

**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 Ibirapuera**

**Julho – 2004**

## 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 Ibirapuera, 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.

A metodologia aplicada à estação Ibirapuera mostrou que o O<sub>3</sub> é o poluente que mais ultrapassa o PQAr, além disso, não apresenta qualquer tendência de redução nos últimos anos. Os poluentes CO e NO<sub>2</sub> apresentaram poucas ultrapassagens dos padrões de curto prazo nos últimos anos, com tendência de queda de 1997 a 2002. Também se observou tendência de queda das concentrações de material particulado nos últimos anos, tanto para medições de curto quanto de longo prazo (médias anuais). Os níveis de SO<sub>2</sub> observados nesta estação foram baixos.

A análise dos dados de qualidade do ar da estação mostrou que essas fontes de poluição inventariadas influenciam a qualidade do ar observada, principalmente no que se refere aos poluentes NO e CO durante o dia, durante o período noturno, tanto para esses poluentes quanto para os outros poluentes primários, há pouca influência dessas fontes de emissão, tornando-se mais significativas as condições de dispersão meteorológicas que contribuem para a persistência dos poluentes na atmosfera.

Devem ser destacadas essas diferenças observadas para cada um dos poluentes, que se traduzem muitas vezes em casos particulares em termos de abrangência espacial.

## ÍNDICE GERAL

1. Introdução .....	5
2. Classificação de Estações de Monitoramento – Aspectos Teóricos .....	9
3. Metodologia .....	11
3.1. Características da Estação.....	11
3.2. Avaliação da Qualidade do Ar .....	11
3.3. Microinventário de Fontes .....	12
3.4. Influência das Condições Meteorológicas .....	14
4. Caracterização das Estações da Rede Automática.....	14
4.1. Estação Ibirapuera .....	16
4.1.1. Características da Estação.....	16
4.1.2. Tendências da Qualidade do Ar .....	22
Monóxido de Carbono - CO.....	22
Monóxido de Nitrogênio - NO .....	23
Dióxido de Nitrogênio - NO <sub>2</sub> .....	24
Ozônio - O <sub>3</sub> .....	25
Dióxido de Enxofre - SO <sub>2</sub> .....	26
Partículas Inaláveis (MP <sub>10</sub> ) .....	26
Partículas Totais em Suspensão - PTS .....	28
4.1.3. Microinventário de Fontes .....	29
Fontes Fixas.....	30
Fontes Móveis .....	30
4.1.4. Influência das Condições Meteorológicas.....	30
Monóxido de Carbono - CO.....	38
Monóxido de Nitrogênio - NO .....	43
Dióxido de Nitrogênio - NO <sub>2</sub> .....	47
Ozônio – O <sub>3</sub> .....	51
Dióxido de Enxofre - SO <sub>2</sub> .....	55
Partículas Inaláveis (MP <sub>10</sub> ) .....	58
Perfil de concentração de grupos de poluentes .....	62
4.1.5. Conclusões .....	62
Qualidade do Ar .....	64
Escala de Representatividade .....	64
Uso do Solo.....	65
População Exposta.....	65
Parâmetros Monitorados .....	65
Recomendações .....	65

5. Bibliografia .....	66
6. Equipe de Trabalho .....	66

## ÍNDICE DE TABELAS

Tab 1 - Classificação das estações em termos de uso do solo e população exposta....	9
Tab 2 - Classificação das estações em termos de escala de representatividade .....	10
Tab 3 - Configuração da rede de monitoramento – RMSP .....	16
Tab 4 - Parâmetros monitorados.....	17
Tab 5 - Freqüência do vento de superfície na estação Ibirapuera em cada quadrante ao longo do dia .....	32
Tab 6 - Freqüência do vento do radar acústico (50m) na estação Ibirapuera em cada quadrante ao longo do dia.....	35
Tab 7 - Dados de concentração de CO e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera nos dias 24 e 25/07/2002 .....	41
Tab 8 - Dados de concentração de CO e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera nos dias 13 e 14/06/2002 .....	42
Tab 9 - Dados de concentração de NO e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera nos dias 06 e 07/06/2002 .....	46
Tab 10 - Dados de concentração de NO e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera no dia 29 e 30/05/2002 .....	47
Tab 11- Dados de concentração de NO <sub>2</sub> e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera nos dias 13 e 14/06/2002.....	50
Tab 12 - Dados de concentração de NO <sub>2</sub> e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera no dia 26/04/2002 .....	51
Tab 13 - Freqüência de quadrante do vento por hora para os 156 dias em que houve ultrapassagem do PQAr de O <sub>3</sub> na estação Ibirapuera no período de abril de 1999 a dezembro de 2002 .....	53
Tab 14 - Dados de concentração de SO <sub>2</sub> e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera nos dias 05/07 e 06/07/2002.....	57
Tab 15 - Dados de concentração de SO <sub>2</sub> e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera no dia 31/05/2002 .....	58
Tab 16 - Dados de concentração de MP <sub>10</sub> e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera nos dias 04, 05 e 06/03/2002.....	61
Tab 17 - Dados de concentração de MP <sub>10</sub> e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera nos dias 20 e 21/06/2002.....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 - Quadrantes considerados para localização das fontes e direção do vento .....	13
Fig 2 – Localização das estações da rede automática na RMSP .....	15
Fig 3 - Mapa de localização da estação Ibirapuera .....	18
Fig 4 – Mapa-Nata <sup>6</sup> do entorno da estação Ibirapuera com raio de 400m.....	19
Fig 5 - Vista da estação Ibirapuera.....	20
Fig 6 - Vista aérea da estação Ibirapuera.....	20
Fig 7 - Vistas do entorno da estação Ibirapuera.....	21
Fig 8 - CO - Médias das máximas (médias de 8 horas).....	22
Fig 9 - CO - Número de dias de ultrapassagem do PQAr e nível de Atenção de 1997 a 2002.....	23
Fig 10 - NO - Médias anuais no período das 07 às 11 horas.....	23
Fig 11 - NO <sub>2</sub> - Médias aritméticas anuais .....	24
Fig 12 - NO <sub>2</sub> - Número de dias de ultrapassagem do PQAr e nível de Atenção de 1997 a 2002.....	24
Fig 13 - O <sub>3</sub> - Número de dias de ultrapassagem do PQAr e nível de Atenção de 1997 a 2002.....	25
Fig 14 - O <sub>3</sub> - Distribuição mensal do número de dias de ultrapassagem do PQAr no período de 1997 a 2002 .....	25
Fig 15 - SO <sub>2</sub> - Médias aritméticas anuais .....	26
Fig 16 - MP <sub>10</sub> - Médias aritméticas anuais.....	26
Fig 17 - MP <sub>10</sub> - Dias de ultrapassagem do PQAr e nível de Atenção no período de 1997 a 2002.....	27
Fig 18 - MP <sub>10</sub> - Distribuição mensal do número de dias de ultrapassagem do PQAr no período de 1997 a 2002 .....	28
Fig 19 - MP <sub>10</sub> - Médias mensais no período de 1997 a 2002.....	28
Fig 20 - PTS - Médias geométricas anuais.....	29
Fig 21 - PTS - Dias de ultrapassagem do PQAr e Atenção de 1997 a 2002.....	29
Fig 22 - Rosa de ventos de superfície da estação Ibirapuera para os anos 1997 a 2002.....	31
Fig 23 - Rosas de ventos de superfície da estação Ibirapuera para os anos 1997 a 2002. Madrugada (a), manhã (b), tarde (c) e noite (d).....	33
Fig 24 - Rosa de ventos do radar acústico (50m) na estação Ibirapuera para os anos 1999 a 2002.....	34
Fig 25 - Rosas de ventos do radar Acústico (50m) na estação Ibirapuera para os anos 1999 a 2002. Madrugada (a), manhã (b), tarde (c) e noite (d).....	36
Fig 26 - CO - Médias horárias por época do ano no período de 1997 a 2002 .....	38
Fig 27 - CO - Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2002.....	38

Fig 28 – CO - Médias e frequência de ocorrência (horas) nos períodos das 6h às 16h e das 17 às 4h, em função de velocidade e quadrante dos ventos medidos a 50 m da superfície, no período de 1999 a 2002.....	39
Fig 29 - CO - Médias horárias e móveis de 8 horas nas estações Ibirapuera e São Caetano do Sul para os dias 24 e 25/07/2002.....	41
Fig 30 - CO - Médias horárias e móveis de 8 horas nas estações Ibirapuera e São Caetano do Sul para os dias 13 e 14/06/2002.....	43
Fig 31 - NO - Médias horárias por época do ano no período de 1997 a 2002 .....	44
Fig 32 - NO - Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2002.....	44
Fig 33 - NO - Médias e frequência de ocorrência (horas) nos períodos das 7h às 18h e das 19h às 5h, em função de velocidade e quadrante dos ventos medidos a 50m da superfície, no período de 1999 a 2002 .....	45
Fig 34 - NO <sub>2</sub> - Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2002 .....	48
Fig 35 - NO <sub>2</sub> - Médias horárias por época do ano no período de 1997 a 2002 .....	48
Fig 36 - NO <sub>2</sub> - Médias e frequência de ocorrência nos períodos das 5h às 16h e das 17 às 4h, em função de velocidade e quadrante dos ventos, medidos a 50m do solo, no período de 1999 a 2002 .....	49
Fig 37 - O <sub>3</sub> - Médias horárias por época do ano no período de 1997 a 2002.....	52
Fig 38 - O <sub>3</sub> - Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2002.....	52
Fig 39 - O <sub>3</sub> - Médias e frequência de ocorrência no período das 12h às 17h, em função de velocidade e quadrante dos ventos, medidos a 50m da superfície, no período de 1999 a 2002.....	53
Fig 40 - Dispersão das máximas diárias do O <sub>3</sub> no Ibirapuera e máximas diárias de radiação global na estação Ibirapuera no período de 1997 a 2001. ....	54
Fig 41 - Dispersão das máximas diárias do O <sub>3</sub> e máximas diárias de temperatura na estação Ibirapuera no período de 1997 a 2001. ....	54
Fig 42 - SO <sub>2</sub> - Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2002.....	55
Fig 43 - SO <sub>2</sub> - Médias horárias por época do ano no período de 1997 a 2002 .....	55
Fig 44 - SO <sub>2</sub> - Médias e frequência de ocorrência nos períodos das 7h às 20h e das 21h às 6h, em função de velocidade e quadrante dos ventos medidos a 50m de altura, no período de 1999 a 2002 .....	56
Fig 45 - MP <sub>10</sub> - Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2002 .....	58
Fig 46 - MP <sub>10</sub> - Médias horárias por época do ano no período de 1997 a 2002.....	59
Fig 47 - MP <sub>10</sub> - Médias e frequência de ocorrência nos períodos das 6h às 18h e das 19h às 5h, em função de velocidade e quadrante dos ventos de superfície (a 10m de altura), no período de 1997 a 2001 ou 2002 .....	60
Fig 48 - MP <sub>10</sub> - Médias e frequência de ocorrência nos períodos das 6h às 18h e das 19h às 5h, em função de velocidade e quadrante dos ventos medidos a 50m do nível do solo, no período de 1999 a 2002.....	60
Fig 49 – Perfil de concentração de CO e NO em função dos quadrantes dos ventos medidos a 50m de altura, no período de 1999 a 2002, para ventos até 3m/s e para ventos com velocidade superior a 3m/s .....	63
Fig 50 – Perfil de concentração de NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> e MP <sub>10</sub> em função da direção do vento. ..	63

## 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, 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 29 estações fixas de amostragem e duas estações móveis. 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 prever 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 sobre os 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.

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 Ibirapuera, 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**

Característica da Estação	Descrição
Comercial	Mede a exposição da população em áreas urbanas centrais, áreas de comércio, com grande movimentação de pedestres e veículos;
Residencial	Mede a exposição da população em bairros residenciais e áreas suburbanas das cidades;
Industrial	Em áreas onde as fontes industriais têm grande influência nas concentrações observadas, tanto em longo prazo quanto para avaliação de picos de concentração;
Urbana/concentração de fundo	Em áreas urbanas, localizada não próximo de fontes

(background)	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 nem em ambientes fechados.

A área de abrangência da estação, ou escala espacial de representatividade da estação, caracteriza o entorno da estação onde os valores medidos podem ser considerados similares. 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 escala 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. 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 fazer também 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.

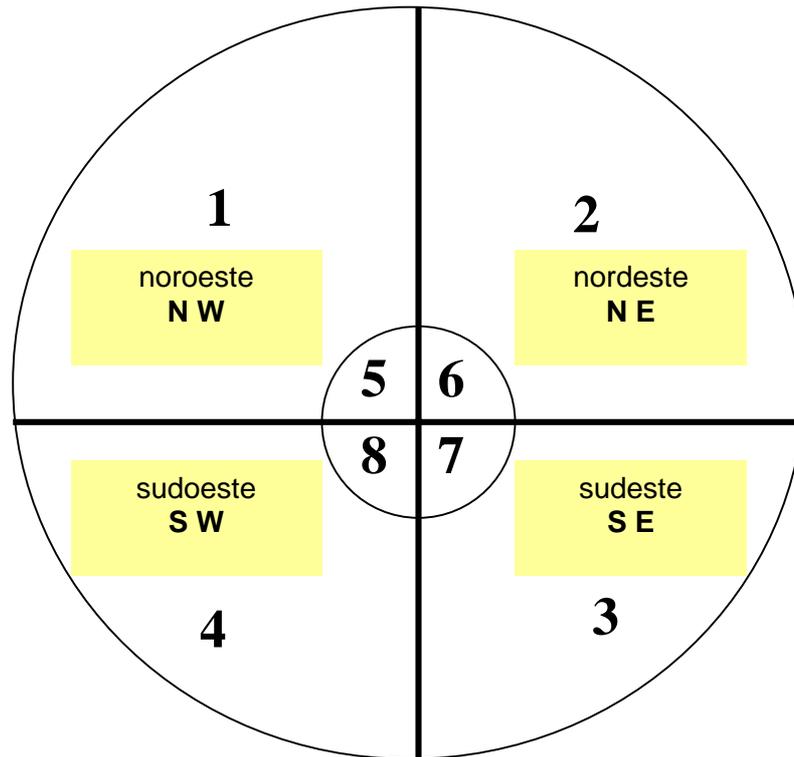
Os dados utilizados para avaliação da qualidade do ar referem-se a todos os poluentes medidos pela rede automática e manuais da CETESB, que são: MP<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> (NO<sub>2</sub> e NO), O<sub>3</sub>, CO, HC (HCNM e CH<sub>4</sub>), PTS, FMC, MP<sub>2,5</sub> e outros que 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 PQA.

### **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 2000m 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 2000m, 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 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. No caso de estação em que não são monitorados os parâmetros meteorológicos, serão utilizados os dados da estação mais representativa das condições meteorológicas, 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.

Foram comparadas então as direções dos ventos em cada quadrante com os dados de qualidade do ar observados no mesmo horário na estação, 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.

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 permitiram 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 29 estações fixas de amostragem e 2 estações móveis. Vinte e três locais de amostragem estão situados na RMSP, conforme ilustrado na figura 2. Há ainda duas estações em Cubatão e uma estação em cada um dos municípios de Paulínia, Campinas, Sorocaba e São José dos Campos. As duas 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 ( $NO$  e  $NO_2$ ), ozônio ( $O_3$ ), monóxido de carbono ( $CO$ ), hidrocarbonetos totais menos metano e metano ( $HCNM$  e  $CH_4$ ), direção e velocidade do vento, umidade relativa do ar, temperatura do ar, pressão atmosférica e radiação solar (global 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.

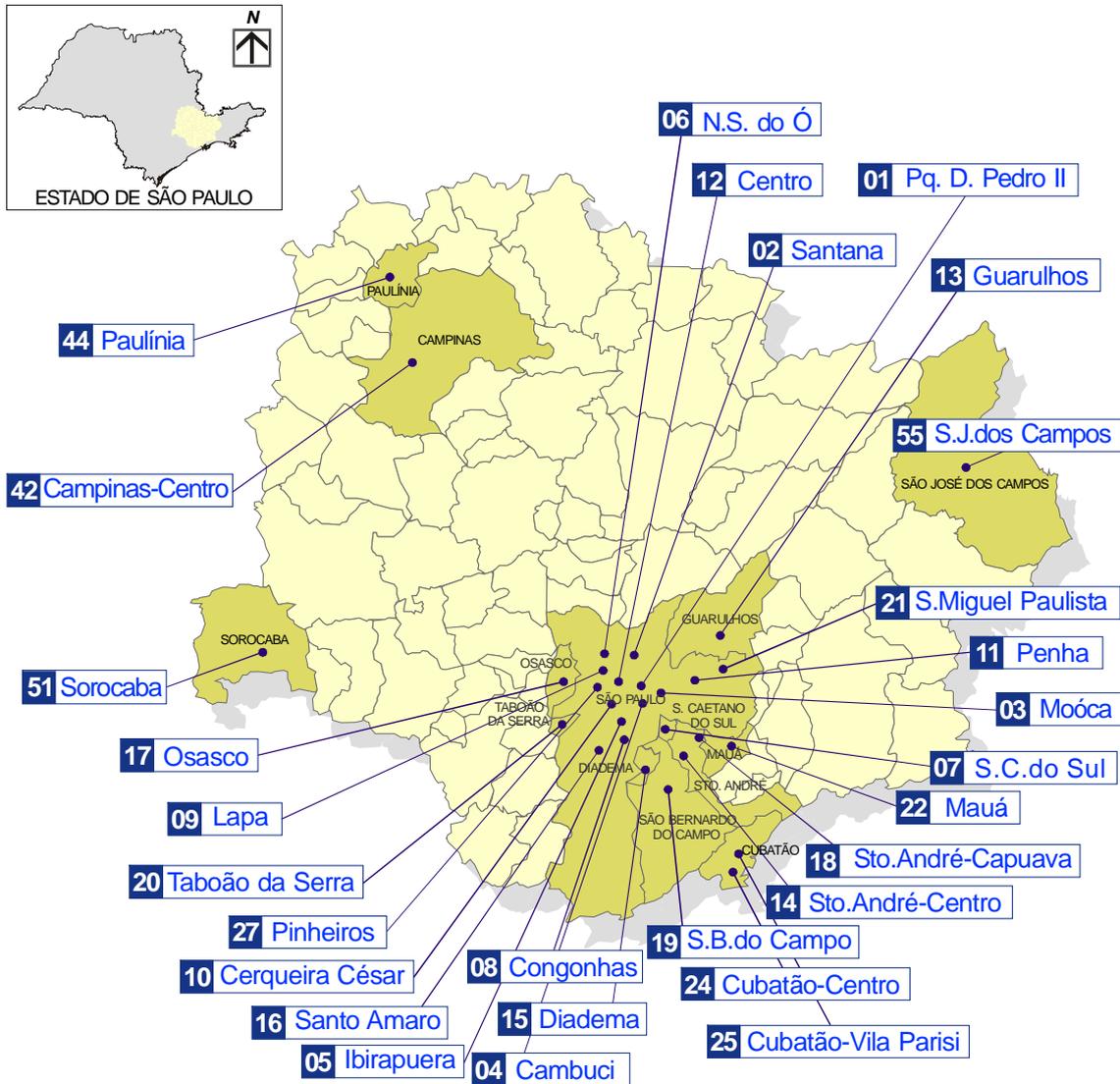


Figura 2 – Localização das estações da rede automática na RMSP

**Tabela 3 – Configuração da rede de monitoramento – RMSP**

ESTAÇÃO Nº	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES	PARÂMETROS																	
		MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	FMC	PTS	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	HCNM	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	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	X	X	X
06	Nossa Senhora do Ó	X																	
07	São Caetano do Sul	X	X		X	X	X	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						X	X		
10	Cerqueira César	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
11	Penha	X																	
12	Centro	X								X									
13	Guarulhos	X														X	X		
14	Santo André - Centro	X								X						X	X		
15	Diadema	X											X						
16	Santo Amaro	X			X					X			X			X	X		
17	Osasco	X			X	X				X			X			X	X		
18	Santo André - Capuava	X			X								X			X	X		
19	São Bernardo do Campo	X			X											X	X		
20	Taboão da Serra	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						

MP<sub>10</sub> Partículas inaláveis

MP<sub>2,5</sub> Partículas inaláveis finas

FMC Fumaça

PTS Partículas Totais em Suspensão

SO<sub>2</sub> Dióxido de enxofre

NO Monóxido de nitrogênio

NO<sub>2</sub> Dióxido de nitrogênio

NO<sub>x</sub> Óxido de nitrogênio

CO Monóxido de carbono

CH<sub>4</sub> Metano

HCNM Hidrocarbonetos totais menos Metano

O<sub>3</sub> Ozônio

VV Velocidade do Vento

DV Direção do Vento

UR Umidade Relativa do Ar

P Pressão Atmosférica

TEMP Temperatura

RAD Radiação Total e Ultra-violeta

## 4.1. Estação Ibirapuera

Apresentam-se a seguir os diversos aspectos relacionados à estação Ibirapuera 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

**Endereço atual:** Av. Manoel da Nóbrega, 1985

Parque do Ibirapuera – Setor 25

**Coordenadas:** Lat. 23° 34' 55" S UTM (23K) 330 592

Long. 46° 39' 25" W UTM (23K) 7 390 026

**Altitude:** 750m

**Altura de captação da amostra:** 3,5m

**Altura do anemômetro:** 10m

**Tabela 4 - Parâmetros monitorados**

<b>Parâmetros</b>	<b>Método</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>
Fumaça	Refletância	Refletômetro Evans	14/11/01	
PTS	Gravimetria	Amostrador de Grande volume	05/11/82	
MP <sub>2,5</sub>	Gravimetria	Dicotômico	16/04/02	
MP <sub>10</sub>	Radiação Beta	PW9790-Philips	02/01/85	30/09/95
MP <sub>10</sub>	Radiação Beta	FH62 I-N-Graseby-Andersen	09/05/96	
SO <sub>2</sub>	Coulometria	PW9755-Philips	01/01/86	30/09/95
SO <sub>2</sub>	Fluorescência de Pulso (ultravioleta)	Modelo 43 – Thermo E.I.I.	07/06/96	
CO	Infravermelho não Dispersivo	Modelo 48 – Thermo E.I.I.	02/05/96	
NO <sub>x</sub>	Quimiluminescência	Modelo 42 – Thermo E.I.I.	10/05/96	
O <sub>3</sub>	Ultravioleta	Modelo 49 – Thermo E.I.I.	22/05/96	
Umidade	Condutometria Higrossensitiva	Lastem	01/05/96	
Temperatura	Termo-Resistividade	Lastem	01/05/96	
VV e DV	Tacômetro/ Goniômetro	Thies	04/01/90	30/09/95
VV e DV	Tacômetro/ Goniômetro	Lastem	01/05/96	
Pressão	Piezométrico	Lastem	01/05/96	
Radiação Global	Radiômetro Fotovoltaico	Lastem	01/05/96	
Radiação UVA	Radiômetro Fotovoltaico	Lastem	01/05/96	
SODAR	Pulso sonoro	Remtech	1996	

### **Condições Locais**

A estação Ibirapuera localiza-se numa região de área verde circundada por áreas urbanizadas onde o uso do solo é predominantemente residencial. Está afastada de fontes veiculares e industriais de influência direta, como mostra a figura 4 .

