileno e etil-benzeno (BTEX), direção e velocidade

do vento, umidade relativa do ar, temperatura do ar, pressão atmosférica e radiação solar (total e ultravioleta), conforme distribuição mostrada na tabela 3. Vale salientar que nas estações em que são medidos ventos, são calculados desvios padrões das direções dos ventos e classes de estabilidade atmosférica.



**Figura 2 – Localização das estações da rede automática**

**Tabela 3 – Configuração da rede automática**

ESTAÇÃO Nº	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES	PARÂMETROS													
		MP <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	BTEX	O <sub>3</sub>	UR	TEMP	VV	DV	P	RAD
01	Parque D. Pedro II	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X		
02	Santana	X							X			X	X		
03	Moóca	X							X			X	X		
04	Cambuci	X													
05	Ibirapuera	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
06	Nossa Senhora do Ó	X							X	X	X				
07	São Caetano do Sul	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	
08	Congonhas	X	X	X	X	X	X								
09	Lapa	X		X	X	X	X								
10	Cerqueira César	X	X	X	X	X	X								
12	Centro	X					X								
13	Guarulhos	X	X									X	X		
14	Santo André - Centro	X					X					X	X		
15	Diadema	X							X						
16	Santo Amaro	X					X		X			X	X		
17	Osasco	X		X	X	X	X					X	X		
18	Santo André - Capuava	X							X			X	X		
19	São Bernardo do Campo	X										X	X		
20	Taboão da Serra	X		X	X	X	X			X	X				
21	São Miguel Paulista	X							X	X	X	X	X		
22	Mauá	X		X	X	X			X						
27	Pinheiros	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
47	Horto Florestal			X	X	X									X
24	Cubatão - Centro	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	
25	Cubatão - Vila Parisi	X	X	X	X	X			X			X	X		
30	Cubatão - Vale do Mogi	X		X	X	X	X		X			X	X		
42	Campinas-Centro	X					X			X	X				
44	Paulínia	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X
51	Sorocaba	X		X	X	X			X	X	X	X	X		
55	São José dos Campos	X	X						X	X	X	X	X		
49	Estação Móvel	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X		
50	Estação Móvel	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		

MP<sub>10</sub> Partículas inaláveis  
SO<sub>2</sub> Dióxido de enxofre  
NO Monóxido de nitrogênio  
NO<sub>2</sub> Dióxido de nitrogênio  
NO<sub>x</sub> Óxidos de nitrogênio

CO Monóxido de carbono  
BTEX Benzeno, tolueno, xileno e etil-benzeno  
O<sub>3</sub> Ozônio  
UR Umidade Relativa do Ar  
TEMP Temperatura

VV Velocidade do Vento  
DV Direção do Vento  
P Pressão Atmosférica  
RAD Radiação Total e Ultra-violeta

#### 4.1. Estação Moóca

Apresentam-se a seguir os diversos aspectos relacionados à estação Moóca em termos de monitores, localização, qualidade do ar medida, principais fontes de poluentes, aspectos meteorológicos, etc., procurando então classificar a estação com base nos critérios já descritos no item 2.

##### 4.1.1. Características da Estação

###### Dados da estação

<b>Endereço atual</b>	Adm. Regional da Moóca e Centro Educ. e Esportivo Municipal R. Bresser, 2341 – Moóca – São Paulo		
<b>Latitude sul:</b>	23°32'50"	UTM (23K)	336.670m
<b>Longitude oeste:</b>	46°36'00"	UTM (23K)	7.394.720m
<b>Altitude:</b>	740 m		
<b>Altura de captação da amostra:</b>		3,5 m	
<b>Altura do anemômetro:</b>		10 m	

**Tabela 4: Parâmetros monitorados**

<b>Parâmetros</b>	<b>Método</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>
MP <sub>10</sub>	Radiação Beta	PW9790-Philips	09/01/80	25/04/01
MP <sub>10</sub>	Radiação Beta	FH62 I-N-Graseby-Andersen	28/07/03	
SO <sub>2</sub>	Coulometria	PW9755-Philips	01/01/86	30/09/95
O <sub>3</sub>	Quimiluminescência	PW9771-Philips	09/01/80	18/08/95
O <sub>3</sub>	Ultravioleta	Modelo 49 – Thermo E.I.I.	01/05/96	
VV e VD	Tacômetro/ Goniômetro	Lastem	09/01/80	30/09/95
VV e VD	Tacômetro/ Goniômetro	Lastem	01/05/96	
CO	Coulometria	PW9775-Philips	01/01/85	30/09/95

###### Condições Locais

A estação Moóca está localizada numa região mista que abrange comércio, residências e indústrias. A figura 3 apresenta a estação Moóca, construída sobre um patamar de 2 metros de altura, na figura 4 temos uma vista ampla do local onde está localizada a estação, dentro do Parque da Moóca Cid. José da Silva Campanela, que abriga a Administração Regional e o Centro Educacional e Desportivo, e na figura 5 observamos o perfil topográfico desta região, com corte de NE/SW.





**Figura 3 – Vista da estação Moóca (08/10/2003)**



**Figura 4 – Vista aérea da estação Moóca (25/03/2002)**



## PERFIL TOPOGRÁFICO

Direção: NE / SW

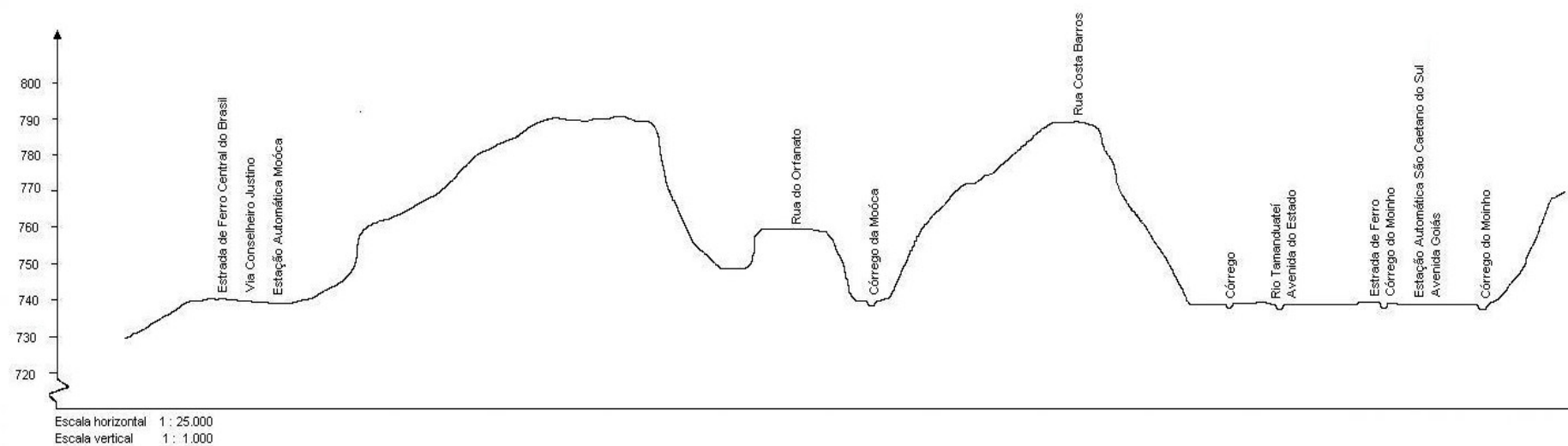
Estações nº 3 Moóca

nº 7 São Caetano do Sul

Alto da Moóca

Vila Prudente

Município de São Caetano do Sul



**Figura 5 - Perfil topográfico com corte na direção NE/SW com a localização da Estação Moóca**

A figura 6 mostra uma imagem do Nata<sup>(6)</sup>, com um círculo de 400 metros de raio, o qual é utilizado para estabelecer as fontes que influenciam as concentrações de poluentes medidos na estação em estudo.



**Figura 6 – Imagem-Nata<sup>6</sup> do entorno da estação Moóca com raio de 400m**

A figura 7 mostra fotos tomadas sobre a estação, nas direções Norte/Sul/Leste/Oeste.

Na foto da vista norte temos uma edificação a cerca de 40 metros de distância e árvores em que a mais próxima está a 11 metros de distância e 3 metros de altura.

Na vista oeste, a árvore mais próxima fica a 18 metros de distância e 3 metros de altura; ao fundo temos a Rua Bresser que fica a aproximadamente 70 metros da estação e possui um tráfego intenso de veículos leves e pesados.

Na face leste, há árvores sendo que a mais próxima está a cerca de 11 metros de distância e tem 3 metros de altura; temos também um muro a 17 metros de distância com 2 metros de altura. Atrás deste muro há um campo de futebol de terra batida.

Na face sul, as árvores estão a mais de 40 metros de distância.





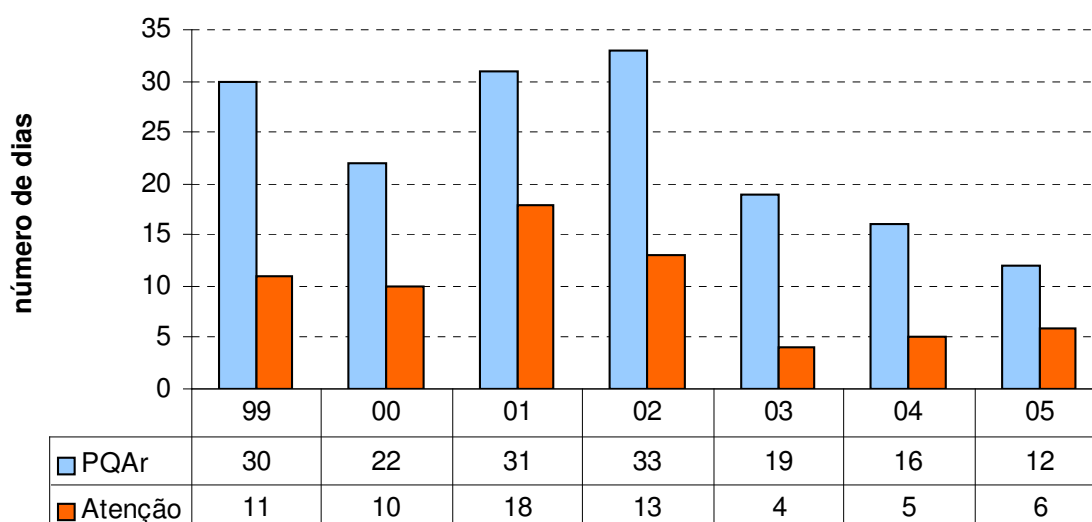
**Figura 7 – Vistas do entorno da Estação Moóca (15/10/2003)**

#### 4.1.2. Tendências da Qualidade do Ar

Visando avaliar o perfil das concentrações dos poluentes monitorados na estação Moóca ao longo dos anos, foram elaboradas análises com os dados obtidos na estação, nos períodos monitorados e disponíveis.

