

**DIRETORIA DE RECURSOS HÍDRICOS E ENGENHARIA AMBIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE QUALIDADE AMBIENTAL**  
**DIVISÃO DE QUALIDADE DO AR**

**Caracterização das Estações da Rede**  
**Automática de Monitoramento da**  
**Qualidade do Ar na RMSP**  
**Estação São Caetano do Sul**

**FEVEREIRO – 2003**

## SUMÁRIO

Fez-se um levantamento detalhado das condições físicas e características da estação São Caetano do Sul, 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 São Caetano do Sul identificou que os poluentes ozônio, material particulado, monóxido de carbono e dióxido de nitrogênio apresentam, respectivamente, maior número de ultrapassagens do PQAr nos últimos anos. A estação é influenciada principalmente por fontes próximas, tanto de tráfego de veículos quanto industriais, sendo representativa de média escala espacial (de 100 a 500 metros). Em termos de população, a estação São Caetano do Sul permite estimar os níveis máximos de concentração que está submetida a população que reside e transita na região próxima à estação. Com relação aos poluentes monitorados, é uma das estações mais completas da rede e se mostrou adequada ao monitoramento dos poluentes para avaliação do impacto das principais fontes na escala espacial referenciada.

## 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 São Caetano do Sul, 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<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> (NO<sub>2</sub> e NO), O<sub>3</sub>, CO, HC (HCNM e CH<sub>4</sub>), PTS, FMC, MP<sub>2,5</sub> e outros que eventualmente tenham sido monitorados. Obviamente, não há dados de todos

os parâmetros em todas as estações, bem como há parâmetros que não foram medidos em todo o período.

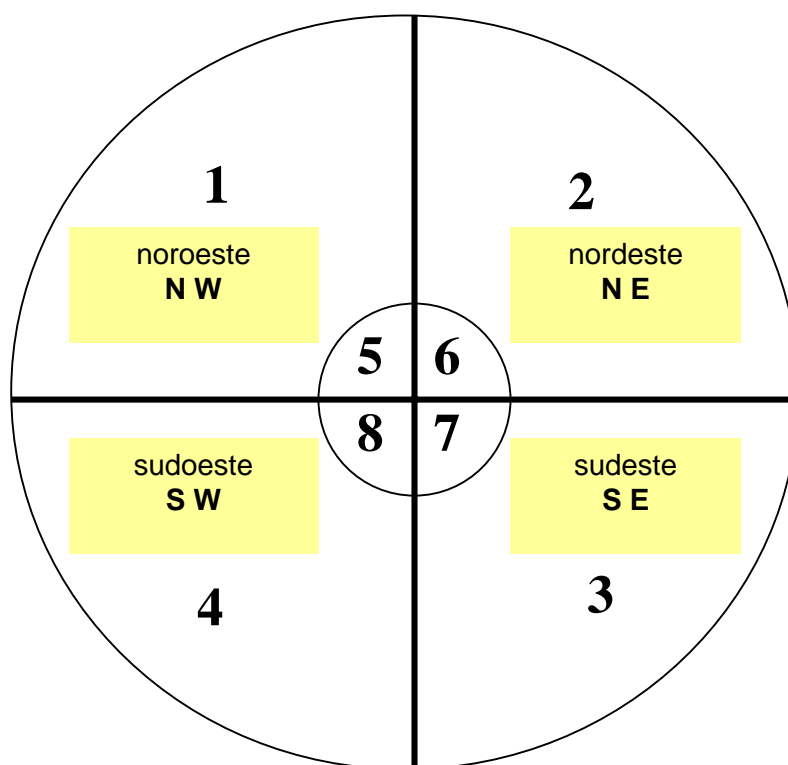
As análises realizadas para cada poluente não são necessariamente as mesmas devido às diferentes características dos poluentes em termos de tempo de exposição referendado nos padrões legais e valores de referência. Porém, as análises da qualidade do ar basicamente consideraram:

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

### **3.3. Microinventário de Fontes**

Para avaliar o impacto das fontes sobre a estação, foram definidas duas regiões delimitadas por dois círculos concêntricos, de 400 e 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.