A via de tráfego intenso mais próxima da estação é a Av. República do Líbano, a cerca de 400 metros de distância. A Av. Quarto Centenário, que fica a cerca de 250 metros da estação, apresenta tráfego mais reduzido de veículos.



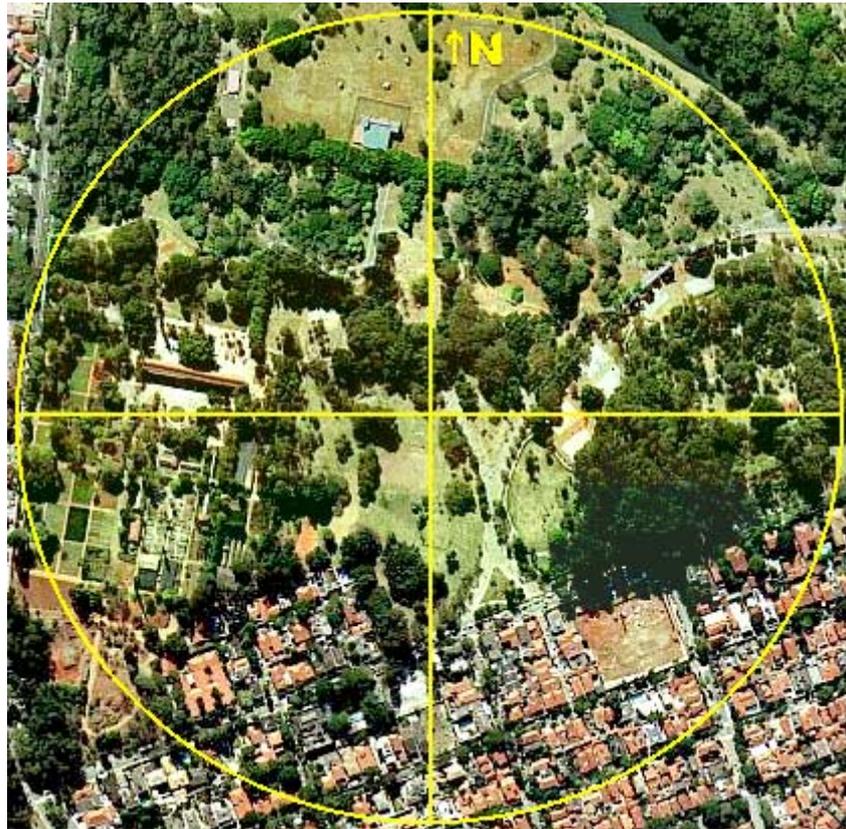


Figura 4 – Mapa-Nata<sup>6</sup> do entorno da estação Ibirapuera com raio de 400m.



**Figura 5 - Vista da estação Ibirapuera**



**Figura 6 - Vista aérea da estação Ibirapuera**



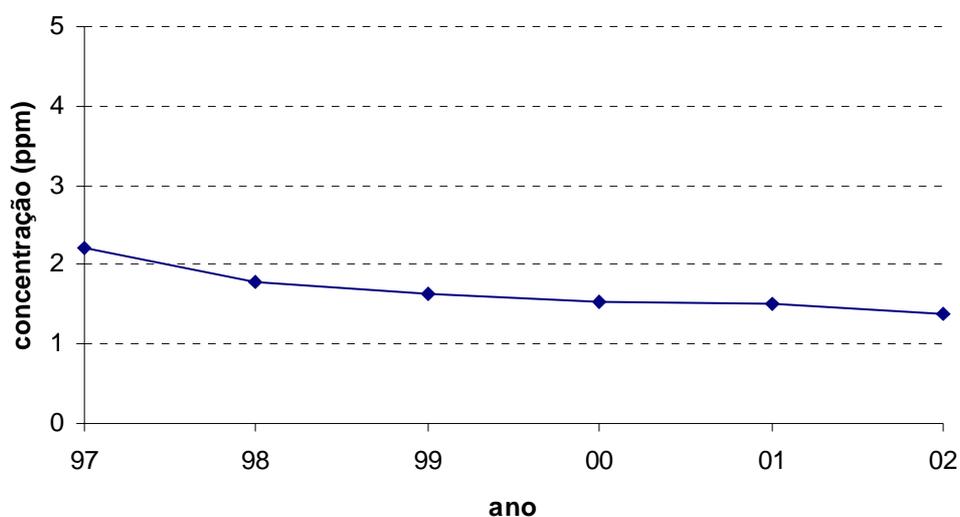
**Figura 7 - Vistas do entorno da estação Ibirapuera**

#### 4.1.2. Tendências da Qualidade do Ar

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

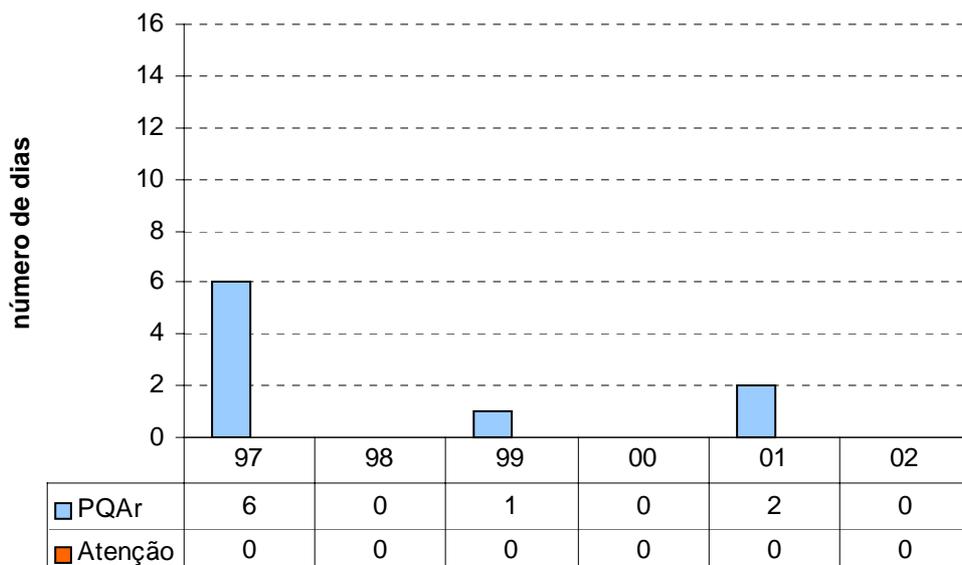
##### Monóxido de Carbono - CO

A figura 8 demonstra um decréscimo, no período de 1997 a 2002, das concentrações médias das máximas de 8 horas diárias de monóxido de carbono na estação Ibirapuera.



**Figura 8 - CO - Médias das máximas (médias de 8 horas)**

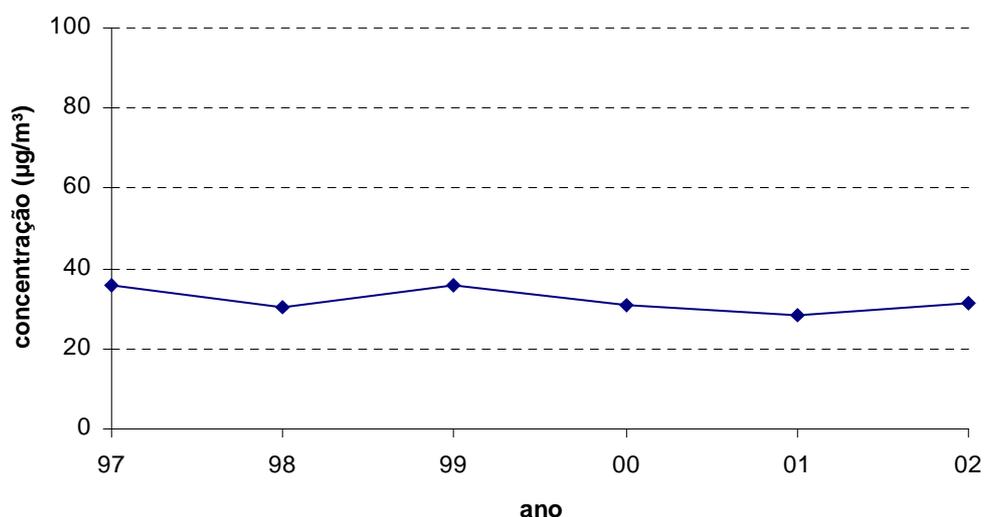
A análise considerando o número de dias de ultrapassagem dos níveis do PQAr (9ppm) e Atenção (15ppm), médias de 8 horas, apresentada na figura 9, mostra que esta estação atualmente apresenta poucas ultrapassagens do padrão de 8 horas.



**Figura 9 - CO - Número de dias de ultrapassagem do PQAr e nível de Atenção de 1997 a 2002**

### Monóxido de Nitrogênio - NO

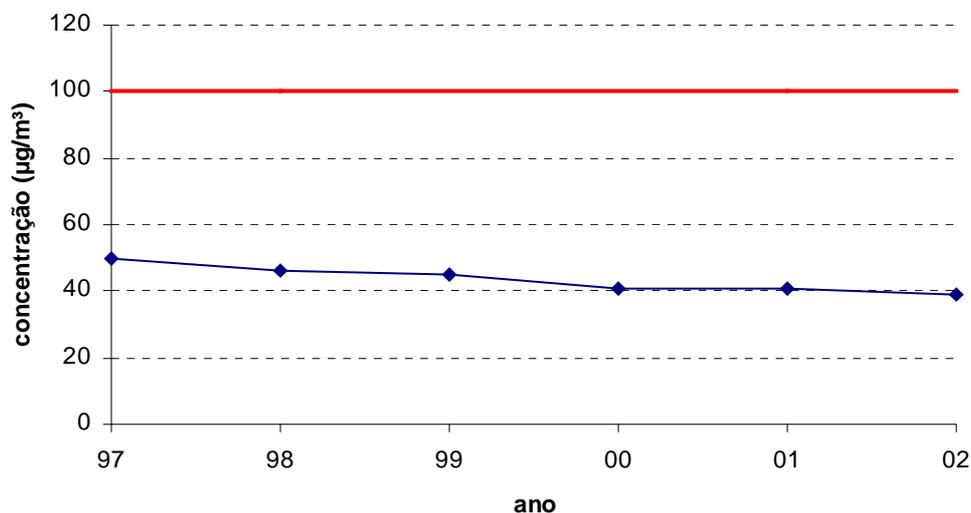
A figura 10 apresenta as concentrações médias anuais de monóxido de nitrogênio na estação Ibirapuera, de 1997 a 2002, considerando-se o período das 7 às 11 horas, quando se observaram as maiores concentrações. Os valores médios, abaixo de  $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ , apresentaram pequena variação e não demonstraram tendência de aumento ou queda no período considerado.



**Figura 10 - NO - Médias anuais no período das 07 às 11 horas**

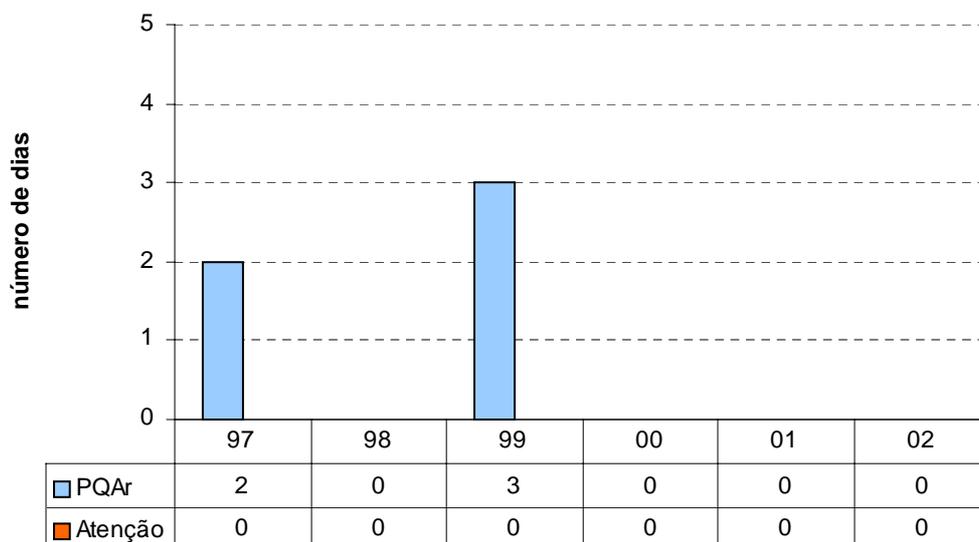
## Dióxido de Nitrogênio - NO<sub>2</sub>

A figura 11 mostra as concentrações médias anuais de NO<sub>2</sub> na estação Ibirapuera, no período de 1997 a 2002, onde observa-se que as concentrações encontram-se em torno de 50µg/m<sup>3</sup>, metade do PQAr anual para esse poluente, com uma tendência de redução, chegando a 39µg/m<sup>3</sup> em 2002.



**Figura 11 - NO<sub>2</sub> - Médias aritméticas anuais**

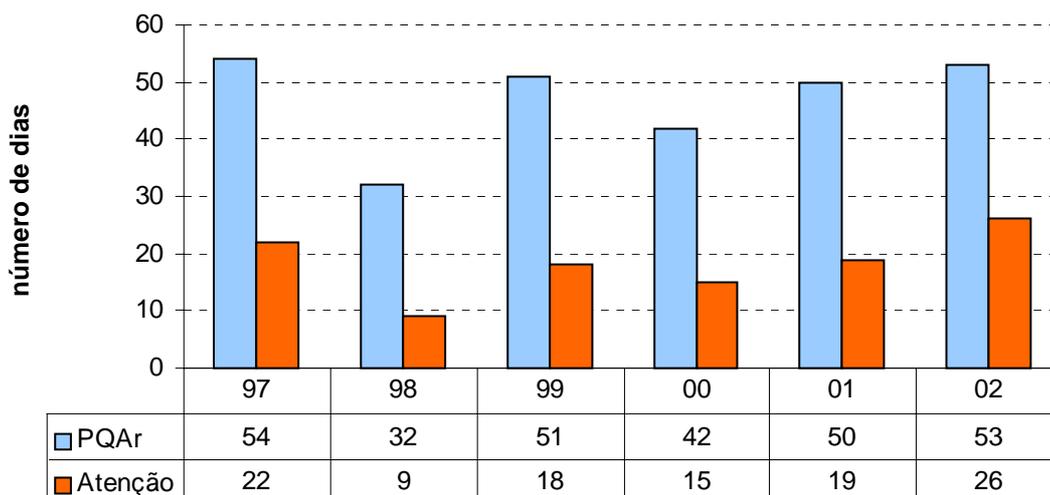
Com relação ao PQAr de 1 hora (320µg/m<sup>3</sup>), há três anos não é ultrapassado, conforme se observa na figura 12.



**Figura 12 - NO<sub>2</sub> - Número de dias de ultrapassagem do PQAr e nível de Atenção de 1997 a 2002**

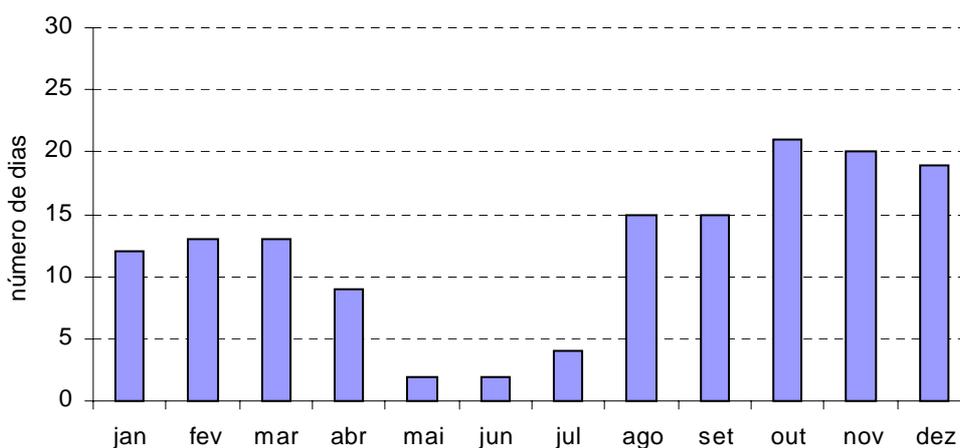
## Ozônio - O<sub>3</sub>

A figura 13 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 Ibirapuera no período de 1997 a 2002. Nesta figura, pode-se observar que a quantidade de ultrapassagens do PQAr e Nível de Atenção é bastante alta na estação Ibirapuera, e está relacionada às altas emissões de precursores na região, favorecidas pelas condições de localização da estação, distante de vias.



**Figura 13 - O<sub>3</sub> - Número de dias de ultrapassagem do PQAr e nível de Atenção de 1997 a 2002**

Em termos de distribuição por estação do ano, observa-se na figura 14 que a maior freqüência de dias de ultrapassagens do PQAr ocorre na primavera e verão e é menor nos meses de inverno.



**Figura 14 - O<sub>3</sub> - Distribuição mensal do número de dias de ultrapassagem do PQAr no período de 1997 a 2002**

## Dióxido de Enxofre - SO<sub>2</sub>

A análise da figura 15 mostra que os níveis de concentração de SO<sub>2</sub> (médias aritméticas anuais) registrados estão bem abaixo do PQAr anual de 80µg/m<sup>3</sup>.

Os dados mostram que esses níveis têm sido mantidos e, no caso da estação Ibirapuera, apresentam-se abaixo de 10µg/m<sup>3</sup>.