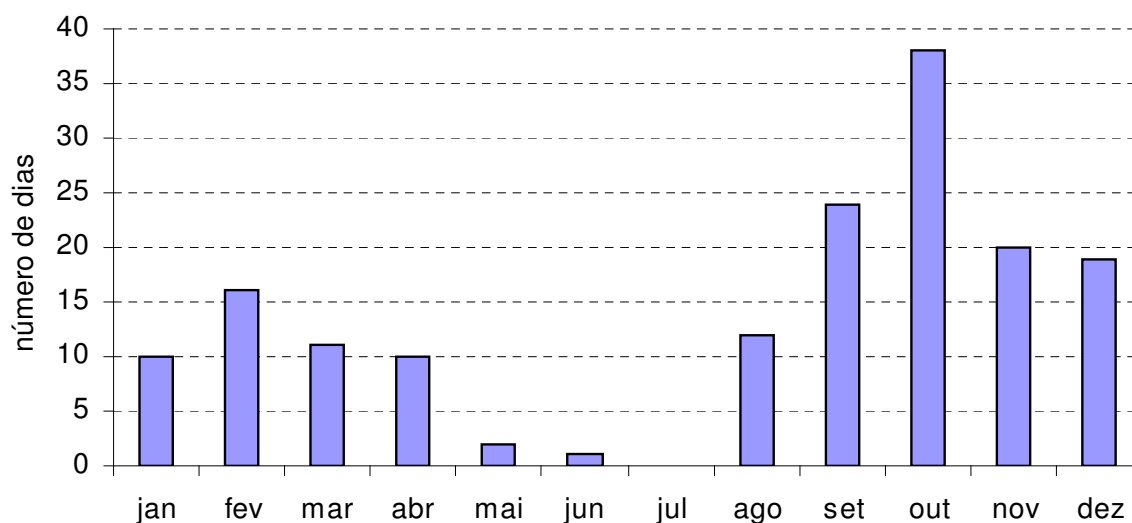
##### Ozônio – O<sub>3</sub>

A figura 8 ilustra o número de dias de ultrapassagens do PQAr (160µg/m<sup>3</sup>) e nível de Atenção (200µg/m<sup>3</sup>) de O<sub>3</sub> na estação Moóca, no período de 1999 a 2005.



**Figura 8 – O<sub>3</sub> – Número de dias de ultrapassagem do PQAr e nível de Atenção de 1999 a 2005**

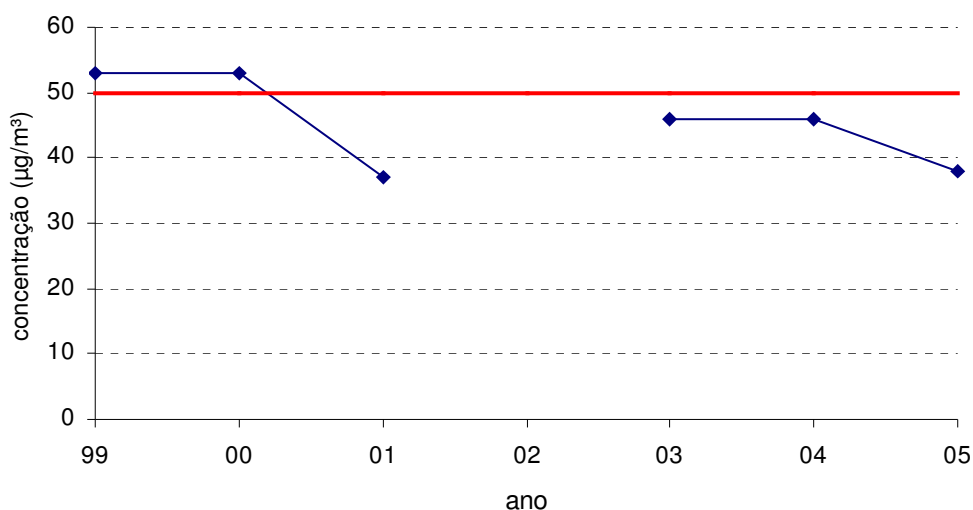
Em termos de distribuição por meses do ano, observa-se na figura 9 que a maior frequência de dias de ultrapassagens do PQAr ocorreu nos meses de primavera.



**Figura 9 – O<sub>3</sub> – Distribuição mensal do número de dias de ultrapassagem do PQAr no período de 1999 a 2005**

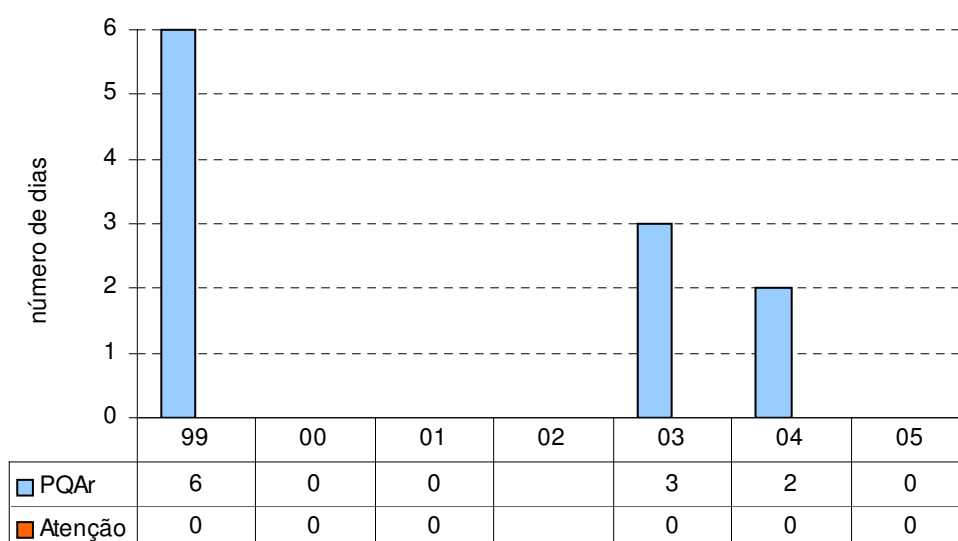
### Partículas Inaláveis (MP<sub>10</sub>)

A figura 10 apresenta a evolução das médias aritméticas anuais de MP<sub>10</sub> nos últimos anos na estação Moóca. Nesta figura, percebe-se que as concentrações médias anuais encontravam-se, em 1999 e 2000 pouco acima do padrão de qualidade do ar (PQAr) anual (50µg/m<sup>3</sup>), tendo queda significativa no ano de 2001. Após um ano sem monitoramento, reiniciado em 2003, as concentrações observadas mantiveram-se por dois anos consecutivos em torno de 46µg/m<sup>3</sup>, e em 2005 apresentaram nova queda, mantendo-se abaixo do PQAr.



**Figura 10 – MP<sub>10</sub> – Médias aritméticas anuais**

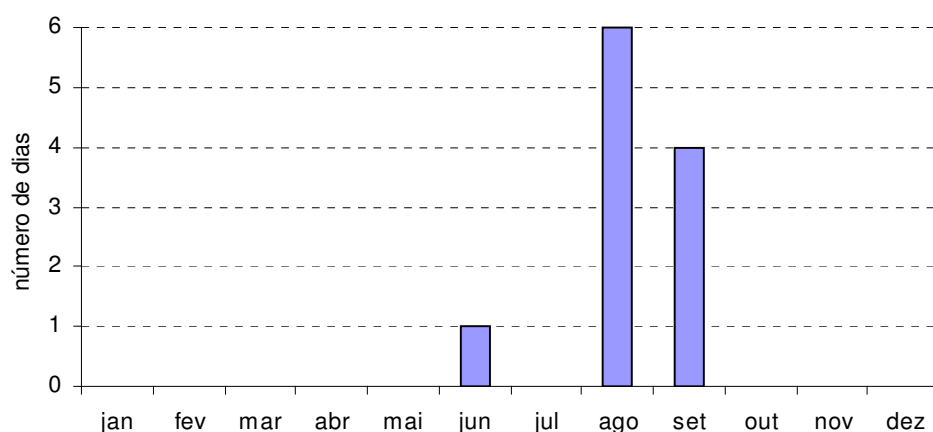
Conforme apresentado na figura 11, os resultados observados com relação ao padrão legal de curto prazo de MP<sub>10</sub> (150µg/m<sup>3</sup> - média de 24 horas) indicam redução no número de dias de ultrapassagem durante o período de estudo. No ano de 2002 não houve monitoramento.



**Figura 11 – MP<sub>10</sub> – Dias de ultrapassagem do PQAr e nível de Atenção**

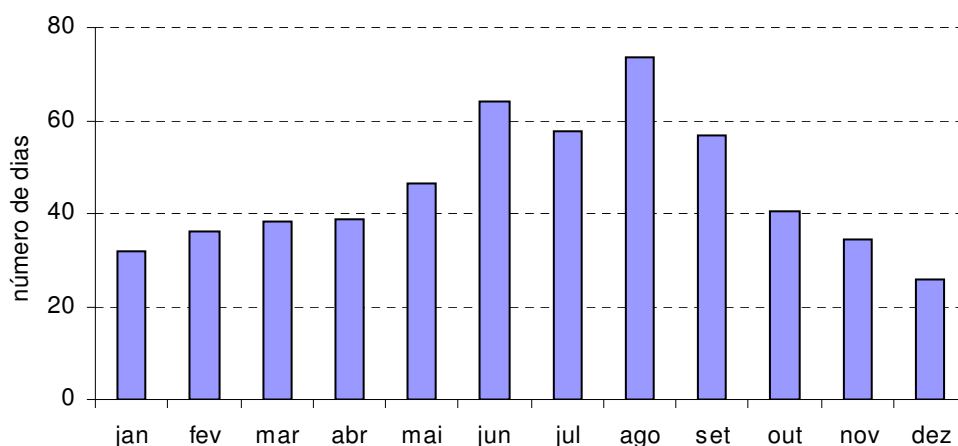
Em termos sazonais, sabe-se que no Estado de São Paulo os níveis mais elevados de concentração dos poluentes primários, ou seja, aqueles emitidos diretamente pelas fontes emissoras, são observados no período de inverno. Isso ocorre pela presença de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes na atmosfera.

Com base nesse fenômeno, fez-se uma análise identificando os meses de ocorrência dos episódios de ultrapassagem do PQAr e do nível de Atenção por  $MP_{10}$  no período de 1999 a 2005, apresentada na figura 12. Pode-se observar que nesse período não houve ultrapassagens do PQAr nos meses de verão, concentrando-se todos os episódios no período de junho a setembro. A maior frequência de ultrapassagens foi observada no mês de agosto (6 episódios).



