

**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 Lapa**

**JANEIRO – 2004**

## SUMÁRIO

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

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 Lapa identificou que as altas concentrações observadas são diretamente influenciadas pelo tráfego de veículos da Marginal Tietê e agravadas por condições de estagnação atmosférica. Em termos de população, por ser uma estação veicular, verificou-se que a população mais exposta é aquela que transita pela região muito próxima à estação. Os poluentes monitorados MP, CO e NO<sub>x</sub> são adequados ao monitoramento da avaliação do impacto do tráfego da Marginal Tietê bem como os parâmetros meteorológicos.

## 1. Introdução

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

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

A rede automática é composta por analisadores automáticos, instalados em estações remotas e interligados a uma central de recepção e processamento de dados, operando desde 1981 na RMSP e Cubatão. Atualmente, possui 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 identificar futuros problemas de poluição do ar;
- avaliar os níveis de poluição aos quais a população está exposta e fornecer subsídios para a avaliação dos efeitos da poluição sobre a saúde;
- informar a população dos níveis de poluição do ar;
- fornecer informações para o gerenciamento da qualidade do ar, em termos de planejamento de tráfego e uso do solo;
- identificar as principais fontes poluidoras;
- avaliar o impacto de determinadas fontes;
- identificar a influência sobre os ecossistemas em geral;
- criar subsídios para o desenvolvimento e validação de ferramentas de gestão atmosférica (modelos de qualidade do ar, sistemas de informações geográficas etc.).

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

- os mais altos níveis de concentração de poluentes esperados para a área de abrangência da rede;
- as concentrações representativas das áreas de maior densidade populacional;

- o impacto da poluição no meio ambiente devido a determinadas fontes ou grupos de fontes;
- os níveis médios de concentração de poluentes na atmosfera para a região.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### **3. Metodologia**

O trabalho foi desenvolvido procurando abordar e levantar o maior número possível de informações que permitam classificar as estações, bem como

fornecer um histórico da qualidade do ar no período monitorado. Apresentam-se, a seguir, as informações e análises realizadas no trabalho.

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

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

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

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

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

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

Os dados utilizados para avaliação da qualidade do ar são todos os poluentes medidos pela rede automática e manuais da CETESB, que são:  $MP_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$  ( $NO_2$  e  $NO$ ),  $O_3$ ,  $CO$ ,  $HC$  ( $H_{CNM}$  e  $CH_4$ ),  $PTS$ ,  $FMC$ ,  $MP_{2,5}$  e outros que eventualmente tenham sido monitorados. Obviamente, não há dados de todos os parâmetros em todas as estações, bem como há parâmetros que não foram medidos em todo o período.

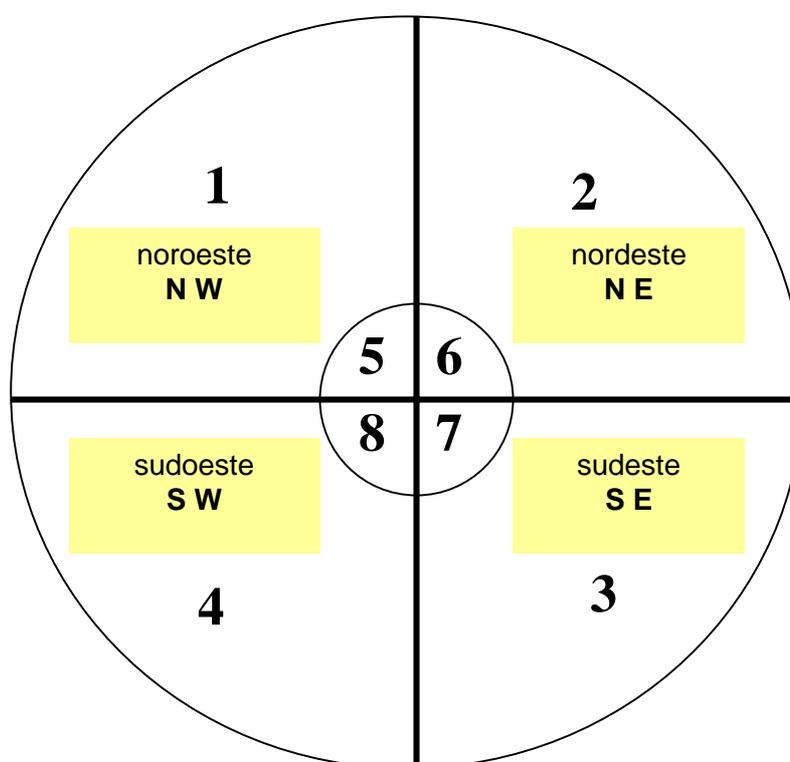
As análises realizadas para cada poluente não são necessariamente as mesmas devido às diferentes características dos poluentes em termos de tempo de exposição referenciado nos padrões legais e valores de referência. Porém, as análises da qualidade do ar basicamente consideraram:

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

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.

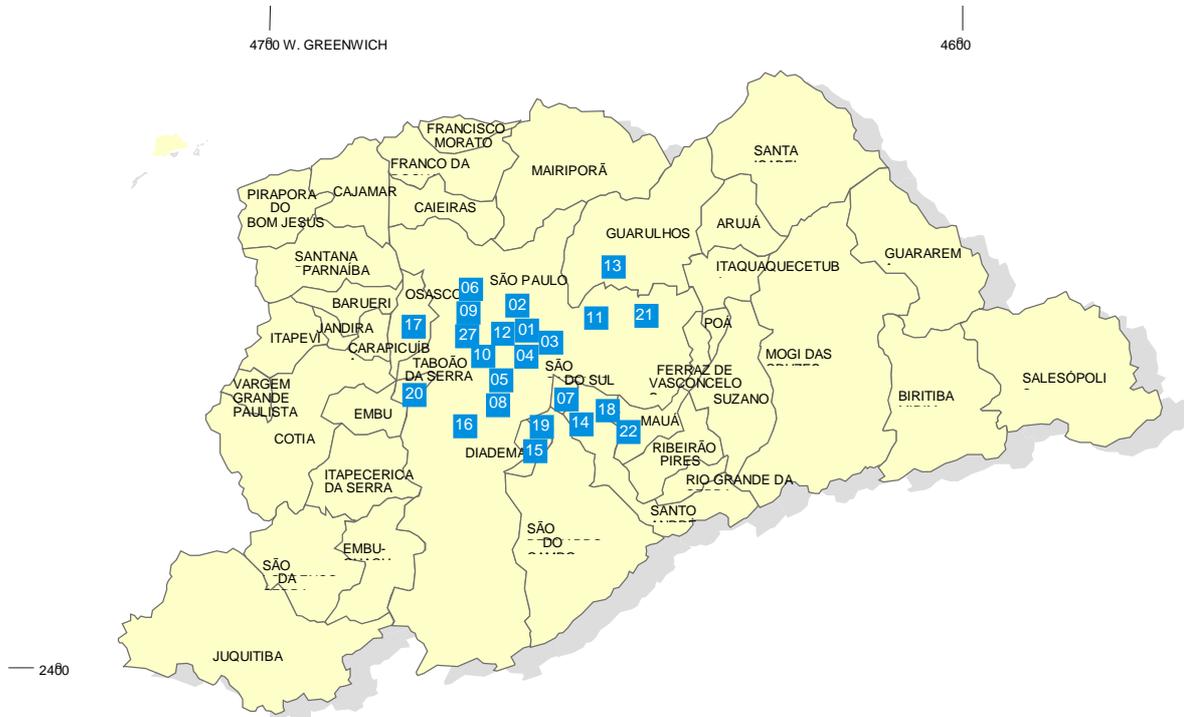
Para complementar as informações relativas às concentrações médias observadas para cada quadrante, fez-se ainda a análise das condições meteorológicas observadas em dois casos de ultrapassagem do limite legal de qualidade do ar.

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 automática – 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	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	NO <sub>2</sub>	Dióxido de nitrogênio	VV	Velocidade do Vento
MP <sub>2,5</sub>	Partículas inaláveis finas	NO <sub>x</sub>	Óxido de nitrogênio	DV	Direção do Vento
FMC	Fumaça	CO	Monóxido de carbono	UR	Umidade Relativa do Ar
PTS	Partículas Totais em Suspensão	CH <sub>4</sub>	Metano	P	Pressão Atmosférica
SO <sub>2</sub>	Dióxido de enxofre	HCNM	Hidrocarbonetos totais menos Metano	TEMP	Temperatura
NO	Monóxido de nitrogênio	O <sub>3</sub>	Ozônio	RAD	Radiação Total e Ultra-violeta

## 4.1. Estação Lapa

Apresentam-se a seguir os diversos aspectos relacionados à estação Lapa 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:** Av. Emb. Macedo Soares, 7995 - Lapa  
Subprefeitura da Lapa

**Coordenadas:** Lat. 23° 30' 40" S UTM (23K) 326 299  
Long. 46° 41' 40" W UTM (23K) 7 399 107

**Altitude:** 720m

**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>
MP <sub>10</sub>	Radiação Beta	PW9790-Philips	10/06/87	05/02/98
MP <sub>10</sub>	Radiação Beta	FH62 I-N-Graseby-Andersen	21/09/99	
SO <sub>2</sub>	Coulometria	PW9755-Philips	01/01/86	29/09/95
SO <sub>2</sub>	Fluorescência de Pulso (ultravioleta)	Modelo 43 – Thermo E.I.I.	16/08/96	28/04/97
CO	Infravermelho não Dispersivo	Modelo 48 – Thermo E.I.I.	09/08/96	
NO <sub>x</sub>	Quimiluminescência	Modelo 42 – Thermo E.I.I.	14/08/96	
O <sub>3</sub>	Ultravioleta	Modelo 49 – Thermo E.I.I.	10/08/96	22/09/00
VV e DV	Tacômetro/ Goniômetro	Thies	01/01/88	29/09/95
VV e DV	Tacômetro/ Goniômetro	Lastem	01/05/96	25/11/01

### **Condições Locais**

Quanto ao uso do solo, pode-se dizer que a estação Lapa está em região que abriga atividades comerciais e industriais, além de residências. Está localizada dentro da Unidade de Limpeza Pública (U.L.P.), administrada pela Subprefeitura da Lapa.

A figura 5 apresenta uma fotografia aérea do entorno da estação quando ao seu redor haviam canteiros onde se cultivavam plantas ornamentais. A partir de março de 2002, foi iniciada a construção de Abrigos Provisórios Modulares (60 unidades) pela Secretaria de Implementação das Subprefeituras (SIS), para abrigar famílias em situações emergenciais.

Essas moradias mudaram significativamente o entorno da estação, principalmente nas faces leste e sul, e distam aproximadamente 12 metros da sonda de amostragem da estação, conforme pode ser observado na Figura 6.

No dia 23/04/2003, esses abrigos foram destruídos por um incêndio, causando inclusive danos para a estrutura da estação. Posteriormente, os abrigos foram reconstruídos pela Subprefeitura da Lapa, antes que a estação voltasse a operar normalmente.

A Av. Embaixador Macedo Soares (Marginal Tietê via local, sentido Lapa-Penha) está a aproximadamente 8 metros da estação, enquanto a Av. Otaviano Alves de Lima (Marginal Tietê via local, sentido Penha-Lapa) está a cerca de 250 metros de distância. Ambas as avenidas locais e expressas da Marginal Tietê apresentam tráfego intenso tanto de veículos leves como pesados, cujas estimativas de emissão encontram-se no item 4.1.3 (tabela 8).

Embora com tráfego menos intenso que a Marginal Tietê, tanto de veículos leves quanto pesados, a Av. Ermano Marchetti também foi considerada, e dista cerca de 500 metros da estação. As estimativas de emissão desta via se encontram na

tabela 5. A Av. José Maria de Faria, que fazia o lado leste da estação, apresenta tráfego pequeno de veículos e não foi considerada.

Com respeito a obstáculos ao redor da estação, na direção nordeste, a 12 metros de distância da sonda de amostragem, há algumas árvores com cerca de 4 metros de altura, como mostra a Figura-7 - vista leste. Na face noroeste, há um canteiro de pequenas árvores que distam 6 metros e com altura de 4 metros (Figura-7 - vista oeste). Tanto na face norte como na oeste da estação, há um muro de concreto de cerca de 2 metros de altura (Figura-7 - vistas norte e oeste).

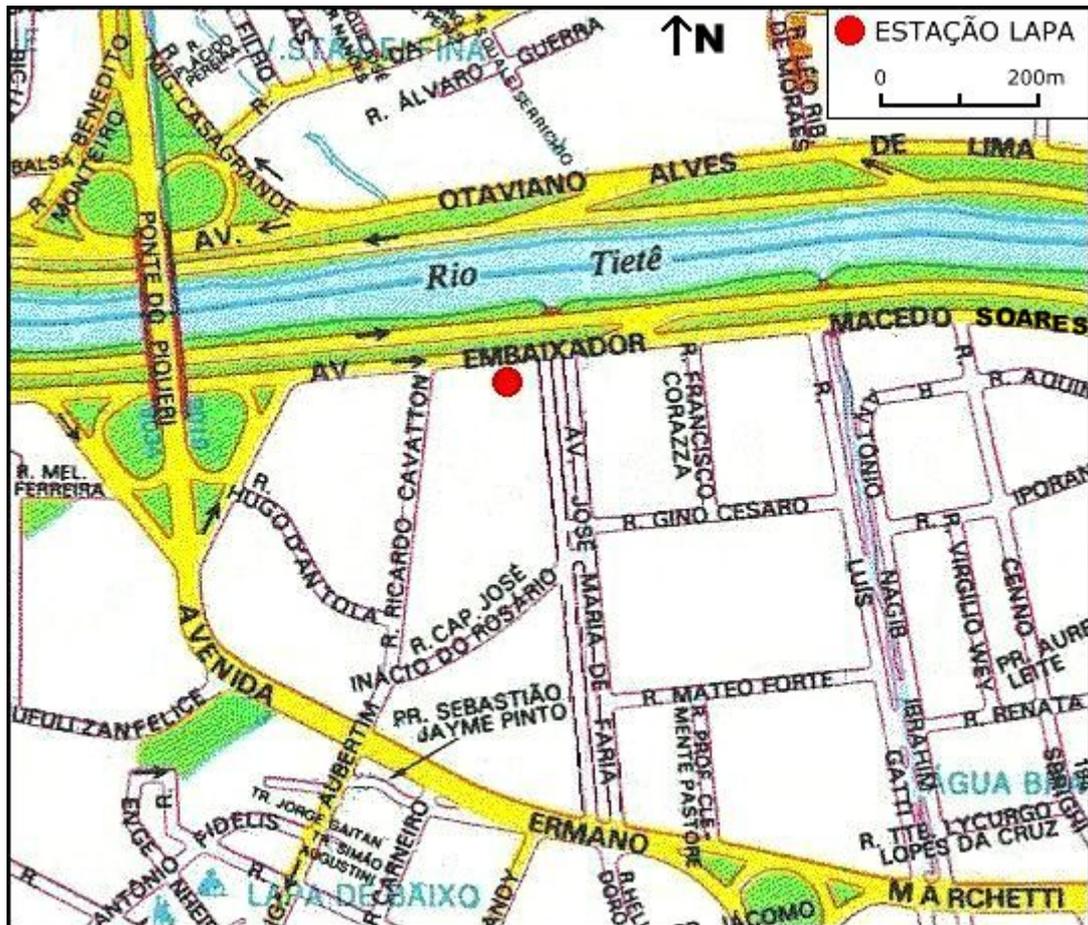


Figura 3 – Localização da estação Lapa (mapa cedido pela Cartoplam Editora - [www.cartoplam.com.br](http://www.cartoplam.com.br)).