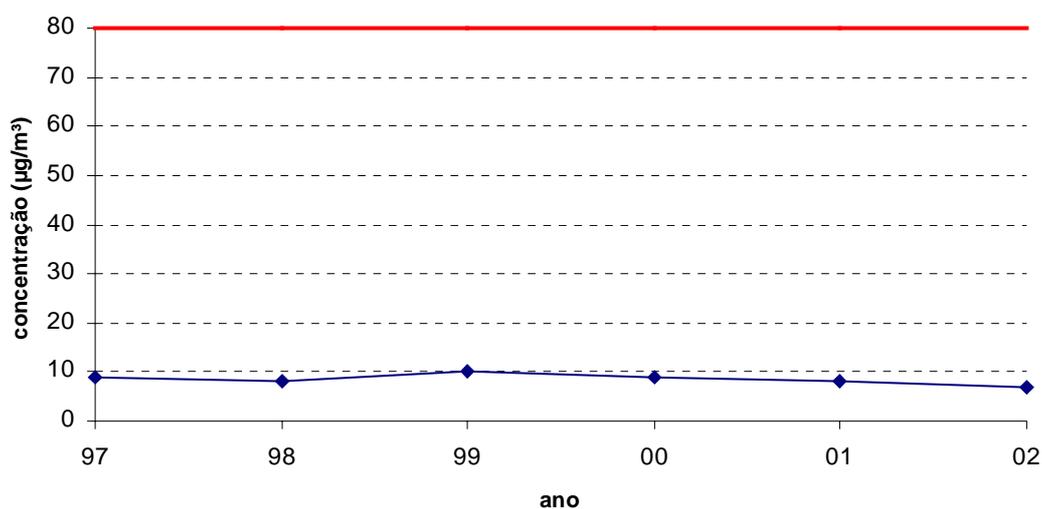


Figura 15 - SO<sub>2</sub> - Médias aritméticas anuais

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

A figura 16 apresenta a evolução das médias aritméticas anuais de MP<sub>10</sub> nos últimos 6 anos na estação Ibirapuera. O comportamento das médias anuais, que em 1997 se encontrava acima do PQAr anual, vem, ao longo dos últimos anos, apresentando um decréscimo nesta estação.

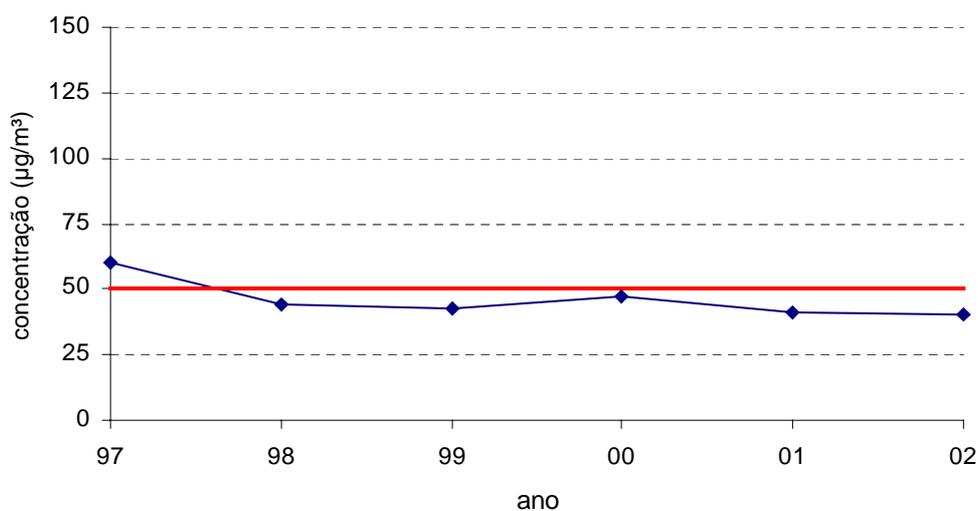
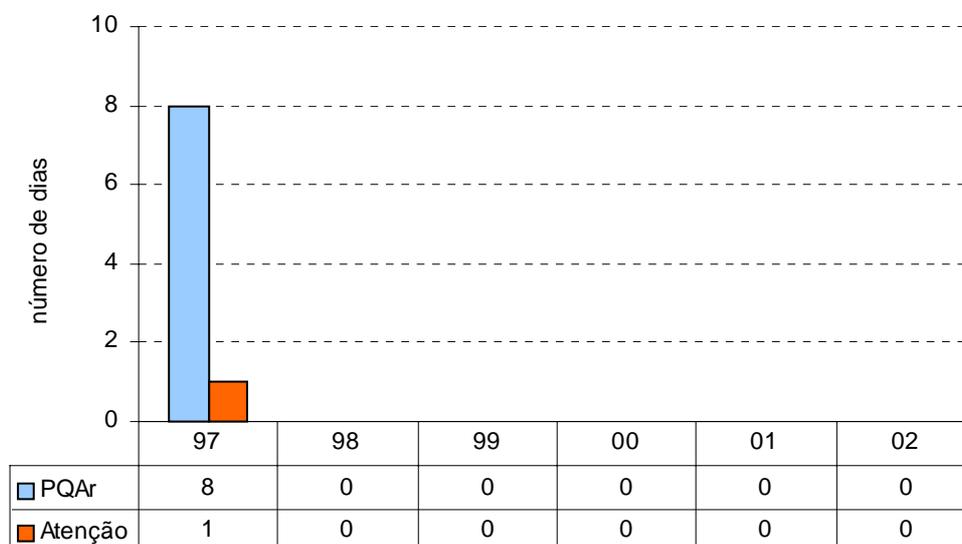


Figura 16 - MP<sub>10</sub> - Médias aritméticas anuais

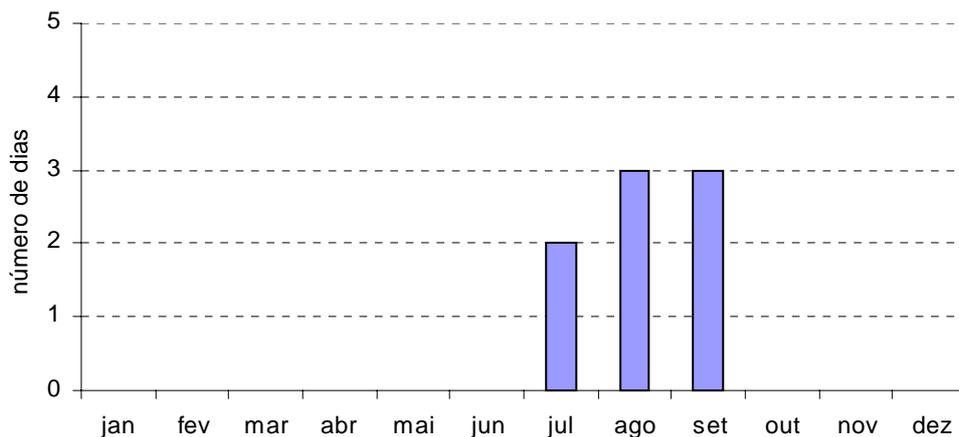
Com relação ao padrão legal de curto prazo de  $MP_{10}$  ( $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  - média de 24 horas), conforme apresentado na figura 17, não há ultrapassagens a partir de 1997 na estação Ibirapuera.



**Figura 17 -  $MP_{10}$  - Dias de ultrapassagem do PQA e nível de Atenção de 1997 a 2002**

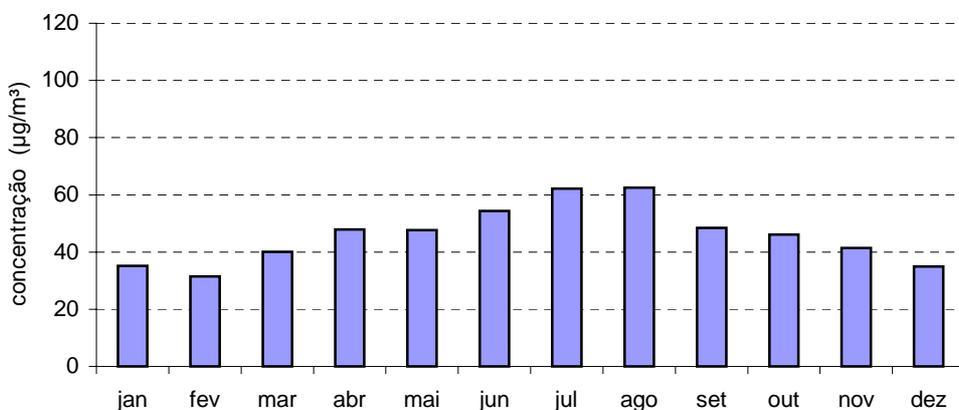
Em termos sazonais, sabe-se que no Estado de São Paulo os níveis mais elevados de concentração dos poluentes primários, ou seja, aqueles emitidos diretamente pelas fontes emissoras, são observados no período de inverno (maio a setembro). Isso ocorre pela presença de condições meteorológicas desfavoráveis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

Com base nesse fenômeno, fez-se uma análise identificando os meses de ocorrência dos episódios de ultrapassagem do PQA e do nível de Atenção no período de 1997 a 2002, apresentada na figura 18. Pode-se observar que nesse período não houve ultrapassagens do PQA nos meses de verão, concentrando-se todos os episódios nos meses de julho a setembro. A maior frequência de ultrapassagens foi observada nos meses de agosto e setembro (3 episódios). Deve-se salientar ainda que todos os episódios ocorreram no ano de 1997.



**Figura 18 - MP<sub>10</sub> - Distribuição mensal do número de dias de ultrapassagem do PQA no período de 1997 a 2002**

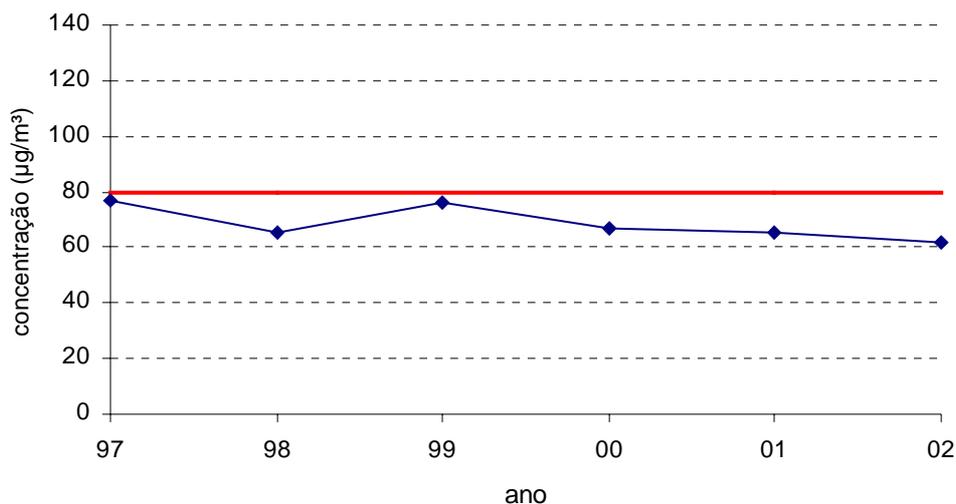
Com a finalidade de evitar que a análise do comportamento sazonal seja influenciada por períodos curtos altamente desfavoráveis à dispersão dos poluentes, fez-se também uma análise das médias mensais nesses mesmos cinco anos, apresentada na figura 19. Nessa figura, observa-se que as concentrações de MP<sub>10</sub> apresentaram uma significativa elevação durante os meses de inverno na estação Ibirapuera, apresentando suas máximas concentrações nos meses de julho e agosto.



**Figura 19 - MP<sub>10</sub> - Médias mensais no período de 1997 a 2002**

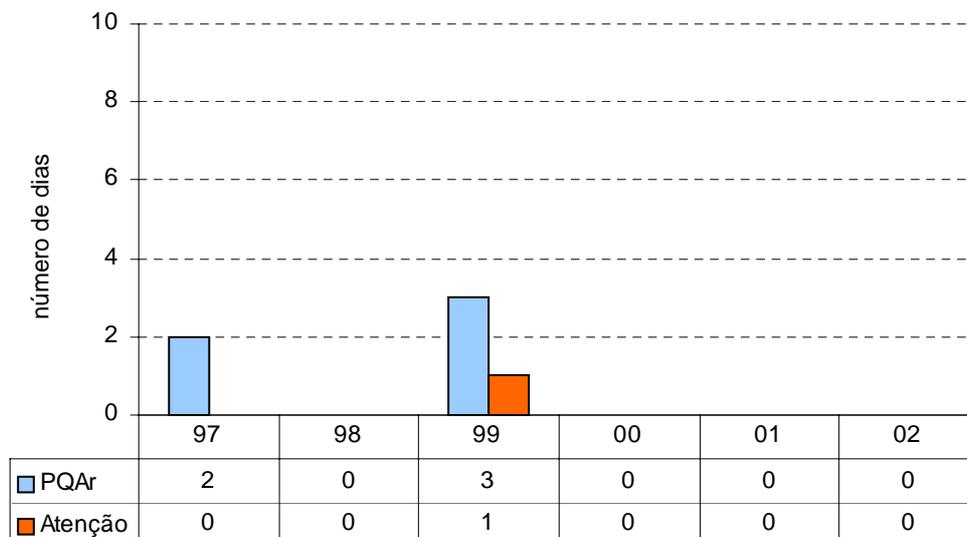
### Partículas Totais em Suspensão - PTS

A figura 20 apresenta a evolução das médias geométricas anuais de PTS. Nesta figura, observa-se que as concentrações médias anuais apresentam uma tendência de queda, porém menos acentuada que no caso do MP<sub>10</sub>. Desde 1997 o PQA anual não é excedido, embora as concentrações ainda se apresentem muito próximas deste.



**Figura 20 - PTS - Médias geométricas anuais**

A figura 21 apresenta o número de dias de ultrapassagem do PQAr por PTS ( $240\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) na estação Ibirapuera nos últimos cinco anos. Observa-se que o maior número de ultrapassagens - 3 dias - ocorreu em 1999 e, desde então, não houve ultrapassagens.



**Figura 21 - PTS - Dias de ultrapassagem do PQAr e Atenção de 1997 a 2002**

#### 4.1.3. Microinventário de Fontes

Para avaliar o impacto das fontes na estação, normalmente são levantadas todas as fontes prioritárias definidas em duas regiões delimitadas por dois círculos concêntricos, de 400m e de 2000m de raio, divididas em setores.

## **Fontes Fixas**

A estação Ibirapuera encontra-se localizada numa região com características predominantemente residenciais, onde não é permitida a instalação de indústrias, sendo que também existem sérias restrições ao comércio e serviços em grande parte da área . De acordo com a Agência Ambiental de Pinheiros, as poucas fontes fixas encontradas não são significativas, provenientes de restaurantes, padarias, pizzarias, etc., além de postos de combustíveis.

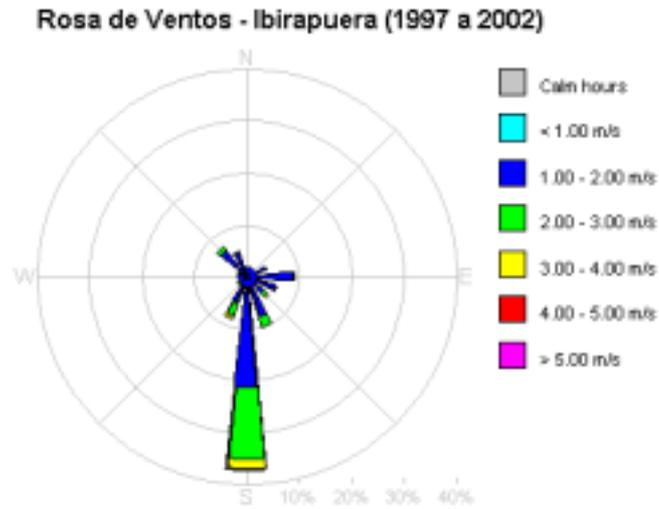
## **Fontes Móveis**

As principais vias mais próximas da estação são: a Av. República do Líbano a aproximadamente 400 metros, que apresenta um volume de tráfego bastante intenso e a Av. IV Centenário a 250 metros da estação, com um tráfego menor. Num segundo círculo de 2000 metros de raio, encontramos importantes avenidas que cortam a região, tais como: Av. Brasil, Av. Santo Amaro, Av. Brigadeiro Luís Antônio, Av. Ibirapuera, Av. 9 de Julho e o corredor Av. 23 de Maio / Rubem Berta / Moreira Guimarães. Não foi mensurado o volume de tráfego nas imediações pois observou-se que as emissões são equivalentes no entorno da Estação.

### **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 podem-se observar direções predominantes e velocidades médias para um grande período de tempo. A figura 22, que representa a rosa de ventos da estação Ibirapuera para os anos 1997 a 2002, mostra a direção Sul como a de ventos predominantes. A porcentagem de calma e ventos variáveis (normalmente ventos fracos) nesta estação foi muito alta, de 52% para os anos considerados, percentual este de cerca de metade do período monitorado.



**Figura 22 - Rosa de ventos de superfície da estação Ibirapuera para os anos 1997 a 2002.**

Na tabela 5, são apresentadas as freqüências de direção dos ventos ao longo do dia no período de 1997 a 2002, permitindo uma análise média do regime de circulação do ar na região.

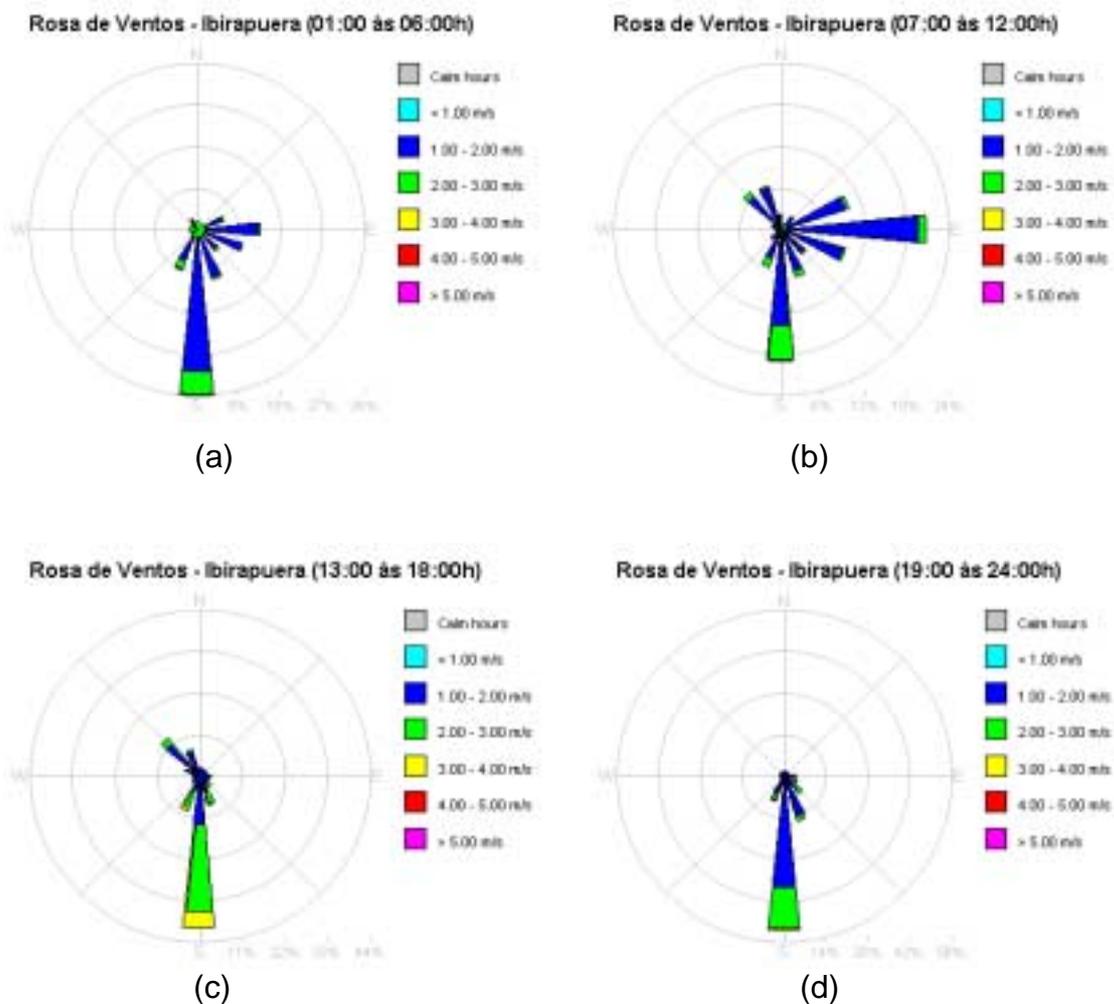
**Tabela 5 - Frequência do vento de superfície na estação Ibirapuera em cada quadrante ao longo do dia**

Hora	NE	SE	SW	NW	Calm/var
01:00	62	339	148	20	1520
02:00	54	311	147	25	1556
03:00	59	285	154	23	1576
04:00	64	255	139	27	1601
05:00	74	241	133	27	1620
06:00	96	212	141	27	1626
07:00	91	212	123	30	1640
08:00	166	313	136	38	1470
09:00	317	493	167	74	1083
10:00	358	507	188	171	908
11:00	344	515	216	293	761
12:00	231	492	261	428	718
13:00	144	492	320	533	646
14:00	83	458	434	558	600
15:00	53	463	537	517	563
16:00	29	527	626	424	526
17:00	14	614	643	282	574
18:00	13	672	650	153	640
19:00	11	674	613	86	739
20:00	13	654	468	47	936
21:00	18	583	342	29	1138
22:00	22	515	249	29	1284
23:00	36	438	198	22	1403
24:00	62	371	180	24	1453

Os resultados mostram que:

- Durante a noite até o meio da manhã, predomina a condição de calmaria, tendo a sua máxima frequência às 7h. É o período que apresenta a pior condição de dispersão dos poluentes;
- O vento de NE apresenta maior frequência no período entre 08 e 12hs;
- Entre 11h e 13h, predominam as condições de calmaria e os ventos do quadrante SE, com máxima frequência às 11h.
- Das 11h até as 16h, aumentam os ventos do quadrante NW, equiparando-se aos ventos de SE. A frequência de calmaria mantém-se nos mesmos patamares.
- Das 17h às 20h, observa-se redução na frequência de ventos de NW e aumento dos ventos de SE e SW;
- O vento de SE predomina na maior parte do dia, apresentando menor frequência durante a madrugada e manhã, período no qual predominam calmarias.