**Figura 12 –  $MP_{10}$  – Distribuição mensal do número de dias de ultrapassagem do PQAr no período de 1999 a 2005**

Considerando-se que no período analisado há poucas ultrapassagens do PQAr diário, e para evitar que a análise do comportamento sazonal seja influenciada por períodos curtos altamente desfavoráveis à dispersão dos poluentes, fez-se também uma análise das médias mensais nesses mesmos seis anos, apresentada a seguir. Nessa figura, observa-se claramente que as concentrações de  $MP_{10}$  apresentam uma elevação durante os meses de inverno, apresentando sua concentração média máxima no mês de agosto, seguida de junho e julho.

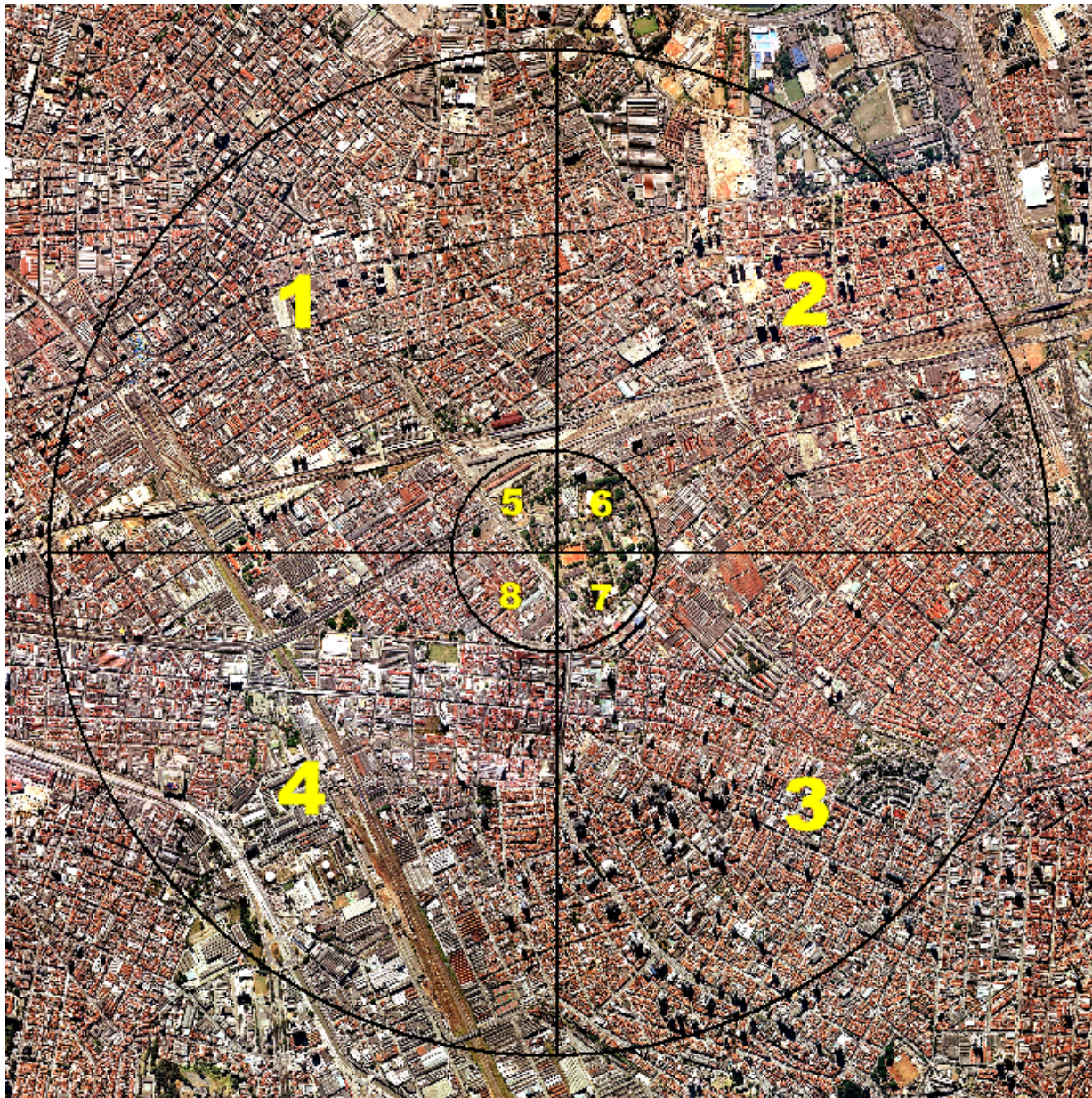


**Figura 13 –  $MP_{10}$  – Médias mensais no período de 1999 a 2005**



#### 4.1.3. Microinventário de Fontes

Para avaliar o impacto das fontes na estação, foram levantadas todas as fontes prioritárias definidas em duas regiões delimitadas por dois círculos concêntricos, de 400m e de 2000m de raio, em setores, conforme apresentado na figura 14 <sup>(6)</sup>.



**Figura 14 – Mapa ilustrando as principais fontes de emissão e setores no entorno da estação Moóca**



## **Fontes Estacionárias**

De acordo com a Agência Ambiental do Ipiranga e Agência Ambiental de Pinheiros, as fontes estacionárias situadas na área de abrangência desse estudo, não são suficientemente representativas a ponto de causar impacto na estação amostradora. Deve-se levar em consideração também que, nos últimos anos houve uma considerável migração da matriz energética utilizadas nas plantas industriais, passando do óleo combustível para o gás natural.

## **Fontes Móveis**

As fontes móveis mais importantes no entorno da estação em estudo são representadas por poucas, mas importantes vias de tráfego. As ruas e avenidas mais próximas, fontes lineares de emissão a causar impacto na área de avaliação, e que foram assinaladas na figura abaixo, são: Avenida Alcântara Machado (ponto de contagem 1), que se estende de oeste a nordeste, passando a 300 metros da estação no quadrante norte-oeste, em sua menor distância, R. Bresser (incluindo viaduto, ponto de contagem 2) que segue na direção noroeste para sudeste, cruzando os eixos leste-oeste e norte-sul, no quadrante sul-oeste, a uma distância aproximada de 150 metros da estação, desviando-se então para o sul.

As demais vias de tráfego no entorno não foram consideradas em virtude do pouco volume de tráfego que apresentam.

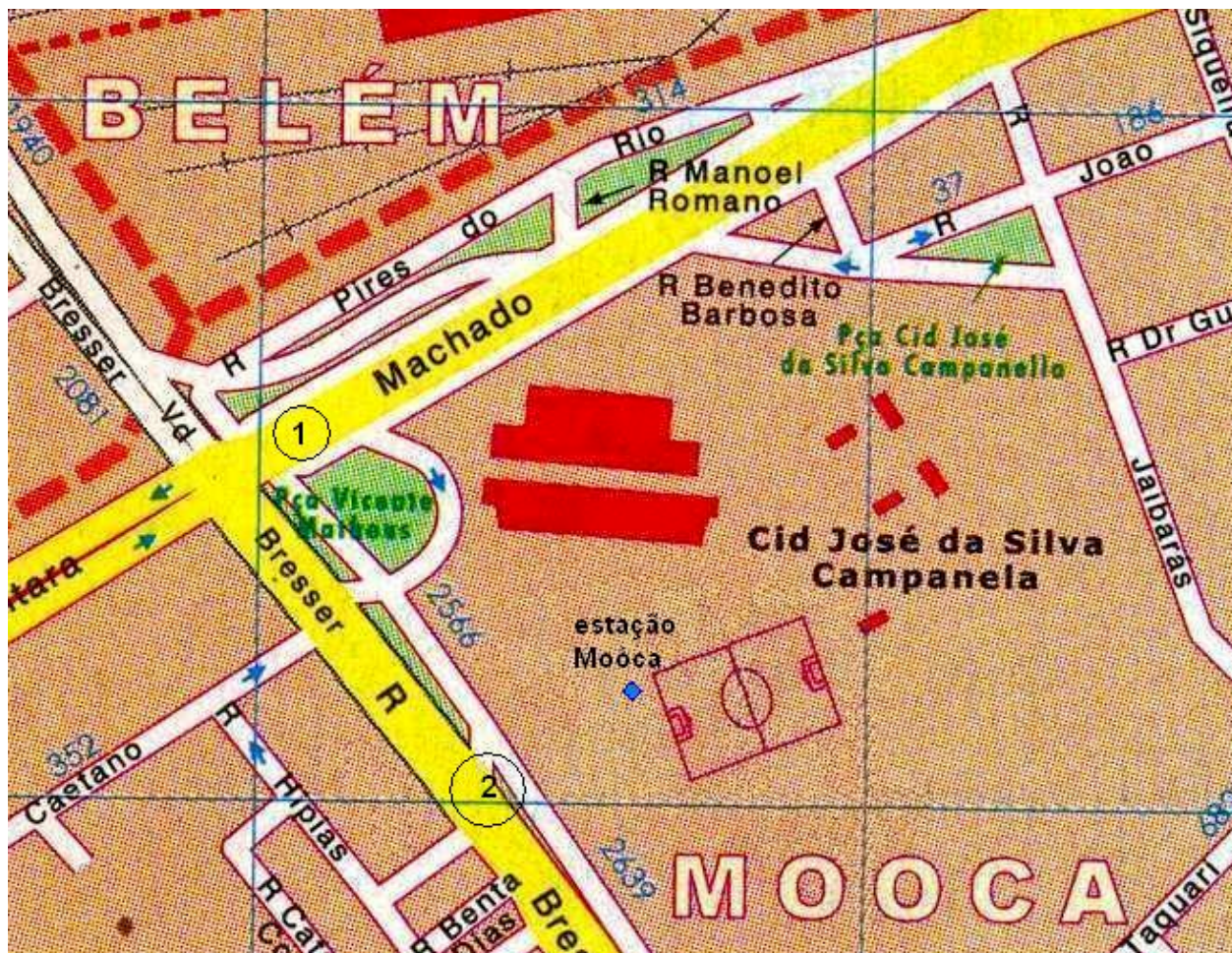
Considerando essas fontes lineares citadas como as mais importantes na região de estudo, foram feitas estimativas de emissão, diferenciando-se veículos leves e diesel. Também foram efetuadas contagens para o dimensionamento da frota de motocicletas que circulam na região.

As emissões nas vias consideradas foram estimadas a partir dos dados da contagem de veículos e motos realizada no dia 16/06/05 (quinta-feira). Foram realizadas 12 contagens de 15 minutos, simultaneamente, em cada ponto, no horário entre 7h35 e 18h15.