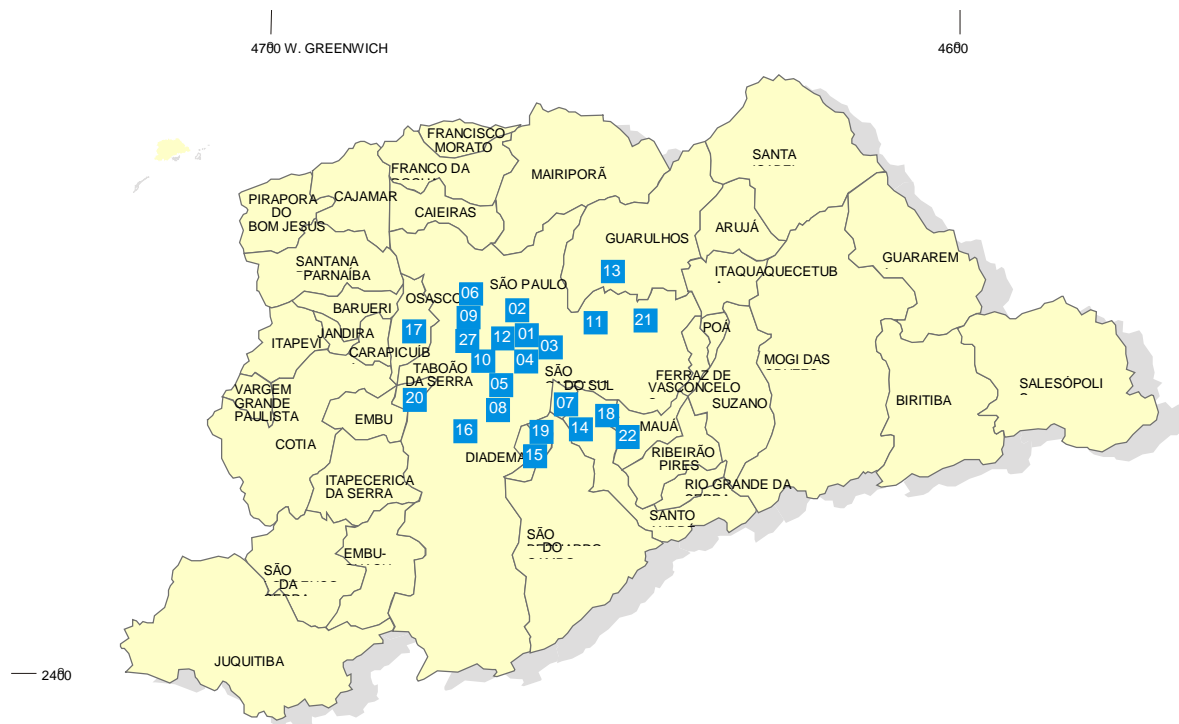
Para complementar as informações relativas às concentrações médias observadas para cada quadrante, fez-se ainda a análise das condições meteorológicas observadas em dois casos de ultrapassagem do limite legal de qualidade do ar.

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														
		PI	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
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	
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									
11	Penha	X														
12	Centro	X	X	X	X	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		
17	Osasco	X	X	X	X	X	X			X			X	X		
18	Santo André - Capuava	X								X			X	X		
19	São Bernardo do Campo	X											X	X		
20	Taboão da Serra	X														
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						

PI Partículas Inaláveis (MP<sub>10</sub>)  
 HCNM Hidrocarbonetos totais menos Metano  
 VV Velocidade do Vento  
 DV Direção do Vento  
 UR Umidade Relativa  
 P Pressão Atmosférica  
 RAD Radiação Total e Ultra-violeta

#### 4.1. Estação São Caetano do Sul

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

#### 4.1.1. Características da Estação

##### Dados da estação

**Endereço atual** E.M.I. “Fernando Pessoa”  
R. Aurélia, s/nº – Vila Paula – São Caetano do Sul

**Latitude sul:** 23° 36' 10" ;UTM 347.250m

**Longitude oeste:** 46° 34' 20" ;UTM 7.404.440m

**Altitude:** 740 m

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

**Altura do anemômetro:** 10 m

**Endereços anteriores** Praça Itália 01 – Bairro Fundação - até 18/09/1991

**Tabela 4 - Parâmetros monitorados**

Parâmetros	Método	Equipamento	Início	Término
MP <sub>10</sub>	Radiação Beta	PW9790-Philips	01/05/80	30/09/95
MP <sub>10</sub>	Radiação Beta	FH62 I-N-Graseby-Andersen	24/06/96	
SO <sub>2</sub>	Coulometria	PW9755-Philips	01/05/80	30/09/95
SO <sub>2</sub>	Fluorescência de Pulso (ultravioleta)	Modelo 43 – Thermo E.I.I.	25/06/96	
CO	Infravermelho não Dispersivo	Modelo 48 – Thermo E.I.I.	25/06/96	
NO <sub>x</sub>	Quimiluminescência	Modelo 42 – Thermo E.I.I.	26/06/96	
O <sub>3</sub>	Ultravioleta	Modelo 49 – Thermo E.I.I.	01/08/96	
Hidrocarbonetos	Cromatografia Gasosa / Ionização De Chama	Byron Modelo 302 - Dasibi	19/08/96	
PTS	Amostrador de Grandes Volumes	General Metal Works	1983	
MP <sub>2,5</sub>	Amostrador dicotômico	Sierra Andersen	03/07/00	
Umidade	Condutometria Higrossensitiva	Lastem	24/06/96	
Temperatura	Termo-Resistividade	Lastem	24/06/96	
VV e DV	Tacômetro/ Goniômetro	Lastem	01/05/80	30/09/95
VV e DV	Tacômetro/ Goniômetro	Lastem	24/06/96	

## Condições Locais

A estação São Caetano do Sul está localizada numa região residencial e industrial, no bairro de Santa Paula, no pátio da Escola Municipal Infantil Fernando Pessoa. A figura 3 apresenta um mapa com as ruas do entorno da estação. A estação foi construída sobre uma plataforma de concreto de cerca de um metro de altura (figura 4).