Para uma melhor visualização do comportamento dos ventos na estação Ibirapuera, foram feitas rosas de ventos em períodos do dia (figuras 23a, b, c, d), quando são observadas mudanças nas direções com o decorrer do dia.



**Figura 23 - Rosas de ventos de superfície da estação Ibirapuera para os anos 1997 a 2002. Madrugada (a), manhã (b), tarde (c) e noite (d).**

Na figura 23a, que mostra a rosa de ventos para o período da madrugada (1h às 6h), observa-se predominância da direção S. A segunda direção predominante é a de E, mas aparece com muito menor frequência que a de S. Neste período, a velocidade é bastante baixa e a porcentagem de calmaria e de ventos variáveis é muito alta (76%).

No período da manhã (7h às 12h) (figura 23b), observa-se uma contribuição de E até um pouco maior que a de S. Apesar destas duas direções serem predominantes durante a manhã, este é o período em que as direções do vento são mais variáveis. Neste período do dia, a porcentagem de calmaria e ventos variáveis foi de 52%.

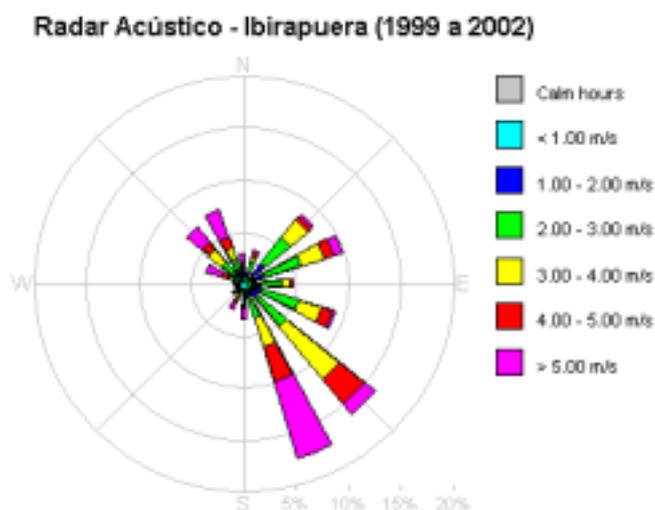
Na figura 23c, que mostra o comportamento do vento à tarde (13h às 18h), existe uma pequena contribuição de NW, porém, a direção S é a predominante. Durante a tarde, a velocidade média é a mais alta de todo o período do dia e a porcentagem de calmaria e de ventos variáveis a mais baixa, apesar de ainda ser considerada bastante significativa (28%).

O comportamento no período da noite (19h às 24h), apresentado na figura 23d, mostra que praticamente não existe contribuição de outras direções que não a S. A porcentagem de calmaria e de ventos variáveis volta a ficar alta e atinge 55%.

A análise das figuras 22, 23 e tabela 5 mostra que o vento na estação Ibirapuera é muito fraco, existe uma alta porcentagem de calmaria e, quando existe uma direção predominante, ela é praticamente a mesma durante todo o dia (direção S). Isto deve ocorrer em parte porque o anemômetro instalado nesta estação está sendo bastante influenciado por obstáculos locais (árvores neste caso), como pode ser observado na figura 6, que mostra o entorno da estação. Além dos equipamentos da rede de monitoramento automáticos, a estação Ibirapuera possui um radar acústico que mede, entre outros parâmetros, direção e velocidade dos ventos em vários níveis de altitude. O nível de medição mais próximo da superfície é 50m.

A seguir são feitas análises dos ventos do radar acústico, que devem ser os mais representativos da região do Ibirapuera.

A figura 24, que apresenta a rosa de ventos dos dados do radar acústico, a 50m de altitude, situado no Ibirapuera, para os anos de 1999 a 2002. Observa-se o quadrante SE como o predominante, embora sejam observadas contribuições dos quadrantes NE e NW. A porcentagem de calmaria e de ventos variáveis foi de apenas 1,2%. Além da menor porcentagem de calmaria que na estação de superfície, pode-se notar que as velocidades são mais altas a 50m de altitude. Isto se deve ao fato de que o vento a esta altitude já não está sendo tão afetado pelos efeitos dos obstáculos locais, bem como pelo atrito e rugosidade do solo.



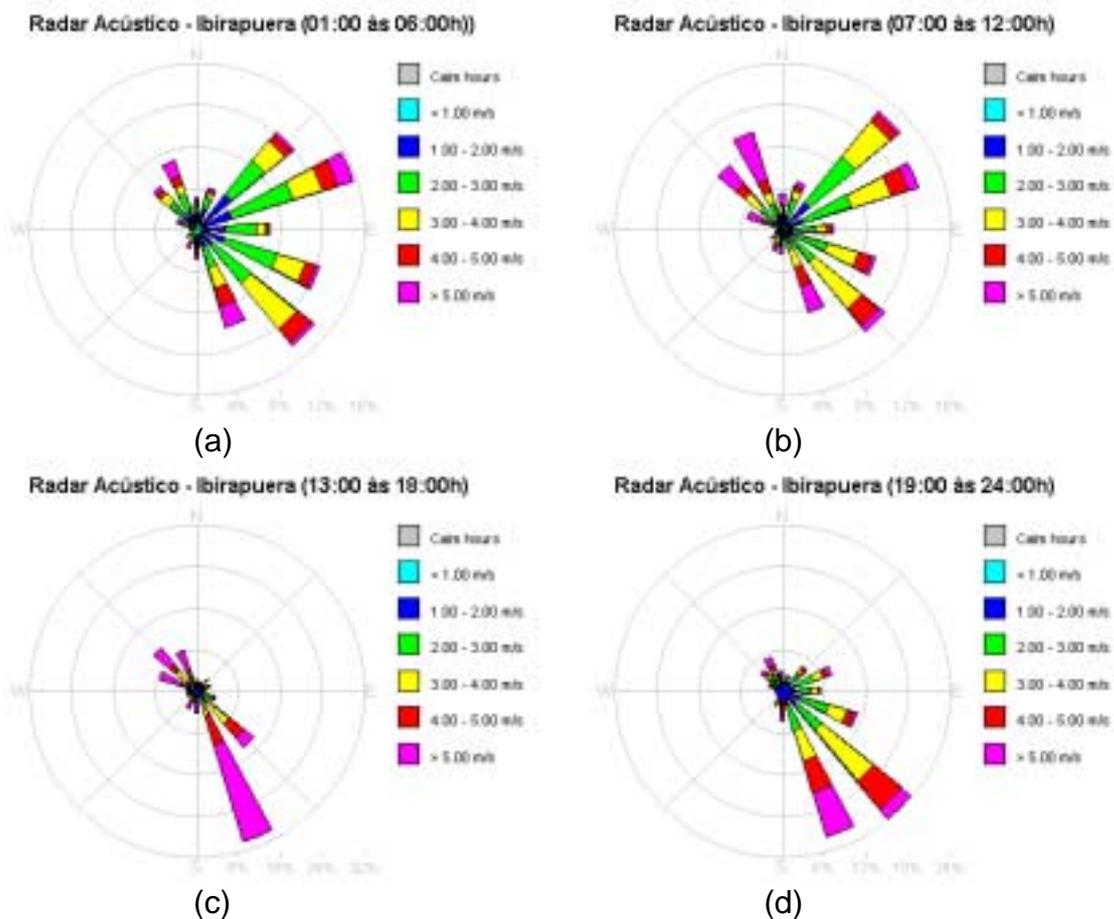
**Figura 24 - Rosa de ventos do radar acústico (50m) na estação Ibirapuera para os anos 1999 a 2002.**

**Tabela 6 - Freqüência do vento do radar acústico (50m) na estação Ibirapuera 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>
01:00	404	567	54	174	28
02:00	402	553	55	189	32
03:00	443	510	56	203	24
04:00	444	476	77	218	22
05:00	482	449	70	210	22
06:00	501	431	65	215	26
07:00	512	423	56	225	18
08:00	512	401	72	233	14
09:00	490	403	71	241	12
10:00	479	400	62	263	7
11:00	383	402	59	352	3
12:00	295	409	82	410	1
13:00	199	467	94	434	3
14:00	136	503	134	415	2
15:00	106	568	140	370	3
16:00	78	619	138	329	6
17:00	86	703	112	274	8
18:00	75	770	97	261	8
19:00	95	818	94	195	6
20:00	140	827	89	163	10
21:00	171	811	80	152	15
22:00	245	741	72	151	18
23:00	310	668	54	162	29
24:00	359	617	55	176	25

Os resultados mostram que:

- Durante a tarde até o meio da madrugada, entre 14h e 4h, os ventos predominantes são do quadrante SE, com máxima freqüência às 20h;
- No final da madrugada até o meio da manhã (5h às 10h), além da contribuição do SE existe a do NE, com freqüência ainda maior que do SE;
- No meio do dia (12h às 13h), são predominantes os ventos dos quadrantes SE e NW;
- A porcentagem de calmaria e de ventos variáveis é bastante baixa durante todo o dia, porém, é no período noturno e madrugada que ocorre com um pouco mais de freqüência. Vale lembrar que esta freqüência tão baixa ocorre devido ao fato de estes dados terem sido medidos a 50m de altitude.



**Figura 25 - Rosas de ventos do radar Acústico (50m) na estação Ibirapuera para os anos 1999 a 2002. Madrugada (a), manhã (b), tarde (c) e noite (d).**

Na figura 25a, que mostra a rosa de ventos para o período da madrugada (1h às 6h), observa-se predominância dos quadrantes NE e SE. Neste período a porcentagem de calma e ventos variáveis é de 2,1%.

No período da manhã (7h às 12h) (figura 25b), os ventos do NE são, ainda, os predominantes, seguidos dos do SE apesar de, neste período, a contribuição deste quadrante ser um pouco menor que durante a madrugada. Há ainda uma contribuição do quadrante NW, que, apesar de menor que a dos outros dois quadrantes citados acima, pode ser considerada significativa. A porcentagem de calma e de ventos variáveis é de apenas 0,8%.

Durante a tarde (13h às 18h) (figura 25c), observa-se predominância de ventos do quadrante SE e uma pequena contribuição do NW. Neste período do dia, a velocidade média é bastante alta e a porcentagem de calma e ventos variáveis muito baixa, apenas 0,4%.

À noite (19h às 24h) (figura 25d) continua a predominância dos ventos do SE, mas, a velocidade média é um pouco inferior à do período da tarde e a porcentagem de calma e ventos variáveis 1,4%.

É necessário salientar que as rosas dos ventos do SODAR seguem o padrão climatológico da RMSP, ou seja, existe uma predominância de ventos de SE, enquanto que as rosas construídas com os ventos medidos na estação apresentam um padrão predominante de S. Esta diferença pode ser explicada ao observarmos a Figura 4 que mostra o entorno da estação, onde existe um corredor formado por vegetação ao sul da estação.

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

1. 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 (figura 23 e tabela 5, quando considerados os ventos de superfície, e figura 25, tabela 6, no caso dos dados do radar acústico).
2. Avaliar os perfis de concentração de cada poluente medido na estação ao longo do dia, por dia da semana. Esta análise foi feita considerando o comportamento dos poluentes em cada um dos dias da semana no período de maio a setembro, em que as concentrações são mais altas. Fez-se também uma análise das médias de inverno (de maio a setembro) e verão (de outubro a abril) para os poluentes monitorados.
3. Analisar as concentrações médias em função de diferentes velocidades de vento, com ventos soprando dos quadrantes NE, SE, SW e NW, e em condições de calmaria e vento variável. Os períodos do dia foram selecionados com base nas distribuições diárias de concentração obtidas;
4. Verificar a que quadrante de vento estão associadas as maiores concentrações médias e checar se o vento deste quadrante é o predominante (tabelas 5 ou 6, conforme o caso) nos horários de pico de emissão dos poluentes.

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

5. 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;
6. No caso do ozônio, a análise foi feita com base nos dados de ultrapassagem de padrão (frequência de dados maiores que  $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) no período das 12h às 17 horas.

As análises foram feitas separadamente para cada poluente, uma vez que a 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.

## Monóxido de Carbono - CO

A figuras 26 e 27 ilustram as variações sazonais e por dia da semana do CO na estação Ibirapuera. O perfis de inverno e verão apresentados ilustram as diferenças resultantes das variações meteorológicas médias na condição de dispersão dos poluentes, determinantes principalmente no período noturno. Com relação às variações por dia da semana (figura 27), observa-se que os perfis de segunda a sexta-feira são bastante semelhantes, e que as concentrações de CO caem bastante no sábado e domingo, quando não se observa o pico matutino.

Em termos médios, o perfil das concentrações horárias de CO ao longo do dia, mostra que há dois máximos preferenciais de concentração, um no período entre 7h e 11h da manhã e outro no período noturno, entre 19h e 3h.

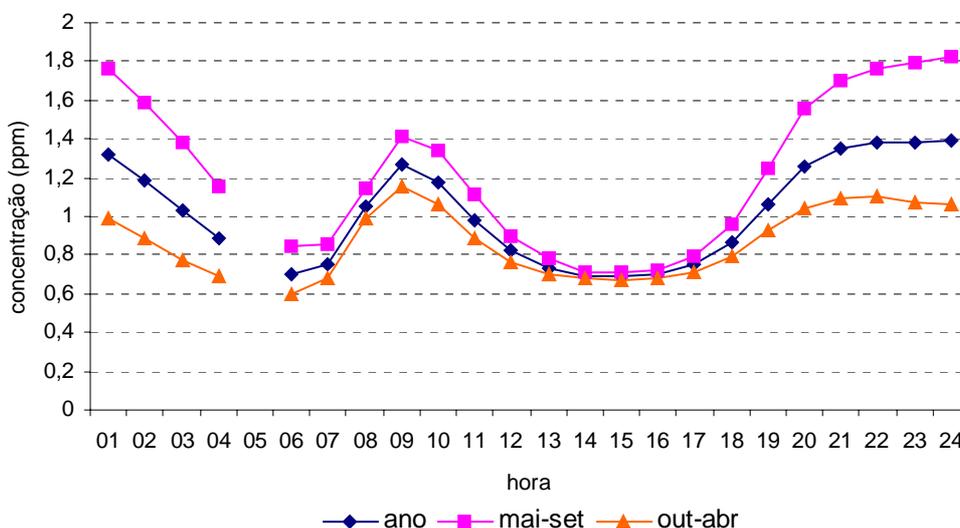


Figura 26 - CO - Médias horárias por época do ano no período de 1997 a 2002

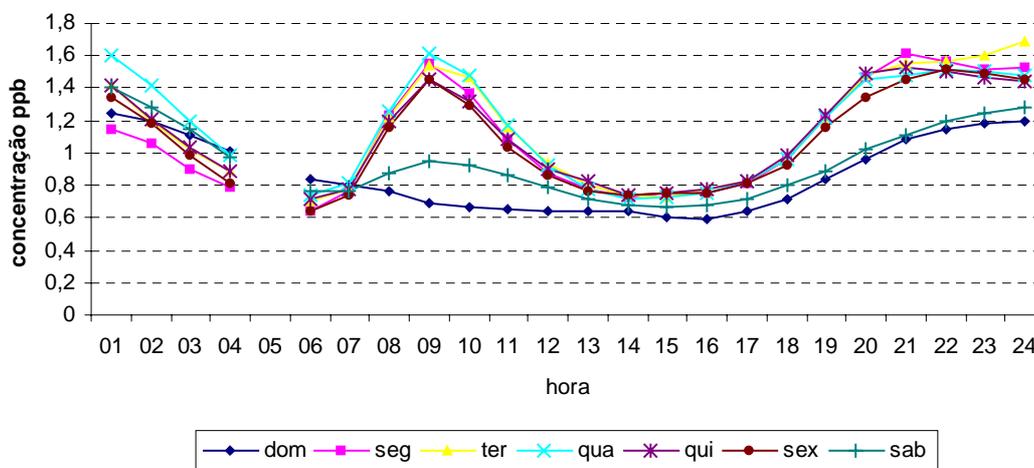
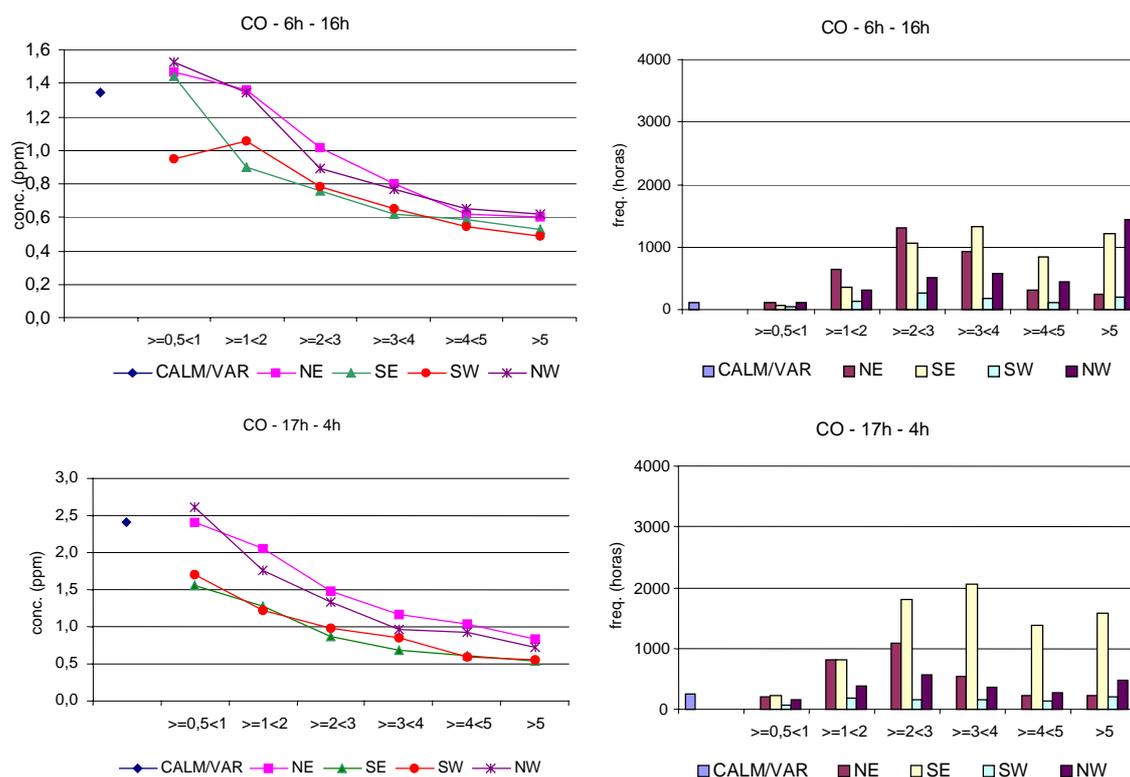


Figura 27 - CO - Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2002

Por serem esses os períodos que mais contribuíram para as concentrações de CO observadas na estação, foram então considerados para elaboração dos gráficos que ilustram as concentrações do poluente em função da velocidade e do quadrante do vento, conforme figura 28.

Para análise deste poluente, foram utilizados os dados de vento obtidos com o radar acústico, uma vez que os dados obtidos através do anemômetro podem refletir a circulação local, em virtude das copas das árvores no entorno da estação.



**Figura 28 – CO - Médias e frequência de ocorrência (horas) nos períodos das 6h às 16h e das 17 às 4h, em função de velocidade e quadrante dos ventos medidos a 50 m da superfície, no período de 1999 a 2002**

As concentrações médias de CO foram maiores no período noturno (das 17h às 4h), embora a emissão seja muito significativa no período diurno, o que mostra a persistência deste poluente na atmosfera, em condições de dispersão desfavoráveis.