Para se chegar ao volume de tráfego diário de veículos leves e diesel, considerou-se o valor médio nas contagens realizadas, obtendo-se a média horária de fluxo de veículos. Adotou-se como critério que essa média horária é válida entre 6h00 e 22h00, e que no horário complementar há uma redução de 70% no volume de tráfego. Para as motos, considerou-se o período compreendido entre 9h00 e 18h00, visto que também já foi constatado que a utilização de motos é feita, predominantemente, pelos chamados moto-boys em horário comercial. No horário complementar, das 18h00 às 9h00, considerou-se uma redução de 90% na utilização das motos. Para os finais de semana, adotou-se que o tráfego representa apenas 10% de um dia útil.

Para se estimar o volume anual, considerou-se o ano com 52 semanas e o volume de tráfego diário válido somente para os dias úteis. Nos sábados e domingos, estimou-se uma redução de 50% no fluxo de veículos, tanto leves como diesel. (Tabela 5).





**Figura 15 - Mapa de localização da Estação Moóca e pontos de contagem**

**Tabela 5: Contagem de veículos na Av. Alcântara Machado e Viaduto Bresser**

Local	Fonte	Volume de tráfego diário	Volume anual estimado
Av. Alcântara Machado (Ponto 1)	Leves	196.383	61.270.000
	Diesel	15.051	4.700.000
	Motocicletas	17.892	4.840.000
Viaduto e Rua Bresser (Ponto 2)	Leves	57.316	17.880.000
	Diesel	8.390	2.620.000
	Motocicletas	3.339	900.000

**Tabela 6: Fatores de emissão de veículos em uso na RMSP em 2004**

Tipo de veículo	Fatores de emissão (g/km)				
	MP <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	NOx	CO	HC
Gasool	0,08	0,12	0,68	12,1	1,24
Diesel	0,62	0,43	11,17	15,6	2,48
Motocicletas	0,05	0,04	0,11	18,0	2,37

A partir dos fatores de emissão e do volume de tráfego estimado nas principais vias no entorno da estação, calculou-se a emissão de poluentes em ton/ano, levando-se em conta a extensão destas fontes lineares (tabela 7).

**Tabela 7: Emissões de fontes móveis**

Local	Fonte	Emissões (ton / ano)				
		MP <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	HC
<b>Av. Alcântara Machado ** (Ponto 1)</b>	Gasool	2,94	4,41	25,00	444,8	45,58
	Diesel	1,75	1,21	31,50	44,0	7,00
	Motocicletas	0,14	0,12	0,32	52,3	6,88
	<b>Total</b>	<b>4,83</b>	<b>5,74</b>	<b>56,82</b>	<b>541,1</b>	<b>59,46</b>
<b>Viaduto e Rua Bresser * (Ponto 2)</b>	Gasool	1,14	1,72	9,73	173,1	17,74
	Diesel	1,30	0,90	23,41	32,7	5,20
	Motocicletas	0,04	0,03	0,08	13,0	1,71
	<b>Total</b>	<b>2,48</b>	<b>2,65</b>	<b>33,22</b>	<b>218,8</b>	<b>24,65</b>

\* fonte linear de 800m de extensão

\*\* fonte linear de 600m de extensão

A tabela 8 relaciona as emissões das fontes estacionárias e móveis dentro de cada setor

**Tabela 8: Estimativas de emissão de fontes estacionárias e móveis no entorno da estação Moóca**

Quadrante	Setor	Emissão das fontes (ton/ano)						Emissão Total (ton/ano)				
		Fonte	MP <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	HC	MP <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	HC
0 - 90 (Nordeste)	6	Av. Alcântara Machado [150m]	1,21	1,43	14,21	135,3	14,86	1,21	1,43	14,21	135,3	14,86
90 - 180 (Sudeste)	7	Viaduto Bresser [250m]	0,77	0,83	10,38	68,4	7,70	0,77	0,83	10,38	68,4	7,70
180 - 270 (Sudoeste)	8	Viaduto Bresser [200m]	0,62	0,66	8,31	54,7	6,17	0,62	0,66	8,31	54,7	6,17
270 - 360 (Noroeste)	5	Av. Alcântara Machado [450m]	3,62	4,34	42,61	405,8	44,60	4,71	5,50	57,14	501,5	55,38
		Viaduto Bresser [350m]	1,09	1,16	14,53	95,7	10,78					

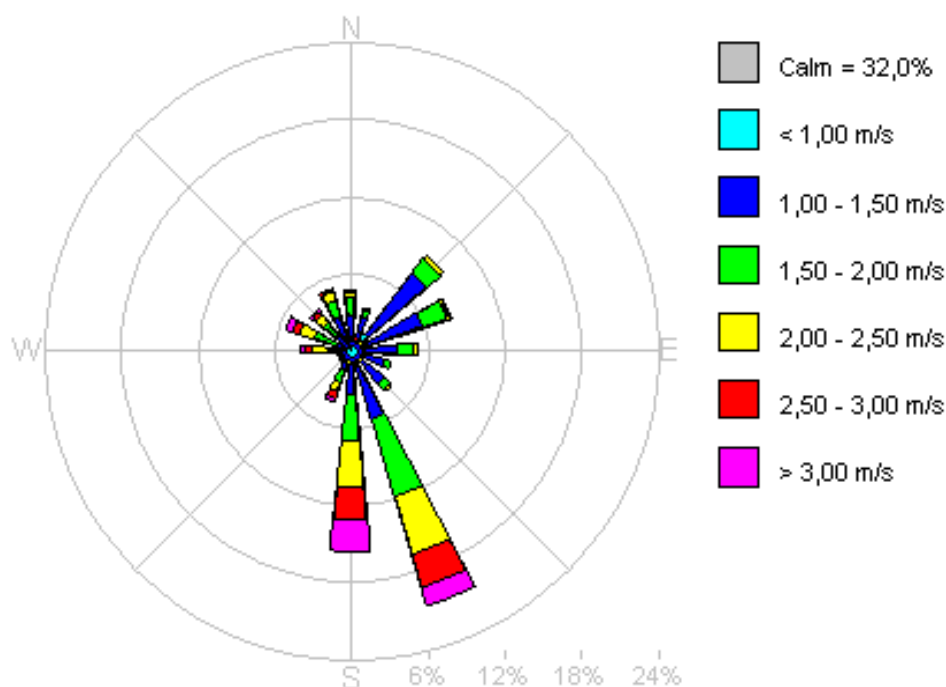
- Observação: As letras entre parênteses correspondem às fontes industriais, tal como apresentadas na figura 14. Os números entre colchetes correspondem à extensão das vias de tráfego no setor considerado.

#### 4.1.4. Influência das Condições Meteorológicas

Neste capítulo, faz-se uma análise procurando identificar a influência dos parâmetros meteorológicos e das fontes de poluição inventariadas sobre as concentrações observadas na estação.

Para entender o comportamento dos poluentes na atmosfera, é necessário um bom conhecimento da meteorologia local, e um dos parâmetros que deve ser analisado é o vento. Uma forma de análise deste parâmetro é através de rosas de ventos, onde se podem observar direções predominantes e velocidades médias para um grande período de tempo. A figura 16, que representa a rosa de ventos da estação Moóca para os anos 2001 a 2004, mostra que as direções S e SSE são as predominantes; entretanto a porcentagem de calmaria é 32%, o que representa cerca de um terço dos anos utilizados para a elaboração da rosa de vento analisada.

**Rosa de Vento-Mooca-2001/2004 (24h)**



**Figura 16 – Rosa de ventos da estação Moóca para os anos de 2001 a 2004**

Na tabela 9 são apresentadas as freqüências da direção dos ventos ao longo do dia no período de 1999 a 2004, permitindo uma análise média do regime da circulação atmosférica no entorno da estação.

**Tabela 9 – Frequência da direção do vento na estação Moóca em cada quadrante ao longo do dia**

<b>Hora</b>	<b>NE</b>	<b>SE</b>	<b>SW</b>	<b>NW</b>	<b>Calm/Var</b>
01	252	412	90	74	1099
02	258	357	96	82	1136
03	284	343	113	82	1116
04	314	301	97	78	1134
05	337	290	94	82	1121
06	378	268	85	79	1119
07	422	266	70	90	1082
08	544	288	86	119	887
09	749	322	75	176	598
10	825	335	79	256	431
11	745	347	104	345	385
12	607	384	122	480	349
13	401	438	191	594	322
14	284	534	255	624	262
15	180	637	286	590	268
16	118	809	287	531	206
17	116	964	279	427	158
18	128	1093	237	290	190
19	107	1124	220	178	308
20	110	1041	197	129	463
21	139	879	131	88	700
22	173	712	120	70	862
23	202	617	117	66	936
24	232	498	102	70	1029

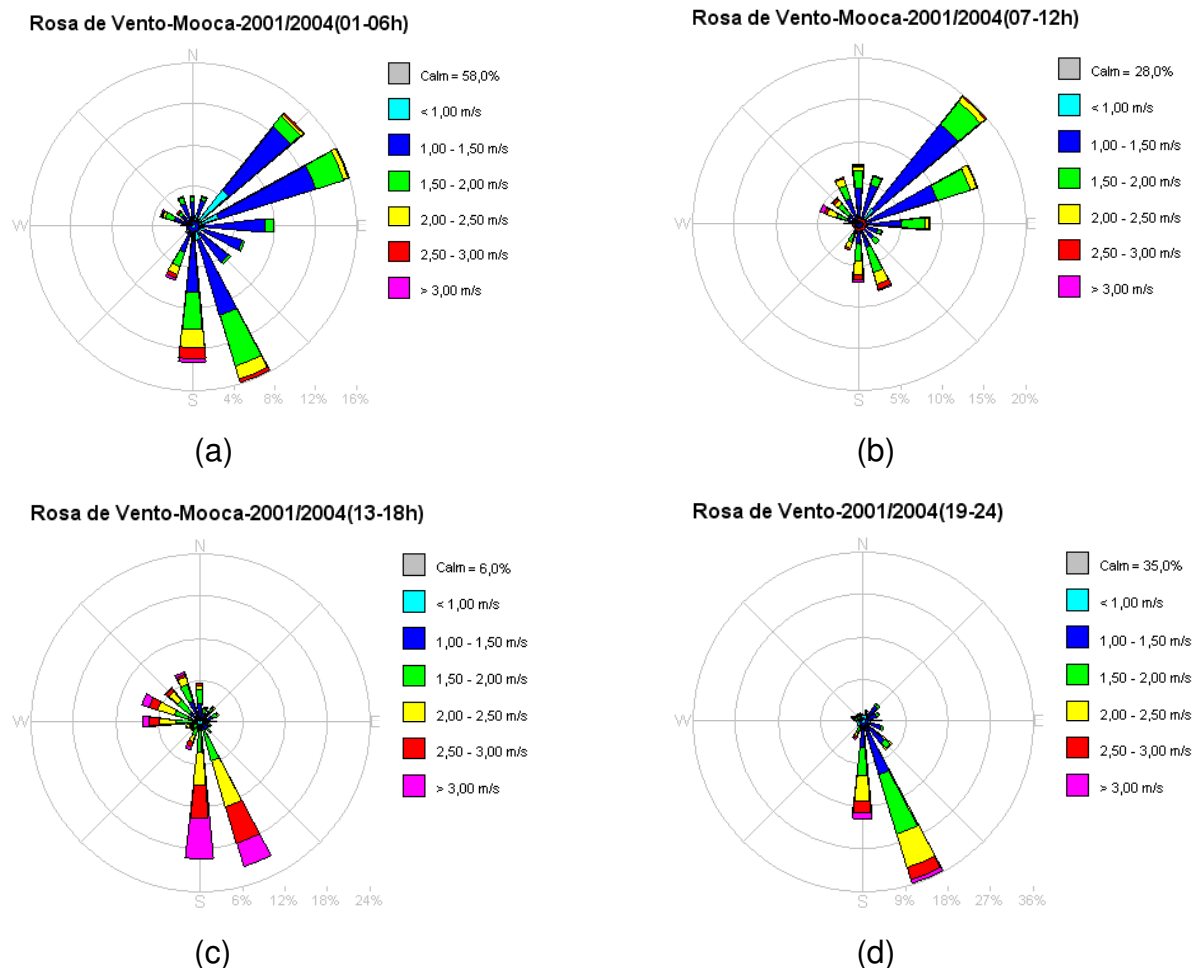
Os resultados mostram que:

- Na madrugada e início da manhã (até 08h) há o predomínio de calmaria e ventos variáveis (considerados ventos fracos) em relação a todos os quadrantes.
- A partir das 09h há uma predominância de ventos do quadrante NE que se prolonga até às 13h.
- Após as 14h os ventos do quadrante SE tornam-se os predominantes indo até às 21h, sendo que a partir desta hora inicia-se o predomínio de calmaria e ventos variáveis. É importante esclarecer que os ventos do quadrante SE são os mais freqüentes quando considerados todos os horários somados. Os ventos do SE são causados principalmente pela presença de duas condições meteorológicas distintas: o primeiro caso está associado à situação sinótica, quando a atuação de um anticiclone polar gera ventos deste quadrante em praticamente todas as horas do dia; o segundo caso ocorre pela penetração da brisa marítima a partir da tarde até a noite, o que pode ser observado pela máxima freqüência de ocorrência nesse período.
- Com relação aos ventos do quadrante NW, estes atingem sua maior freqüência entre 13 e 17h.



- Os ventos do quadrante SW são os que apresentam as menores freqüências durante todo o dia.

Para uma melhor visualização do comportamento do vento na estação Moóca, foram feitas rosas de ventos em períodos do dia (figuras 17a, b, c, d), onde são observadas mudanças na direção com o decorrer do dia.



**Figura 17– Rosas de ventos por período do dia da estação Moóca para os anos 2001 a 2004. Madrugada (a), manhã (b), tarde (c) e noite (d)**

Na figura 17a, que mostra a rosa de ventos para o período da madrugada (1h às 6h), observa-se predominância da direção NE e uma segunda contribuição da direção SE. Neste período do dia, a velocidade média é bastante baixa e a porcentagem de calmaria e ventos variáveis é de 58%, o que representa mais da metade do tempo.

No período da manhã (7h às 12h), verifica-se na figura 17b, que os ventos predominantes são ainda do quadrante NE, porém com baixa velocidade e a ocorrência de calmaria é de 28%, percentual ainda alto para este período do dia.

Na figura 17c, que mostra o comportamento à tarde (13h às 18h), as contribuições de SSE e S são praticamente da mesma monta, porém, as velocidades dos ventos de S são um pouco maiores que as do SSE. Neste período do dia, as velocidades dos ventos de SSE são mais altas que as desta mesma direção nos outros períodos do dia analisados (madrugada e manhã): isto se deve à atuação da brisa marítima que reforça os ventos sinóticos do quadrante SE. Durante a tarde, a velocidade média é a

mais alta de todo o período do dia e a porcentagem de calmaria é a mais baixa, apenas 6%.

O comportamento no período da noite (19h às 24h), apresentado na figura 17d, mostra vento predominante de SSE nesse período. Apesar de existir ainda uma contribuição da brisa marítima nos ventos do quadrante SE, a velocidade média é mais baixa que a da tarde e ocorre um aumento significativo da porcentagem de calmaria (cerca de 35%), que corresponde a um terço deste período do dia.

É importante esclarecer que a ocorrência de altos percentuais de calmaria nesta estação pode estar relacionada com a vegetação em seu entorno.

#### **4.1.5. Representatividade**

Para avaliar se a estação está bem localizada no que diz respeito às fontes prioritárias de emissão dos poluentes, apresentadas na tabela 8, adotou-se a seguinte metodologia:

- Avaliar o perfil do vento ao longo do dia, observando-se os horários de maior frequência em cada direção, bem como os horários de maior frequência de calmaria e vento variável;
- Avaliar os perfis de concentração de cada poluente medido na estação ao longo do dia. Esta análise foi feita considerando o comportamento em cada um dos dias da semana, de forma a avaliar também o impacto médio na qualidade do ar decorrente das variações nas emissões, com médias de inverno e verão para os poluentes  $MP_{10}$  e  $O_3$ ;
- Analisar as concentrações médias em função de diferentes velocidades de vento provenientes de leste e de oeste, e em condições de calmaria e vento variável. Os períodos do dia foram selecionados com base na distribuição diária de concentração.

Para o estudo desta estação, foi necessário alterar o procedimento de análise usualmente adotado. De maneira geral, quando há dados de direção e velocidade de vento disponíveis na estação, tais dados são agrupados em quadrantes (Fig.1), construindo-se gráficos que indicam a frequência e velocidade com que o vento soprou de cada direção e a respectiva concentração média associada, incluindo as diferenças obtidas entre os períodos diurno e noturno. Como na estação Moóca há uma conhecida fonte importante de material particulado (campo de futebol) que, pelo modelo anteriormente adotado, deveria ser dividida em duas partes, uma localizada a NE e outra a SE, tal modelo não se mostrou adequado para este caso em particular, pois a fonte deve ser considerada como um todo. Esta foi a razão de se ter optado por considerar os hemisférios leste e oeste, em vez dos quadrantes NE, SE, SW e NW, para estudar as relações entre concentração de poluente e vento.

- Verificar a que direção de vento estão associadas as maiores concentrações médias e checar se o vento desta direção é predominante (conforme tabela 10) nos horários de pico de concentração dos poluentes.

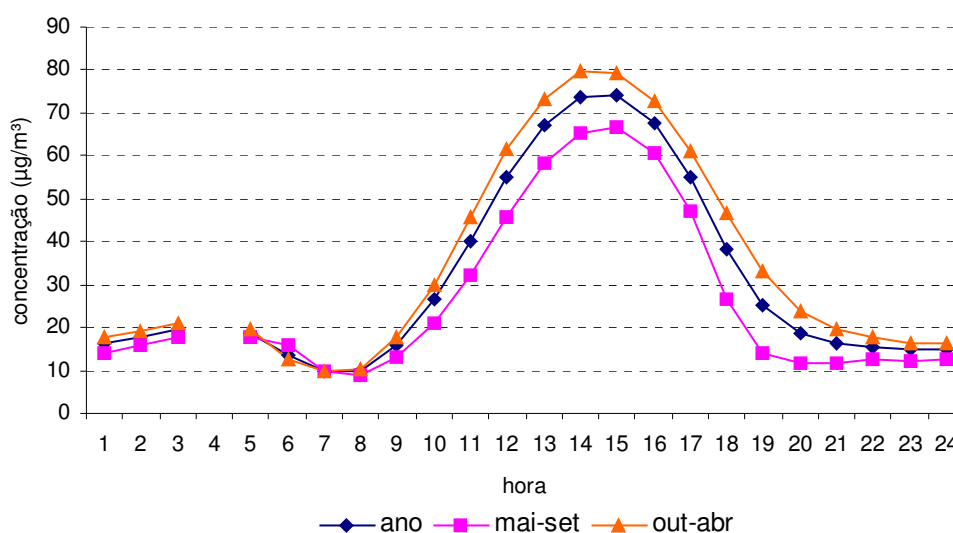
Além disso, para avaliar a estação segundo a escala de representatividade:

- Verificar o comportamento do poluente em função da velocidade do vento, tentando assim detectar se os resultados correspondem a emissões de fontes localizadas nas proximidades ou distantes do local de monitoramento.

As análises foram feitas separadamente para cada poluente, uma vez que a escala de representatividade da estação pode variar em função do poluente considerado. Além disso, quanto à localização, a estação pode sofrer o impacto da emissão de um dado poluente e não ser capaz de monitorar adequadamente a emissão de outro, sugerindo, assim, a necessidade de rever a configuração da estação no que diz respeito aos monitores mais adequados.

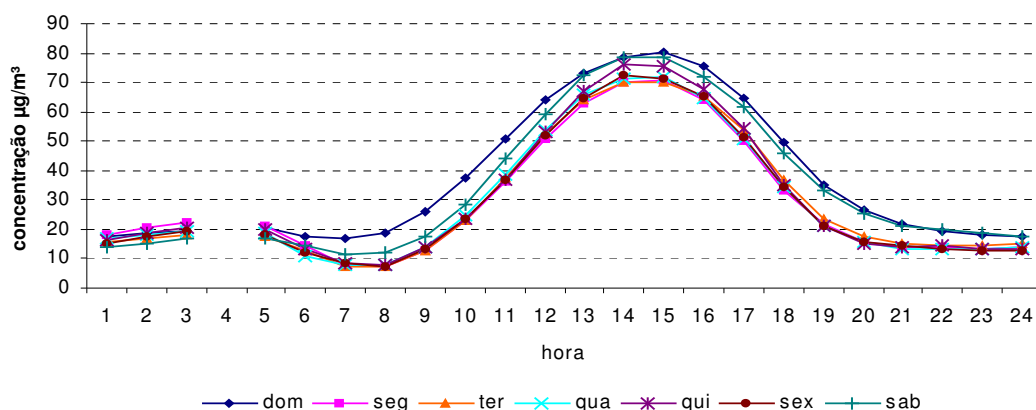
### Ozônio - O<sub>3</sub>

O ozônio possui um perfil de concentrações médias ao longo do dia bastante diferente dos demais poluentes, pois apresenta um máximo de concentração no período da tarde, geralmente entre 12h e 17h. A figura 18 ilustra a distribuição do O<sub>3</sub> por hora na estação Moóca, diferenciando os períodos de inverno e verão. Este fenômeno ocorre devido ao ciclo de formação do O<sub>3</sub>, que depende não somente da presença de precursores (COVs e NOx), mas fundamentalmente de parâmetros meteorológicos como radiação e temperatura, mais elevados no período de primavera/verão. Além disso, pode-se observar também que as concentrações médias são mais baixas nos meses de inverno, ou seja, comportamento oposto aos demais poluentes, cujas concentrações são mais altas nesse período devido à maior estagnação atmosférica.