Figura 4 – Vista da estação Lapa



Figura 5 – Vista aérea da estação Lapa (anterior a março de 2002)

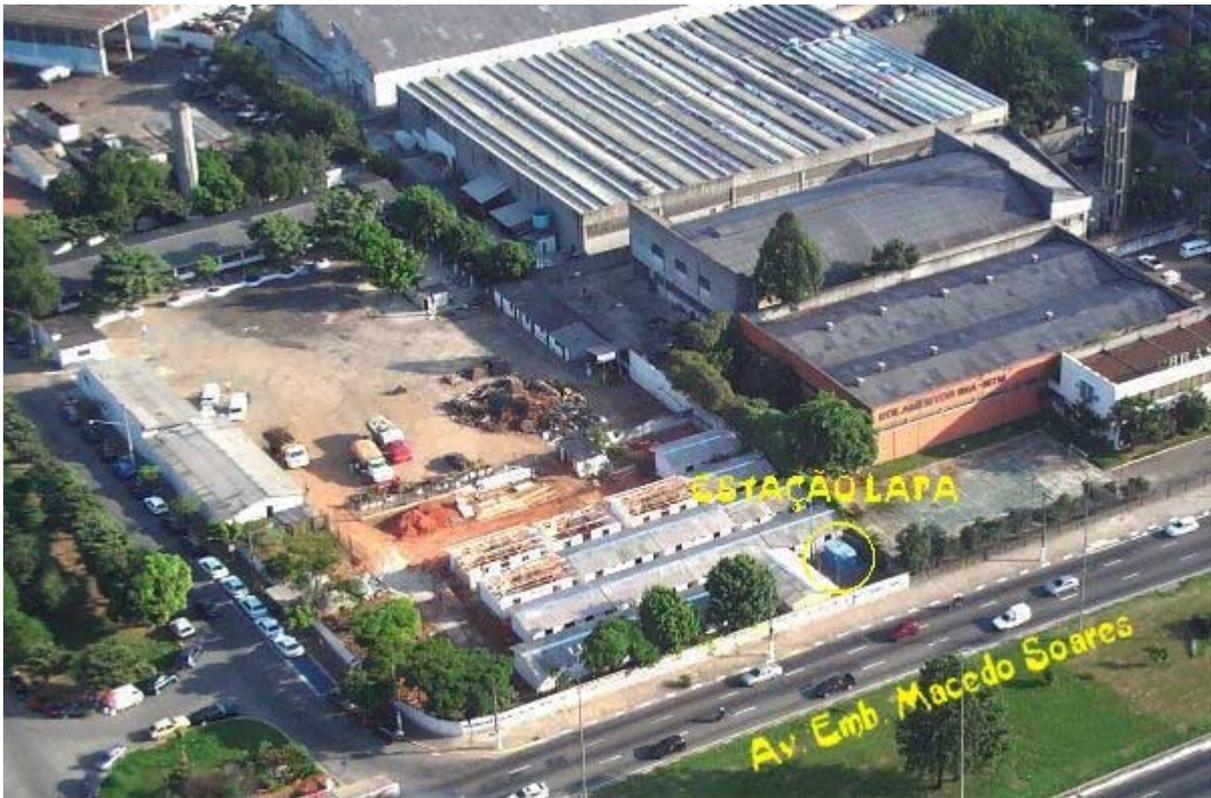


Figura 6 – Vista aérea da estação Lapa (posterior a março de 2002)



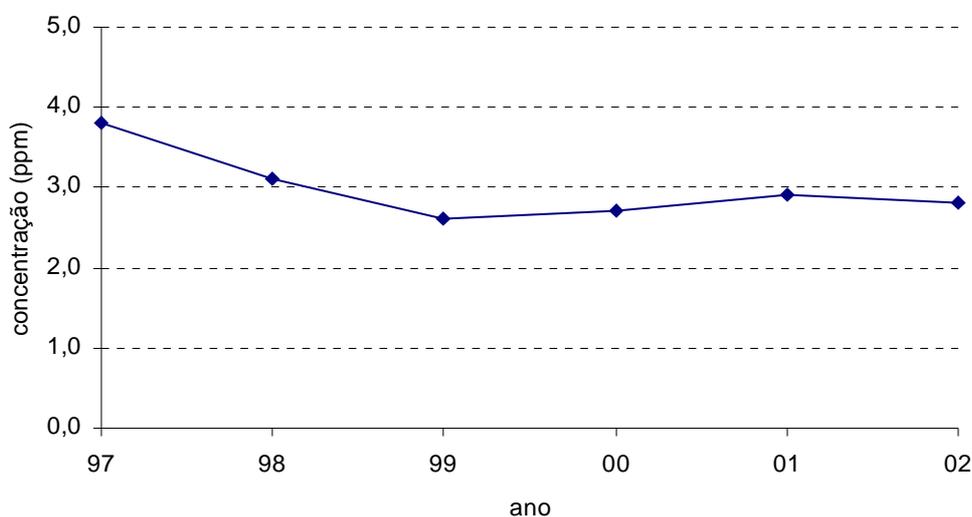
Figura 7 – Vistas do entorno da Estação Lapa.

#### 4.1.2. Tendências da Qualidade do Ar

Visando avaliar o perfil das concentrações dos diversos poluentes monitorados na estação Lapa ao longo dos anos, elaboraram-se análises com os dados obtidos na estação, nos períodos monitorados e disponíveis.

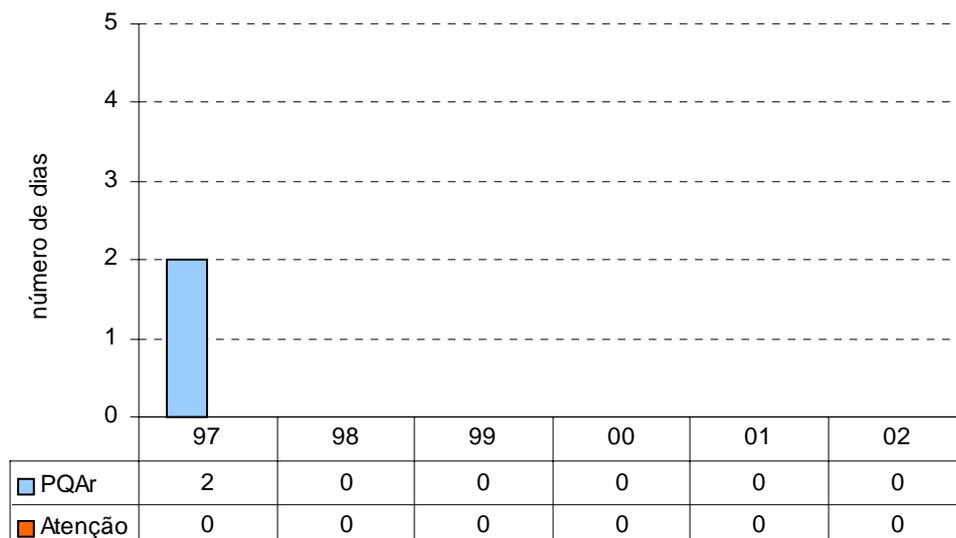
##### Monóxido de Carbono - CO

A figura 8 apresenta a evolução das concentrações médias das máximas diárias de 8 horas de monóxido de carbono na estação Lapa, no período de 1997 a 2002. Observa-se que houve um decréscimo nas concentrações de 1997 a 1999 e a partir daí as médias ficam estabilizadas pouco abaixo de 3ppm, sem indicar tendência significativa de redução ou elevação das concentrações nos últimos quatro anos. É importante destacar que não existe limite legal de concentração de CO para períodos anuais e o gráfico elaborado serve apenas para análise de tendência.



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

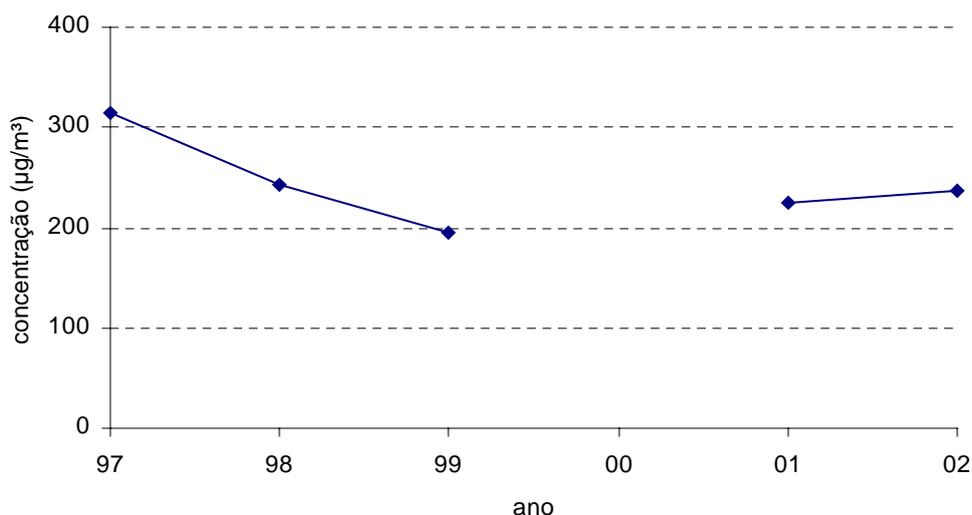
A figura 9 apresenta o número de dias de ultrapassagem dos níveis do PQAr (9ppm) e Atenção (15ppm), médias de 8 horas. Nota-se que desde 1997, quando ocorreram duas ultrapassagens, a estação Lapa não tem apresentado ultrapassagem do padrão de 8 horas.



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

### Monóxido de Nitrogênio - NO

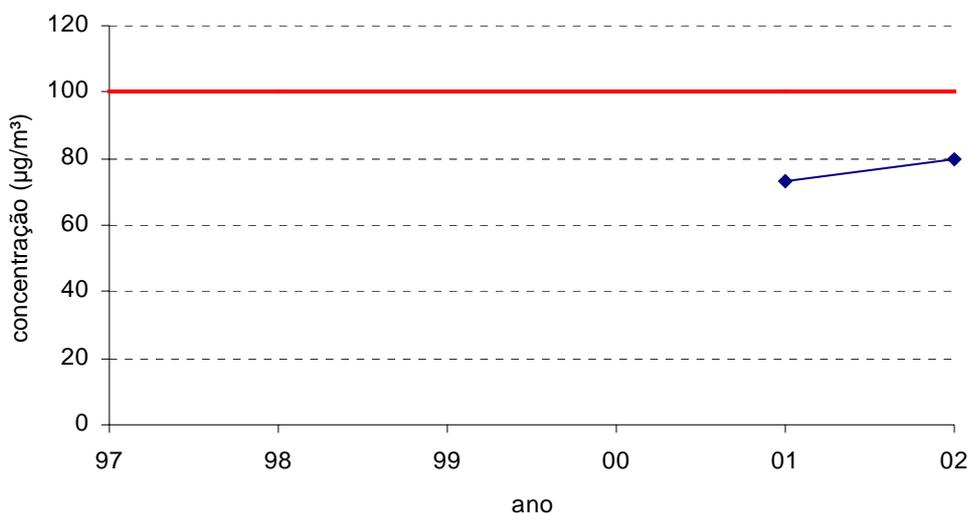
Não há padrão legal para NO. A figura 10 apresenta as concentrações médias anuais de monóxido de nitrogênio na estação Lapa, de 1997 a 2002, considerando-se o período das 7 às 11 horas, horário em que se observam as maiores concentrações. Os valores médios apresentam uma queda significativa de 1997 a 1999. Em 2000, por problemas no equipamento, não há representatividade nos dados para cálculo da média anual. Já a partir de 2001, os valores voltam a subir atingindo níveis em torno de  $220\mu\text{g}/\text{m}^3$ , em 2001, permanecendo neste patamar também em 2002.



**Figura 10 – NO – Médias diárias das 07 às 11 horas**

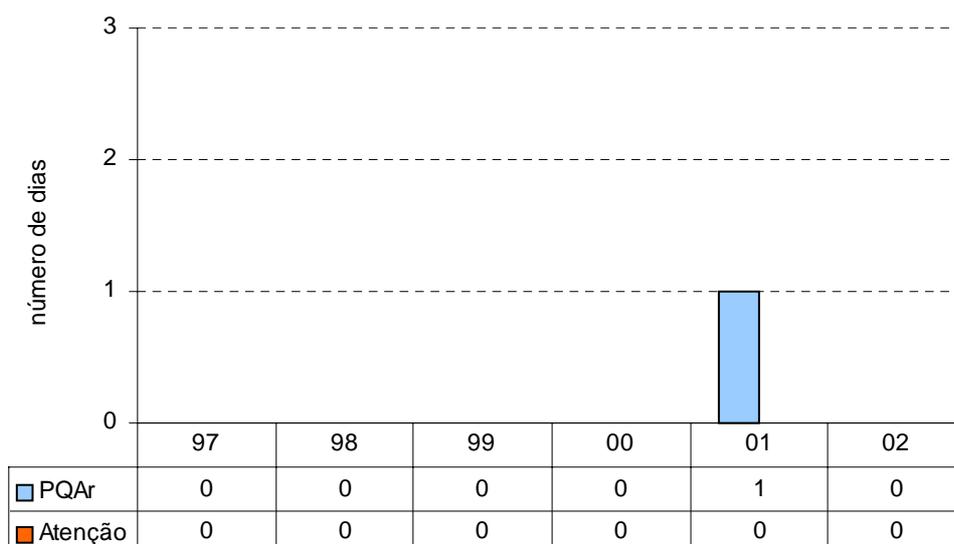
## Dióxido de Nitrogênio - NO<sub>2</sub>

No período de 1997 a 2000, por problemas no equipamento, não há representatividade nos dados para cálculo da média anual de NO<sub>2</sub>, mas nos últimos dois anos podemos observar que as concentrações encontram-se abaixo de 100 µg/m<sup>3</sup>, PQAr anual para este poluente.



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

A figura 12 apresenta o número de dias de ultrapassagem do PQAr (320µg/m<sup>3</sup>) e Atenção (1130µg/m<sup>3</sup>) de 1 hora para NO<sub>2</sub>. Observa-se que no período de 1997 a 2002 houve apenas uma ultrapassagem, ocorrida no ano de 2001.



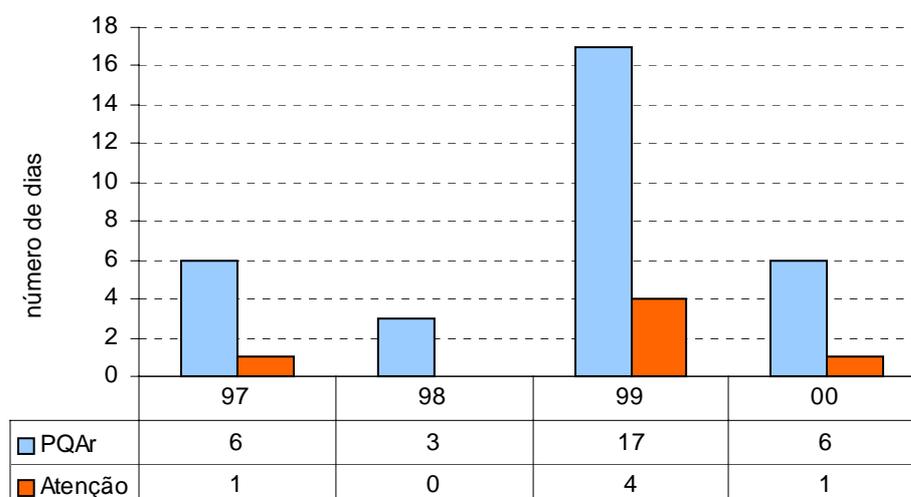
**Figura 12 – NO<sub>2</sub> – Número de dias de ultrapassagem do PQAr e nível de Atenção de 1997 a 2002**

## 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 Lapa, no período de 1997 a setembro de 2000.

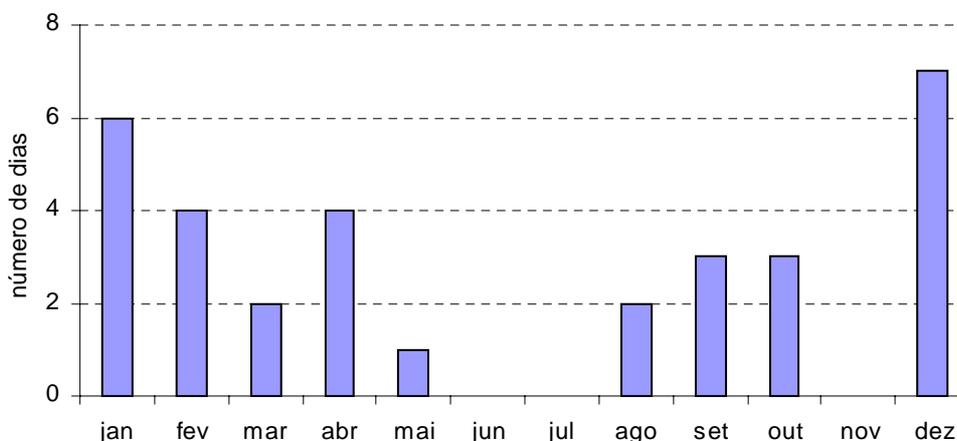
Observa-se que, por se tratar de uma estação de via próxima a fontes de NO que reagem com ozônio, apresenta poucos dias de ultrapassagem do PQAr/Atenção quando comparada a outras estações, como a estação Ibirapuera, que apresenta cerca de 50 dias por ano de ultrapassagens do padrão.

Por esta razão, optou-se pela transferência do analisador para outra estação em melhores condições de medição do O<sub>3</sub>.



**Figura 13 – O<sub>3</sub> – Número de dias de ultrapassagem do PQAr e nível de Atenção de 1997 a 2000**

Em termos de distribuição por meses do ano, observa-se na figura 14 que, apesar de muito poucas violações do padrão, a maior frequência de dias de ultrapassagens do PQAr ocorre nos meses de primavera e verão.



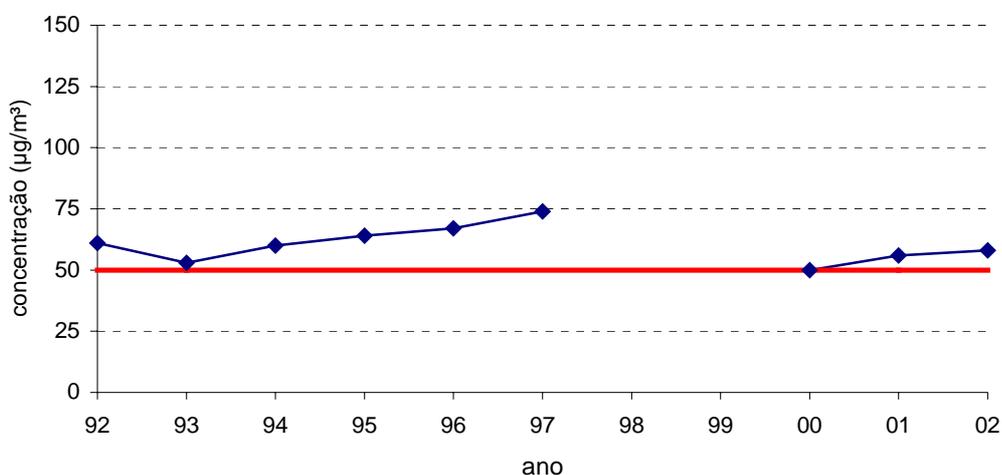
**Figura 14 – O<sub>3</sub> – Distribuição mensal do número de dias de ultrapassagem do PQAr no período de 1997 a 2000**

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

Desde 1997, não há mais monitoramento de SO<sub>2</sub> na estação Lapa, sendo que até essa data não havia qualquer registro de ultrapassagem do PQAr anual (80µg/m<sup>3</sup>). Salienta-se, no entanto, que de 1995 a 1997 o monitoramento foi insuficiente para dar representatividade aos resultados, porém os dados disponíveis correspondem a baixos resultados.