Apesar de o entorno da estação ser relativamente homogêneo no que diz respeito às fontes de emissão deste poluente, as maiores concentrações foram observadas com ventos fracos soprando dos quadrantes NW e NE. Isto se deve provavelmente ao fato de os ventos de NE serem mais frequentes no início da manhã quando ocorre um pico de emissão e a camada de mistura costuma ser baixa, já os ventos de NW em geral ocorrem quando a região encontra-se sob o domínio de um anticiclone subtropical, em dias que antecedem a entrada de uma frente fria, isto é, há uma massa de ar estagnada, com ventos fracos ou com muitas horas de calmaria, principalmente durante a

noite e madrugada, o que propicia condições desfavoráveis à dispersão dos poluentes atmosféricos.

A presença de um anticiclone subtropical, antecedendo a entrada de frentes frias geralmente provoca, durante o dia, ventos de rajada, explicando assim a grande frequência de ventos fortes de NW, ao contrário dos ventos de SE que se caracterizam por serem constantes. No caso de ventos fortes, entretanto, não se observam diferenças significativas nas concentrações, quaisquer que sejam as direções dos ventos.

Considerando-se o que foi dito nos parágrafos anteriores, as diferenças nos níveis de concentração em função da direção do vento estão mais relacionadas às condições de dispersão do que às fontes de emissão, isto é, o estudo não contradiz a constatação de que a massa de ar no entorno da estação apresenta concentrações relativamente homogêneas. Assim, pode-se concluir que a estação está bem localizada para monitorar este poluente.

De maneira geral, as concentrações médias diminuem com o aumento da velocidade do vento, indicando que as condições de dispersão são mais importantes do que o transporte de regiões mais afastadas, classificando-se esta estação, em termos de abrangência, como representativa de bairro.

Entretanto, pelas características de localização e topografia, esta estação também recebe o impacto da poluição por CO em escala urbana, conforme se conclui dos estudos de casos que indicam a preponderância de fatores meteorológicos nos episódios de alta concentração.

### **Episódios de alta concentração**

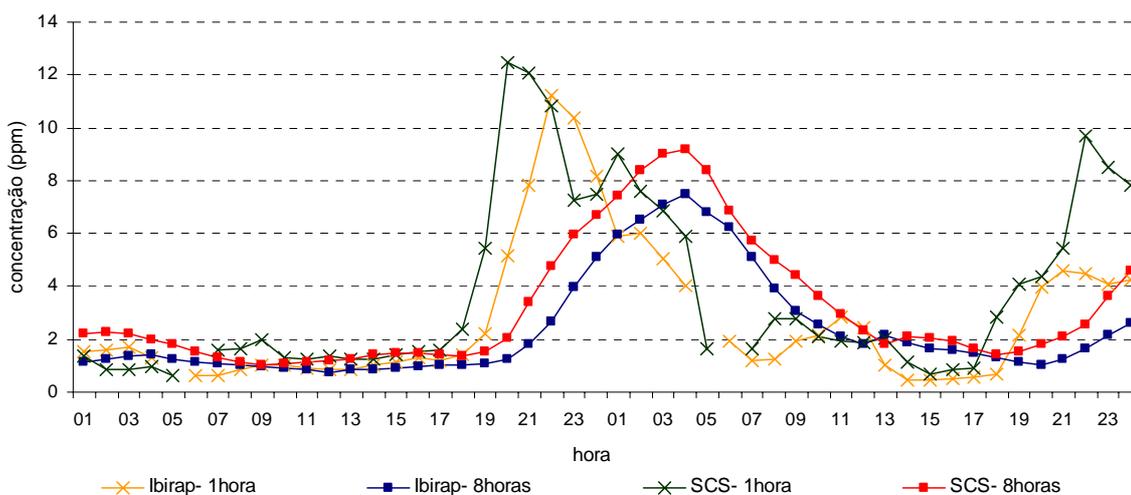
No intuito de identificar se os resultados observados sob condições médias representam o comportamento em situações mais agudas, apresenta-se o comportamento das concentrações de CO nos dias em que a média de 8 horas esteve mais elevada no ano de 2002.

Nos dias 24 e 25 de julho de 2002, condições meteorológicas bastante desfavoráveis à dispersão de poluentes produziram os níveis mais elevados de concentração do ano na estação Ibirapuera. A tabela 7 apresenta a distribuição dos dados horários de CO, direção e velocidade do vento, onde pode-se observar que as concentrações mais elevadas ocorreram no período noturno, sob condições de ventos fracos.

**Tabela 7 - Dados de concentração de CO e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera nos dias 24 e 25/07/2002**

Dia	24-jul-02			25-jul-02		
	Conc. (1h) ppm	Veloc. m/s	Quadrante	Conc. (1h) ppm	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	1,5	1,2	SE	5,9	3,4	NE
02:00	1,6	1,8	SE	6,0	2,4	NE
03:00	1,7	2,1	SE	5,0	2,2	NE
04:00	1,3	2,1	NE	4,0	3,3	NE
05:00	-	-	-	-	-	-
06:00	0,6	1,4	NE	1,9	1,8	NE
07:00	0,6	2,3	NE	1,2	1,2	NE
08:00	0,9	3,0	NE	1,2	1,5	NE
09:00	1,0	3,2	SE	1,9	1,2	NE
10:00	1,0	4,1	NE	2,2	1,3	NE
11:00	0,9	3,5	SE	2,8	2,3	NE
12:00	0,8	3,9	NE	2,4	3,0	NW
13:00	0,9	3,2	SE	1,0	3,7	NW
14:00	1,0	2,5	NE	0,5	3,0	NW
15:00	1,1	2,0	SE	0,4	3,5	NW
16:00	1,3	1,6	NE	0,5	2,0	SW
17:00	1,2	2,0	NE	0,6	0,4	SW
18:00	1,4	2,0	NE	0,7	0,6	NW
19:00	2,2	2,2	SE	2,1	3,7	SE
20:00	5,2	1,1	NE	4,0	5,0	NE
21:00	7,8	1,5	NE	4,6	4,3	NE
22:00	11,2	1,4	NE	4,5	4,5	NE
23:00	10,4	0,2	SE	4,1	2,7	NE
24:00	7,5	0,4	NE	0,7	4,3	NE

A figura 29 apresenta os dados de concentração de 1 hora e média de 8 horas para o mesmo dia das estações Ibirapuera e São Caetano do Sul. O objetivo da comparação é identificar se nos dias em que ocorreram as maiores médias anuais no Ibirapuera foram observadas concentrações elevadas também em outras estações com características que representam escalas espaciais menores.



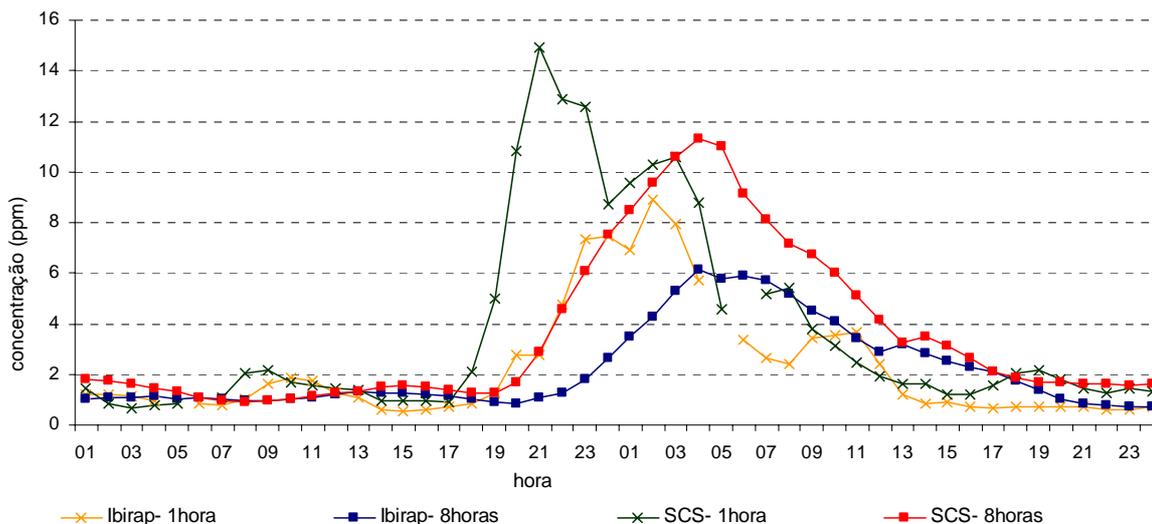
**Figura 29 - CO - Médias horárias e móveis de 8 horas nas estações Ibirapuera e São Caetano do Sul para os dias 24 e 25/07/2002**

A análise mostra que os perfis das médias móveis de 8 horas nas duas estações são semelhantes, com valores um pouco menores no Ibirapuera, já que está mais afastada de vias de tráfego. Esse comportamento sugere que as condições meteorológicas eram desfavoráveis na área metropolitana como um todo.

A análise para os dias 13 e 14 de junho de 2002 (tabela 8 e figura 30) mostra que as concentrações mais elevadas são observadas no período noturno e madrugada, associados à presença de ventos de NW, ou seja, uma condição meteorológica de estagnação atmosférica. Apesar desse ter sido o segundo maior episódio do ano na estação Ibirapuera, nesses dias encontramos o maior episódio em São Caetano do Sul, reforçando ainda mais a característica da estação Ibirapuera de ser, para esse poluente, mais influenciada pelas condições meteorológicas de dispersão do que pelas fontes de emissão próximas do local.

**Tabela 8 - Dados de concentração de CO e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera nos dias 13 e 14/06/2002**

Dia	13-jun-02			14-jun-02		
	Conc. (1h) ppm	Veloc. m/s	Quadrante	Conc. (1h) ppm	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	1,2	1,7	NE	6,9	0,2	NW
02:00	1,2	1,2	NE	8,9	0,5	NW
03:00	1,1	0,6	NE	8,0	0,2	NW
04:00	1,0	1,0	NE	5,7	0,6	NE
05:00	-	-	-	-	-	-
06:00	0,8	1,9	NE	3,4	2,6	NE
07:00	0,8	2,0	NE	2,6	2,0	NE
08:00	1,0	1,8	NE	2,4	1,4	NE
09:00	1,6	1,1	NE	3,4	0,8	NE
10:00	1,9	2,2	SE	3,5	0,1	SE
11:00	1,7	2,6	NE	3,6	1,6	NE
12:00	1,3	3,2	NW	2,4	2,0	NE
13:00	1,1	1,8	NW	1,2	1,9	NW
14:00	0,6	5,0	NW	0,8	6,5	SE
15:00	0,6	4,1	NW	0,9	5,6	SW
16:00	0,6	3,0	NE	0,7	5,0	SE
17:00	0,7	3,8	NW	0,7	4,8	SE
18:00	0,8	2,6	NW	0,7	3,9	SE
19:00	1,3	1,0	NW	0,7	5,2	SE
20:00	2,8	1,0	NW	0,7	3,8	SE
21:00	2,8	0,5	NW	0,7	4,2	SE
22:00	4,8	0,0	SW	0,6	4,7	SE
23:00	7,4	0,7	NE	0,6	2,4	SE
24:00	7,5	0,4	NE	0,7	4,3	SE

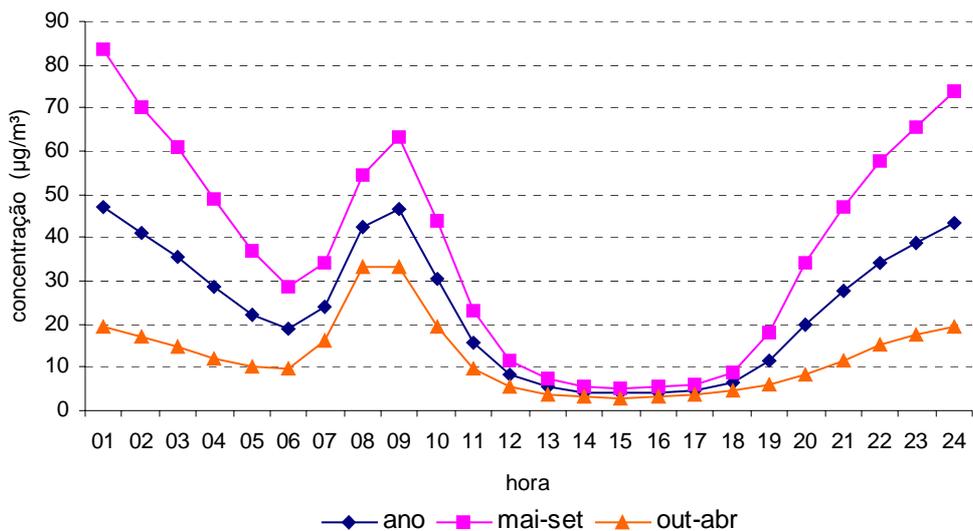


**Figura 30 - CO - Médias horárias e móveis de 8 horas nas estações Ibirapuera e São Caetano do Sul para os dias 13 e 14/06/2002**

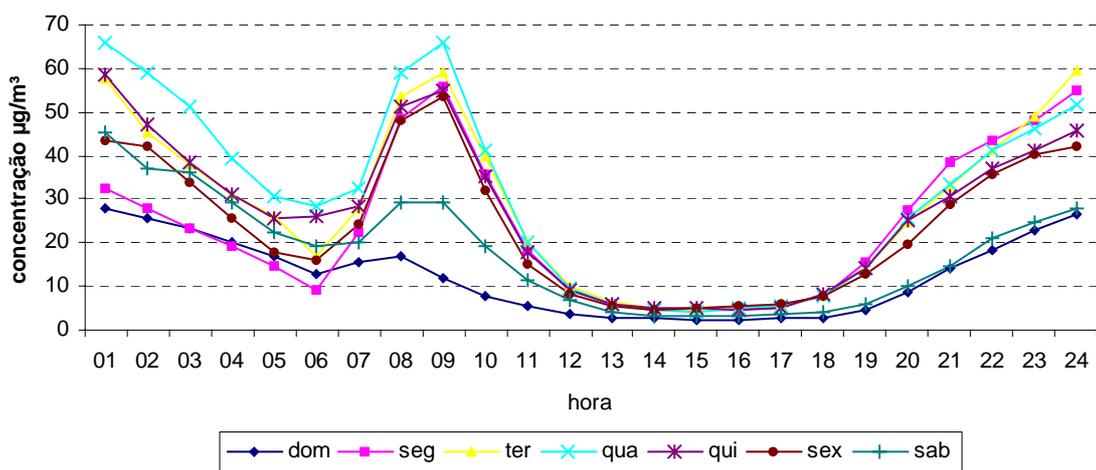
De acordo com o microinventário, não há nenhum tipo de fonte de emissão que seja significativa nas proximidades do local, a não ser as avenidas que circundam o parque que, apesar de apresentarem um grande volume de tráfego, estão relativamente distantes da estação. Apesar de apresentar um pico no período da manhã, provavelmente devido ao fato de os ventos do NE serem mais freqüentes no início da manhã quando ocorre um pico de emissão e a camada de mistura costuma ser baixa, os episódios mais agudos ocorrem no período noturno, onde há uma significativa redução de emissão nas vias de tráfego, e a permanência desse poluente no local está diretamente associada à estagnação atmosférica.

### Monóxido de Nitrogênio - NO

Da mesma forma que para o CO, o perfil das médias de NO para os meses de verão e inverno (figura 31) e ao longo do dia (figura 32) mostra que há dois picos de concentração, no período da manhã e no período noturno. Por ser principalmente emitido pelos veículos automotores, também o NO apresenta concentrações no sábado e domingo mais baixas que nos demais dias da semana.



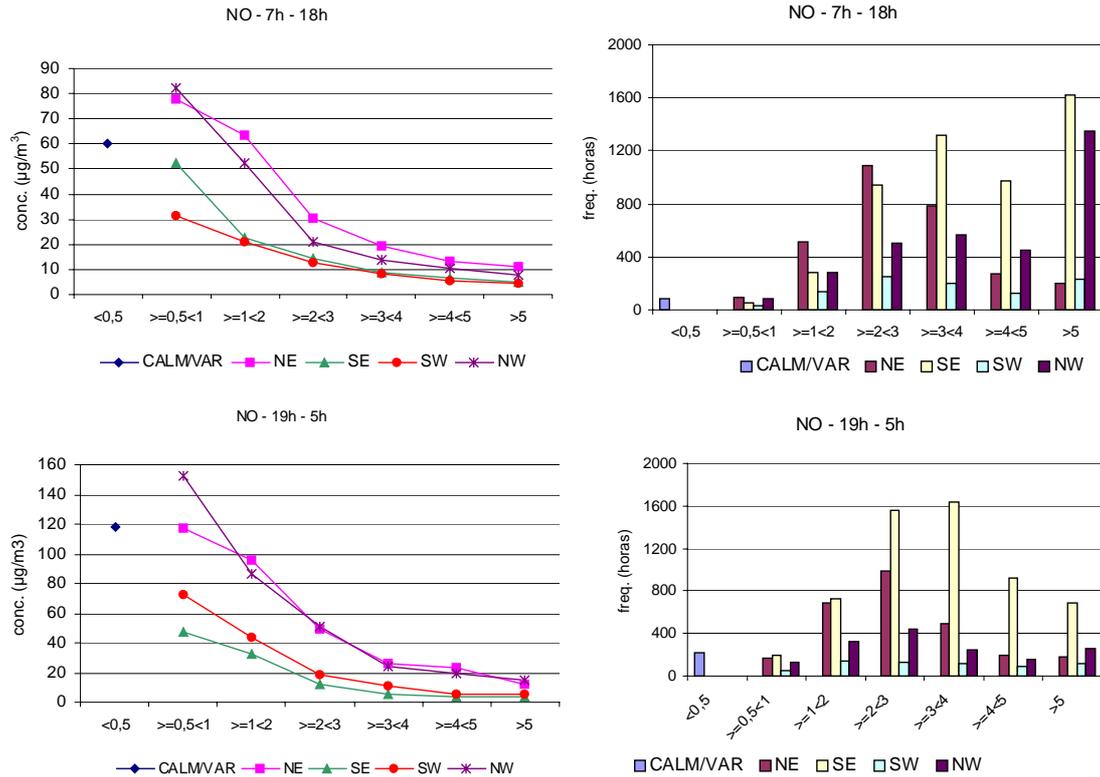
**Figura 31 - NO - Médias horárias por época do ano no período de 1997 a 2002**



**Figura 32 - NO - Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2002**

Os gráficos na figura 33 foram elaborados com base nas concentrações médias de NO, velocidade e quadrante dos ventos no período das 7 às 18h e das 19 às 5h.

As análises de concentração deste poluente em função de direção e velocidade dos ventos foram realizadas utilizando-se os dados do radar acústico.



**Figura 33 - NO - Médias e freqüência de ocorrência (horas) nos períodos das 7h às 18h e das 19h às 5h, em função de velocidade e quadrante dos ventos medidos a 50m da superfície, no período de 1999 a 2002**

Assim como no caso do CO, as concentrações no período noturno foram mais elevadas do que as concentrações observadas durante o dia, indicando serem importantes tanto a remoção deste poluente durante o dia, pela sua participação nas reações do ciclo fotoquímico, quanto o efeito da estagnação atmosférica e da diminuição da camada de mistura, comuns no período noturno.

As concentrações médias mais elevadas foram registradas em condições de calma e vento variável e com ventos fracos do NE e de NW. Como no caso do CO, isto se explica pelo fato de os ventos de NW precederem a entrada de frentes frias, em condições desfavoráveis à dispersão dos poluentes, e os ventos do NE ocorrerem preferencialmente pela manhã, quando ocorre pico de emissão dos poluentes de origem veicular e a camada de mistura é, em geral, baixa.

Os diferentes níveis de concentração em função de direção do vento podem ser explicados pelas condições meteorológicas, e a estação reflete a situação da massa de ar que envolve o local. Além disso, a magnitude da redução na concentração observada com o aumento da velocidade dos ventos, indicando serem mais importantes as condições de dispersão do que o transporte de regiões mais afastadas, permite classificar a estação como representativa de escala de bairro.

## Episódios de alta concentração

A análise dos dois episódios mais elevados de médias horárias em 2002 é apresentada a seguir. A condição atmosférica observada nos dias 6 e 7 de junho determinou a ocorrência das concentrações mais elevadas no ano. A presença de ventos fortes de NW indicam um anticiclone subtropical antecedendo a entrada de uma frente fria, onde as condições de dispersão dos poluentes pioram muito, atingindo então a maior concentração de NO,  $878\mu\text{g}/\text{m}^3$  às 2 horas do dia 7.