A General Motors do Brasil é a fonte fixa representativa mais próxima da estação, conforme pode ser observado na figura 5, que mostra uma fotografia aérea da estação e parte do seu entorno. As estimativas de emissão dessa e de outras fontes fixas estão apresentadas no item 4.1.3.

A Av. Goiás, que está a aproximadamente 150m da estação, possui tráfego intenso tanto de veículos leves como pesados. Uma outra via de tráfego considerável é a Av. Presidente Kennedy, que está no lado de trás da escola.

Tanto a Rua Aurélia, frontal à escola, quanto as ruas laterais, isto é, a Rua Marechal Deodoro e Alameda Saldanha Marinho, apresentam tráfego de veículos pequeno.



**Figura 3 - Mapa de localização da estação São Caetano do Sul**

Fonte: Cartoplam Editora – ( [www.cartoplam.com.br](http://www.cartoplam.com.br) ).





**Figura 4 - Vista da estação São Caetano do Sul**



**Figura 5 - Vista aérea da estação São Caetano do Sul**

As figuras 6 a 9 apresentam fotografias tomadas de cima da estação mostrando seu entorno nas direções norte, sul, leste e oeste.

No que se refere a obstáculos ao redor da estação, na face norte encontra-se uma árvore com cerca de 3 metros de altura, a aproximadamente 5 metros de distância do amostrador (figura 6), que por não ser alta, não deve influenciar significativamente a qualidade da amostragem. As árvores maiores, mais ao fundo, possuem aproximadamente 7 metros de altura e encontram-se a cerca de 20 metros de distância do amostrador.

Na face sul da estação (figura 7), encontram-se as árvores mais próximas, a cerca de 3 metros de distância e cerca de 6 metros de altura, havendo uma influência significativa na qualidade da amostragem dos poluentes, principalmente pelo fato de o vento soprar preferencialmente deste quadrante.

Na face leste (figura 8), pode-se observar a Av. Pres. Kennedy, via de tráfego mais próxima da estação, a cerca de 5 metros. A oeste (figura 9), observa-se a Rua Aurélia, basicamente de tráfego local.



**Figura 6 - Vista do entorno da estação São Caetano do Sul – Norte**





**Figura 7 - Vista do entorno da estação São Caetano do Sul – Sul**



**Figura 8 - Vista do entorno da estação São Caetano do Sul – Leste**



**Figura 9 - Vista do entorno da estação São Caetano do Sul – Oeste**

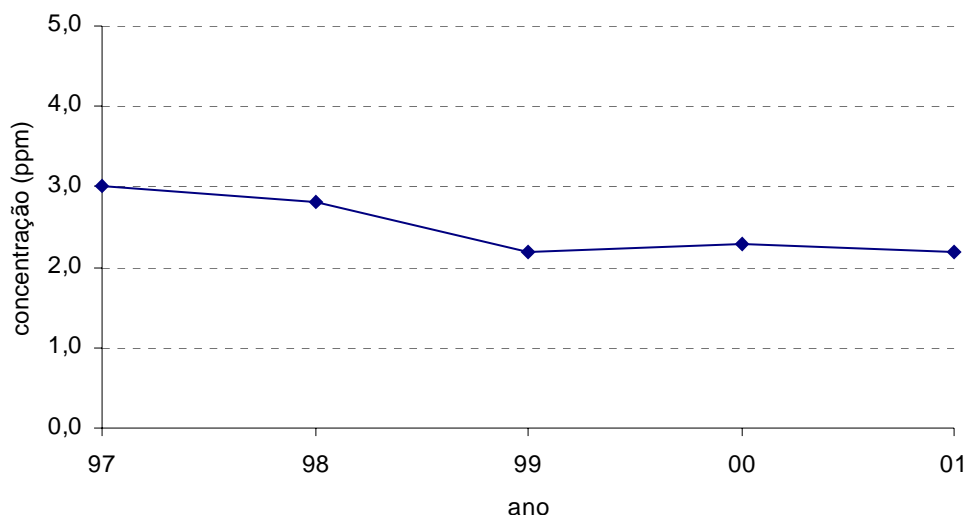
#### **4.1.2. Tendências da Qualidade do Ar**

Visando avaliar o perfil das concentrações dos diversos poluentes monitorados na estação São Caetano do Sul ao longo dos anos, elaboraram-se análises com os dados obtidos na estação nos períodos monitorados e disponíveis. Exceto pelo  $MP_{10}$  e o  $SO_2$ , monitorados a partir do início da década de 80 (ver tabela 4), os demais poluentes passaram a ser monitorados a partir de 1996, com a renovação e ampliação da rede automática.