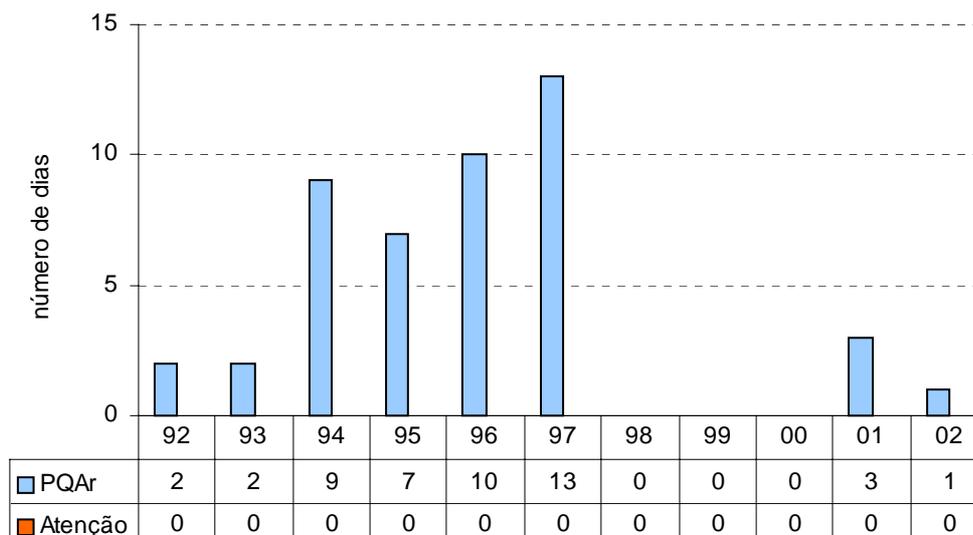
## Partículas Inaláveis (MP<sub>10</sub>)

A figura 15 apresenta a evolução das médias aritméticas anuais de MP<sub>10</sub> nos últimos 10 anos na estação Lapa. Nesta figura, percebe-se que as concentrações médias anuais no início da década de 90 se encontravam próximas a 60µg/m<sup>3</sup>, em ascensão, acima do padrão de qualidade do ar (PQAr) anual (50µg/m<sup>3</sup>). Após um período sem monitoramento, reiniciado em 2000, as concentrações obtidas apresentaram-se em torno de 55µg/m<sup>3</sup>, ou seja, um pouco acima do PQAr.



**Figura 15 – MP<sub>10</sub> – Médias aritméticas anuais**

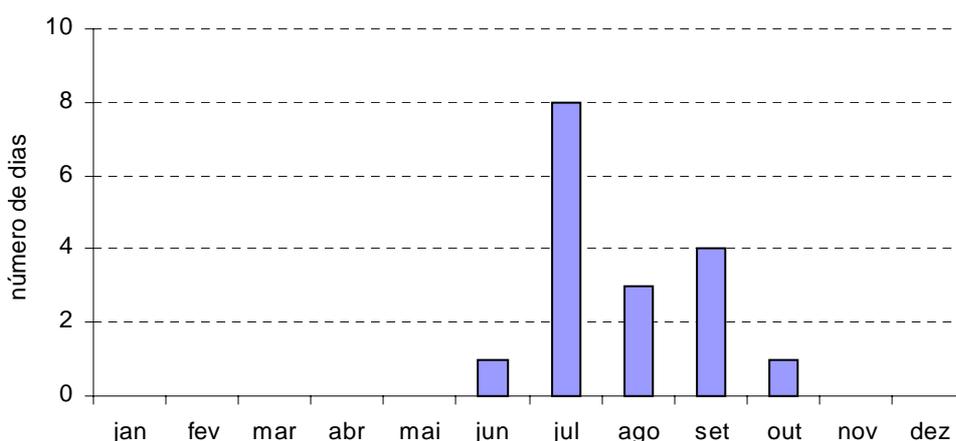
Os resultados observados com relação ao padrão legal de curto prazo de MP<sub>10</sub> (150µg/m<sup>3</sup> - média de 24 horas), conforme apresentado na figura 16, indicam alguma redução, apesar de haver períodos grandes sem monitoramento nos anos de 1998 e 1999. Em 1997, observou-se 13 dias de ultrapassagens do PQAr, enquanto que nos anos mais recentes, a maior frequência foi de três dias em 2001.



**Figura 16 – MP<sub>10</sub> – Dias de ultrapassagem do PQA e nível de Atenção**

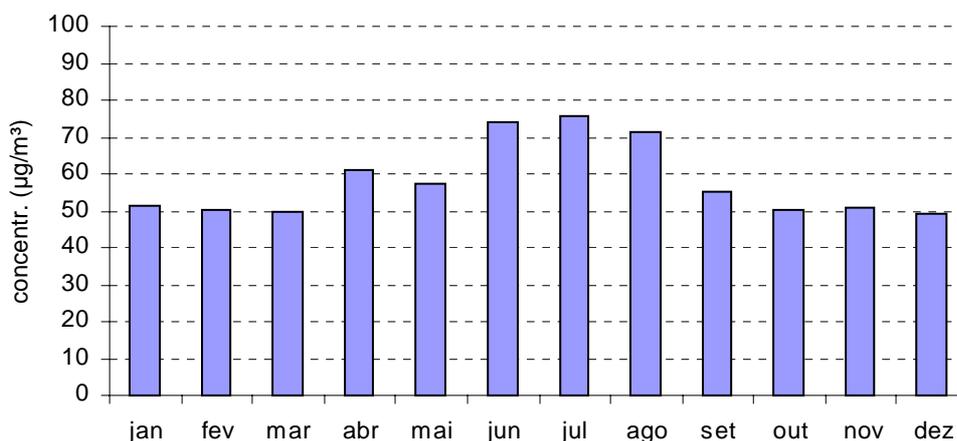
Em termos sazonais, sabe-se que no Estado de São Paulo os níveis mais elevados de concentração dos poluentes primários, ou seja, aqueles emitidos diretamente pelas fontes emissoras, são observados no período de inverno. Isso ocorre pela presença de condições meteorológicas mais desfavoráveis à dispersão 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 por MP<sub>10</sub> no período de 1997 a 2002, apresentada na figura 17. Pode-se observar que nesse período não houve ultrapassagens do PQA nos meses de verão, concentrando-se todos os episódios no período de junho a outubro. A maior frequência de ultrapassagens foi observada no mês de julho (8 episódios). Acrescenta-se que há poucos dados para os anos de 1998 e 1999, e a maioria dos episódios ocorreu em 1997.



**Figura 17– MP<sub>10</sub> – Distribuição mensal do número de dias de ultrapassagem do PQA no período de 1997 a 2002**

Considerando-se que no período analisado há poucas ultrapassagens do PQAr diário e para evitar que a análise do comportamento sazonal seja influenciada por períodos curtos altamente desfavoráveis à dispersão dos poluentes, fez-se também uma análise das médias mensais nesses mesmos seis anos, apresentada na figura 18. Nessa figura, observa-se claramente que as concentrações de MP<sub>10</sub> apresentam uma elevação durante os meses de inverno, apresentando sua concentração média máxima no mês de julho, seguida de junho e agosto.



**Figura 18 – MP<sub>10</sub> – Médias mensais no período de 1997 a 2002**

#### **4.1.3. Microinventário de Fontes**

Para avaliar o impacto das fontes na estação, foram levantadas todas as fontes prioritárias definidas em duas regiões delimitadas por dois círculos concêntricos, de 400m e de 2000m de raio, em setores, conforme apresentado na figura 19<sup>(6)</sup>.



**LEGENDA:**

**Indústria com Processo de Impressão Gráfica: A**

**Indústrias com Forno: B, C, E e F**

**Indústria com Caldeira: D**

**Figura 19 – Mapa ilustrando as principais fontes de emissão e setores no entorno da estação Lapa.**

## Fontes Estacionárias

As fontes prioritárias no perímetro de avaliação da estação são apresentadas a seguir, conforme informações prestadas pelas Agências Ambientais de Pinheiros e Santana. A tabela 5 apresenta os valores disponíveis de emissão para as fontes estacionárias levantadas, bem como identifica através de letras, sua localização geográfica em relação à estação Lapa, que pode ser observada na figura 19.

**Tabela 5: Estimativas de emissão de fontes estacionárias no entorno da estação Lapa.**

	Empresa	Fonte	Emissão (ton./ano)				
			MP	SO <sub>2</sub>	NOx	CO	HC
A	Editora Abril	Processo de impressão gráfica	Nd	Nd	Nd	Nd	13,4*
B	Laminação de Ferro e Aço União	Forno	0,5	Nd	Nd	Nd	Nd
C	Laminação N.S. <sup>a</sup> do Ó	Forno	0,5	Nd	Nd	Nd	Nd
D	Ind. Artefatos de Borracha Soinarbo	Caldeira	2,7	0,8	Nd	Nd	Nd
E	Cia. Vidraria Santa Marina	Forno	222	361	Nd	Nd	Nd
F	Duratex - Unidade II	Forno	32	135	Nd	Nd	Nd
<b>Total</b>			<b>257,7</b>	<b>496,8</b>			<b>13,4</b>

\* hidrocarbonetos na forma de tolueno

Nd = Não disponível

As fontes mais importantes em emissão de material particulado e SO<sub>2</sub> são a Companhia Vidraria Santa Marina e a Duratex-Unidade II, localizadas a aproximadamente 1500 metros a sudeste da estação da Lapa. De acordo com informações da Agência Ambiental de Pinheiros, essas duas empresas são responsáveis por cerca de 90% de toda a emissão das fontes fixas da região. Na área de estudo ao norte do Rio Tietê, de responsabilidade da Agência Ambiental de Santana, algumas poucas empresas de pequeno potencial poluidor estão cadastradas, destacando-se a Editora Abril que apresenta um remanescente de hidrocarbonetos, na forma de tolueno, proveniente da parte não recuperada em seu processo de controle. Essa emissão lançada na atmosfera é da ordem de 13,4 toneladas/anos (dados de 2002).

## Fontes Móveis

As fontes móveis mais importantes no entorno da estação em estudo são representadas por poucas mas importantes vias de tráfego. As principais vias e fontes lineares de emissão a causar impacto na área de avaliação são genericamente chamadas de avenidas marginais do Tietê. A marginal esquerda, sentido Lapa-Penha, pista local, é a Av. Embaixador Macedo Soares e a marginal direita, sentido Penha-Lapa, pista local, é a Av. Otaviano Alves de Lima. Essas marginais se estendem na direção leste/oeste, compreendendo a extensão máxima de 4000 metros (2000 metros em cada sentido) que significa a área de influência da fonte que estaria afetando de forma mais significativa a estação amostradora.

A estação está próxima de um muro, tendo somente a calçada a separá-la da via local da avenida marginal esquerda, a uma distância aproximada de 8 metros ao norte, entre as fontes de emissão e as sondas de captação.

Outra via importante nessa área e considerada no estudo é a Av. Ermano Marchetti, que se estende inicialmente na direção norte/sul, desde a Ponte do Piqueri, depois desviando-se para o leste (ver figura 3). O ponto mais próximo entre a estação e essa avenida fica a aproximadamente 400 metros, no cruzamento com a Av. Embaixador Macedo Soares. As demais vias de tráfego no entorno da estação da Cetesb não foram consideradas em virtude do pouco volume de tráfego que apresentam.

Considerando essas fontes lineares como as mais importantes na região de estudo, foram feitas estimativas de emissão, diferenciando-se os veículos leves dos veículos movidos a diesel.

As emissões nas duas vias analisadas foram estimadas a partir dos dados de contagem de veículos realizada no dia 07/11/02 (quinta-feira).

Nas avenidas marginais do Tietê, foram feitas 11 (onze) contagens de 30 minutos, considerando as pistas local e expressa nos 2 (dois) sentidos da via, nos horários compreendidos entre 7h20 e 19h30.

Na Av. Ermano Marchetti, foram efetuadas também 11 (onze) contagens de 30 minutos nos 2 (dois) sentidos da via, ao mesmo tempo em que se fazia a contagem nas avenidas marginais do Tietê.

Para se chegar ao volume de tráfego diário, considerou-se o valor médio nas contagens realizadas, obtendo-se a média horária de fluxo de veículos. Adotou-se, como critério, que essa média horária é válida entre as 6h00 e 22h00, e que no horário complementar há uma redução de 70% no volume de tráfego. Para se estimar o volume anual, considerou-se o ano com 52 semanas e o volume de tráfego diário válido somente para os dias úteis. Nos finais de semana, estimou-se uma redução de 50% no fluxo de veículos.(Tabela 6)

**Tabela 6: Contagem de veículos nas Avenidas Marginal Tietê e Ermano Marchetti**

Via	Fonte	Volume de tráfego diário	Volume anual estimado
Marginal Tietê Lapa-Penha	Veículos Leves	137.816	42.998.592
	Veículos Diesel	44.602	13.915.824
Marginal Tietê Penha-Lapa	Veículos Leves	164.606	51.357.072
	Veículos Diesel	58.033	18.106.296
Av. Ermano Marchetti	Veículos Leves	66.130	20.632.560
	Veículos Diesel	14.499	4.523.688

Para a estimativa de emissão das fontes móveis, foram considerados os fatores de emissão de veículos em uso na RMSP em 2001 (tabela 7), por ser a informação mais atualizada disponível na época da contagem.

**Tabela 7: Fatores de emissão de veículos em uso na RMSP em 2001**

Tipo de veículo	Fatores de emissão (g/km)				
	MP	SO <sub>2</sub>	NOx	CO	HC
Gasool	0,08	0,16	0,7	12,3	1,3
Diesel	0,81	0,43	13	17,8	2,9

A partir dos fatores de emissão e do volume de tráfego estimado nas principais vias no entorno da estação, calculou-se a emissão de poluentes em ton/ano, levando-se em conta a extensão destas fontes lineares (tabela 8).

**Tabela 8: Emissões de fontes móveis**

Local	Fonte	Emissão (ton/ano)				
		MP	SO <sub>2</sub>	NOx	CO	HC
Marginal Tietê*	Gasool	30,2	60,4	264	4642	491
	diesel	103,7	55,1	1665	2280	371
	<b>Total</b>	<b>133,9</b>	<b>115,5</b>	<b>1929</b>	<b>6922</b>	<b>862</b>
Av. Ermano Marchetti**	Gasool	1,1	2,3	10	177	19
	diesel	2,6	1,4	41	56	9
	<b>Total</b>	<b>3,7</b>	<b>3,7</b>	<b>51</b>	<b>233</b>	<b>28</b>

\* Fonte linear de 4.000m de extensão

\*\* Fonte linear de 700m de extensão

A tabela 9 relaciona as emissões das fontes estacionárias e móveis dentro de cada setor

**Tabela 9: Estimativas de emissão de material particulado de fontes estacionárias e móveis no entorno da estação Lapa**

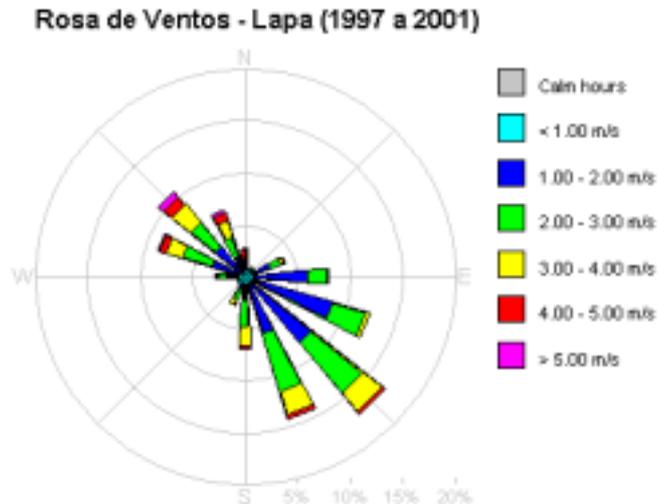
Quadrante	Setor	Emissão das fontes (ton/ano)					Emissão Total (ton/ano)					
		Fonte	MP	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	HC	MP	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	HC
0-90 (Nordeste)	2	Av. Marginal Tietê L-P [1600m]	23,5	20,6	338	1243	154	57,3	60,2	772	2769	345
		Av. Marginal Tietê P-L [1600m]	30,0	25,6	434	1526	191					
		Laminação N.Sra. do Ó (C)	3,2	14,0								
		Laminação União (B)	0,5									
	6	Av. Marginal Tietê L-P [400m]	5,9	5,1	84	311	39	13,4	11,5	193	692	86
		Av. Marginal Tietê P-L [400m]	7,5	6,4	109	382	48					
90 - 180 (Sudeste)	3	Cia.Vidraria Santa Marina (E)	222,0	361,0				254,0	496,0			
		Duratex S/A - Unidade II (F)	32,0	135,0								
	7											
180 - 270 (Sudoeste)	4	Av. Ermano Marchetti [700m]	3,7	3,7	51,3	234	28	3,7	3,7	51	234	28
	8											
270- 360 (Noroeste)	1	Ind. Art. Borracha Soinarbo (D)	2,7	0,8				13,4	11,5	193	692	86
		Av. Marginal Tietê L-P [400m]	5,9	5,1	84	311	39					
		Av. Marginal Tietê P-L [400m]	7,5	6,4	109	382	48					
	5	Editora Abril (A)					13,4					13,4

Observação: As letras entre parênteses correspondem às fontes industriais, tal como apresentadas na figura 19. Os números entre colchetes correspondem à extensão das vias de tráfego no setor considerado.