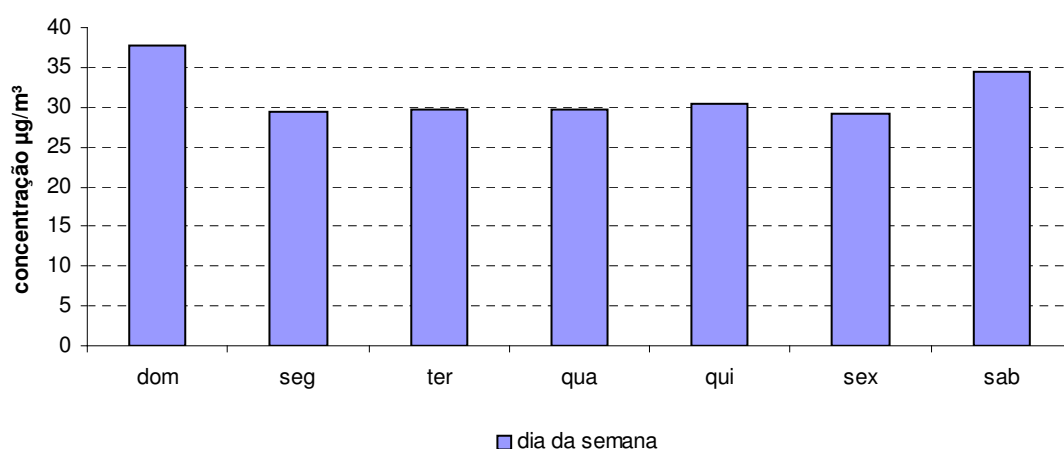


**Figura 18 – O<sub>3</sub> – Médias horárias por época do ano no período de 1999 a 2005**

A análise por dia da semana (figuras 19 e 20) na estação Moóca mostra também um comportamento diferenciado para o O<sub>3</sub> em relação aos demais poluentes. Observa-se que, na média, as concentrações no domingo são as mais elevadas. Isto ocorre pela diminuição da emissão de NO por fontes veiculares, que consome parte do O<sub>3</sub> formado.

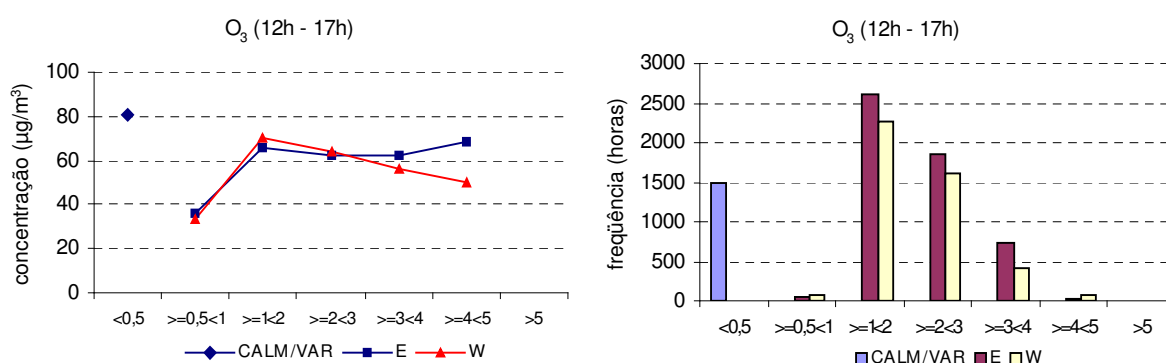


**Figura 19 – O<sub>3</sub> – Médias horárias por dia da semana no período de 1999 a 2005**



**Figura 20 – O<sub>3</sub> – Distribuição por dia da semana no período de 1999 a 2005**

Utilizou-se o período das 12h às 17h para a elaboração da figura 21, que apresenta as concentrações médias de O<sub>3</sub> em função de direção e velocidade do vento.



**Figura 21 – O<sub>3</sub> – Médias e freqüência de ocorrência no período das 12h às 17h, em função de velocidade e quadrante dos ventos, no período de 1999 a 2004**

A figura mostra que a concentração média de O<sub>3</sub> foi mais elevada com calmaria refletindo as condições de estagnação atmosférica indicando que o O<sub>3</sub> é formado no local. Para velocidade de vento de até 1m/s, foram observadas as menores concentrações de O<sub>3</sub>, porém a sua freqüência é muito baixa para ser comparada com



outras velocidades. Acima de 1m/s, as concentrações são elevadas, evidenciando que ocorre o transporte deste poluente, formado nas imediações do parque e em outras áreas mais afastadas.

As concentrações de ozônio medidas nesta estação são representativas de média escala, pois a sonda de amostragem está situada a 70 m da via, distância inferior à requerida para ser classificada como representativa de bairro, isto é, pelo menos a 100 metros de via com volume de tráfego superior a 70.000 veículos por dia, como é o caso da Rua Bresser, ou a 250m de via com mais de 110.000 veículos por dia, caso da Avenida Alcântara Machado.

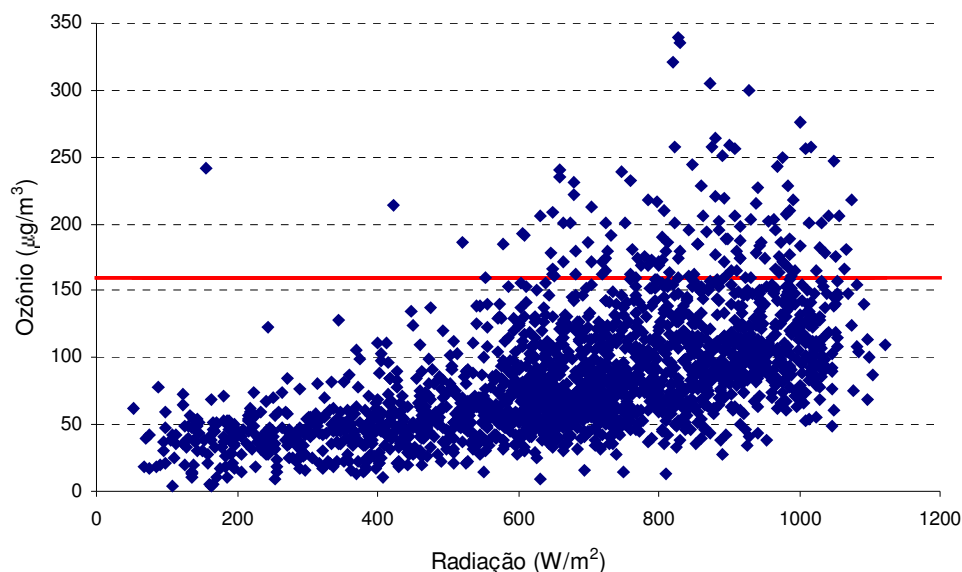
Considerando que além do O<sub>3</sub> também os seus precursores são transportados para longe das fontes de emissão, torna-se importante a análise do vento não só no horário de ocorrência de altas concentrações, mas também nos horários que o precedem. Para essa análise, foram consideradas a frequência de ocorrência do vento no período de 10h as 17h nos dias em que houve ultrapassagem do PQAr (160µg/m<sup>3</sup>), conforme apresentado na tabela a seguir.

**Tabela 10: Frequência de quadrante do vento por hora para os 159 dias em que houve ultrapassagem do PQAr de O<sub>3</sub> na estação Moóca no período de 1999 a 2005**

Hora	Calm	NE	SE	SW	NW
10:00	37	68	15	2	1
11:00	29	55	18	4	2
12:00	23	38	19	10	12
13:00	11	15	22	27	16
14:00	5	9	36	44	15
15:00	1	7	55	37	15
16:00	6	1	85	28	12
17:00	5	2	106	26	5

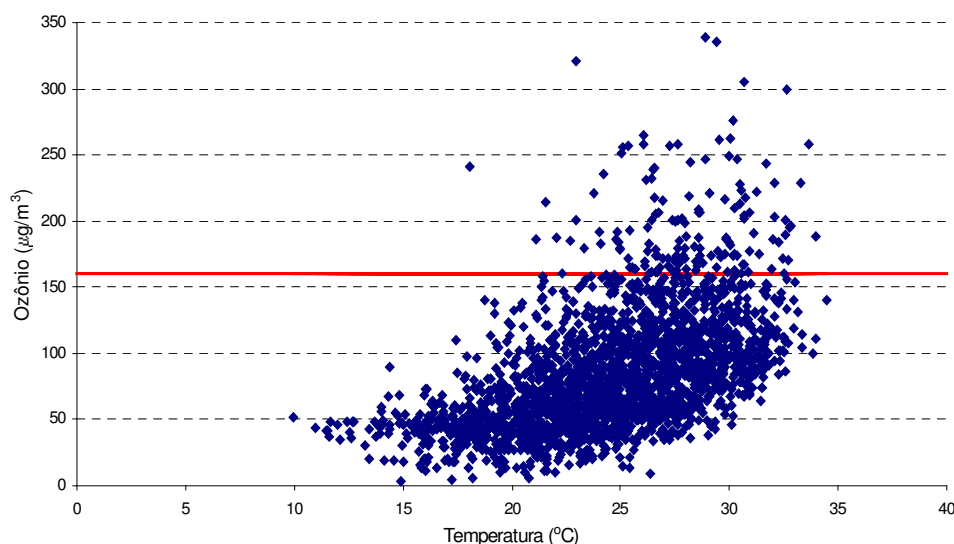
A tabela 10 mostra que nos dias em que houve ultrapassagem do PQAr (160µg/m<sup>3</sup>), predominaram ventos de NE no período da manhã, aumentando a frequência dos ventos de SE no período da tarde devido à atuação da brisa marítima.