Para os casos do  $MP_{10}$  e  $SO_2$ , os dados anteriores a 1992 não foram utilizados para análise de tendências, já que a estação estava situada em outro local. Além disso, o processo de renovação e reforma das estações comprometeu parte do monitoramento no primeiro semestre de 1996, o que lhe confere pouca representatividade para inserção em algumas estatísticas anuais.

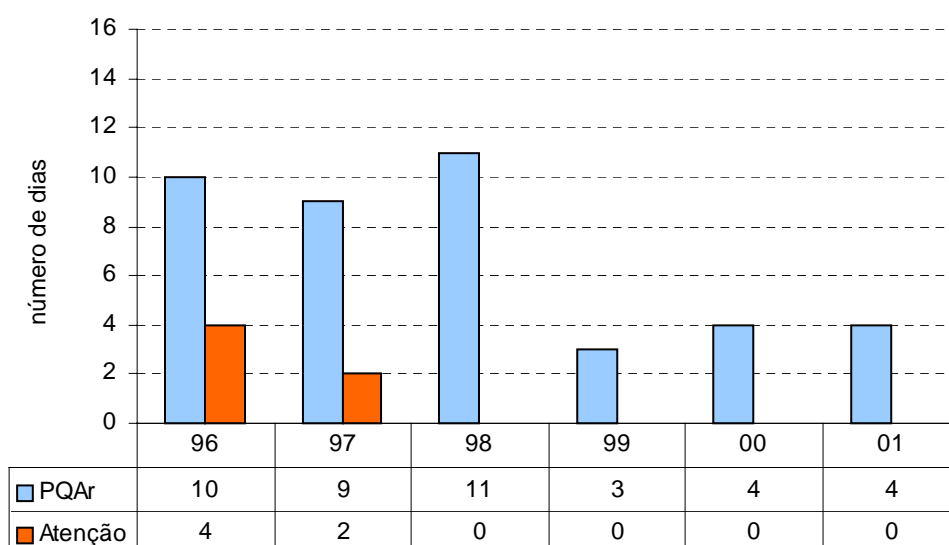
#### **Monóxido de Carbono - CO**

A figura 10 apresenta a evolução das concentrações médias das máximas de 8 horas diárias de monóxido de carbono na estação São Caetano do Sul, no período de 1997 a 2001. Observa-se uma redução dos níveis médios no período de 1997 a 1999 e depois as médias se mantêm muito próximas, não apresentando tendência significativa de redução ou de elevação das concentrações nos últimos três anos. O ano de 1996 não foi incluído na análise em função da falta de representatividade de dados devido à reforma realizada na estação.



**Figura 10 - CO - Médias das máximas (médias de 8 horas)**

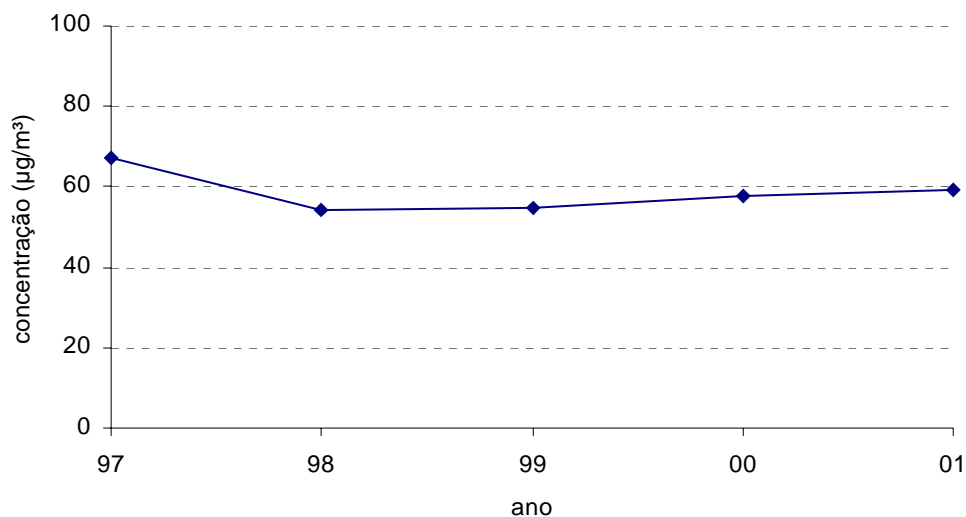
A análise considerando o número de dias de ultrapassagens dos níveis do PQAr (9ppm) e Atenção (15ppm), médias de 8 horas, apresentada na figura 11, mostra esta estação atualmente apresenta algumas poucas ultrapassagens do padrão de 8 horas. Desde 1997 não há ultrapassagens do nível de Atenção. Não há ainda registro de ultrapassagens do PQAr de 1 hora (30ppm).