#### 4.1.4. Influência das Condições Meteorológicas

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

Para entender o comportamento dos poluentes na atmosfera, é necessário um bom conhecimento da meteorologia local, e um dos parâmetros que deve ser analisado é o vento. Uma forma de análise deste parâmetro é através de rosas de ventos, onde podem-se observar direções predominantes e velocidades médias para um grande período de tempo. A figura 20, que representa a rosa de ventos da estação Lapa para os anos 1997 a 2001, mostra o quadrante SE como o predominante, embora seja observada ainda uma freqüência significativa de ventos do quadrante NW. A porcentagem de calmaria e ventos variáveis (normalmente ventos fracos) nesta estação foi de 17% para os anos considerados.



**Figura 20 – Rosa de ventos da estação Lapa para os anos 1997 a 2001.**

Na tabela 10, são apresentadas as freqüências de direção dos ventos ao longo do dia no período de 1997 a 2001, permitindo uma análise média do regime de circulação de ar na região.

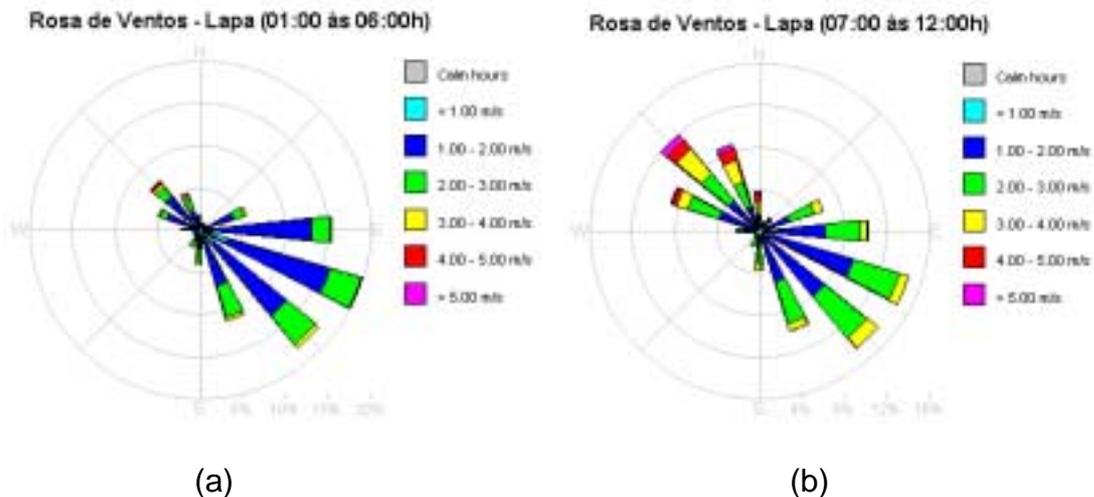
**Tabela 10: Freqüência (horas) do vento na estação Lapa em cada quadrante ao longo do dia – 1997 a 2001**

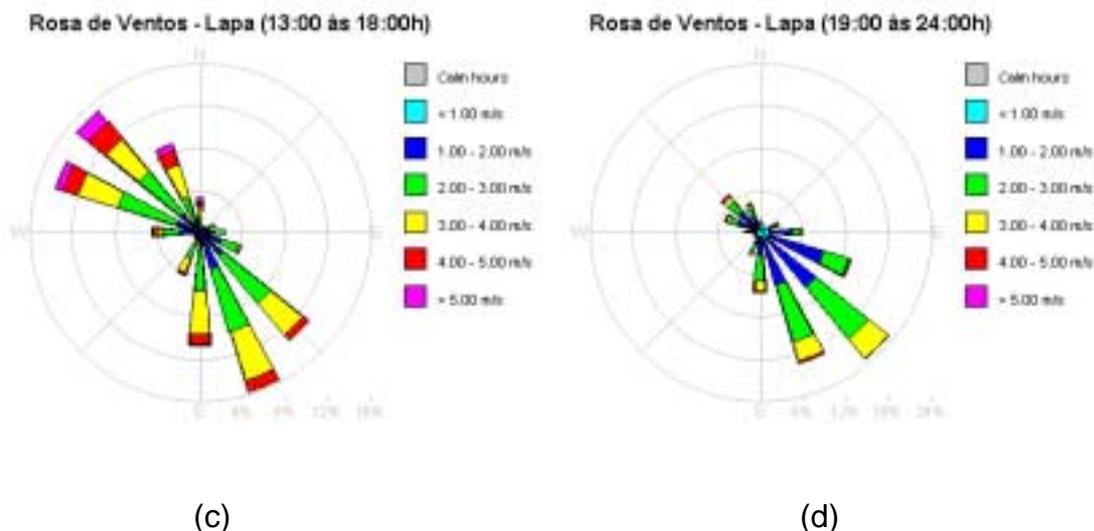
Hora	NE	SE	SW	NW	Calm/var
01:00	117	605	57	164	332
02:00	129	534	56	171	386
03:00	124	545	51	176	372
04:00	144	509	57	164	399
05:00	136	499	55	188	397
06:00	121	486	46	223	400
07:00	117	507	38	228	387
08:00	160	519	45	254	297
09:00	180	520	55	292	230
10:00	173	498	55	362	190
11:00	146	477	48	456	146
12:00	138	440	51	535	107
13:00	87	429	59	594	101
14:00	56	431	90	617	79
15:00	49	443	133	584	64
16:00	45	487	165	538	42
17:00	45	552	174	457	50
18:00	62	603	187	384	42
19:00	61	650	185	295	85
20:00	52	698	137	247	141
21:00	62	704	85	207	221
22:00	74	697	63	182	264
23:00	96	672	61	158	292
24:00	120	638	55	155	312

Os resultados mostram que:

- Na madrugada e no período da manhã, entre 1h e 11h, os ventos são predominantemente do quadrante SE, com máxima freqüência a 1h. Os ventos de SE são os mais freqüentes no período do pico de tráfego matutino. A partir do final da manhã, aumenta a freqüência de ventos do quadrante NW, que se tornam predominantes à tarde, com maior freqüência às 14h.
- No final da tarde e durante a noite, há predominância do quadrante SE, com máxima freqüência às 21h. É importante ponderar que os ventos deste quadrante são os mais freqüentes quando considerados todos os horários somados. Os ventos do SE são causados principalmente pela presença de duas condições meteorológicas distintas: o primeiro caso está associado à situação sinótica, quando a atuação de um anticiclone polar gera ventos deste quadrante em praticamente todas as horas do dia; o segundo caso ocorre pela penetração da brisa marítima a partir da tarde até a noite, o que pode ser observado pela máxima freqüência de ocorrência nesse período. Os ventos dos quadrantes NE e SW são pouco freqüentes na região em todos os horários do dia.
- A condição de calmaria, apesar de apresentar freqüência considerável, principalmente durante a noite e madrugada, não é predominante em nenhum horário do dia.

Para uma melhor visualização do comportamento do vento na estação Lapa, foram feitas rosas de ventos em períodos do dia (figuras 21a, b, c, d), onde são observadas mudanças na direção com o decorrer do dia.





**Figura 21 – Rosas de ventos por período do dia da estação Lapa para os anos 1997 a 2001. Madrugada (a), manhã (b), tarde (c) e noite (d)**

Na figura 21a, que mostra a rosa de ventos para o período da madrugada (1h às 6h), observa-se predominância do quadrante SE e uma pequena contribuição do quadrante NW. Neste período do dia, a velocidade média é bastante baixa e a porcentagem de calmaria e ventos variáveis é de 30%.

No período da manhã (7h às 12h) (figura 21b), os ventos predominantes são ainda do quadrante SE, porém, existe uma forte contribuição do quadrante NW, quadrante este em que as velocidades são maiores que as do SE. Isto acontece porque os ventos de rajada diurnos são, na maioria das vezes, do quadrante NW. Neste período do dia, a porcentagem de calmaria e de ventos variáveis foi de 18%.

Na figura 21c, que mostra o comportamento à tarde (13h às 18h), as contribuições dos quadrantes SE e NW são praticamente da mesma monta, porém, as velocidades dos ventos do quadrante NW são um pouco maiores que as do SE. Neste período do dia, as velocidades dos ventos do quadrante SE são mais altas que as deste mesmo quadrante nos outros períodos do dia analisados (madrugada e manhã), isto deve ocorrer devido à penetração da brisa marítima que reforça os ventos sinóticos de SE. 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, é a mais baixa, apenas 5%.

O comportamento no período da noite (19h às 24h), apresentado na figura 21d, mostra vento predominante de SE nesse período. Apesar de existir ainda uma contribuição da brisa marítima nos ventos do quadrante SE, a velocidade média é mais baixa que a da tarde e ocorre um aumento da porcentagem de calmaria e de ventos variáveis (17%).

Para avaliar se a estação está bem localizada no que diz respeito às fontes prioritárias de emissão dos poluentes, apresentadas na tabela 9, adotou-se a seguinte metodologia:

- Avaliar o perfil do vento ao longo do dia, observando-se os horários de maior frequência em cada direção, bem como os horários de maior frequência de calma e vento variável (figura 21 e tabela 10).
- Avaliar os perfis de concentração de cada poluente medido na estação ao longo do dia. Esta análise foi feita considerando o comportamento de cada um dos dias da semana, de forma a avaliar também o impacto médio na qualidade do ar decorrente das variações nas emissões. Optou-se por fazer análise com médias de inverno e verão somente para os poluentes CO e O<sub>3</sub>, para referência, visto que as diferenças sazonais estão apresentadas de forma mais completa no item 4.1.2
- Analisar as concentrações médias em função de diferentes velocidades de vento proveniente dos quadrantes NE, SE, SW e NW, e em condições de calma e vento variável. Os períodos do dia foram selecionados com base na distribuição diária de concentração;
- Verificar a que quadrante do vento estão associadas as maiores concentrações médias e checar se o vento deste quadrante é o predominante (conforme tabela 10) nos horários de pico de concentração dos poluentes.

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

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

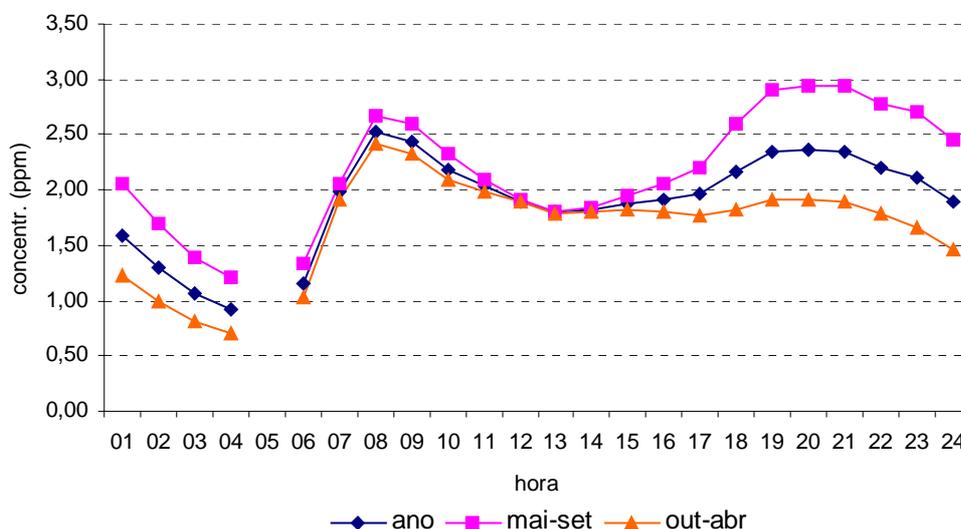
As análises foram feitas separadamente para cada poluente, uma vez que a escala de representatividade da estação pode variar em função do poluente considerado. Além disso, quanto à localização, a estação pode sofrer o impacto da emissão de um dado poluente e não ser capaz de monitorar adequadamente a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

### **Monóxido de Carbono - CO**

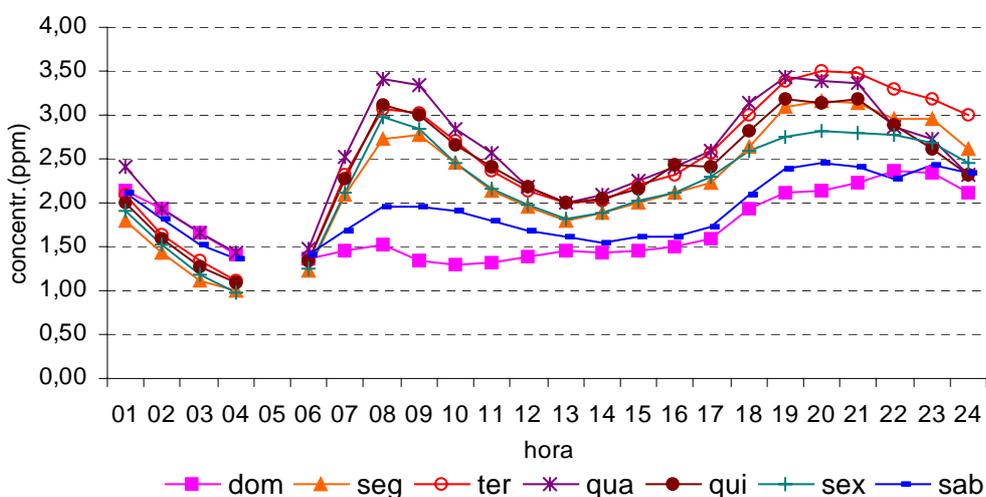
As figuras 22 e 23 ilustram, respectivamente, as variações médias horárias por período do ano e por dia da semana do CO na estação Lapa. Os perfis de inverno e verão apresentados ilustram as diferenças resultantes das variações meteorológicas médias entre os períodos do ano, determinantes principalmente no período noturno. Com relação às variações por dia da semana (figura 23), observa-se que os perfis de segunda a sexta-feira são bastante semelhantes, e que as concentrações de CO caem bastante no domingo, quando não se observa o pico matutino. A condição de sábado é intermediária.

Em termos médios, o perfil das concentrações horárias de CO ao longo do dia, mostra dois picos de concentração. Um pela manhã, cujo máximo é registrado às 8 horas e está associado ao aumento do tráfego de veículos, é de curta duração e precede um período com condições meteorológicas mais favoráveis à dispersão dos poluentes. Outro pico é observado no período noturno, com máximas concentrações médias entre 19h e 21h. É interessante observar que apesar da redução nas concentrações médias no início da tarde, período com condições

meteorológicas mais favoráveis à dispersão dos poluentes, ela não é tão acentuada quando comparada com as outras estações. Não existem dados às 5h por ser o horário utilizado para calibração automática diária do monitor.

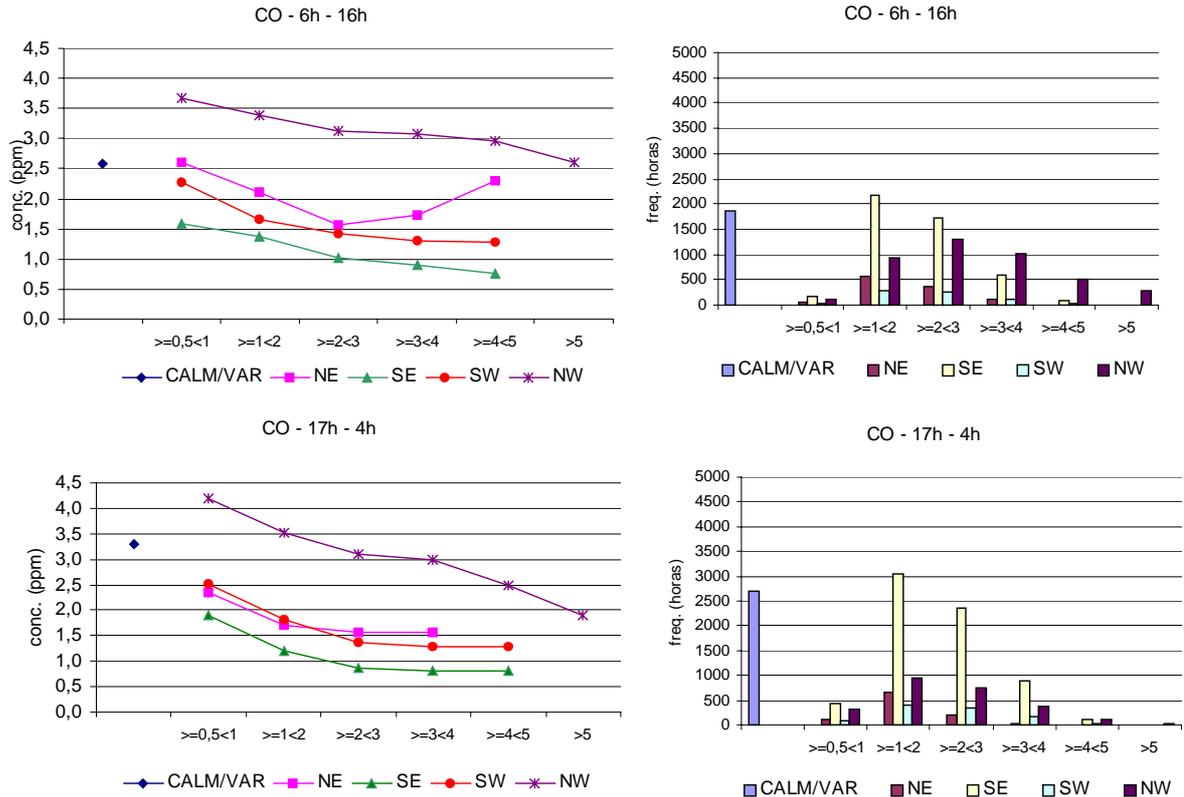


**Figura 22 – CO – Médias horárias por época do ano no período de 1997 a 2001**



**Figura 23 – CO – Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2001 (maio a setembro)**

Para elaboração dos gráficos que ilustram as concentrações do poluente em função da velocidade e quadrante do vento, foram utilizados os dados do período das 6h às 16h, que abrange o pico da manhã, e das 17h às 4h representativo do período noturno.