Além do transporte, outro parâmetro que influencia as concentrações do O<sub>3</sub> é a radiação solar. A figura 21 ilustra as variações das concentrações máximas diárias de O<sub>3</sub> na Moóca em função das máximas diárias de radiação solar observadas na estação Ibirapuera, no período de 1999 a 2005. Observa-se que, com poucas exceções, as concentrações acima do PQAr de 1 hora (160µg/m<sup>3</sup>) ocorreram com radiação acima de 600 W/m<sup>2</sup>. Apesar disso, observaram-se também muitos dias com radiação solar alta e concentrações baixas de O<sub>3</sub>, mostrando que esse parâmetro não é o único determinante da ocorrência de altas concentrações desse poluente, podendo estar associado às velocidades dos ventos maiores.



**Figura 21 – Dispersão das máximas diárias do O<sub>3</sub> na Moóca e máximas diárias de radiação total na estação Ibirapuera no período de 1999 a 2005**

Considerando a temperatura do ar em análise semelhante à realizada para a radiação solar, observa-se que a maioria das ultrapassagens do PQAr de 1h ocorreram em dias quentes, com temperatura máxima diária acima de 20 °C (figura 22). Assim como foi observado no gráfico anterior, foram detectados valores muito baixos de ozônio também para altas temperaturas, mostrando que o processo de formação do ozônio depende de muitos fatores, dentre os quais se destacam a temperatura e a radiação solar, além da presença dos precursores.

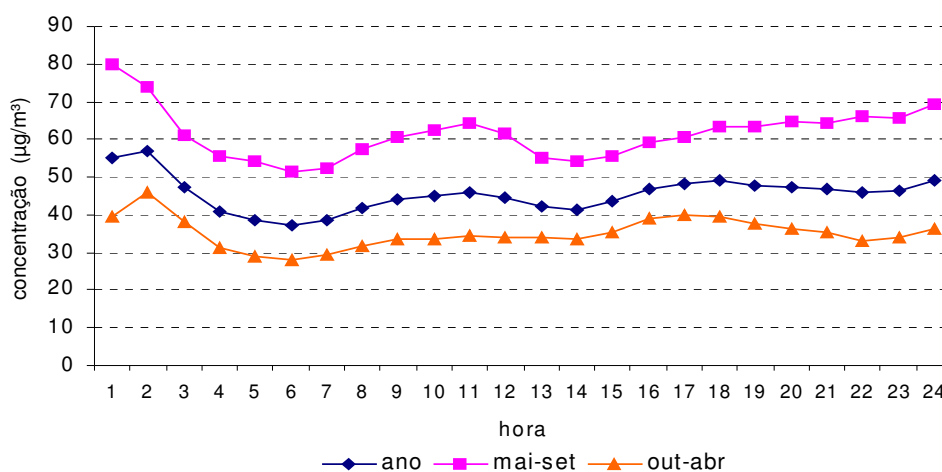


**Figura 22 – Dispersão das máximas diárias do O<sub>3</sub> na Moóca e máximas diárias de temperatura na estação Ibirapuera no período de 1999 a 2005**

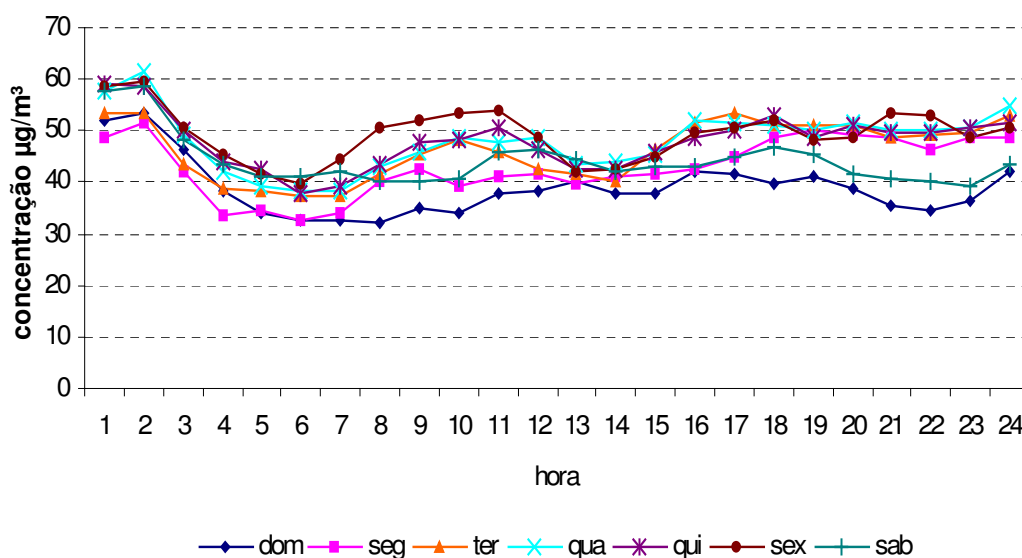
#### **Partículas Inaláveis - MP<sub>10</sub>**

As figuras 23 a 25 ilustram a distribuição das concentrações médias por época do ano, ao longo dos dias da semana e distribuição por dias da semana para o período de 1999 a 2005. Nas figuras 23 e 24 observa-se que os picos de concentração

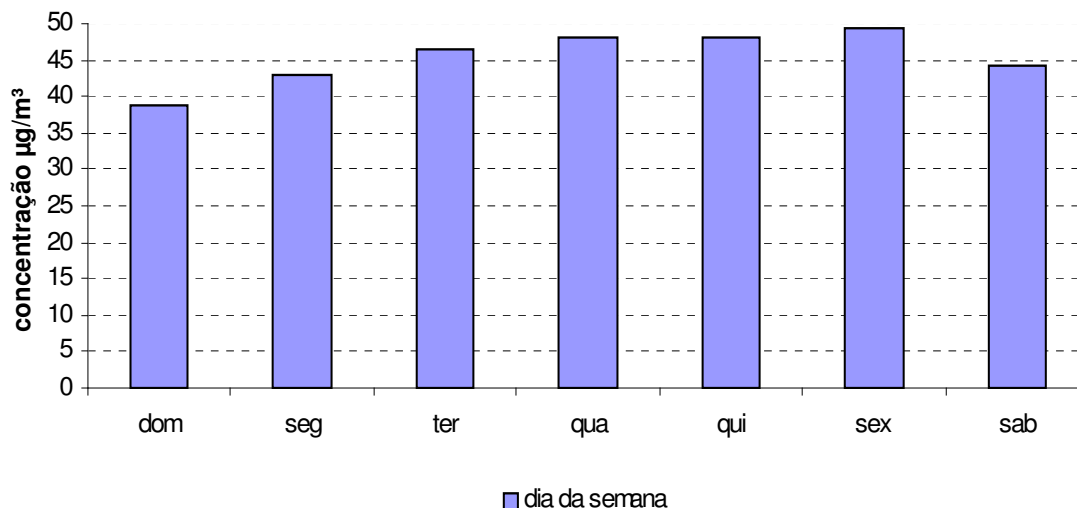
coincidem com o pico de tráfego pela manhã e a partir do final da tarde, este último associado ao tráfego e às condições meteorológicas, em média, mais desfavoráveis à dispersão dos poluentes. Observa-se também, na figura 25, uma sensível redução das concentrações nos finais de semana, principalmente no domingo.



**Figura 23 – MP<sub>10</sub> – Médias horárias por época do ano no período de 1999 a 2005**

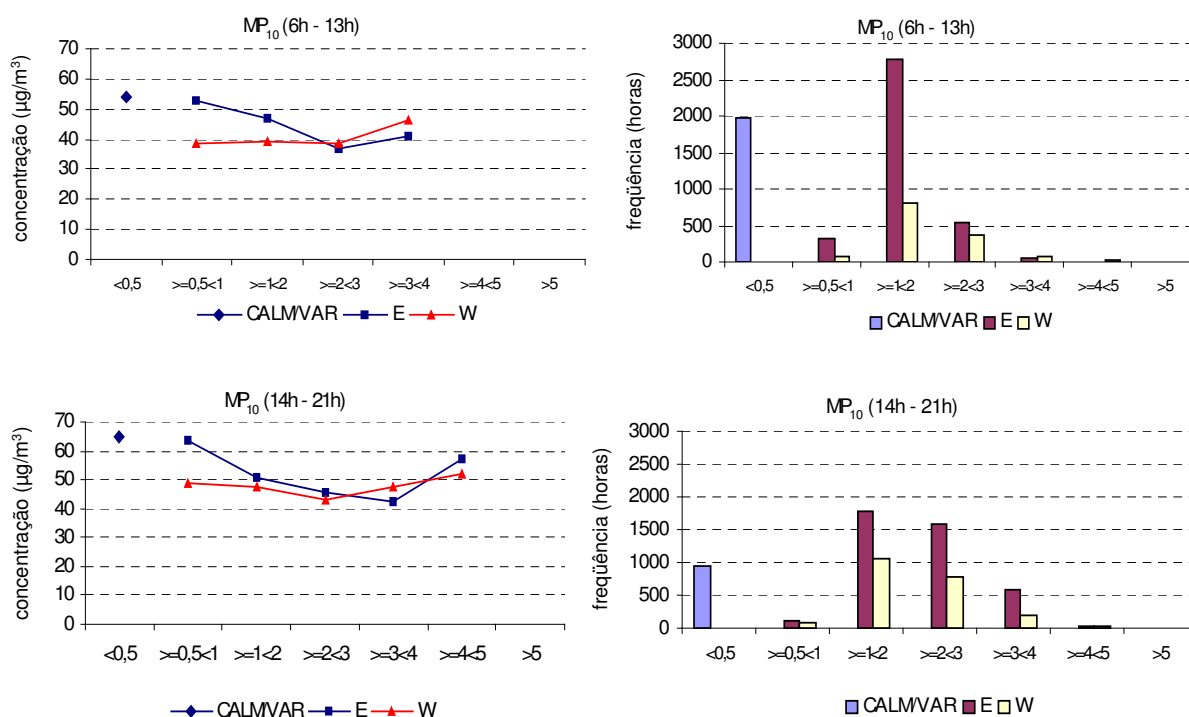


**Figura 24 – MP<sub>10</sub> – Médias horárias por dia da semana no período de 1999 a 2005**



**Figura 25 –  $\text{MP}_{10}$  – Distribuição por dia da semana no período de 1999 a 2005**

Em virtude da localização da estação Moóca, o material particulado inalável que é medido resulta principalmente de dois tipos principais de fonte, a saber, ressuspensão de um campo de futebol, a leste da estação, e emissão veicular proveniente das vias localizadas a oeste, Avenida Alcântara Machado e Rua Bresser.



**Figura 26 –  $\text{MP}_{10}$  – Médias e freqüência de ocorrência nos períodos das 6h às 13h e das 14h às 21h, em função de velocidade e quadrante dos ventos, no período de 1999 a 2004**

A análise dos gráficos de concentração em função de velocidade e direção do vento evidencia a influência da fonte de ressuspensão de poeira, cujo impacto, para ventos de até 3m/s, supera o das emissões veiculares. Para ventos mais fortes, a influência de ambas as fontes tende a se equiparar.