**Figura 11 - CO - Número de dias de ultrapassagem do PQAr e nível de Atenção de 1996 a 2001**

### Monóxido de Nitrogênio - NO

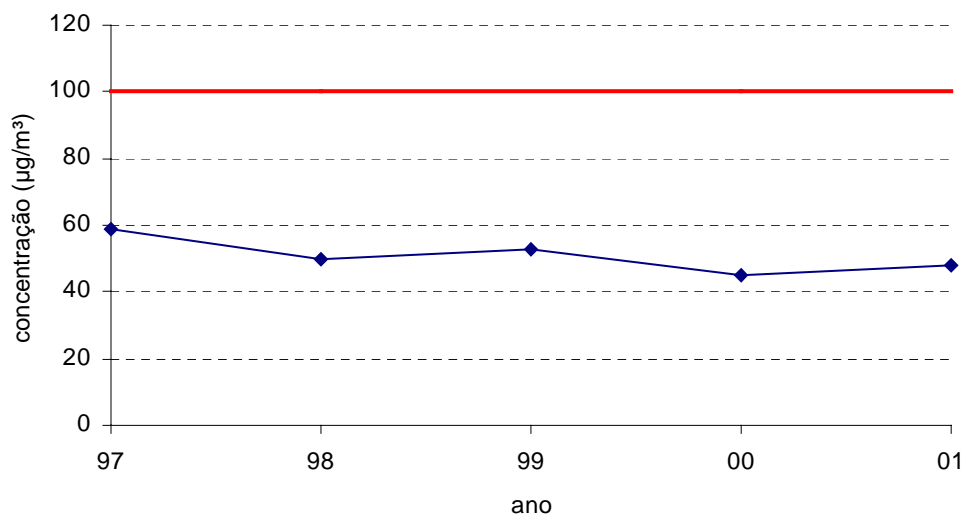
A figura 12 apresenta as concentrações médias anuais de monóxido de nitrogênio na estação São Caetano do Sul, de 1997 a 2001, considerando-se o período das 7 às 11 horas, período em que se observam as maiores concentrações. Os valores médios, em torno de 60µg/m³, mostram pequena variação no período considerado.



**Figura 12 - NO - Médias anuais no período das 07 às 11 horas**

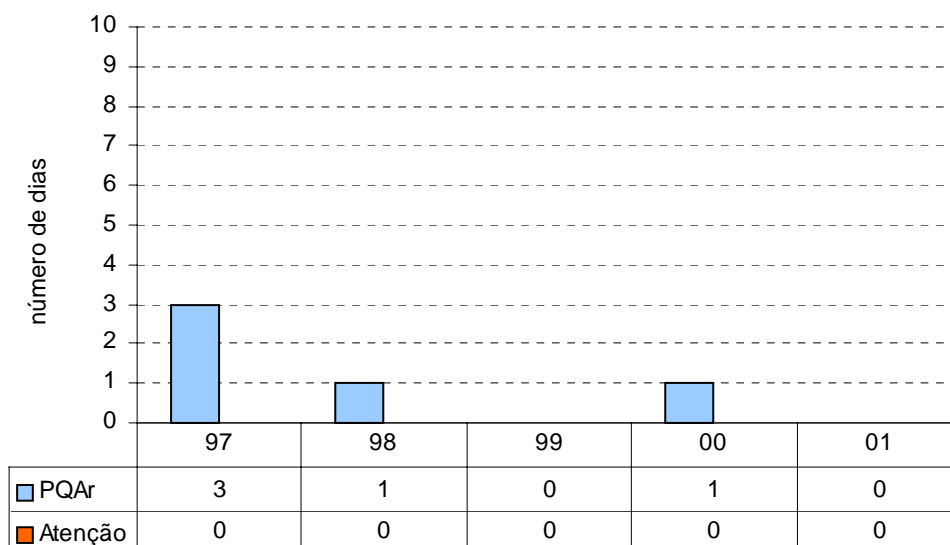
### **Dióxido de Nitrogênio - NO<sub>2</sub>**

A figura 13 mostra as concentrações médias anuais de NO<sub>2</sub> na estação São Caetano do Sul, no período de 1997 a 2001, onde observa-se que as concentrações encontram-se em torno de 50µg/m³, metade do PQAr anual para esse poluente. Observa-se, no período analisado, uma tendência de redução, porém pouco conclusiva devido às oscilações apresentadas.



**Figura 13 - NO<sub>2</sub> - Médias aritméticas anuais**

Com relação ao PQAr de 1 hora (320µg/m³), é ultrapassado em muitos poucos dias, conforme se observa na figura 14.