**Figura 24 – CO – Médias e freqüência de ocorrência (horas) nos períodos das 6h às 16h e das 17 às 4h, em função de velocidade e quadrante dos ventos no período de 1997 a 2001**

A figura 24 mostra concentrações médias mais elevadas com ventos de NW, principalmente para baixas velocidades. É importante salientar que as avenidas marginais, parte delas localizadas nesse quadrante, são vias de tráfego intenso e, portanto, são importantes fontes de emissão de CO. Sob condições de calmaria e ventos fracos de NW, as concentrações são mais altas no período noturno, evidenciando uma contribuição significativa da condição meteorológica mais desfavorável à dispersão dos poluentes.

As médias mais baixas de concentração foram detectadas com ventos de SE, embora este seja o quadrante de maior freqüência de ventos nos horários de pico de tráfego.

Apesar da presença das marginais também no quadrante NE, os níveis de concentração de CO observados com ventos deste quadrante são mais baixos que os de NW, possivelmente pela ocorrência de ventos de NE em dias menos poluídos na área urbana ou até mesmo pela existência de alguns anteparos, conforme descrito anteriormente.

### 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

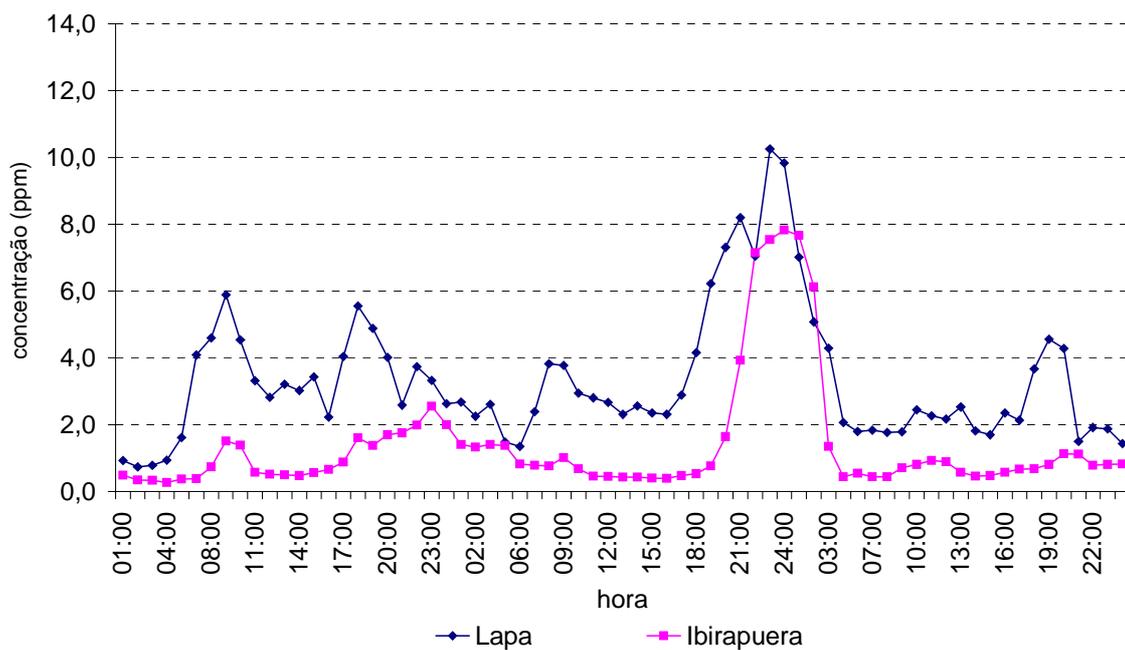
comportamento das concentrações de CO nos dias em que a média de 8 horas esteve mais elevada no ano de 2001.

Nos dias 24, 25 e 26 de agosto de 2001, condições meteorológicas bastante desfavoráveis à dispersão de poluentes produziram os níveis mais elevados de concentração do ano na estação Lapa. A tabela 11 apresenta a distribuição dos dados horários de CO, quadrante e velocidade do vento, onde pode-se observar que as concentrações mais elevadas ocorreram no período noturno do dia 25 e madrugada do dia 26 de agosto (de sábado para domingo), sob condições de calmaria. Também é possível notar que no dia 24 não houve muitos períodos de calmaria, fazendo com que os horários de maior concentração coincidisse com os de maior volume de tráfego, já que o vento predominante neste dia era de NW, ou seja, oriundos do quadrante das avenidas marginais.

**Tabela 11 : Dados de concentração de CO e vento registrados na estação Lapa, nos dias 24, 25 e 26/08/2001**

Dia Hora	24/08/2001			25/08/2001			26/08/2001		
	Conc.(1h) ppm	Veloc. m/s	Quadrante	Conc.(1h) ppm	Veloc. m/s	Quadrante	Conc.(1h) ppm	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	0,9	1,4	NE	2,7	0,9	NW	7,0	calm	-
02:00	0,7	1,8	NE	2,3	calm	-	5,1	calm	-
03:00	0,8	1,2	SE	2,6	calm	-	4,3	calm	-
04:00	0,9	calm	-	1,5	calm	-	2,1	calm	-
05:00									
06:00	1,6	1,5	NW	1,3	calm	-	1,8	1,7	NW
07:00	4,1	1,2	NW	2,4	calm	-	1,8	1,9	NW
08:00	4,6	1,2	NW	3,8	1,1	NW	1,8	var	-
09:00	5,9	1,7	NW	3,8	1,5	SW	1,8	calm	-
10:00	4,5	2,6	NW	2,9	1,8	NW	2,4	calm	-
11:00	3,3	3,1	NW	2,8	2,1	NW	2,3	calm	-
12:00	2,8	3,7	NW	2,7	2,4	NW	2,2	1,5	NW
13:00	3,2	3,1	NW	2,3	2,0	NW	2,5	2,6	NW
14:00	3,0	3,3	NW	2,6	1,9	NW	1,8	2,9	NW
15:00	3,4	4,0	NW	2,3	1,4	NW	1,7	1,4	SW
16:00	2,2	5,8	NW	2,3	1,0	NW	2,4	1,2	SW
17:00	4,0	2,0	NW	2,9	1,1	NW	2,1	1,2	SW
18:00	5,5	1,2	NW	4,2	0,9	SW	3,7	1,2	SW
19:00	4,9	1,1	NW	6,2	0,7	SW	4,6	1,8	NW
20:00	4,0	1,1	NW	7,3	calm	-	4,3	1,3	NW
21:00	2,6	calm	-	8,2	calm	-	1,5	1,6	SE
22:00	3,7	calm	-	7,0	calm	-	1,9	1,1	SE
23:00	3,3	1,2	NW	10,3	calm	-	1,9	1,1	SE
24:00	2,6	1,5	NW	9,8	calm	-	1,4	calm	-

A figura 25 apresenta as concentrações observadas nesses mesmos dias na Lapa e na estação Ibirapuera, cuja localização não é afetada diretamente pelas emissões em vias de tráfego próximas. Nessa figura, observa-se que, apesar de as concentrações serem mais baixas na estação Ibirapuera em quase todo o período, altas concentrações também foram observadas nesta estação na noite do dia 25 e madrugada do dia 26, confirmando serem resultado de condições meteorológicas que afetaram a região urbana como um todo.



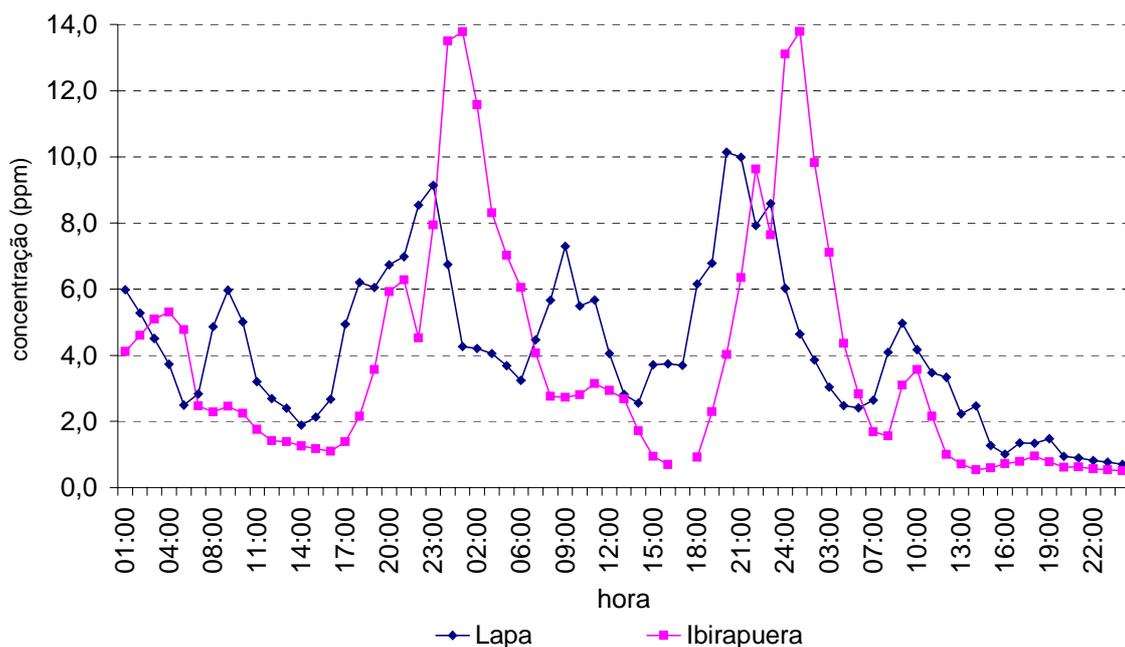
**Figura 25 – CO – Médias horárias nas estações Lapa e Ibirapuera nos dias 24, 25 e 26/08/01**

Nos dias 03, 04 e 05 de julho de 2001 (terça a quinta-feira), também devido às condições meteorológicas bastante desfavoráveis à dispersão de poluentes, foram registrados níveis elevados de concentração na estação Lapa. De acordo com os dados horários de CO, quadrante e velocidade do vento apresentados na tabela 12, é possível observar que as concentrações mais elevadas ocorreram no período noturno dos dias 03 e 04 de julho, sob condições de calmaria. No dia 05 houve uma maior dispersão desse poluente, principalmente no período noturno.

**Tabela 12 : Dados de concentração de CO e vento registrados na estação Lapa nos dias 03, 04 e 05/07/2001**

Dia	03/07/2001			04/07/2001			05/07/2001		
	Conc.(1h) ppm	Veloc. m/s	Quadrante	Conc.(1h) ppm	Veloc. m/s	Quadrante	Conc.(1h) ppm	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	6,0	calm	-	4,3	calm	-	4,6	calm	-
02:00	5,3	calm	-	4,2	calm	-	3,9	calm	-
03:00	4,5	calm	-	4,1	calm	-	3,0	calm	-
04:00	3,7	calm	-	3,7	calm	-	2,5	calm	-
05:00									
06:00	2,5	calm	-	3,2	calm	-	2,4	calm	-
07:00	2,8	calm	-	4,5	calm	-	2,6	calm	-
08:00	4,9	calm	-	5,7	calm	-	4,1	calm	-
09:00	6,0	calm	-	7,3	calm	-	5,0	calm	-
10:00	5,0	calm	-	5,5	calm	-	4,2	calm	-
11:00	3,2	1,0	SE	5,7	calm	-	3,5	1,6	SW
12:00	2,7	0,9	NE	4,1	calm	-	3,3	1,6	NW
13:00	2,4	calm	-	2,8	calm	-	2,2	1,8	SW
14:00	1,9	calm	-	2,6	calm	-	2,5	1,6	SW
15:00	2,1	calm	-	3,7	1,5	NW	1,3	0,6	var
16:00	2,7	calm	-	3,7	1,4	NW	1,0	calm	-
17:00	4,9	var	-	3,7	1,4	NW	1,4	1,9	SE
18:00	6,2	calm	-	6,2	1,2	NW	1,3	1,6	SE
19:00	6,1	calm	-	6,8	calm	-	1,5	2,4	SE
20:00	6,7	calm	-	10,1	calm	-	0,9	2,9	SE
21:00	7,0	calm	-	10,0	calm	-	0,9	2,6	SE
22:00	8,5	calm	-	7,9	calm	-	0,8	2,8	SE
23:00	9,1	calm	-	8,6	calm	-	0,8	2,5	SE
24:00	6,8	calm	-	6,0	calm	-	0,7	2,6	SE

Comparando com as concentrações observadas no Ibirapuera, observa-se que nesta estação as concentrações foram mais elevadas que na Lapa no final da noite e madrugada, indicando que além da redução do efeito do tráfego, nesses horários a Lapa apresentava melhores condições de ventilação.

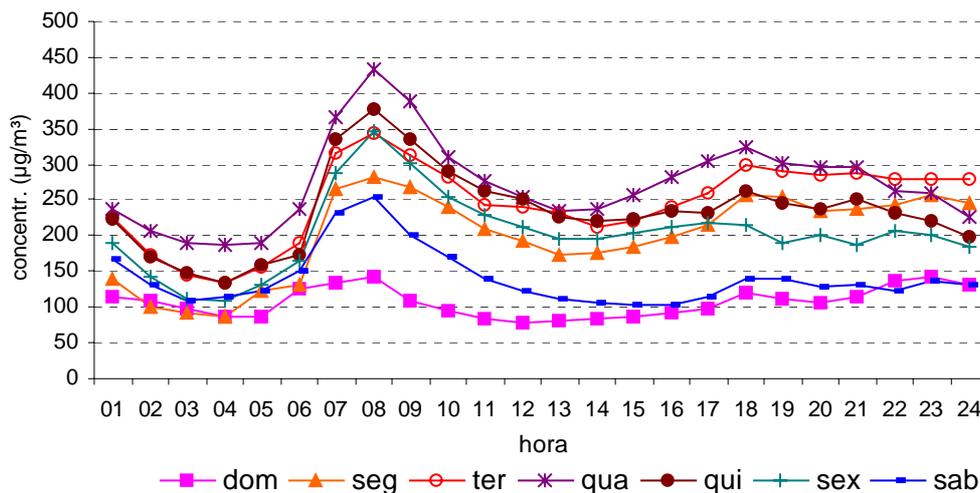


**Figura 26 – CO – Médias horárias nas estações Lapa e Ibirapuera para os dias 03, 04 e 05/07/2001**

Os episódios de alta concentração de CO na Lapa precederam concentrações horárias elevadas também na estação Ibirapuera, com defasagem de algumas horas em relação aos picos detectados na estação Lapa. Assim, os resultados indicam que a Lapa sofre forte influência do tráfego intenso de veículos, mas que nos horários de condições meteorológicas mais estáveis, apresenta melhores condições de dispersão que a estação Ibirapuera. No caso em que as concentrações na Lapa foram maiores, os valores mais elevados foram observados em condição de calmaria ou com vento soprando do quadrante NW, quadrante este de onde provêm as emissões veiculares mais significativas.

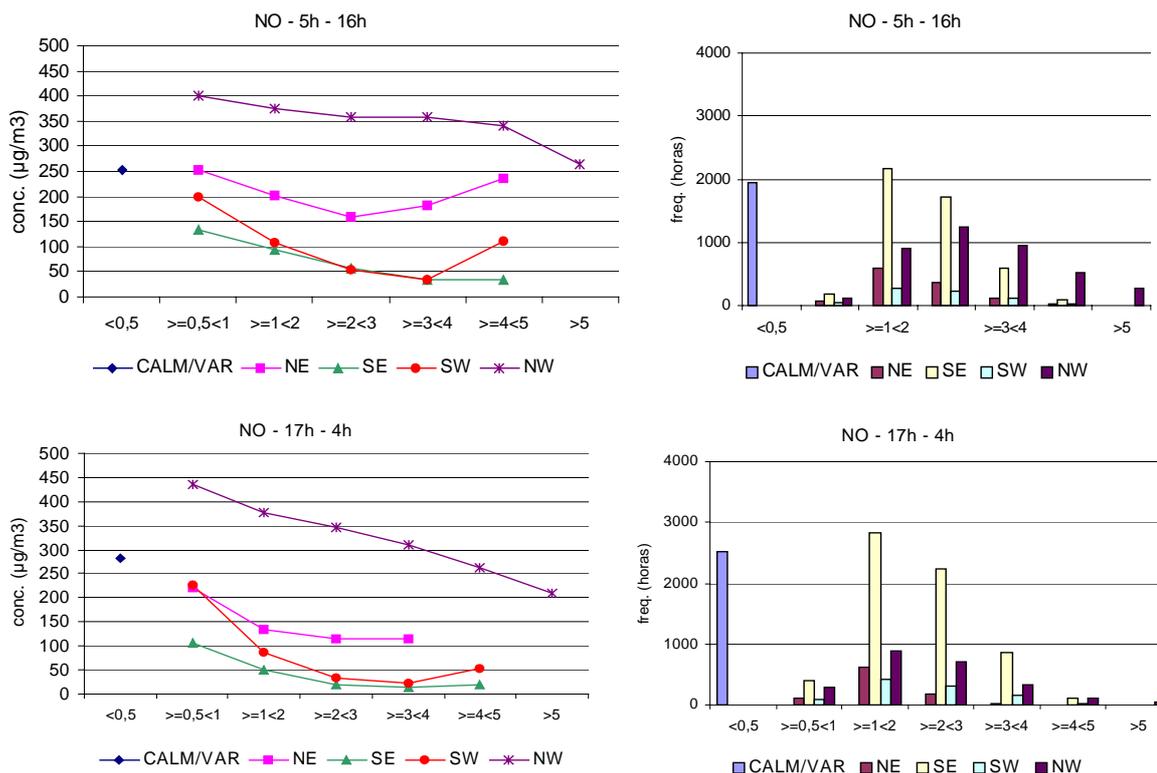
### **Monóxido de Nitrogênio - NO**

Da mesma forma que para o CO, o perfil das médias de NO ao longo do dia (figura 27) mostra que há dois picos de concentração, um no período da manhã, mais agudo e de curta duração, e outro no período noturno, bem mais atenuado. 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 27 – NO – Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2001 (maio a setembro)**

Os gráficos na figura 28 foram elaborados com base nas concentrações médias de NO, velocidade e quadrante do vento nos períodos diurno, das 05h às 16h e noturno, das 17h às 04h.