A Avenida Alcântara Machado, com volume estimado de veículos superior a 200.000 por dia, está a cerca de 250m da estação e a Rua Bresser, com cerca de 70.000 veículos por dia, está a uma distância maior que 70m. Nestas condições, as concentrações medidas na estação representam as emissões das fontes situadas a oeste em uma escala de bairro, portanto, com menor influência sobre a estação do que o de fontes situadas na microescala, a leste da estação.

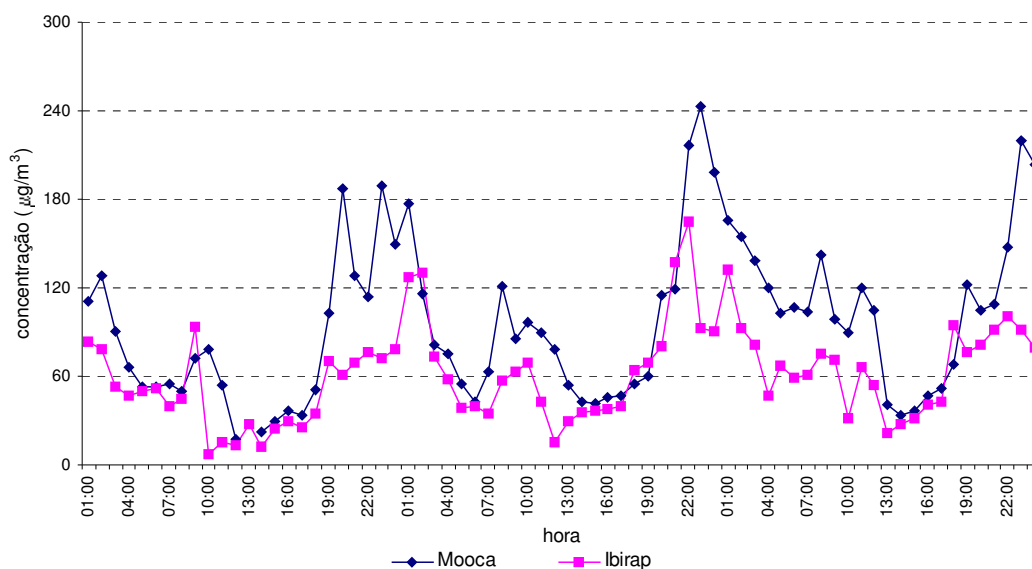
Um refinamento da avaliação deste poluente pode ser feito observando-se a figura 6 que mostra o campo de futebol a E da estação e, confrontando o comportamento dos gráficos (fig.26) com as rosas de ventos (fig.17). Desta forma verifica-se que, no período da manhã, existe uma componente ENE e E que contribui nas concentrações de  $MP_{10}$  oriundas da ressuspensão do referido campo de futebol.

### **Episódios de alta concentração**

A análise do episódio de mais alta concentração de  $MP_{10}$  em 2005 mostra que ele ocorreu no período noturno e início da madrugada do dia 17 de maio. A ocorrência de calmarias caracterizou esse período de condição meteorológica desfavorável à dispersão atmosférica, fazendo com que a concentração deste poluente fosse relativamente elevada numa escala espacial urbana. A comparação com as concentrações observadas no Parque do Ibirapuera (figura 27) mostra que o comportamento de ambas é semelhante, confirmando a situação descrita.

**Tabela 11: Dados de concentração de MP<sub>10</sub> e vento registrados na estação Moóca nos dias 16, 17 e 18/05/2005**

Dia	16/5/2005			17/5/2005			18/5/2005		
Hora	Conc. (1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante	Conc. (1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante	Conc. (1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	111	calm	-	177	calm	-	166	calm	-
02:00	128	calm	-	116	calm	-	155	calm	-
03:00	91	calm	-	81	calm	-	138	calm	-
04:00	66	calm	-	75	calm	-	120	calm	-
05:00	53	calm	-	55	calm	-	103	calm	-
06:00	53	calm	-	43	calm	-	107	calm	-
07:00	55	calm	-	63	calm	-	104	calm	-
08:00	50	calm	-	121	calm	-	142	calm	-
09:00	72	calm	-	85	calm	-	99	0,9	ENE
10:00	78	1,0	NE	97	calm	-	89	0,9	NE
11:00	54	1,9	NNE	89	var	-	120	calm	-
12:00	17	1,7	NNW	78	1,4	NW	105	1,2	NNW
13:00	-	1,5	N	54	1,5	WNW	41	1,4	N
14:00	22	1,9	WNW	43	1,6	WNW	34	1,3	NNW
15:00	30	1,2	NNW	42	1,6	WNW	37	1,5	WNW
16:00	37	1,3	NW	46	1,4	W	47	1,4	NW
17:00	34	1,1	NNW	47	var	-	52	var	-
18:00	51	calm	-	55	calm	-	68	var	-
19:00	103	calm	-	60	calm	-	122	calm	-
20:00	187	calm	-	115	calm	-	105	calm	-
21:00	128	calm	-	119	calm	-	109	calm	-
22:00	114	calm	-	217	calm	-	147	calm	-
23:00	189	calm	-	243	calm	-	220	calm	-
24:00	150	calm	-	198	calm	-	203	calm	-



**Figura 27 – MP<sub>10</sub> – Médias horárias nas estações Moóca e Ibirapuera nos dias 16, 17 e 18/05/2005.**

## **5. Conclusões**

### **Qualidade do Ar**

#### **Escala de Representatividade**

O levantamento das principais fontes emissoras de poluentes no entorno da estação Moóca e a análise dos impactos associados a estas emissões, que se refletem na qualidade do ar monitorada, mostrou que embora haja vias importantes a oeste da estação (Avenida Alcântara Machado e Rua Bresser), as distâncias que as separam da estação reduzem o impacto das emissões provenientes do elevado número de veículos que nelas trafegam, de tal forma que as concentrações medidas são representativas de escala de bairro. Entretanto, a estação também sofre o impacto de fontes de ressuspensão de poeira, localizadas em microescala, que se traduzem em concentrações médias mais elevadas com ventos provenientes de leste.

#### **Uso do Solo**

A estação está localizada em região com características diversificadas em termos de uso do solo. No raio de 2km inventariado há residências e desenvolvem-se atividades comerciais. Dentro do perímetro de avaliação da estação, situa-se a Avenida Alcântara Machado que é uma importante via de ligação entre a região leste e o centro da cidade, além da Rua Bresser, cujo tráfego é intenso. Além disso, ao lado da estação há um campo de futebol, cuja influência é significativa em consequência da ressuspensão de poeira.

A estação é adequada para medir as concentrações de ozônio na média escala, estando suficientemente distante das vias de tráfego para minimizar a ação destrutiva do NO.

#### **População Exposta**

A maior parte da população que reside no bairro está exposta a concentrações de  $MP_{10}$  equivalentes às registradas na estação quando os ventos provêm de oeste, entretanto, com ventos de leste, as concentrações de  $MP_{10}$  tendem a ser mais elevadas por influência das fontes de ressuspensão de poeira. Assim, a estação não é adequada para representar, na escala pretendida, os níveis de concentração de  $MP_{10}$  a que a população está exposta.

No caso do  $O_3$ , a estação é representativa das concentrações a que a população está exposta na média escala.

#### **Parâmetros Monitorados**

A estação Moóca monitora os poluentes  $MP_{10}$  e  $O_3$ . Considerando ser esta uma estação representativa da escala de bairro, ela apresenta uma configuração adequada para avaliação da qualidade do ar no que diz respeito ao ozônio. As concentrações de poeira, porém, são influenciadas pela emissão de fontes locais que se sobrepõe às concentrações resultantes das emissões veiculares.

Com relação aos parâmetros meteorológicos, a estação Moóca dispõe somente de sensores de vento. A análise feita com base na localização das fontes, na direção e velocidade do vento e nas concentrações observadas na estação mostrou que o vento é um parâmetro útil para identificação das fontes responsáveis pela poluição medida, uma vez que não existem anteparos influenciando significativamente estas medidas.

### **Recomendações**

Considerando que a presença de fontes de ressuspensão de poeira muito próximas da estação afeta muito as concentrações de  $MP_{10}$  medidas, interferindo na avaliação da influência das outras fontes de emissão mais distantes, esta estação não é adequada para medir este parâmetro na escala de bairro. Considerando-se a importância das vias de tráfego nas proximidades da estação, recomenda-se a substituição do monitor de  $MP_{10}$  por um monitor de CO, que representaria as emissões de fontes veiculares na escala de representatividade desejada, sem a interferência de emissões na microescala.

Ainda que a direção predominante dos ventos nesta estação seja de Leste, e as fontes prioritárias de emissão de poluentes veiculares estejam situadas a Oeste, há vários fatores favoráveis à manutenção da estação no local em que está atualmente instalada, tais como logística e topografia adequada, além de esta localização ser compatível com a medição de ozônio.



## **6. Bibliografia**

- 1- United States Environmental Protection Agency (US-EPA): An Empirical Approach for Relating Annual TSP Concentrations to Particulate Microinventory Emissions Data and Monitor Siting Characteristics, (EPA-450/4-79-012) 1979
- 2- World Health Organization (WHO) - Guidelines for Air Quality - Geneva - 1999
- 3- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) - Qualidade do Ar no Estado de São Paulo - 2000 - São Paulo - 2001
- 4- United States Environmental Protection Agency (US-EPA): Code of Federal Regulation, 40 – Pt.58 – Ambient Air Quality Surveillance. Ed. 1996
- 5- Guimarães, F. A., Esteves, S. S. et al.: Rede Automática de Amostragem de Poluentes Atmosféricos – Plano Preliminar; VIII Cong. Bras. de Eng. Sanitária; Rio de Janeiro, 1975
- 6- Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA): site SP Janela Eletrônica – Núcleo de Pesquisas em Tecnologia Avançada para Monitoramento e Proteção Ambiental (NATA).

## **Equipe de Trabalho**

Américo Tomio Meenochite – ETQT  
Carlos Eduardo Negrão – ETQT  
Maria Cristina Neuschaffer de Oliveira – ETQA  
Maria Lúcia Gonçalves Guardani – ETQT  
Masayuki Kuromoto - ETQI  
Orlando Ferreira Filho – ETQI  
Ricardo Anazia - ETQM  
Richard Toyota – ETQT  
Rosana Curilov – coordenadora – ETQI

## **Colaboração**

Agência Ambiental do Ipiranga - CDI

## **Revisão**

Daniel Silveira Lopes - ETQT