**Tabela 9 - Dados de concentração de NO e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera nos dias 06 e 07/06/2002**

Dia	06-jun-02			07-jun-02		
	Conc (1h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Veloc. m/s	Quadrante	Conc (1h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	-	-	-	-	-	-
02:00	685	1,9	NE	878	1,2	NE
03:00	413	1,1	NE	647	1,7	NE
04:00	320	0,6	NE	405	2,3	NE
05:00	275	0,7	NE	232	2,0	NE
06:00	300	1,0	NE	184	3,0	NE
07:00	224	2,7	NE	171	2,6	NE
08:00	121	2,8	NE	100	1,9	NE
09:00	197	2,0	NE	128	1,0	NE
10:00	135	1,4	NE	149	2,9	NE
11:00	93	2,7	NE	22	5,4	NW
12:00	27	2,6	NW	-	-	-
13:00	7	4,9	NW	3	8,8	NW
14:00	4	9,3	NW	-	-	-
15:00	3	3,6	NW	2	12,3	NW
16:00	3	6,4	NW	2	7,7	NW
17:00	2	3,6	NW	-	-	-
18:00	2	1,7	NW	1	4,1	NW
19:00	28	1,1	NW	23	3,7	NW
20:00	68	0,2	NE	75	4,3	NW
21:00	164	1,1	NE	123	6,1	NW
22:00	376	1,3	NE	94	2,1	NW
23:00	439	1,1	NE	69	4,7	NW
24:00	476	0,6	NE	91	3,0	NW

No dia 30 de maio, observou-se o segundo episódio (média horária) mais elevado de NO em 2002, atingindo a concentração máxima de  $850\mu\text{g}/\text{m}^3$  às 3h. Esse episódio aconteceu do mesmo modo que o anterior, ou seja, na presença de um anticiclone subtropical que antecede a entrada de uma frente fria de acordo com os dados de vento de NW na tabela 10.

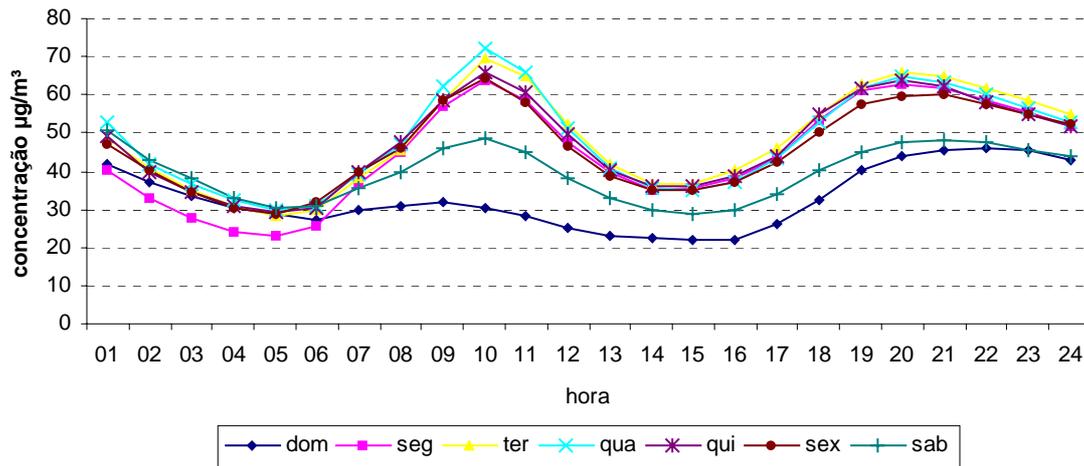
**Tabela 10 - Dados de concentração de NO e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera no dia 29 e 30/05/2002**

Dia	29-mai-02			30-mai-02		
	Conc (1h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Veloc. m/s	Quadrante	Conc (1h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	-	-	-	-	-	-
02:00	37	4,8	NE	-	-	-
03:00	24	2,6	NE	850	0,6	NE
04:00	18	2,4	NE	798	0,8	NW
05:00	21	2,2	NE	651	0,4	NE
06:00	19	2,2	NE	464	0,5	NW
07:00	19	2,2	NE	475	0,3	NW
08:00	67	2,6	NE	401	0,9	NE
09:00	130	1,8	NE	301	0,6	NE
10:00	137	1,9	NE	236	0,6	NE
11:00	53	4,0	NE	82	2,6	NW
12:00	14	7,4	NW	8	5,6	NW
13:00	3	7,0	NW	1	5,9	NW
14:00	3	5,2	NW	2	2,8	NW
15:00	3	5,8	NW	1	4,0	NW
16:00	4	5,7	NW	1	4,1	NW
17:00	4	2,1	NW	0	2,6	NW
18:00	4	2,1	NW	0	1,5	SW
19:00	20	1,4	NW	0	0,2	SW
20:00	79	1,6	NW	27	1,8	SE
21:00	119	1,8	NW	43	1,6	SE
22:00	171	1,7	NW	18	2,1	NE
23:00	303	0,2	SW	23	1,5	NE
24:00	411	0,3	NE	42	1,6	NE

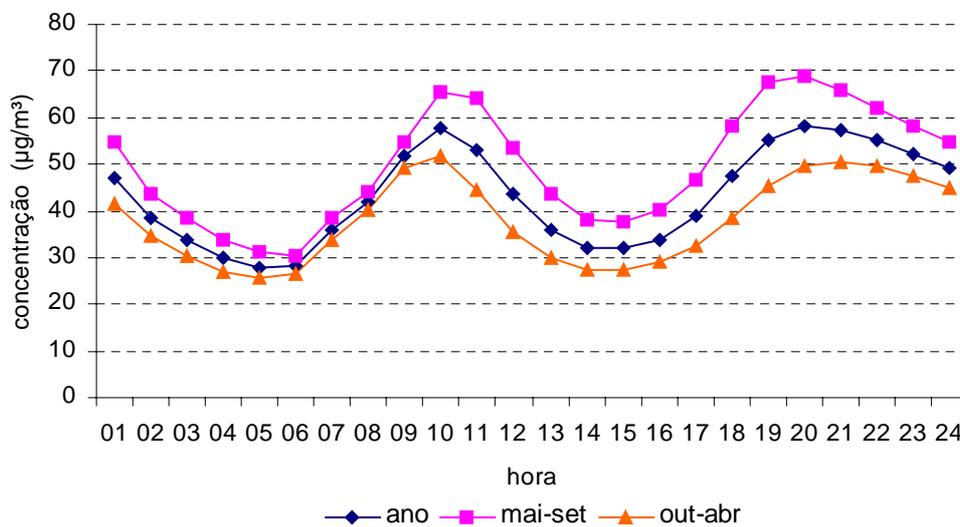
Por ser um poluente proveniente basicamente de emissão veicular, assim como o CO, o NO apresenta também um pico no período da manhã. Da mesma forma, as análises mostraram que as maiores concentrações ocorrem no período noturno, devido à permanência do poluente relacionada com a piora nas condições de dispersão.

### **Dióxido de Nitrogênio - NO<sub>2</sub>**

A figura 34 mostra o perfil de concentração de NO<sub>2</sub> (média horária) ao longo do dia. Também no caso do NO<sub>2</sub>, observam-se picos tanto no período diurno quanto noturno e concentrações em média mais baixas no final de semana, efeito este que se estende à madrugada de segunda-feira.

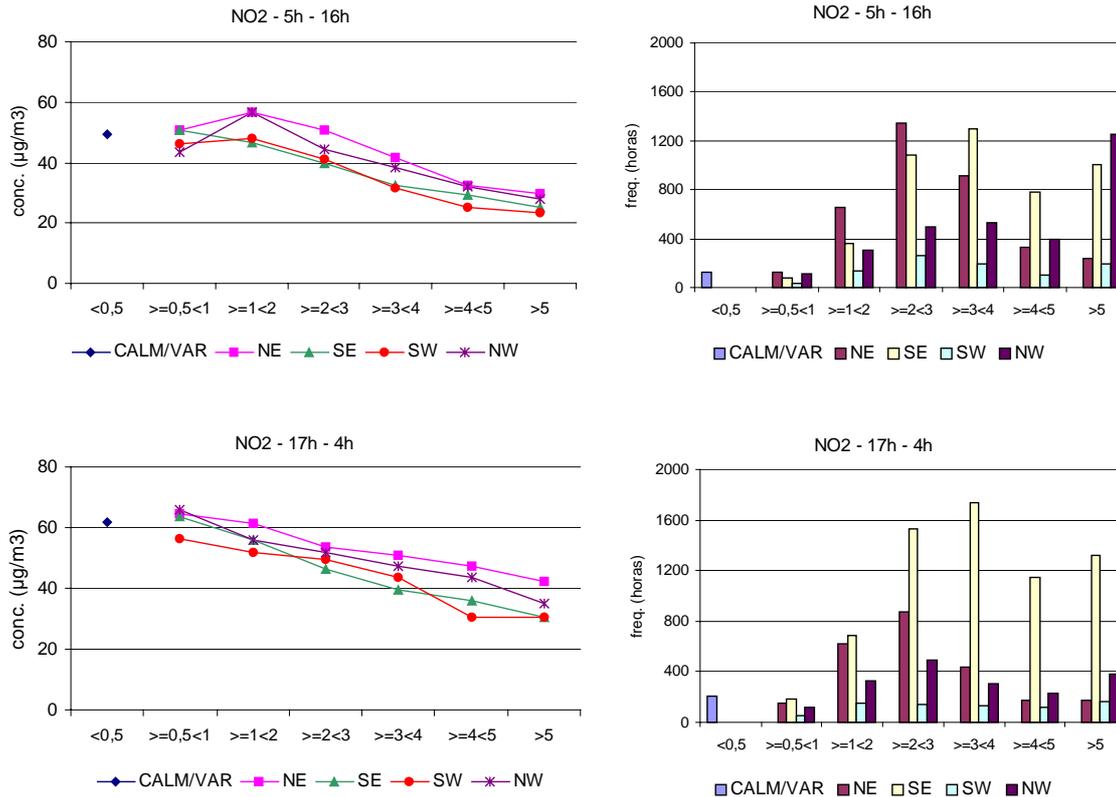


**Figura 34 - NO<sub>2</sub> - Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2002**



**Figura 35 - NO<sub>2</sub> - Médias horárias por época do ano no período de 1997 a 2002**

Mantendo o critério que adota os períodos de maior concentração para avaliar o comportamento dos poluentes, foram elaborados os gráficos apresentados na figura 36, que consideraram as concentrações médias de NO<sub>2</sub> nos períodos das 5h às 16h e das 17h às 4h, bem como os dados de direção e velocidade de vento obtidos com o radar acústico.



**Figura 36 - NO<sub>2</sub> - Médias e freqüência de ocorrência nos períodos das 5h às 16h e das 17 às 4h, em função de velocidade e quadrante dos ventos, medidos a 50m do solo, no período de 1999 a 2002**

Por ser o NO<sub>2</sub> um poluente predominantemente de origem secundária, ou seja, formado na atmosfera como produto de reações químicas, as concentrações na atmosfera tendem a ser mais homogêneas, representativas de áreas maiores, conforme se observa nos gráficos da figura 36, onde, para uma dada faixa de velocidade de vento, as concentrações pouco diferem em função da direção do vento.

Em condições de calmaria e vento variável, as concentrações na atmosfera são um pouco maiores no período noturno do que pela manhã. Como no caso do NO e do CO, também se observa uma redução das concentrações à medida que aumenta a velocidade dos ventos, tanto pela manhã quanto à noite, entretanto, a redução de concentração de NO<sub>2</sub> não é tão brusca quanto no caso do CO e do NO, pois no caso do NO<sub>2</sub>, embora seja importante o efeito de dispersão favorecido por ventos fortes, a ele se contrapõe o efeito do transporte de regiões mais distantes, uma vez que este poluente vai se formando na atmosfera. Assim, quanto à escala de representatividade da estação para este poluente, pode-se classificá-la como urbana.

### Episódios de alta concentração

Considerando-se o perfil diário, é possível verificar dois picos de concentração de NO<sub>2</sub>, normalmente às 10h e 20h (ver figura 35), ou seja, um pouco depois

do pico de tráfego da manhã e do início da noite. Mas de acordo com a tabela 11, o valor mais alto de concentração horária observado em 2002 ocorreu em 14 de junho às 11h e, apesar de ser depois do pico de tráfego da manhã, está em concordância com o esperado em termos do ciclo fotoquímico na atmosfera. Nesse mesmo dia, foi registrado o maior episódio de CO na estação São Caetano do Sul e o segundo maior de CO no Ibirapuera, ou seja, as condições meteorológicas estavam desfavoráveis à dispersão dos poluentes.

**Tabela 11- Dados de concentração de NO<sub>2</sub> e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera nos dias 13 e 14/06/2002**

Dia	13-jun-02			14-jun-02		
	Conc (1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante	Conc (1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	-	-	-	-	-	-
02:00	-	-	-	93	0,5	NW
03:00	-	-	-	67	0,2	NW
04:00	-	-	-	52	0,6	NE
05:00	-	-	-	41	0,8	NE
06:00	-	-	-	32	2,6	NE
07:00	-	-	-	29	2,0	NE
08:00	-	-	-	25	1,4	NE
09:00	-	-	-	49	0,8	NE
10:00	-	-	-	121	0,1	SE
11:00	-	-	-	253	1,6	NE
12:00	-	-	-	152	2,0	NE
13:00	-	-	-	74	1,9	NW
14:00	31	5,0	NW	66	6,5	SE
15:00	36	4,1	NW	48	5,6	SW
16:00	36	3,0	NE	38	5,0	SE
17:00	43	3,8	NW	44	4,8	SE
18:00	85	2,6	NW	52	3,9	SE
19:00	116	1,0	NW	49	5,2	SE
20:00	139	1,0	NW	46	3,8	SE
21:00	147	0,5	NW	49	4,2	SE
22:00	143	0,0	SW	35	4,7	SE
23:00	136	0,7	NE	39	2,4	SE
24:00	117	0,4	NE	39	4,3	SE

É interessante observar que, apesar do período de alta estagnação atmosférica, quando foram observadas as concentrações mais altas de CO na noite de 14 de junho, as concentrações mais altas de NO<sub>2</sub> foram observadas pela manhã, concordando com o esperado em termos de ciclo fotoquímico pela conversão do NO emitido por fontes no entorno, onde destaca-se o tráfego de veículos automotores.

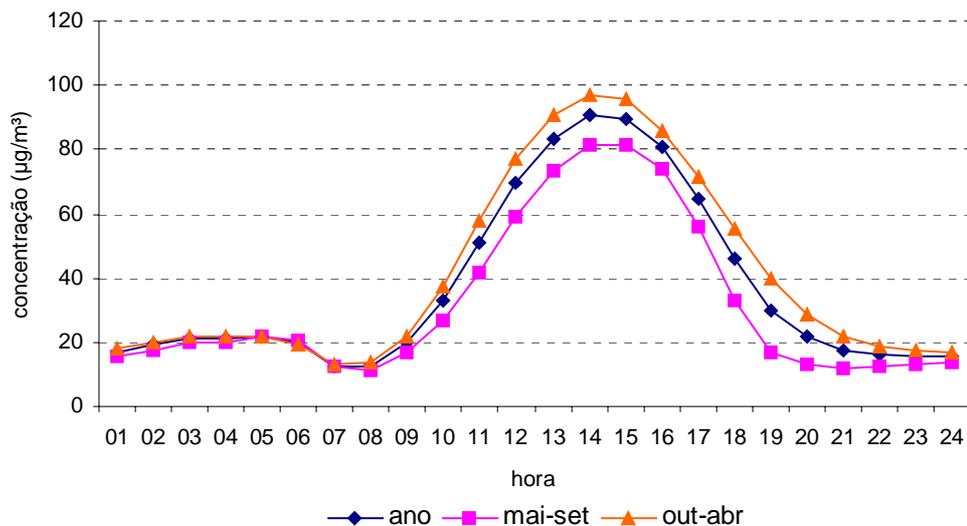
**Tabela 12 - Dados de concentração de NO<sub>2</sub> e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera no dia 26/04/2002**

Dia	26-abr-02		
Hora	Conc (1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	-	-	-
02:00	61	0,7	NW
03:00	51	0,3	NW
04:00	48	0,5	NE
05:00	51	0,7	NE
06:00	39	1,5	NE
07:00	35	1,2	NE
08:00	44	1,6	NE
09:00	102	0,7	SE
10:00	187	1,5	SW
11:00	236	1,2	NW
12:00	118	2,4	NE
13:00	46	3,2	NE
14:00	64	2,5	SE
15:00	83	2,5	NE
16:00	52	1,0	NW
17:00	45	2,7	NW
18:00	86	3,2	SE
19:00	104	2,3	SE
20:00	120	1,9	SE
21:00	128	1,0	SE
22:00	123	0,3	SE
23:00	123	0,3	NW
24:00	125	0,8	NW

Os dados da tabela 12 mostram as médias horárias do segundo maior episódio do ano nessa estação, indicando uma situação semelhante à que provocou o maior episódio, de acordo com o ciclo fotoquímico.

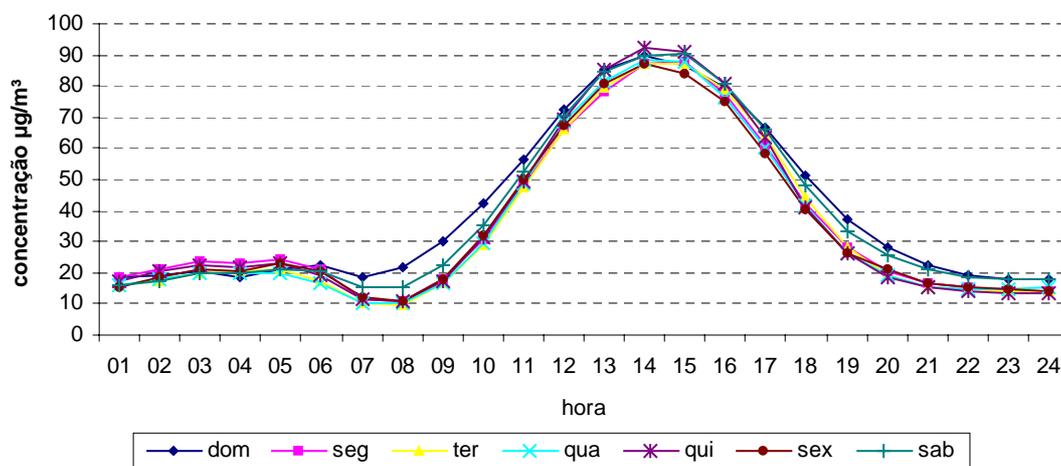
### **Ozônio – O<sub>3</sub>**

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, entre 12h e 17h, conforme apresentado na figura 37. Esse fenômeno ocorre devido ao ciclo de formação do O<sub>3</sub>, que depende não somente da presença de precursores (compostos orgânicos voláteis e NOx), mas também de parâmetros meteorológicos como radiação e temperatura, mais elevados nesse período. Além disso, pode-se observar que as concentrações médias são mais baixas nos meses de inverno, ou seja, comportamento oposto aos demais poluentes, que têm as concentrações mais altas nesse período devido à maior estagnação atmosférica.



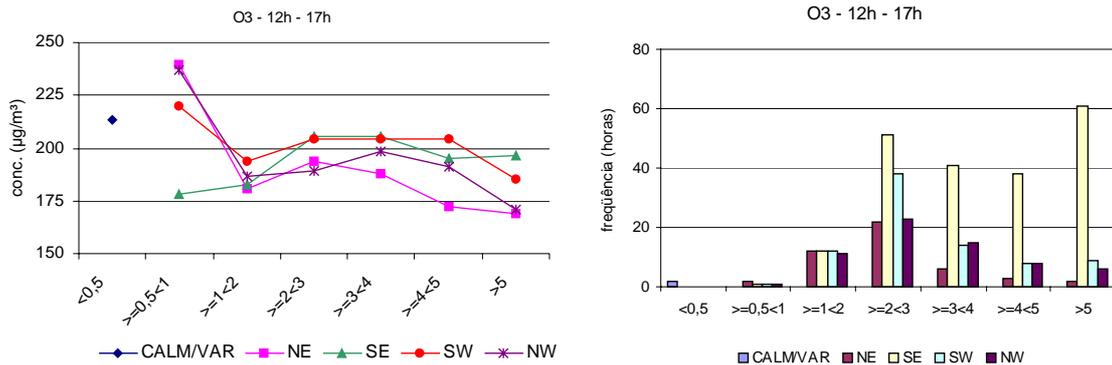
**Figura 37 - O<sub>3</sub> - Médias horárias por época do ano no período de 1997 a 2002**

A análise por dia da semana (figura 38) mostra um comportamento diferenciado do O<sub>3</sub> em relação aos demais poluentes. Observa-se que, na média, as concentrações no domingo são discretamente mais elevadas. Isto ocorre provavelmente pela diminuição da emissão de NO, que consome parte do O<sub>3</sub> formado.



**Figura 38 - O<sub>3</sub> - Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2002**

Utilizou-se o período das 12h às 17h para a elaboração da figura 39, que apresenta as concentrações médias de O<sub>3</sub> que excedem o PQAr em função do quadrante e da velocidade dos ventos, medida com o radar acústico, a 50m da superfície. A figura mostra que não há diferenças muito grandes com a variação das condições de vento. Por exemplo, entre 1 e 2m/s, a média mais elevada de concentração de O<sub>3</sub> acima do PQAr é observada com ventos de SW, no entanto, os ventos provenientes deste quadrante são os menos frequentes.