**Figura 28 – NO – Médias e freqüência de ocorrência (horas) nos períodos das 5h às 16h e das 17h às 4h, em função de velocidade e quadrante dos ventos no período de 1997 a 2001**

No caso do NO, as concentrações médias mais elevadas também foram registradas com vento do NW, principalmente para baixas velocidades. Tal

resultado é explicável, já que parte das avenidas marginais, importante fonte desse poluente, está situada justamente a NW da estação.

Apesar da presença das marginais também a NE da estação, com ventos deste quadrante observa-se que o impacto médio é menor, fato já observado e discutido na análise do CO.

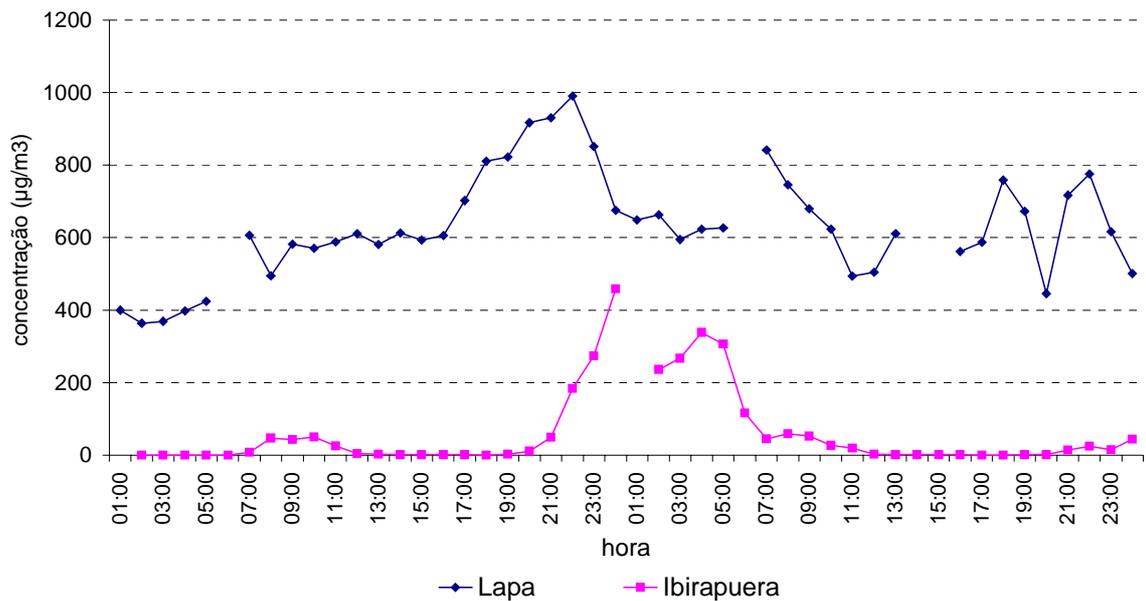
Assim como para o CO, as concentrações médias mais baixas de NO foram observadas com ventos do SE, quadrante predominante do vento.

### Episódios de alta concentração

Os dois episódios de maiores médias horárias de NO em 2001 são apresentados a seguir. A condição atmosférica observada nos dias 26 e 27 de abril (quinta e sexta-feira) determinou a ocorrência das concentrações mais elevadas no ano de 2001. Concentrações elevadas foram detectadas também no Ibirapuera, porém em menor escala (figura 29) e somente no período noturno. Ou seja, no Ibirapuera, altas concentrações de NO são observadas somente em condições de estagnação atmosférica, enquanto que na Lapa concentrações altas podem ser observadas com ventos do NW, por influência dos veículos que trafegam nas marginais, mesmo no período diurno.

**Tabela 13 : Dados de concentração de NO e vento registrados na estação Lapa nos dias 26 e 27/04/2001**

Dia	26/04/01			27/04/01			
	Hora	Conc.(1h)	Veloc.	Quadrante	Conc.(1h)	Veloc.	Quadrante
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	m/s		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	m/s	
01:00	400	1,1	NE	649	calm	-	
02:00	364	1,1	SE	663	calm	-	
03:00	369	1,2	SE	595	calm	-	
04:00	398	1,6	NE	623	calm	-	
05:00	425	1,6	NE	627	calm	-	
06:00							
07:00	606	calm	-	842	calm	-	
08:00	494	1,0	SE	745	calm	-	
09:00	582	calm	-	680	var	-	
10:00	570	calm	-	623	var	-	
11:00	588	1,0	NW	494	var	-	
12:00	611	2,4	NW	504	1,8	NW	
13:00	581	1,9	NW	610	2,3	NW	
14:00	613	2,1	NW				
15:00	594	1,8	NW				
16:00	605	1,6	NW	562	2,3	NW	
17:00	702	1,5	NW	587	1,6	NW	
18:00	810	1,1	NW	758	1,5	NW	
19:00	822	0,7	NW	672	1,2	NW	
20:00	917	0,8	NW	446	calm	-	
21:00	930	calm	-	717	calm	-	
22:00	991	0,9	NW	775	calm	-	
23:00	851	calm	-	616	calm	-	
24:00	675	calm	-	501	0,9	NE	

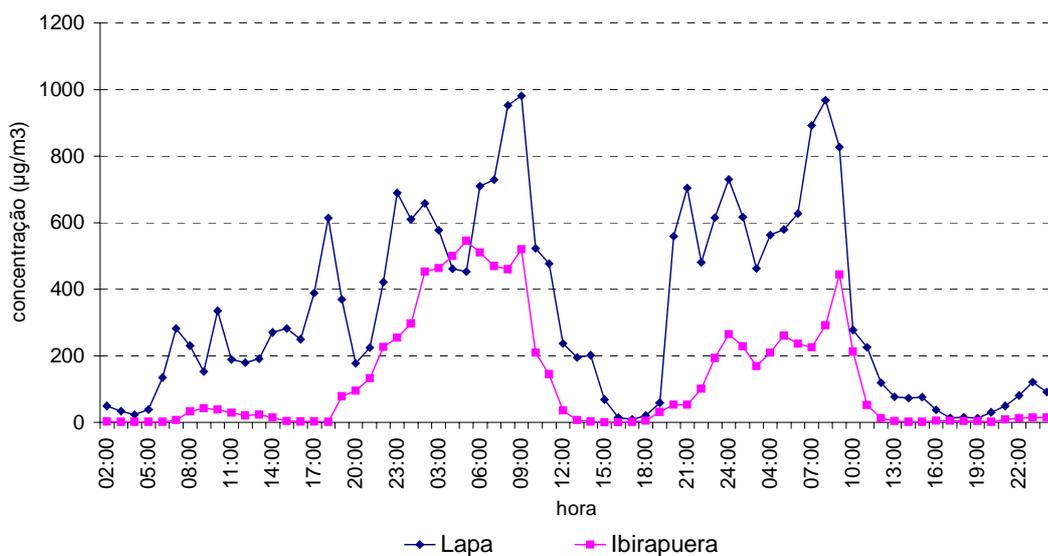


**Figura 29 – NO – Médias horárias nas estações Lapa e Ibirapuera nos dias 26 e 27/04/2001**

Um outro episódio de concentração quase tão elevada quanto o anterior foi registrado entre os dias 31 de julho e 02 de agosto (terça a quinta-feira). Neste episódio, observa-se nitidamente que as concentrações de NO sobem com a ocorrência de ventos do NW e calmaria, confirmando as condições já observadas. Também neste caso, as concentrações observadas no Ibirapuera indicam altas concentrações somente no período noturno, quando as condições meteorológicas elevam as concentrações em escala urbana.

**Tabela 14 : Dados de concentração de NO e vento registrados na estação Lapa nos dias 31/07, 01 e 02/08/2001**

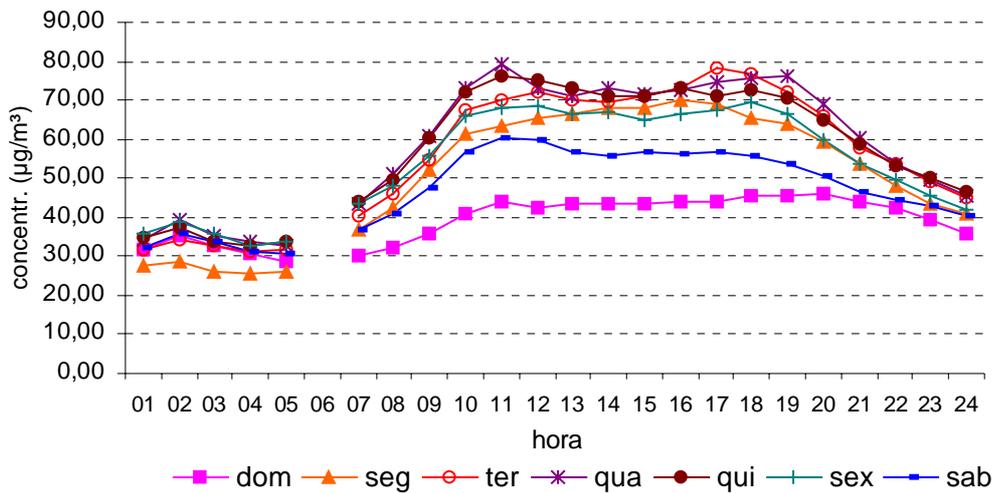
Dia	31/07/01			01/08/01			02/08/01		
	Conc.(1h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Veloc. m/s	Quadrante	Conc.(1h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Veloc. m/s	Quadrante	Conc.(1h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Veloc. m/s	Quadrante
01:00									
02:00	49	1,1	NE	658	calm	-	616	calm	-
03:00	33	1,2	SE	577	calm	-	462	calm	-
04:00	22	1,6	NE	461	calm	-	563	calm	-
05:00	38	1,2	NE	452	calm	-	579	calm	-
06:00	135	1,2	NE	709	calm	-	627	calm	-
07:00	282	1,0	NE	729	calm	-	892	calm	-
08:00	231	1,5	NE	953	calm	-	967	calm	-
09:00	152	1,5	SE	981	0,8	NW	827	calm	-
10:00	335	1,5	NE	522	calm	-	277	calm	-
11:00	188	1,2	NE	476	0,9	NW	225	calm	-
12:00	179	var	-	237	var	-	118	1,2	SE
13:00	191	calm	-	194	var	-	77	1,6	SE
14:00	270	0,8	NW	202	0,9	NW	73	1,5	SE
15:00	282	1,0	NW	68	1,2	SE	76	1,2	SE
16:00	250	1,1	SW	14	var	-	38	1,6	SE
17:00	388	1,0	SW	8	1,0	SE	13	2,0	SE
18:00	613	1,0	SW	20	1,4	SE	15	2,1	SE
19:00	369	calm	-	59	1,0	SE	11	2,1	SE
20:00	177	0,3	-	559	calm	-	30	1,5	SE
21:00	225	0,3	-	704	calm	-	50	1,6	SE
22:00	421	0,3	-	480	calm	-	80	1,2	SE
23:00	689	0,3	-	615	calm	-	121	1,0	SE
24:00	610	0,3	-	730	calm	-	91	calm	-



**Figura 30 – NO – Médias horárias nas estações Lapa e Ibirapuera nos dias 31/07, 01 e 02/08/2001**

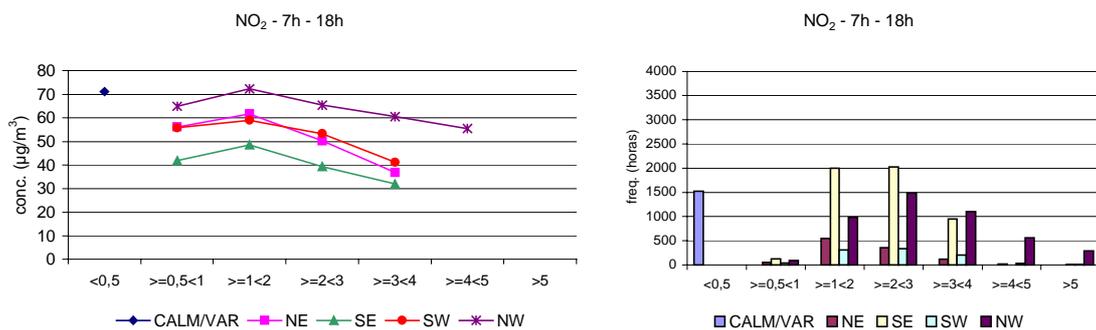
## Dióxido de Nitrogênio - NO<sub>2</sub>

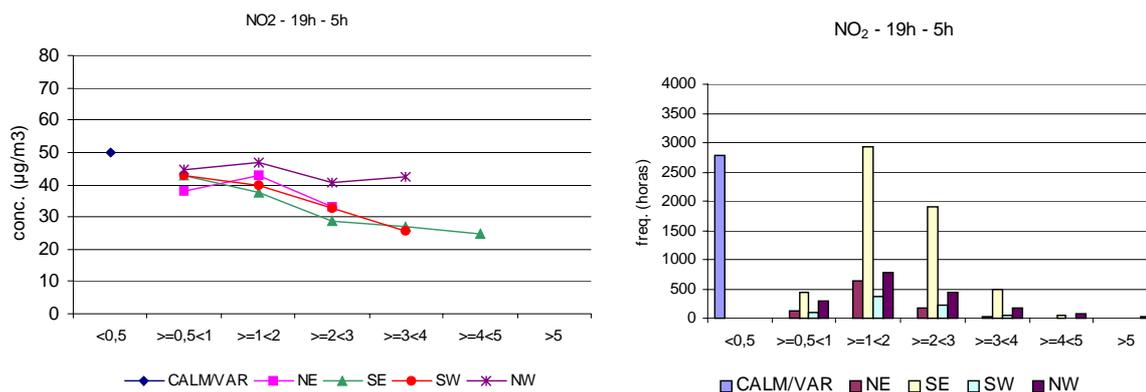
A figura 31 mostra o perfil de concentração de NO<sub>2</sub> (média horária), ao longo do dia. Também no caso do NO<sub>2</sub>, observa-se tanto no período diurno quanto no noturno concentrações em média mais baixas no final de semana, efeito este que se estende até a madrugada de segunda-feira. Destaca-se que o pico do NO<sub>2</sub> é posterior ao do NO como parte do ciclo que causa a formação do O<sub>3</sub>.



**Figura 31 – NO<sub>2</sub> – Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2001 (maio a setembro)**

Os gráficos apresentados na figura 32 consideram as concentrações médias de NO<sub>2</sub> nos períodos das 7h às 18h e das 19h às 5h.





**Figura 32 – NO<sub>2</sub> – Médias e frequência de ocorrência nos períodos das 7h às 18h e das 19 às 5h, em função de velocidade e quadrante dos ventos, no período de 1997 a 2001**

No caso do NO<sub>2</sub>, deve-se considerar que ele é um poluente predominantemente de origem secundária, ou seja, formado na atmosfera como produto de reações químicas. Tal característica resulta no fato de que as concentrações tendem a ser mais homogêneas, representativas de áreas maiores, e portanto menos influenciadas por fontes de poluição próximas.

A figura 32 mostra que as concentrações de NO<sub>2</sub> são, em média, mais elevadas no período diurno que noturno, sob todas as condições de vento. Destacam-se as diferenças observadas para as condições de calma e ventos variáveis e com ventos do quadrante NW. As concentrações mais elevadas durante o dia são observadas com vento de NW, enquanto no período noturno, as concentrações tendem a ser mais homogêneas para todos as condições de quadrante e velocidade do vento.

### Episódios de alta concentração

As concentrações médias mais elevadas de NO<sub>2</sub>, considerando todos os dias, ocorrem entre 10h e 12h e entre 17h e 19h, posterior ao pico de tráfego da manhã e coincidindo com o pico de tráfego no início da noite, conforme apresentado na figura 31. No entanto, a análise considerando os dias de concentração mais altas mostra que eles ocorrem preferencialmente no período da tarde.

A análise do período em que foi registrado o maior valor de concentração horária em 2001, apresentada na tabela 15, mostra que a maior média horária encontrada nesse período ultrapassou o PQAr primário de NO<sub>2</sub> (320µg/m<sup>3</sup> - 1hora) e ocorreu no dia 03 de julho às 17h, coincidindo com o pico de tráfego. Esta situação indica uma atuação determinante da condição meteorológica de estagnação atmosférica, já que contraria a expectativa em termos de ciclo fotoquímico, de concentrações maiores no período de manhã.