**Figura 14 - NO<sub>2</sub> - Número de dias de ultrapassagem do PQAr e nível de Atenção de 1997 a 2001**

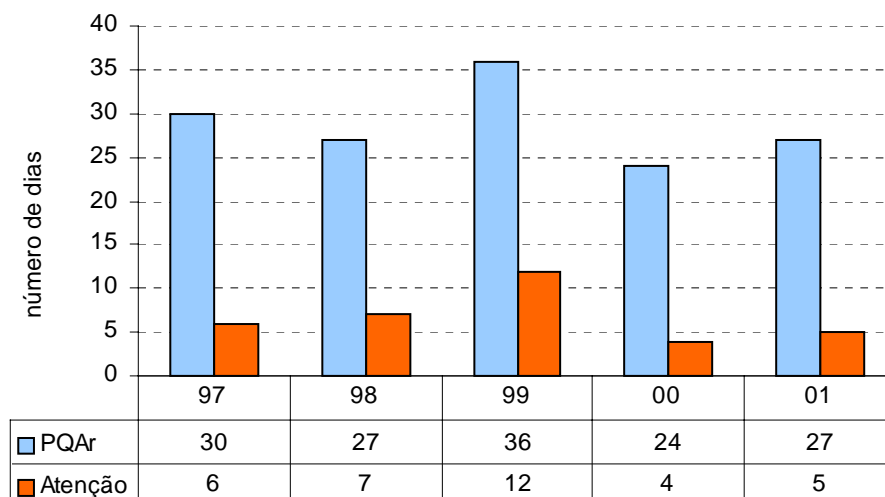
#### **Hidrocarbonetos menos Metano e Metano - HCNM e CH<sub>4</sub>**

Os hidrocarbonetos, monitorados como totais menos metano (HCNM) e metano (CH<sub>4</sub>), são importantes precursores na formação do ozônio. Apesar de serem monitorados a partir de 1996, as concentrações medidas, para efeito de estatísticas anuais, somente são representativas nos anos de 2000 e 2001, o que impede uma análise de tendência para este poluente.

#### **Ozônio - O<sub>3</sub>**

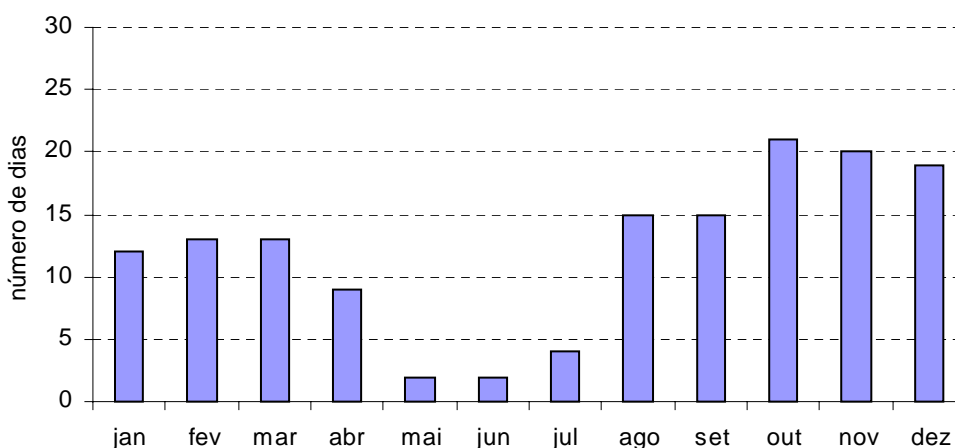
A figura 15 ilustra o número de dias de ultrapassagens do PQAr (160µg/m<sup>3</sup>) e nível de Atenção (200µg/m<sup>3</sup>) de O<sub>3</sub> na estação São Caetano do Sul no período de 1997 a 2001. Nesta figura pode-se observar que não há uma tendência de redução no número de ultrapassagens. As variações no número de dias provavelmente estão relacionadas às variações meteorológicas observadas de um ano para outro.





**Figura 15 - O<sub>3</sub> - Número de dias de ultrapassagem do PQAr e nível de Atenção de 1997 a 2001**

Em termos de distribuição por estação do ano, observa-se na figura 16 que a maior frequência de dias de ultrapassagens do PQAr ocorre na primavera e verão e menor nos meses de inverno.