**Figura 39 - O<sub>3</sub> - Médias e frequência de ocorrência no período das 12h às 17h, em função de velocidade e quadrante dos ventos, medidos a 50m da superfície, no período de 1999 a 2002.**

Embora no período das 12h às 17h sejam mais freqüentes, em termos médios, os ventos de SE e de NW, conforme apresentado na tabela 13, observa-se que, para uma dada faixa de velocidade, as concentrações pouco variam em função da direção dos ventos, o que é compatível com o fato de o O<sub>3</sub> ser um poluente secundário, de tal modo que as concentrações são representativas de áreas maiores, sofrendo menor influência de fontes de poluição próximas (exceto para estações muito próximas de fontes de NO).

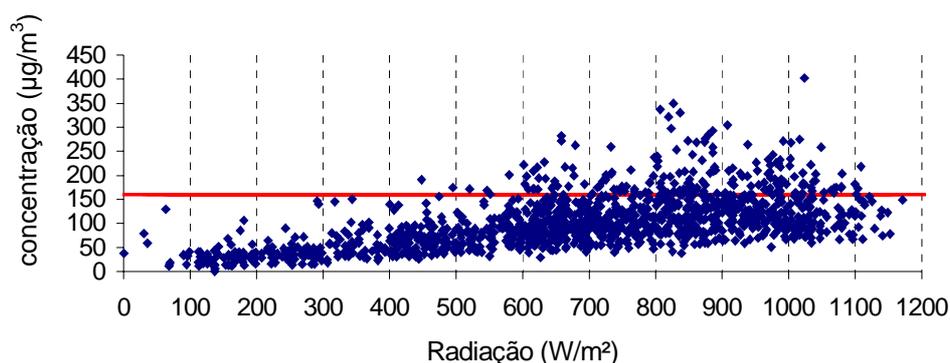
Uma vez que as concentrações de O<sub>3</sub> são altamente influenciadas pelo transporte, não só do O<sub>3</sub> mas também de seus precursores provenientes de regiões mais afastadas, esta estação é representativa de escala urbana para este poluente.

**Tabela 13 - Frequência de quadrante do vento por hora para os 156 dias em que houve ultrapassagem do PQAr de O<sub>3</sub> na estação Ibirapuera no período de abril de 1999 a dezembro de 2002**

Hora	Calmo	NE	SE	SW	NW
10:00	0	86	51	8	8
11:00	0	75	50	7	19
12:00	0	53	56	15	25
13:00	1	27	64	22	38
14:00	0	19	71	40	24
15:00	1	12	94	26	19
16:00	1	9	95	24	18
17:00	1	8	114	14	14

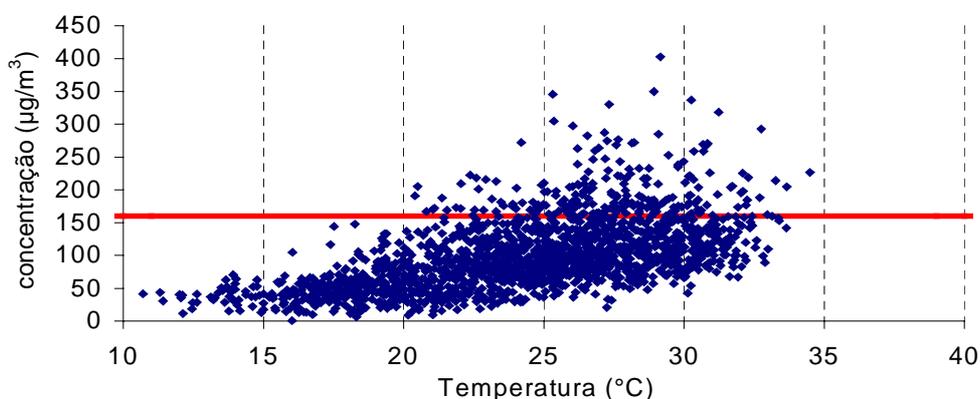
A tabela 13 mostra que nos dias em que há ultrapassagem do PQAr (160µg/m<sup>3</sup>), há uma predominância de ventos de NE no período da manhã, aumentando a freqüência dos ventos de SE no período da tarde devido à atuação da brisa marítima. Esta análise explica a grande freqüência de ocorrências de ultrapassagens de O<sub>3</sub> com ventos do quadrante SE como consequência do transporte da massa de ar em horários anteriores ao dos máximos valores de concentração horária, aliado à influência de outras variáveis meteorológicas, como radiação. Apesar do grande número de ultrapassagens com ventos nessa direção, a figura 39 mostra que as maiores concentrações ocorrem com ventos de outras direções.

Além do transporte, outro parâmetro que influencia as concentrações de  $O_3$  é a radiação solar. A figura 40 ilustra as variações das concentrações máximas diárias de  $O_3$  no Ibirapuera em função das máximas diárias de radiação solar observadas na estação Ibirapuera, no período de 1997 a 2001. Observa-se que concentrações acima do PQAr de 1 hora ocorrem preferencialmente na presença de radiação acima de  $600 \text{ W/m}^2$ . Apesar disso, observam-se também muitos dias com radiação solar alta e concentrações baixas de  $O_3$ , mostrando que a radiação máxima diária isoladamente não explica o comportamento geral do  $O_3$ .



**Figura 40 - Dispersão das máximas diárias do  $O_3$  no Ibirapuera e máximas diárias de radiação global na estação Ibirapuera no período de 1997 a 2001.**

Considerando a temperatura do ar em análise semelhante à realizada para radiação solar, observa-se que a maioria das ultrapassagens do PQAr ocorrem em dias quentes, com temperatura máxima diária acima de  $20^\circ\text{C}$  (figura 41).



**Figura 41 - Dispersão das máximas diárias do  $O_3$  e máximas diárias de temperatura na estação Ibirapuera no período de 1997 a 2001.**

## Dióxido de Enxofre - SO<sub>2</sub>

Os perfis das médias de SO<sub>2</sub> ao longo do dia e por períodos do ano, com dados obtidos no período de 1997 a 2002, são apresentados na figura 42, onde observa-se que as maiores concentrações, em média, ocorrem durante a manhã, com máximo entre 9 e 10h.

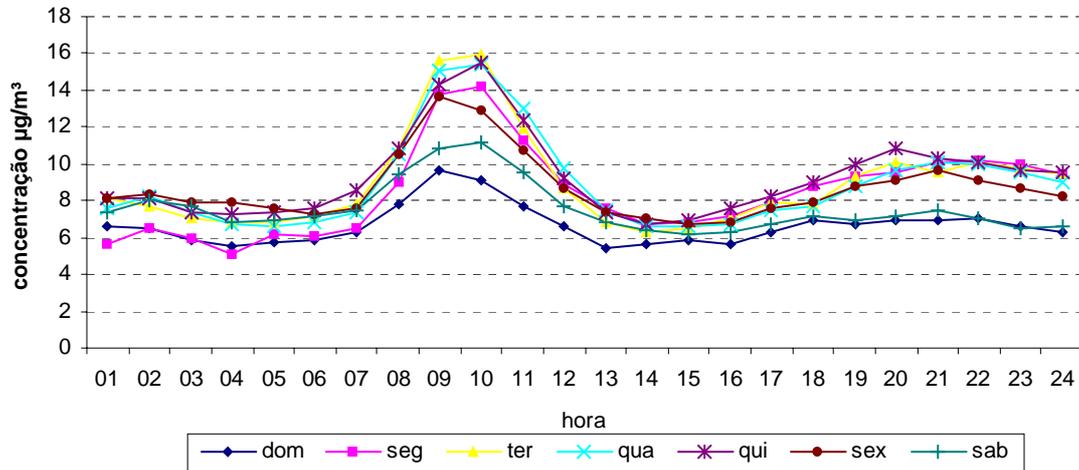


Figura 42 - SO<sub>2</sub> - Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2002

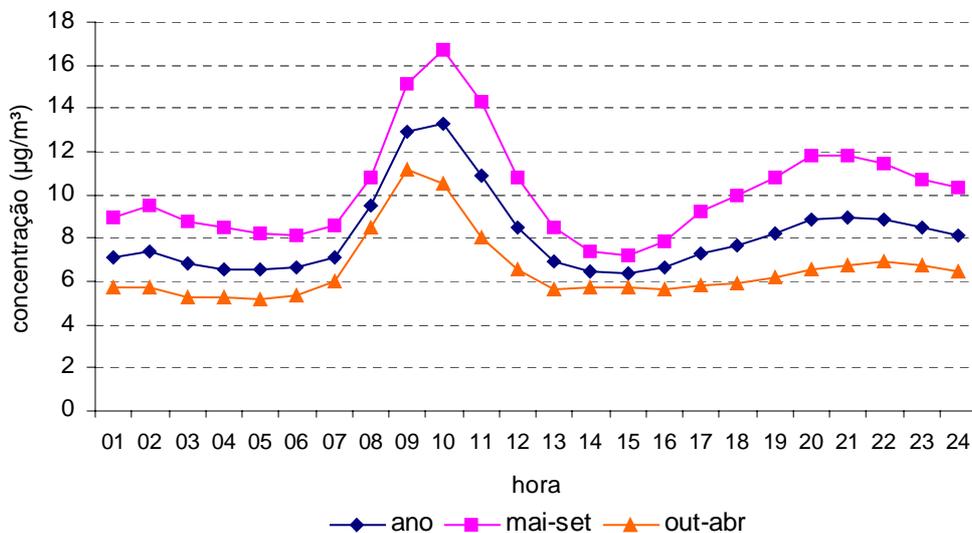
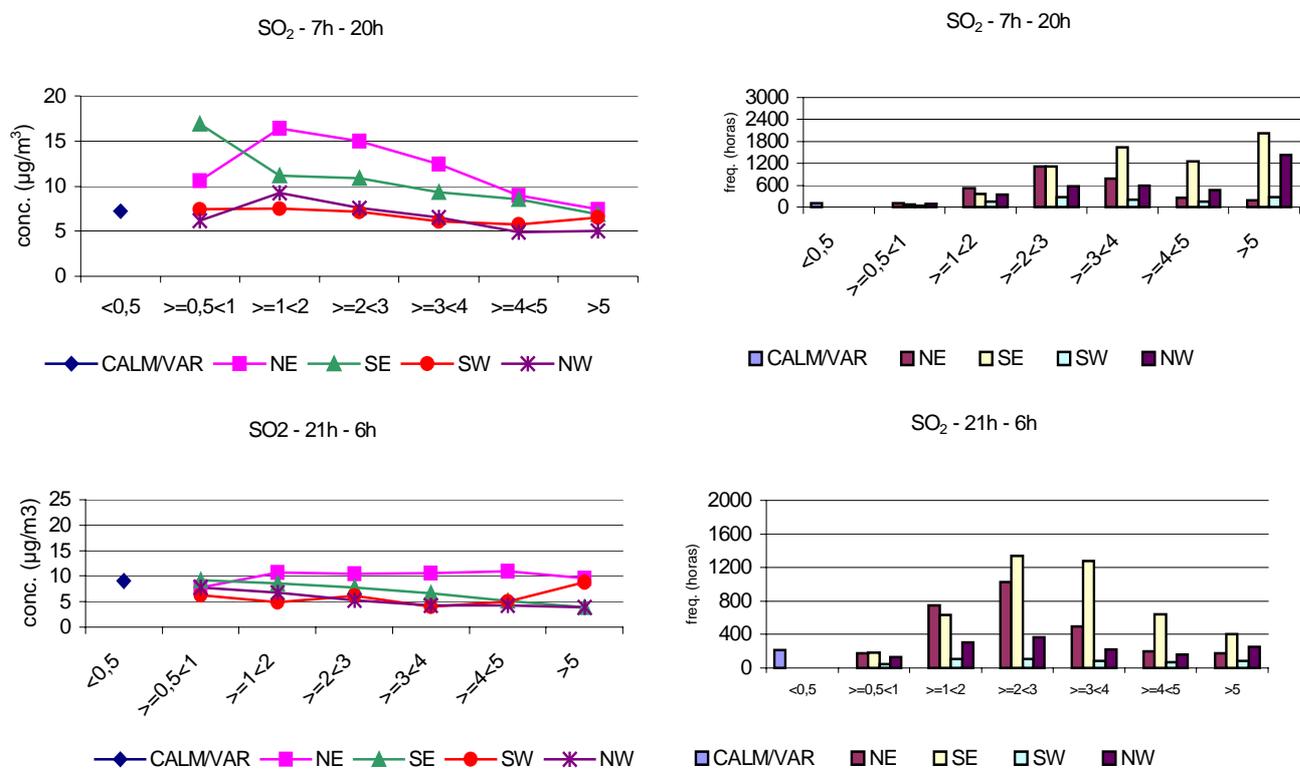


Figura 43 - SO<sub>2</sub> - Médias horárias por época do ano no período de 1997 a 2002

A figura 44 mostra as concentrações médias de SO<sub>2</sub> em função da variação do quadrante e da velocidade dos ventos a 50m de altura, para os períodos das 7h às 20h e das 21h às 6h.



**Figura 44 - SO<sub>2</sub> - Médias e freqüência de ocorrência nos períodos das 7h às 20h e das 21h às 6h, em função de velocidade e quadrante dos ventos medidos a 50m de altura, no período de 1999 a 2002**

Durante o dia, as maiores concentrações de SO<sub>2</sub> foram observadas com ventos de NE e com ventos fracos de SE. Com ventos de NE, as concentrações aumentam com o aumento da velocidade para 1 - 2m/s, indicando que, para ventos não muito fortes, é importante o transporte do poluente proveniente desta direção, acima desta velocidade e para os ventos que sopram das outras direções, torna-se mais importante o efeito da dispersão. Um fato a ser considerado é que a barreira vegetal no entorno da estação pode atuar como superfície de adsorção do SO<sub>2</sub>, resultando numa medida de concentração que não reflete a emissão, quando os ventos sopram de direções em que as copas das árvores são mais densas.

No período da noite, não se observam diferenças significativas nas concentrações em função de diferentes direções e velocidades de vento, indicando ser este o nível de background de SO<sub>2</sub> nesta estação.

### Episódios de alta concentração

A tabela 14 apresenta as concentrações horárias e vento dos dias 5 e 6 de julho, em que as concentrações de 1 hora foram as mais altas no Ibirapuera em

2002. O valor da maior concentração horária registrada foi  $103\mu\text{g}/\text{m}^3$ , às 6h do dia 6.

**Tabela 14 - Dados de concentração de  $\text{SO}_2$  e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera nos dias 05/07 e 06/07/2002**

Dia	05-jul-02			06-jul-02		
	Conc (1h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Veloc. m/s	Quadrante	Conc (1h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	9	2,3	SE	11	1,4	NE
02:00	8	2,2	SE	9	0,4	SW
03:00	7	1,6	NE	9	1,4	NE
04:00	-	-	-	-	-	-
05:00	5	3,3	NE	12	3,3	NE
06:00	8	3,5	NE	103	2,5	NE
07:00	9	2,0	NE	61	1,7	NE
08:00	12	1,9	NE	47	0,7	NE
09:00	18	2,0	NE	59	1,1	NE
10:00	16	2,2	SE	50	2,3	NW
11:00	26	1,7	NE	18	2,7	NW
12:00	25	1,4	NE	14	2,7	NW
13:00	17	2,4	NE	7	3,8	NW
14:00	12	1,4	NE	6	2,9	NW
15:00	10	2,1	SW	6	4,4	NW
16:00	6	1,1	SE	6	4,3	NW
17:00	5	1,3	NE	6	3,4	NW
18:00	6	2,9	SE	6	1,4	NW
19:00	9	3,1	SE	6	1,6	NW
20:00	12	3,1	NE	7	1,4	NW
21:00	12	2,7	SE	8	2,3	NW
22:00	12	2,8	NE	10	2,8	NE
23:00	11	2,4	NE	10	2,3	NE
24:00	12	2,5	NE	7	1,5	NE

Analisando-se as velocidades e direções, pode-se notar nesse dia uma predominância de ventos do setor NW, que normalmente está relacionado com uma estagnação atmosférica provocada pela entrada de uma frente fria.

No dia 31/05, observou-se uma concentração horária de  $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ , às 9h da manhã, com ventos do quadrante NE de  $0,8\text{m}/\text{s}$ . Esse comportamento de máxima de  $\text{SO}_2$  durante a manhã também é observado no comportamento médio (figura 43), indicando ser este o horário preferencial para a ocorrência das máximas no dia.

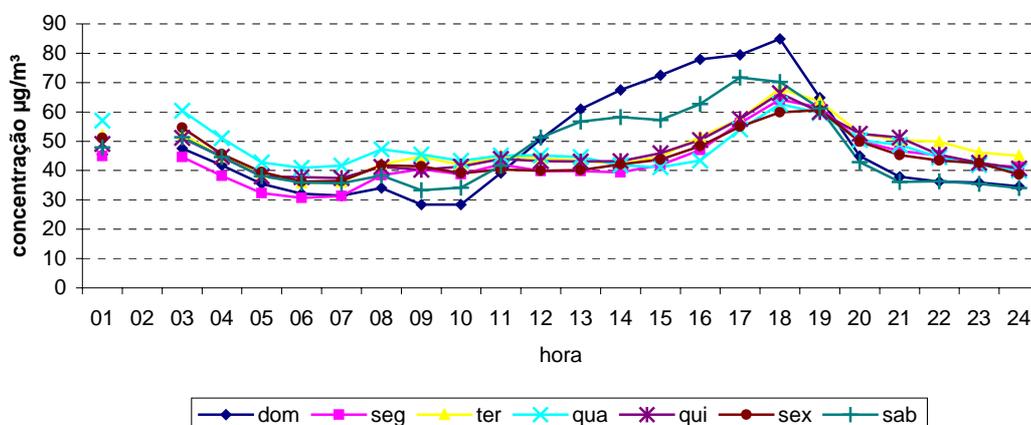
**Tabela 15 - Dados de concentração de SO<sub>2</sub> e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera no dia 31/05/2002**

Dia	31-mai-02		
Hora	Conc (1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	14	1,3	NE
02:00	12	0,6	NE
03:00	11	1,5	NE
04:00	-	-	-
05:00	7	1,4	NE
06:00	6	1,7	NE
07:00	6	1,2	NE
08:00	7	1,2	NE
09:00	80	0,8	NE
10:00	57	0,6	NE
11:00	52	1,7	SW
12:00	49	2,1	SW
13:00	21	2,1	SW
14:00	10	3,4	SW
15:00	8	1,7	SW
16:00	7	2,9	SW
17:00	5	1,3	NW
18:00	5	2,2	NW
19:00	6	1,7	NW
20:00	8	0,8	NW
21:00	9	4,5	SW
22:00	4	1,9	SW
23:00	3	0,9	SW
24:00	2	0,7	SE

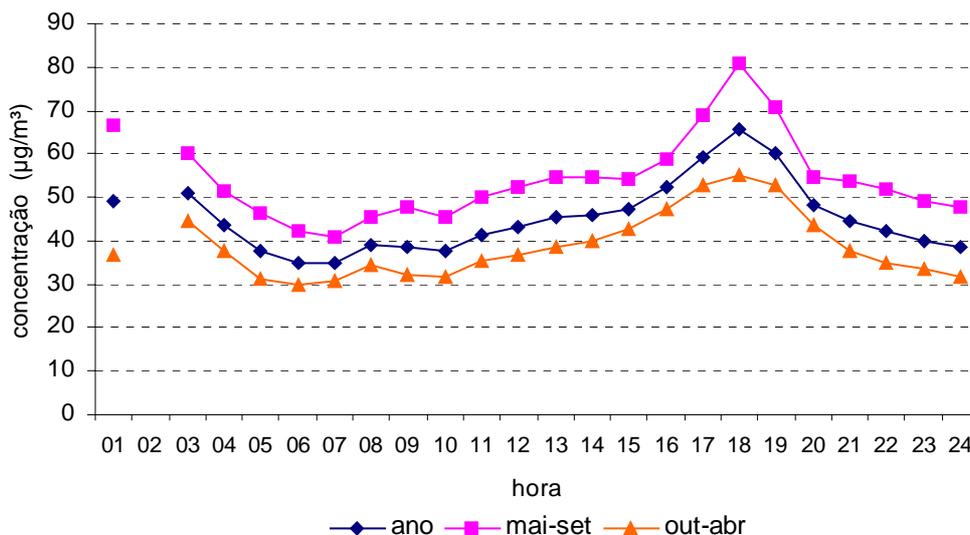
### Partículas Inaláveis - MP<sub>10</sub>

A figura 45 ilustra a distribuição das concentrações médias ao longo do dia para o período de 1997 a 2002, considerando os diferentes dias da semana.