**Tabela 15 : Dados de concentração de NO<sub>2</sub> e vento registrados na estação Lapa nos dias 02, 03 e 04/07/2001**

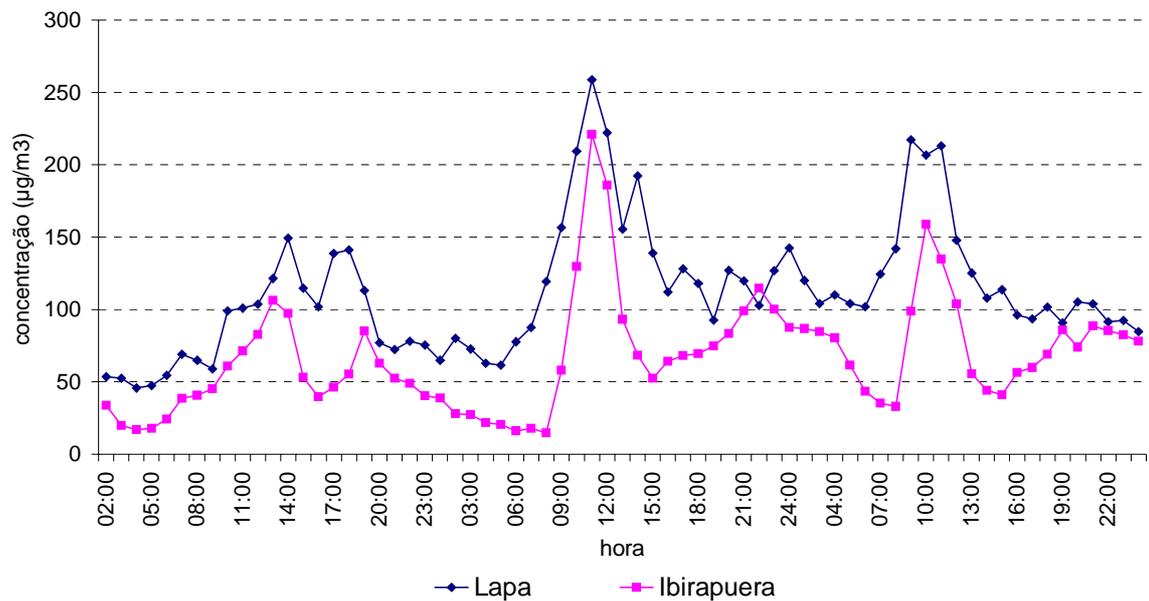
Dia	02/07/01			03/07/01			04/07/01		
	Conc.(1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante	Conc.(1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante	Conc.(1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante
01:00									
02:00	72	calm	-	111	calm	-	124	calm	-
03:00	70	calm	-	103	calm	-	117	calm	-
04:00	60	calm	-	83	calm	-	111	calm	-
05:00	58	calm	-	90	calm	-	106	calm	-
06:00	54	calm	-	81	calm	-	100	calm	-
07:00	105	calm	-	86	calm	-	121	calm	-
08:00	114	calm	-	107	calm	-	140	calm	-
09:00	138	calm	-	147	calm	-	194	calm	-
10:00	195	calm	-	206	calm	-	223	calm	-
11:00	206	calm	-	200	1,0	SE	285	calm	-
12:00	255	calm	-	220	0,9	NE	264	calm	-
13:00	174	calm	-	233	calm	-	221	calm	-
14:00	196	var	-	171	calm	-	170	calm	-
15:00	199	1,0	NW	184	calm	-	172	1,5	NW
16:00	191	1,4	SW	241	calm	-	181	1,4	NW
17:00	226	1,4	NW	335	var	-	188	1,4	NW
18:00	101	1,8	SE	310	calm	-	203	1,2	SW
19:00	109	calm	-	252	calm	-	204	calm	-
20:00	123	calm	-	220	calm	-	192	calm	-
21:00	139	calm	-	219	calm	-	175	calm	-
22:00	142	calm	-	213	calm	-	158	calm	-
23:00	121	calm	-	211	calm	-	148	calm	-
24:00	133	calm	-	173	calm	-	138	calm	-

A análise do segundo episódio (embora abaixo do valor do PQAr) mostrou maior concentração no dia 01 de agosto às 11h, no período da manhã, concordando com o esperado em termos de ciclo fotoquímico. Também neste episódio, as condições de dispersão eram ruins, ou seja, de ventos fracos. A análise comparativa com as concentrações observadas na estação Ibirapuera confirma a influência predominante das condições meteorológicas associadas ao ciclo fotoquímico, já que o comportamento apresentado pelas duas estações é bastante semelhante.

A análise dos episódios apresentados mostra que podem ocorrer altas concentrações horárias de NO<sub>2</sub> tanto no período da manhã quanto no período da tarde, sob condições de fraca ventilação.

**Tabela 16 : Dados de concentração de NO<sub>2</sub> e vento registrados na estação Lapa nos dias 31/07 e 01 e 02/08/2001**

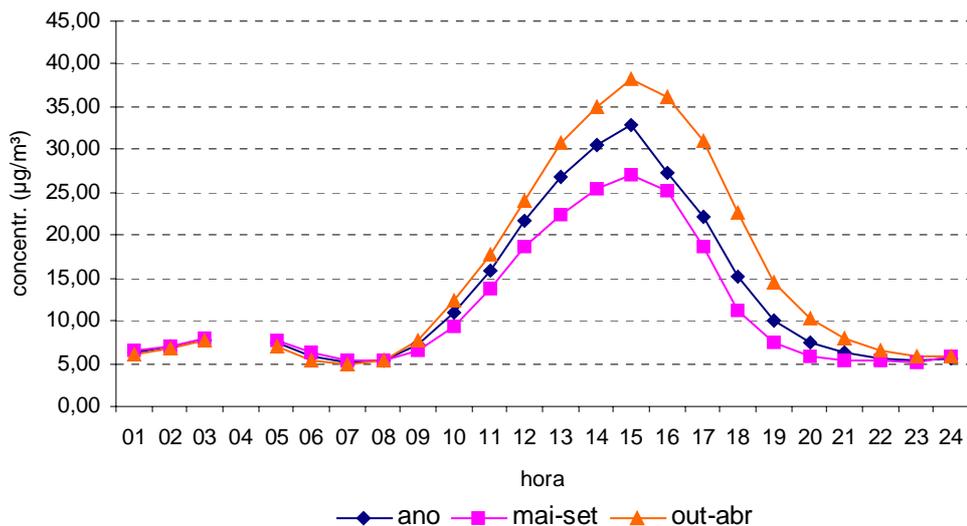
Dia	31/07/01			01/08/01			02/08/01		
	Conc.(1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante	Conc.(1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante	Conc.(1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante
01:00									
02:00	54	1,1	NE	80	calm	-	120	calm	-
03:00	52	1,2	SE	73	calm	-	104	calm	-
04:00	46	1,6	NE	63	calm	-	110	calm	-
05:00	47	1,2	NE	61	calm	-	104	calm	-
06:00	55	1,2	NE	78	calm	-	102	calm	-
07:00	69	1,0	NE	88	calm	-	124	calm	-
08:00	65	1,5	NE	119	calm	-	142	calm	-
09:00	59	1,5	SE	157	0,8	NW	217	calm	-
10:00	99	1,5	NE	209	calm	-	207	calm	-
11:00	101	1,2	NE	259	0,9	NW	213	calm	-
12:00	104	var	-	222	var	-	148	1,2	SE
13:00	121	calm	-	156	var	-	125	1,6	SE
14:00	150	0,8	NW	192	0,9	NW	108	1,5	SE
15:00	115	1,0	NW	139	1,2	SE	114	1,2	SE
16:00	102	1,1	SW	112	var	-	96	1,6	SE
17:00	139	1,0	SW	128	1,0	SE	94	2,0	SE
18:00	141	1,0	SW	118	1,4	SE	102	2,1	SE
19:00	113	calm	-	93	1,0	SE	91	2,1	SE
20:00	77	calm	-	127	calm	-	105	1,5	SE
21:00	73	calm	-	120	calm	-	104	1,6	SE
22:00	78	calm	-	103	calm	-	92	1,2	SE
23:00	75	calm	-	127	calm	-	92	1,0	SE
24:00	65	calm	-	143	calm	-	85	calm	-



**Figura 33 – NO<sub>2</sub> – Médias horárias nas estações Lapa e Ibirapuera nos dias 31/07 e 01 e 02/08/2001**

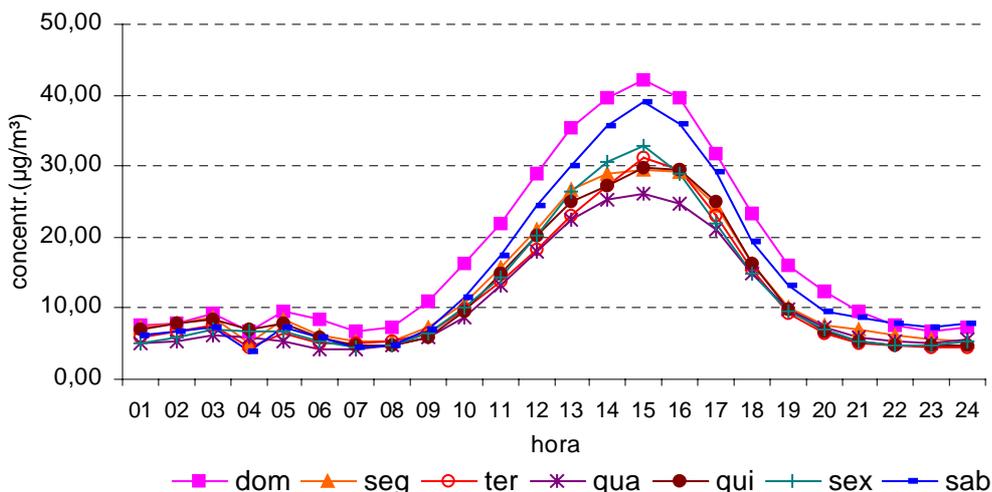
### Ozônio - O<sub>3</sub>

O ozônio possui um perfil de concentrações médias ao longo do dia bastante diferente dos demais poluentes, pois apresenta um máximo de concentração no período da tarde, geralmente entre 12h e 17h. A figura 34 ilustra a distribuição do O<sub>3</sub> por hora na estação da Lapa, diferenciando os períodos de inverno e verão. Este fenômeno ocorre devido ao ciclo de formação do O<sub>3</sub>, que depende não somente da presença de precursores (COVs e NOx), mas fundamentalmente de parâmetros meteorológicos como radiação e temperatura, mais elevados nesse período de primavera/verão. Além disso, pode-se observar também que as concentrações médias são mais baixas nos meses de inverno, ou seja, comportamento oposto aos demais poluentes, que têm as concentrações mais altas nesse período devido à maior estagnação atmosférica.



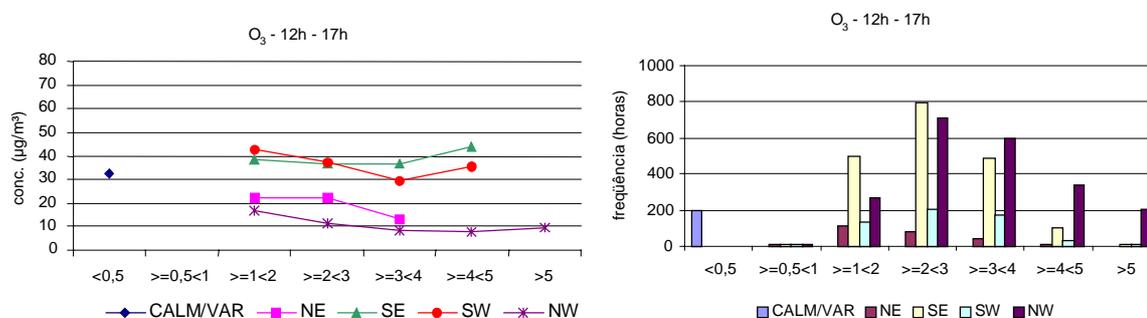
**Figura 34 – O<sub>3</sub> – Médias horárias por época do ano no período de 1997 a 2000**

A análise por dia da semana (figura 35) na estação Lapa mostra também um comportamento diferenciado para o O<sub>3</sub> com relação aos demais poluentes. Observa-se que, na média, as concentrações no domingo são as mais elevadas. Isto deve ocorrer pela diminuição da emissão de NO, que consome parte do O<sub>3</sub> formado, sendo portanto uma característica principalmente de estações localizadas próximo de vias de tráfego, como a da Lapa. Nestas estações, as concentrações de O<sub>3</sub> são normalmente mais baixas e não representam uma condição média da região. Por este motivo, optou-se por retirar o analisador de O<sub>3</sub> da estação Lapa, o que ocorreu em setembro de 2000.



**Figura 35 – O<sub>3</sub> – Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2000**

Utilizou-se o período das 12h às 17h para a elaboração da figura 36, que apresenta as concentrações médias de O<sub>3</sub> em função do quadrante e velocidade do vento. 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> é observada com ventos de SW, quadrante, no entanto, com baixa freqüência de ocorrência, em comparação com os ventos de SE, NW e de NE.



**Figura 36 – O<sub>3</sub> – Médias e freqüência de ocorrência no período das 12h às 17h, em função de velocidade e quadrante dos ventos, no período de 1997 a 2000**

Algumas características do comportamento do O<sub>3</sub> devem ser consideradas, todavia, para interpretação da figura 36. Uma delas é que, apesar de o O<sub>3</sub> ser um poluente secundário, portanto com concentrações representativas de áreas maiores, nesta estação as fontes de NO estão muito próximas e por isso observam-se baixas concentrações deste poluente com ventos provenientes de NW e de NE, de onde sopra o vento que vem das avenidas marginais. Com ventos de SE, mais freqüentes, e também com ventos de SW, observam-se concentrações de O<sub>3</sub> mais elevadas, representativas de emissões de precursores por fontes mais distantes da estação.

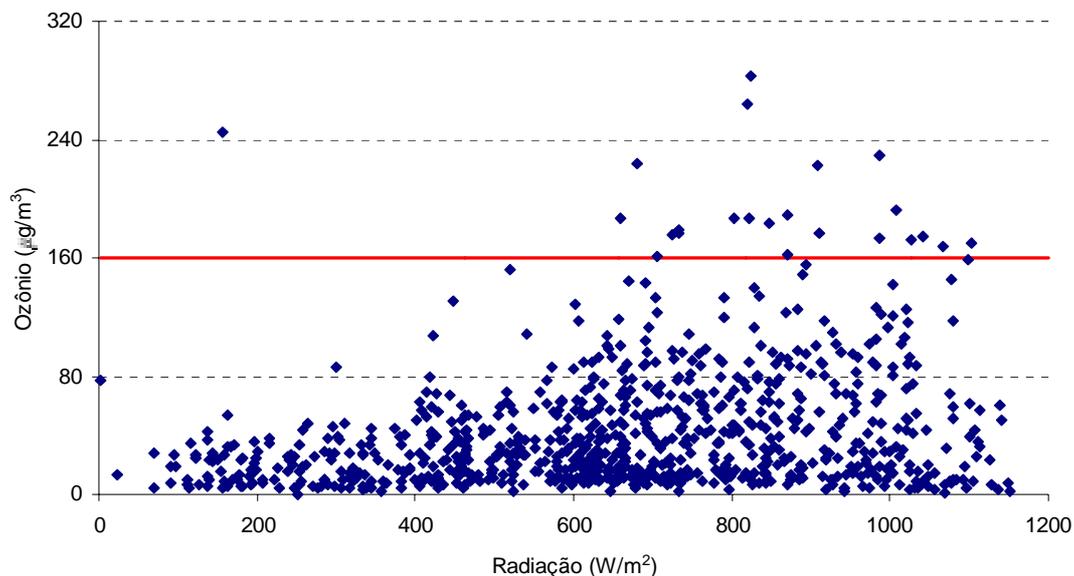
Uma vez que o O<sub>3</sub> é altamente influenciado pelo transporte proveniente de regiões mais afastadas, torna-se importante a análise não só do vento no horário de ocorrência de altas concentrações, mas também dos horários que o precedem, já que há um transporte não só de O<sub>3</sub> mas também de seus precursores. Para essa análise foram consideradas a freqüência de ocorrência do vento no período de 10h às 17h nos dias em que houve ultrapassagem do PQAr (160µg/m<sup>3</sup>), conforme apresentado na tabela a seguir.

**Tabela 17 : Freqüência de quadrante do vento por hora para os 32 dias em que houve ultrapassagem do PQAr de O<sub>3</sub> na estação Lapa no período de 1997 a 2000**

Hora	Calmo	NE	SE	SW	NW
10:00	3	2	17	0	2
11:00	5	5	12	0	2
12:00	1	6	15	0	2
13:00	9	1	9	4	1
14:00	1	1	6	14	2
15:00	0	1	12	9	2
16:00	0	1	12	11	0
17:00	1	0	12	11	0

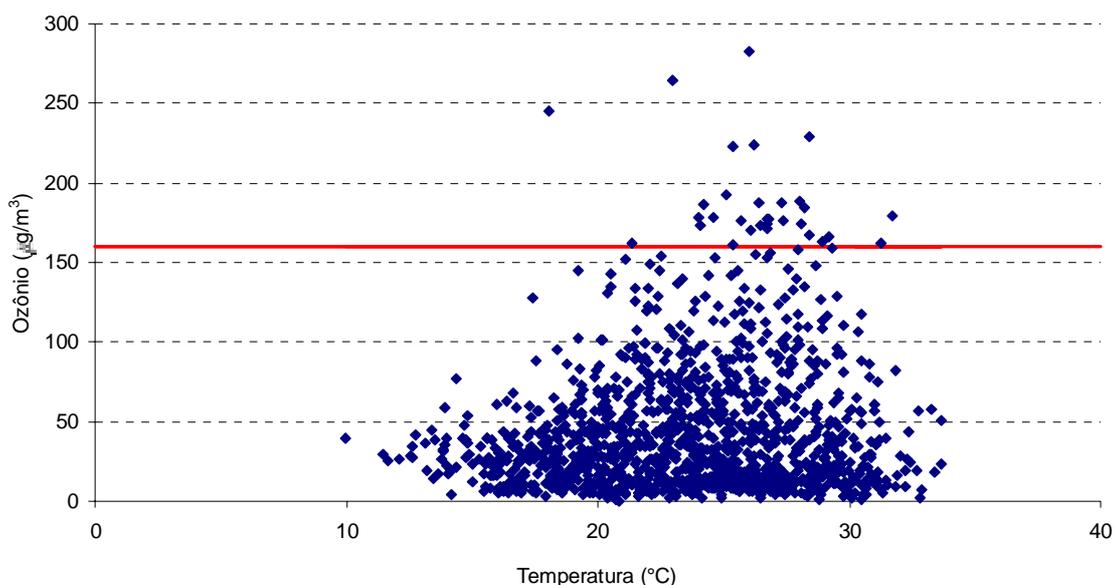
A tabela 17 mostra que nos dias em que há ultrapassagem do PQAr ( $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), o vento é predominantemente do quadrante SE, exceto às 14h, quando a predominância é de SW.