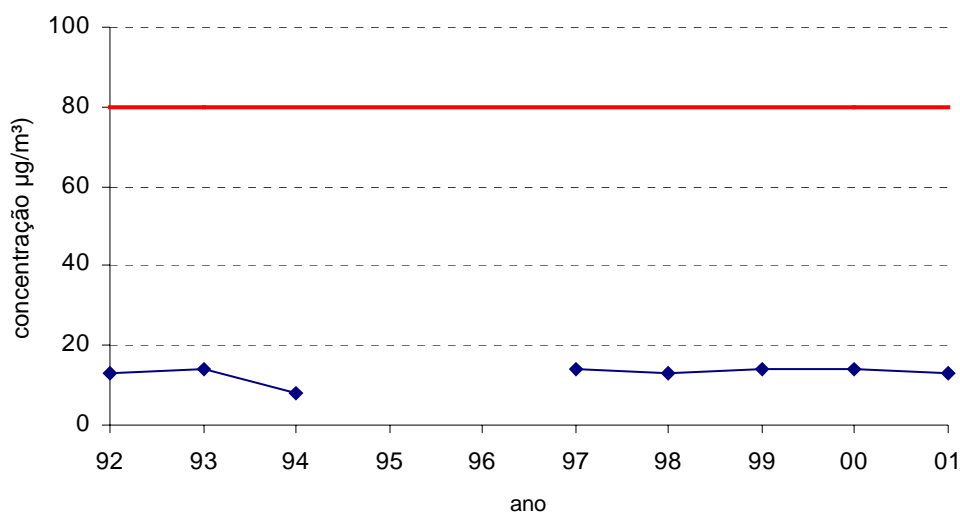


**Figura 16 - O<sub>3</sub> - Distribuição mensal do número de dias de ultrapassagem do PQAr no período de 1997 a 2001**

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

A análise de 10 anos de dados mostra que os níveis de concentração de SO<sub>2</sub> (médias aritméticas anuais) registrados estão bem abaixo do PQAr anual de 80µg/m<sup>3</sup>, conforme ilustrado na figura 17. O SO<sub>2</sub> representava na década de 70 e início da década de 80 um dos principais problemas de contaminação atmosférica na RMSP. O controle exercido sobre as fontes de emissão permitiu que os níveis ambientais fossem sensivelmente reduzidos na década de 90.

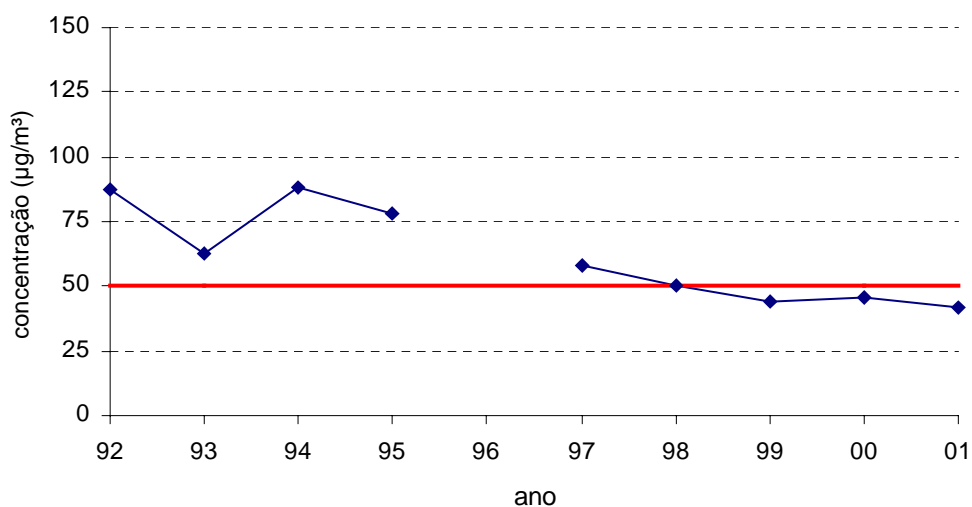
Os dados mostram que esses níveis têm sido mantidos e no caso da estação São Caetano do Sul, apresentam-se abaixo de  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figura 17 -  $\text{SO}_2$  - Médias aritméticas anuais de  $\text{SO}_2$**

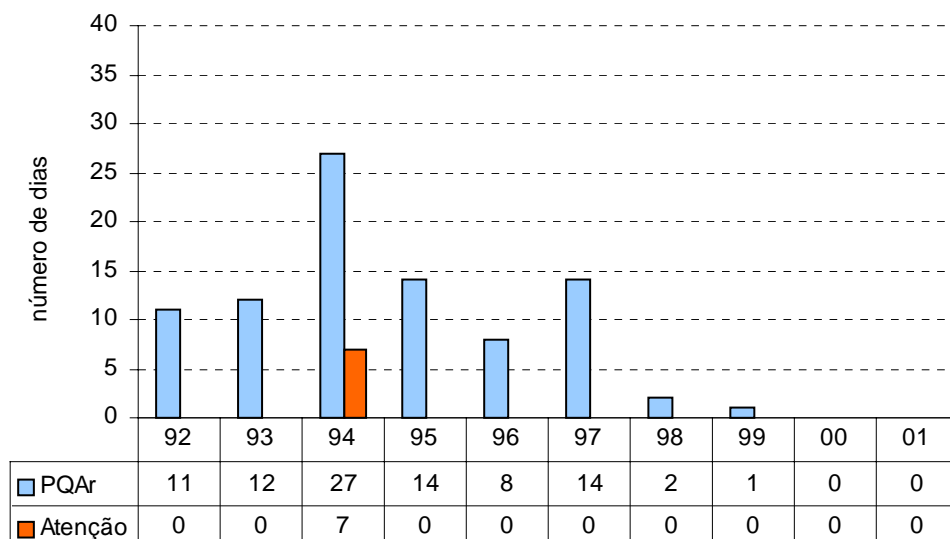
### Partículas Inaláveis ( $\text{MP}_{10}$ )