Nessa figura, observa-se que as concentrações apresentam discreto aumento às 18h; que são em média bem mais altas nos finais de semana em virtude das atividades desenvolvidas no parque; e que, no horário das 2h, há ausência de dados para troca de fita no equipamento.



**Figura 45 - MP<sub>10</sub> - Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2002**



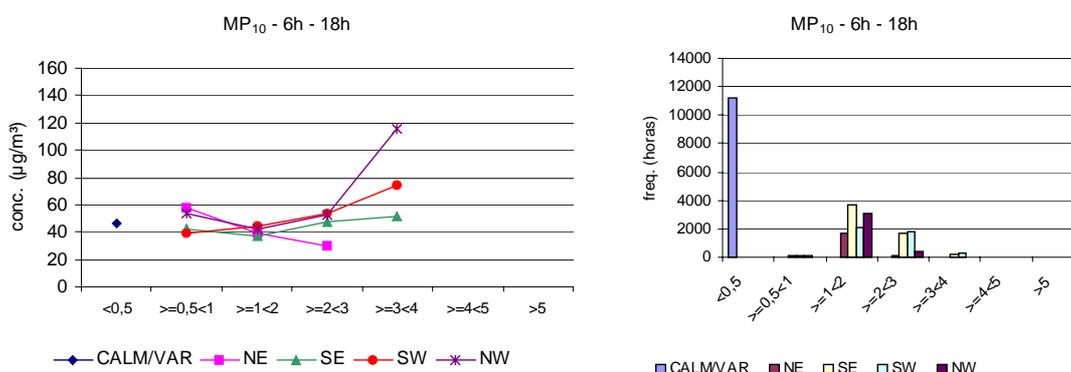
**Figura 46 - MP<sub>10</sub> - Médias horárias por época do ano no período de 1997 a 2002**

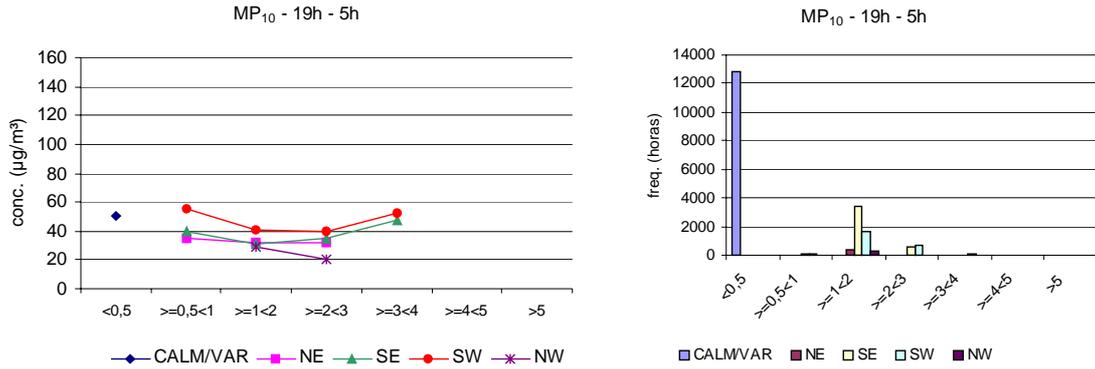
A figura 46 ilustra a distribuição das concentrações médias ao longo do dia para o período de verão (out-abr) e inverno (mai-set).

Nessa figura, observa-se que as concentrações apresentam um aumento a tarde às 18h, e que o período do inverno é em média bem mais alto do que o período de verão.

Considerando-se que a estação está rodeada por árvores que atuam como barreira para o material particulado, as concentrações deste poluente que chegam à estação estão relacionadas ao transporte promovido pelos ventos de superfície.

A figura 47 mostra o perfil de concentração de MP<sub>10</sub> em função da direção e velocidade dos ventos, no período das 6h às 18h e durante a noite, das 19h às 5h.

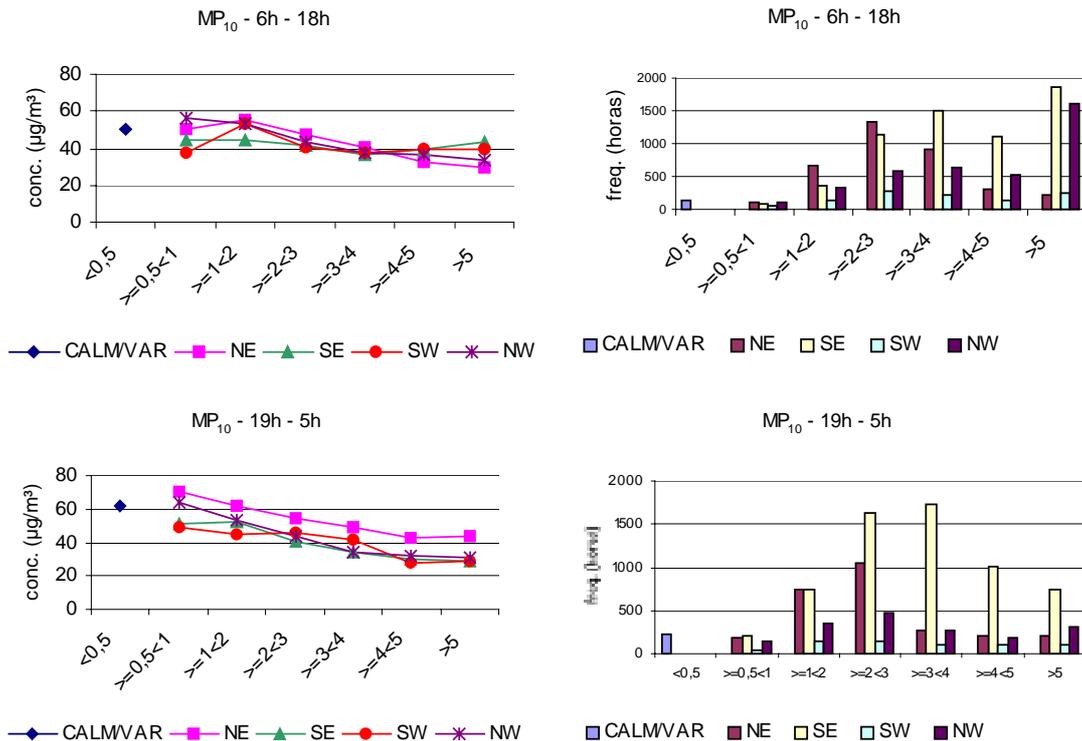




**Figura 47 - MP<sub>10</sub> - Médias e freqüência de ocorrência nos períodos das 6h às 18h e das 19h às 5h, em função de velocidade e quadrante dos ventos de superfície (a 10m de altura), no período de 1997 a 2001 ou 2002**

Observa-se que com o aumento da velocidade dos ventos ocorre um aumento das concentrações médias de MP<sub>10</sub> refletindo a ocorrência de ressuspensão de poeira proveniente de fontes localizadas nas proximidades da estação. A ressuspensão é mais intensa durante o dia, em razão das atividades que se desenvolvem no parque neste período.

Para efeito de comparação, a figura 48 mostra o comportamento do MP<sub>10</sub> em função de direção e velocidade dos ventos medidos a 50m de altura.



**Figura 48 - MP<sub>10</sub> - Médias e freqüência de ocorrência nos períodos das 6h às 18h e das 19h às 5h, em função de velocidade e quadrante dos ventos medidos a 50m do nível do solo, no período de 1999 a 2002**

Neste caso, o que se evidencia é o efeito de dispersão do poluente, tanto maior quanto maior a velocidade do vento.

## Episódios de alta concentração

A análise dos episódios de mais elevada concentração de MP<sub>10</sub> ocorridos em 2002, apresentados nas tabelas 16 e 17, confirma esse efeito. No dia 5 de março, foi registrada a maior média horária do ano, com uma concentração de 847µg/m<sup>3</sup>, às 9h, observando-se nos horários anteriores ventos de baixa velocidade. O aumento da velocidade do vento a partir desse horário contribuiu para que a concentração desse poluente abaixasse nos horários posteriores. A tabela foi construída com dados de vento medidos a 50m.

**Tabela 16 - Dados de concentração de MP<sub>10</sub> e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera nos dias 04, 05 e 06/03/2002**

Dia	04-mar-02			05-mar-02			06-mar-02		
	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	44	3,1	SE	54	4,5	NE	76	2,2	NE
02:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03:00	24	2,7	NE	39	1,4	NE	44	1,3	NE
04:00	26	2,8	NE	38	2,5	NW	41	1,6	NW
05:00	26	1,9	NE	22	1,0	NW	37	2,8	NW
06:00	27	2,2	NE	28	1,3	NE	32	3,0	NW
07:00	19	2,6	NE	32	0,7	NE	24	1,6	NW
08:00	26	2,2	NE	102	2,6	NE	9	1,2	NW
09:00	34	3,2	NE	847	3,5	NE	28	1,7	NW
10:00	27	3,0	NE	20	5,6	NE	26	3,5	NW
11:00	32	2,7	NE	21	4,2	NW	20	5,4	NW
12:00	25	2,5	NE	20	5,0	NW	33	7,6	NW
13:00	24	2,1	NE	18	3,7	NW	19	7,6	NW
14:00	29	1,6	NW	10	2,9	NW	20	6,7	NW
15:00	32	2,7	SE	25	3,1	SW	20	6,5	NW
16:00	60	4,9	SE	21	4,2	NW	29	5,2	NW
17:00	82	5,0	SW	71	4,4	NW	34	7,2	NW
18:00	21	3,1	SW	137	2,9	NW	37	3,9	NW
19:00	19	3,8	SW	35	5,1	SE	46	3,5	SE
20:00	19	3,0	SE	40	3,5	SE	37	3,6	SE
21:00	26	2,6	SE	48	1,7	NE	43	2,2	SE
22:00	43	2,7	SE	39	1,2	NE	38	1,3	SE
23:00	45	2,4	SE	31	2,3	NE	34	2,9	SE
24:00	44	2,7	NE	37	2,6	NE	36	3,8	SE

Uma mesma situação originou o segundo maior episódio do ano no dia 21 de junho, às 19h.

**Tabela 17 - Dados de concentração de MP<sub>10</sub> e vento (medido a 50m) registrados na estação Ibirapuera nos dias 20 e 21/06/2002**

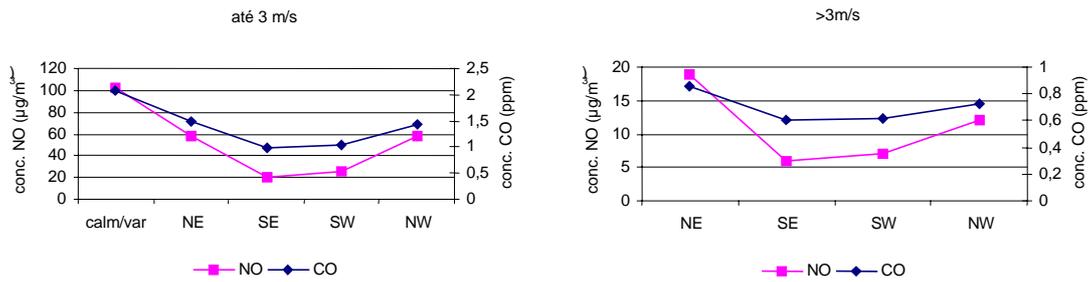
Dia	20-jun-02			21-jun-02		
	Conc (1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante	Conc (1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	18	2,8	SE	129	1,3	NE
02:00	-	-	-	-	-	-
03:00	35	2,4	SE	116	0,5	NE
04:00	27	3,0	SE	126	0,5	NW
05:00	34	2,2	NE	128	0,7	NW
06:00	12	2,2	NE	118	0,8	NW
07:00	28	2,5	NE	87	0,6	NW
08:00	32	2,1	NE	79	1,0	NW
09:00	27	2,7	SE	89	1,6	NW
10:00	32	2,7	NE	80	1,9	NW
11:00	60	2,1	NE	73	3,8	NW
12:00	57	2,5	NE	25	4,7	NW
13:00	75	3,4	SE	33	4,7	NW
14:00	53	1,6	SE	32	4,0	NW
15:00	57	2,0	NW	38	1,8	SW
16:00	51	1,2	SW	40	1,7	SW
17:00	51	1,7	NE	61	1,6	SW
18:00	69	2,4	NE	230	3,3	SW
19:00	89	2,8	NE	311	3,0	SE
20:00	119	2,3	NE	55	4,8	SE
21:00	131	2,5	NE	59	4,2	SE
22:00	94	2,5	NE	48	5,1	SE
23:00	74	1,2	NE	32	5,1	SE
24:00	88	0,6	NE	18	4,4	SE

A análise do perfil das concentrações de MP<sub>10</sub> na estação Ibirapuera mostrou que ela é capaz de detectar tanto a elevação da concentração causada pela ressuspensão de partículas próximas à estação, quanto episódios relacionados com a estagnação atmosférica, representando, nesse caso, uma área de abrangência maior.

### **Perfil de concentração de grupos de poluentes**

Visando ilustrar melhor a escala de representatividade da estação, os poluentes foram separados em grupos cujos perfis de concentração em função da direção do vento são semelhantes, para ventos de até 3m/s e para ventos com velocidade superior a esta.

- CO e NO



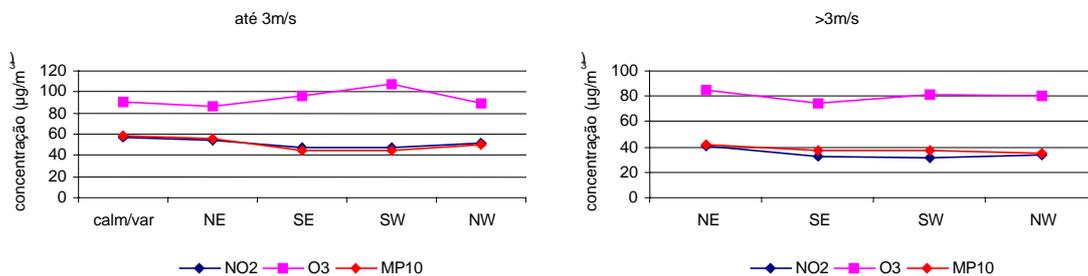
**Figura 49 – Perfil de concentração de CO e NO em função dos quadrantes dos ventos medidos a 50m de altura, no período de 1999 a 2002, para ventos até 3m/s e para ventos com velocidade superior a 3m/s**

Embora as concentrações de CO e NO estejam, em princípio, homoganeamente distribuídas na massa de ar do entorno da estação, observam-se concentrações mais elevadas com ventos de NE, mais frequentes no período da manhã, quando a camada de mistura costuma ser mais baixa e quando ocorre um pico de emissão, e também com ventos de NW, que é um vento de rajadas, podendo ser precedido, num curto período de tempo, por condições de calmaria. Assim, uma vez que os picos de emissão coincidem com condições desfavoráveis à dispersão, estes poluentes refletem de forma muito evidente as variações em termos de meteorologia.

Observa-se uma significativa redução nas concentrações com o aumento de velocidade dos ventos, mostrando que o efeito de dispersão é mais importante que o transporte e que, portanto, as emissões de CO e NO detectadas na estação provêm de fontes localizadas nas proximidades, permitindo classificar esta estação como representativa de bairro para estes poluentes.

- NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e MP<sub>10</sub>

A análise dos perfis de concentração de NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e MP<sub>10</sub> em função da direção do vento, para velocidades de até 3m/s e acima de 3m/s, permite observar que a escala espacial de abrangência desta estação é maior para estes poluentes.



**Figura 50 – Perfil de concentração de NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e MP<sub>10</sub> em função da direção do vento.**

As concentrações se mantêm relativamente homogêneas independentemente de direção e velocidade dos ventos, indicando que estas concentrações são representativas de áreas maiores, em escala urbana, porém há que se

considerar a peculiaridade deste local que, por ser um parque, propicia a prática de esportes nos finais de semana, acarretando um aumento dos níveis de concentração de MP<sub>10</sub>.

#### **4.1.5. Conclusões**

##### **Qualidade do Ar**

A análise do monitoramento da qualidade do ar na estação Ibirapuera mostrou que o O<sub>3</sub> é o poluente que mais ultrapassa o PQAr, além disso, não apresenta qualquer tendência de redução nos últimos anos. Os poluentes CO e NO<sub>2</sub> apresentaram poucas ultrapassagens dos padrões de curto prazo nos últimos anos, com tendência de queda de 1997 a 2002. Também se observou tendência de queda das concentrações de material particulado nos últimos anos, tanto para medições de curto quanto de longo prazo (médias anuais). Os níveis de SO<sub>2</sub> observados nesta estação foram baixos.

##### **Escala de Representatividade**

O levantamento das principais fontes emissoras de poluentes no entorno da estação Ibirapuera mostrou que elas são basicamente veiculares, destacando-se as avenidas que circundam o parque. As duas vias mais próximas são a Avenida IV Centenário, a aproximadamente 250 metros e com tráfego não muito intenso, e a Avenida República do Líbano, a aproximadamente 400 metros e com volume de tráfego consideravelmente grande.

A análise dos dados de qualidade do ar da estação mostrou que essas fontes de poluição inventariadas influenciam a qualidade do ar observada, principalmente no que se refere aos poluentes NO e CO durante o dia, podendo-se observar dois picos de concentração que coincidem com os horários de pico de tráfego veicular. Durante o período noturno, tanto para esses poluentes quanto para os outros poluentes primários, há pouca influência dessas fontes de emissão, tornando-se mais significativas as condições de dispersão meteorológicas que contribuem para a persistência dos poluentes na atmosfera.

Devem ser destacadas essas diferenças observadas para cada um dos poluentes, que se traduzem muitas vezes em casos particulares em termos de abrangência espacial. Portanto, as concentrações de CO e NO detectadas na estação, que provêm de fontes localizadas nas proximidades, e a significativa redução nas concentrações com o aumento de velocidade dos ventos, denotam que a escala espacial de representatividade desta estação, para estes poluentes, é de bairro. Entretanto, também há que se citar o fato de que as máximas concentrações ocorrem na madrugada, quando as emissões das fontes são reduzidas, indicando a preponderância da meteorologia, e portanto a possibilidade de registro de eventos em escala urbana para estes poluentes.

Com um comportamento diferente, as concentração de NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e MP<sub>10</sub> se mantêm relativamente homogêneas independentemente de direção e

velocidade dos ventos, sugerindo que para esses poluentes a estação Ibirapuera apresenta característica urbana.

### **Uso do Solo**

O inventário de fontes de poluição no entorno da estação Ibirapuera mostrou que esta não é influenciada por emissões industriais. As emissões resultam, sobretudo, do uso da região para atividades predominantemente comerciais, residenciais e de lazer, com suas implicações sobre a circulação de pedestres e de veículos no local.

### **População Exposta**

As escalas principais de abrangência da estação, de centenas de metros a alguns quilômetros para CO e NO (escala de bairro), e de alguns quilômetros a dezenas de quilômetros para os demais poluentes (escala urbana), são representativas dos níveis gerais de concentração (background) a que está submetida a maior parte da população do município.

### **Parâmetros Monitorados**

A estação Ibirapuera é uma das mais completas estações da rede automática, monitorando todos os poluentes regulamentados. Considerando a escala espacial e avaliação do impacto das principais fontes na região, esta estação se mostrou adequada para o monitoramento de todos os poluentes.

Com relação aos parâmetros meteorológicos, são medidos vento (a 10 e 50 metros de altura), temperatura, umidade relativa, pressão e radiação. A análise feita com base na localização das fontes, da direção e velocidade do vento e das concentrações observadas na estação mostrou que o vento é um parâmetro útil para identificação das fontes responsáveis pela poluição medida. No entanto, observou-se, sobretudo nas faces norte e oeste da estação, a existência de árvores que devem comprometer em parte os dados de vento medidos a 10m e de poluição quando o vento sopra dessas direções. Os demais parâmetros meteorológicos medidos, exceto radiação, não são muito influenciados por anteparos, estando o local atual adequado ao seu monitoramento.

### **Recomendações**

A estação Ibirapuera apresenta, em termos gerais, boas condições para o monitoramento dos parâmetros atuais. Recomenda-se, no entanto:

- a redução da influência de árvores no entorno da estação, principalmente nas faces norte e oeste, de forma a minimizar seu impacto na estação e atender as recomendações internacionais de monitoramento, ou mudar os sensores meteorológicos para outro lugar;
- redução da influência do efeito de ressuspensão de material particulado proveniente do campo de futebol localizado a sul da estação.

## **5. 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 – Nucleo de Pesquisas em Tecnologia Avançada para Monitoramento e Proteção Ambiental (NATA)
- 7- Pontes, R. S., Yanagi, Y., Análise dos Padrões de Vento e de sua Influência sobre as Máximas Concentrações de Ozônio na Estação Ibirapuera

## **6. 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