Além do transporte, outro parâmetro que influencia nas concentrações do O<sub>3</sub> é a radiação solar. A figura 37 ilustra as variações das concentrações máximas diárias de O<sub>3</sub> na Lapa em função das máximas diárias de radiação solar observadas na estação Ibirapuera, no período de 1997 a 2000. Observa-se que, com exceção de uma ocorrência, as concentrações acima do PQAr de 1 hora ( $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ocorrem na presença de radiação acima de  $659\text{ W}/\text{m}^2$ . Apesar disso, observam-se também muitos dias com radiação solar alta e concentrações baixas de O<sub>3</sub>, mostrando que para estações localizadas próximas a via de tráfego intenso esse parâmetro não é o único determinante de altas concentrações desse poluente, uma vez que o ozônio é consumido pelo NO proveniente dos escapamentos dos veículos automotores.



**Figura 37 – Dispersão das máximas diárias do O<sub>3</sub> na Lapa e máximas diárias de radiação total na estação Ibirapuera no período de 1997 a 2000**

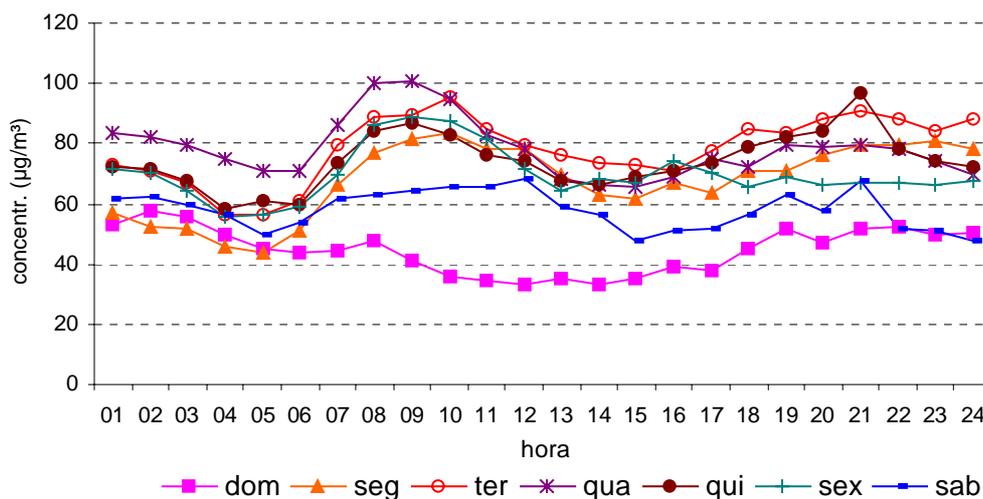
Considerando a temperatura do ar em análise semelhante à realizada para a radiação solar, observa-se que a maioria das ultrapassagens do PQAr de 1h ocorrem em dias quentes, com temperatura máxima diária acima de 25°C (figura 38). Assim como foi observado no gráfico anterior, existem valores muito baixos de ozônio também para altas temperaturas, sendo isso resultado da proximidade com a via de tráfego. De maneira geral, os dias mais quentes são aqueles em que o vento predominante é proveniente de N – NW, ou seja, da via para a estação.



**Figura 38 – Dispersão das máximas diárias do O<sub>3</sub> na Lapa e máximas diárias de temperatura na estação Ibirapuera no período de 1997 a 2000**

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

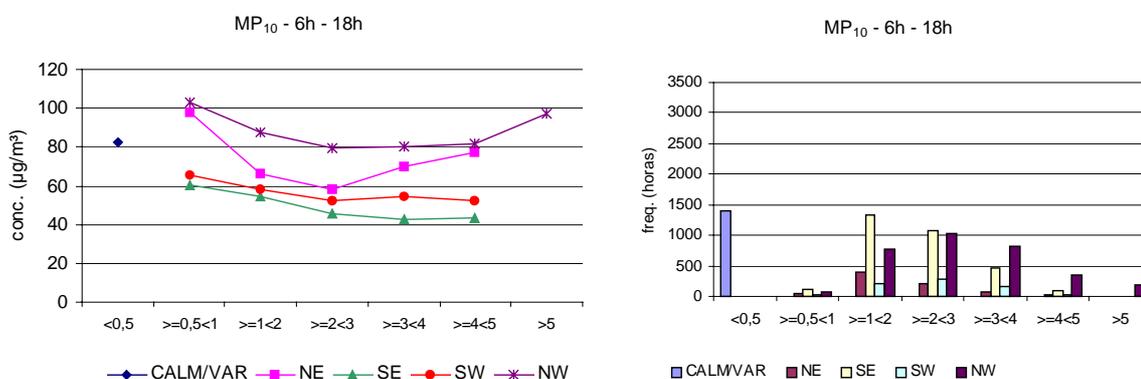
A figura 39 ilustra a distribuição das concentrações médias ao longo dos dias da semana para o período de 1997 a 2001. Nesta figura, observa-se que os picos de concentração coincidem com o pico de tráfego pela manhã e a partir do final da tarde, este último associado ao tráfego e às condições meteorológicas, em média, mais desfavoráveis à dispersão dos poluentes. Observa-se também uma nítida redução das concentrações nos finais de semana, principalmente no domingo.

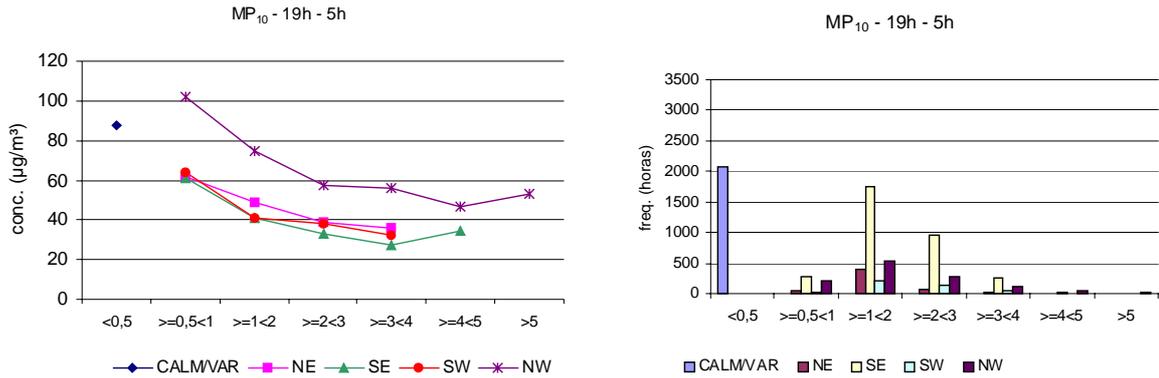


**Figura 39 – MP<sub>10</sub> – Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2001 (maio a setembro)**

Os perfis das concentrações médias em função da direção e velocidade do vento para os períodos diurno e noturno estão apresentados na figura 40. A comparação simples entre os períodos diurno e noturno mostra que as concentrações são em média mais altas no período diurno, exceto em condições de vento calmo ou muito fraco.

Os gráficos mostram que os quadrantes do vento em que há maior impacto na estação são NW e NE, respectivamente, indicando também para este poluente forte influência dos veículos que trafegam nas avenidas marginais. Com ventos dos quadrantes NW e NE observa-se ainda o aumento das concentrações médias com o aumento da velocidade do vento. Embora a SE localize-se uma importante fonte de emissão de material particulado (Cia Vidraria Santa Marina) porém mais distante da Estação, conforme dados inventariados, quando o vento sopra deste quadrante, detectam-se as menores concentrações médias de MP<sub>10</sub>, especialmente no período noturno.





**Figura 40 – 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, no período de 1997 a 2001**

### Episódios de alta concentração

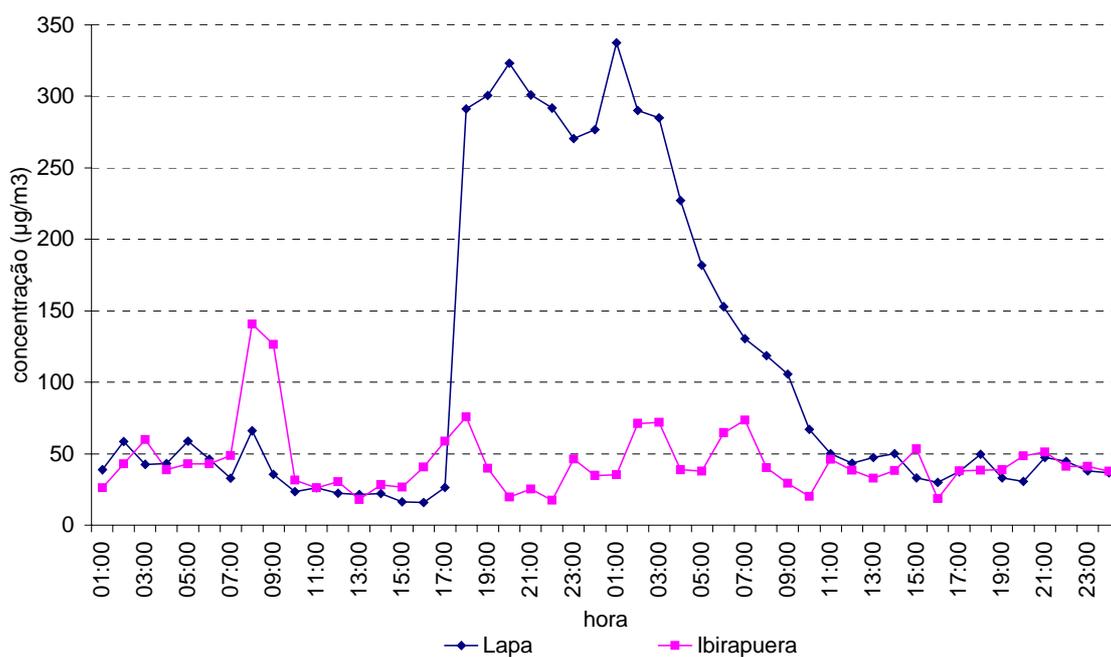
A análise dos episódios de mais alta concentração de MP<sub>10</sub> em 2001 mostra que as concentrações mais elevadas nem sempre coincidiram com o horário usual para ocorrência das máximas diárias de MP<sub>10</sub> na estação Lapa, entre 8h e 10h da manhã.

O episódio que se estendeu das 18h do dia 14 de janeiro de 2001, com uma brusca elevação da concentração (337µg/m<sup>3</sup>), até a madrugada do dia 15, ocorreu em condição de calmaria.

Em média, as maiores concentrações de MP<sub>10</sub> na Lapa são registradas entre terça e quinta-feira. Este episódio, entretanto, foi registrado na noite de domingo e madrugada de segunda-feira, indicando que é possível que condições locais possam ter propiciado a ocorrência de altas concentrações. Esta possibilidade é reforçada por este episódio ter ocorrido no período de verão, quando as condições meteorológicas não são críticas, e pela análise dos dados na estação Ibirapuera, onde as concentrações de MP<sub>10</sub> mantiveram-se em nível bem mais baixo, atingindo valores um pouco mais altos no período da manhã do dia 14 (figura 41).

**Tabela 18 : Dados de concentração de MP<sub>10</sub> e vento registrados na estação Lapa nos dias 14 e 15/01/2001**

Dia	14/01/01			15/01/01		
	Conc.(1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante	Conc.(1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	39	calm	-	337	calm	-
02:00	59	calm	-	290	calm	-
03:00	43	-	-	285	calm	-
04:00	43	var	-	227	calm	-
05:00	59	calm	-	182	calm	-
06:00	46	calm	-	153	calm	-
07:00	33	calm	-	130	1,0	SE
08:00	66	calm	-	119	0,9	NE
09:00	36	1,1	SE	106	1,2	NE
10:00	23	1,3	SE	67	1,1	SE
11:00	26	var	-	50	1,3	NE
12:00	22	1,4	NW	43	1,4	NE
13:00	22	var	-	47	1,3	NW
14:00	22	var	-	50	var	-
15:00	16	1,5	NW	33	1,9	SE
16:00	16	1,8	SE	30	1,9	SE
17:00	26	4,0	NW	38	1,6	SE
18:00	291	2,5	SE	50	1,8	SE
19:00	301	1,4	NW	33	2,3	SE
20:00	323	calm	-	31	1,9	NE
21:00	301	calm	-	48	1,3	NE
22:00	292	calm	-	45	1,2	NE
23:00	271	calm	-	38	calm	-
24:00	277	calm	-	37	calm	-



**Figura 41 – MP<sub>10</sub> – Médias horárias nas estações Lapa e Ibirapuera nos dias 14 e 15/01/2001**

A ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão atmosférica e pico de tráfego produziu um episódio de altas concentrações de MP<sub>10</sub>, cuja máxima horária ocorreu no dia 02 de agosto às 9h.

**Tabela 19 : Dados de concentração de MP<sub>10</sub> e vento registrados na estação Lapa nos dias 01 e 02/08/2001**

Dia	01/08/01			02/08/01		
	Hora	Conc.(1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante	Conc.(1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s
01:00	124	calm	-	162	calm	-
02:00	156	calm	-	213	calm	-
03:00	137	calm	-	218	calm	-
04:00	119	calm	-	167	calm	-
05:00	115	calm	-	147	calm	-
06:00	132	calm	-	137	calm	-
07:00	158	calm	-	167	calm	-
08:00	160	calm	-	189	calm	-
09:00	206	0,8	NW	281	calm	-
10:00	152	calm	-	195	calm	-
11:00	140	0,9	NW	84	calm	-
12:00	121	var	-	66	1,2	SE
13:00	63	var	-	54	1,6	SE
14:00	59	0,9	NW	57	1,5	SE
15:00	66	1,2	SE	45	1,2	SE
16:00	50	var	-	55	1,6	SE
17:00	64	1,0	SE	49	2,0	SE
18:00	50	1,4	SE	52	2,1	SE
19:00	37	1,0	SE	48	2,1	SE
20:00	50	calm	-	45	1,5	SE
21:00	134	calm	-	59	1,6	SE
22:00	122	calm	-	72	1,2	SE
23:00	115	calm	-	58	1,0	SE
24:00	148	calm	-	64	calm	-

A comparação com as concentrações observadas no Parque do Ibirapuera (figura 42) mostra que o comportamento de ambas são semelhantes, confirmando uma situação meteorológica que ocasionou concentrações relativamente elevadas numa escala espacial urbana. Deve-se considerar, no entanto, que o PQAr de curto prazo para este poluente é obtido pela média de 24 horas, ou seja, considerando a contribuição de ambas as concentrações diurnas e noturnas.



anuais ali detectadas sejam maiores que as medidas no atual local, uma vez que o vento predominante nesta região é de SE, principalmente nos horários de pico de emissão veicular.

### **Uso do Solo**

A estação está localizada em região de característica diversificada em termos de uso do solo. No raio de 2km inventariado estão presentes atividades comerciais, industriais e residências. A análise da influência das principais fontes mostrou que as concentrações de poluentes observados na estação decorrem principalmente das emissões veiculares, em especial das avenidas marginais do Tietê localizada a poucos metros de distância. Desta forma, em termos de uso do solo, o mais adequado é a classificação da estação como veicular, ou seja, localizada próximo de via de tráfego intenso.

### **População Exposta**

A maior parte da população que reside no bairro não é exposta às concentrações equivalentes às da estação, sendo que somente as pessoas que residem ou trabalham muito próximo de vias de tráfego intenso de veículos, leves e pesados, é que realmente estão expostas a concentrações equivalentes.

### **Parâmetros Monitorados**

A estação Lapa monitora os poluentes MP ( $MP_{10}$ ), CO e  $NO_x$ . Considerando ser esta uma estação tipicamente veicular, tanto de veículos de ciclo Otto quanto diesel e que estes veículos são emissores dos poluentes monitorados, ela apresenta uma configuração adequada para avaliação da qualidade do ar em locais próximos de grandes vias de tráfego; do impacto ao longo do tempo resultante de alterações nas características da frota, como sua renovação ou alterações nos combustíveis; da eficácia de determinadas ações de controle, como por exemplo, a fiscalização de fumaça preta. Por ser uma estação veicular, não é adequada para monitoramento de poluentes secundários, como o ozônio.

Com relação aos parâmetros meteorológicos, a estação Lapa dispõe somente de sensores de vento. 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, uma vez que não existem anteparos que possam estar influenciando significativamente estas medidas.

### **Recomendações**

Uma vez que os ventos predominantes nos horários de pico de emissão veicular sopram da estação em direção às avenidas marginais, é importante monitorar alguns poluentes traçadores deste tipo de fonte no outro lado das avenidas.

## **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 – Núcleo de Pesquisas em Tecnologia Avançada para Monitoramento e Proteção Ambiental (NATA).

## **Equipe de Trabalho**

Américo Tomio Meenochite – ETQT  
Carlos Eduardo Negrão – ETQT  
Carlos Ibsen Vianna Lacava – ETQM  
Dirce Maria Pellegatti Franco – ETQM  
Maria Cristina Neuscheffer de Oliveira – ETQA  
Maria Lúcia Gonçalves Guardani – ETQT  
Orlando Ferreira Filho – ETQM  
Richard Toyota – ETQT  
Rosana Curilov – coordenadora – ETQM

## **Colaboração**

Agência Ambiental de Pinheiros  
Agência Ambiental de Santana