A figura 18 apresenta a evolução das médias aritméticas anuais de  $\text{MP}_{10}$  nos últimos 10 anos na estação São Caetano do Sul. Nesta figura, percebe-se que as concentrações médias anuais no início da década de 90 se encontravam próximas a  $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ou seja, bem acima do padrão de qualidade do ar (PQAr) anual ( $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). A partir de 1995, as concentrações obtidas registram uma queda significativa e, a partir de 1999, as médias anuais estiveram abaixo do PQAr anual, indicando uma clara tendência de decréscimo das concentrações de  $\text{MP}_{10}$  nesta estação.



**Figura 18 -  $\text{MP}_{10}$  - Médias aritméticas anuais**

Resultados semelhantes são observados com relação ao padrão legal de curto prazo de  $MP_{10}$  ( $150\mu g/m^3$  - média de 24 horas), conforme apresentado na figura 19. O número de dias de ultrapassagens no início dos anos 90 era em torno de 10 a 15 ao ano. A partir de 1997, houve significativa redução no número de ultrapassagens, culminando com a inexistência de ultrapassagens a partir de 2000.

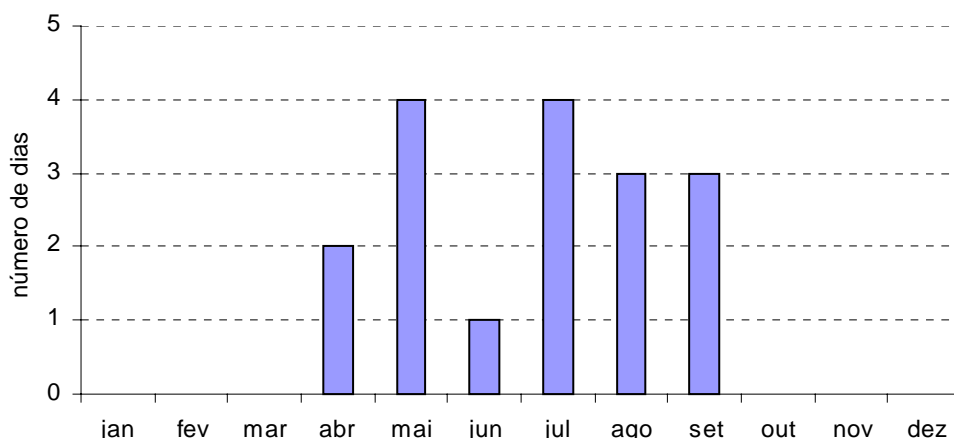


**Figura 19 -  $MP_{10}$  - Dias de ultrapassagem do PQAr e nível de Atenção**

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

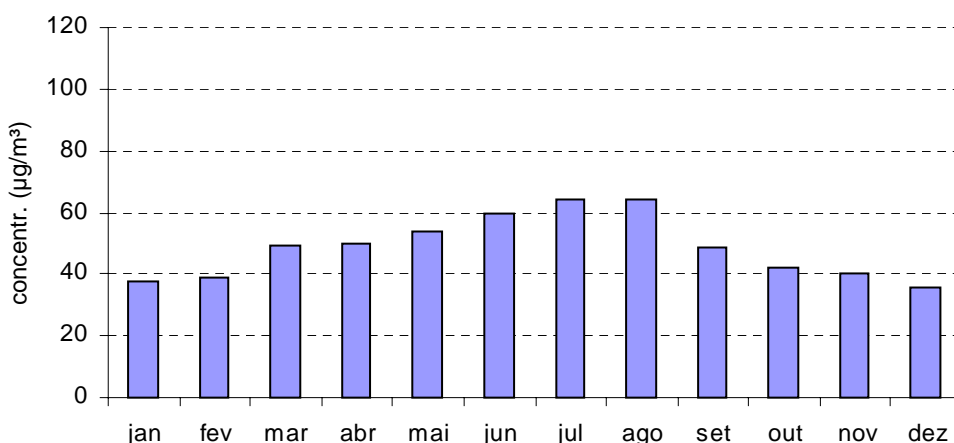
Com base nesse fenômeno, fez-se uma análise identificando os meses de ocorrência dos episódios de ultrapassagem do PQAr e do nível de Atenção no período de 1997 a 2001, apresentada na figura 20. Pode-se observar que nesse período não houve ultrapassagens do PQAr nos meses de verão, concentrando-se todos os episódios no período de abril a setembro. A maior frequência de ultrapassagens foi observada nos meses de maio e julho (4 episódios). Deve-se salientar que a maioria dos episódios ocorreu no ano de 1997.





**Figura 20 - MP<sub>10</sub> - Distribuição mensal do número de dias de ultrapassagem do PQAr no período de 1997 a 2001**

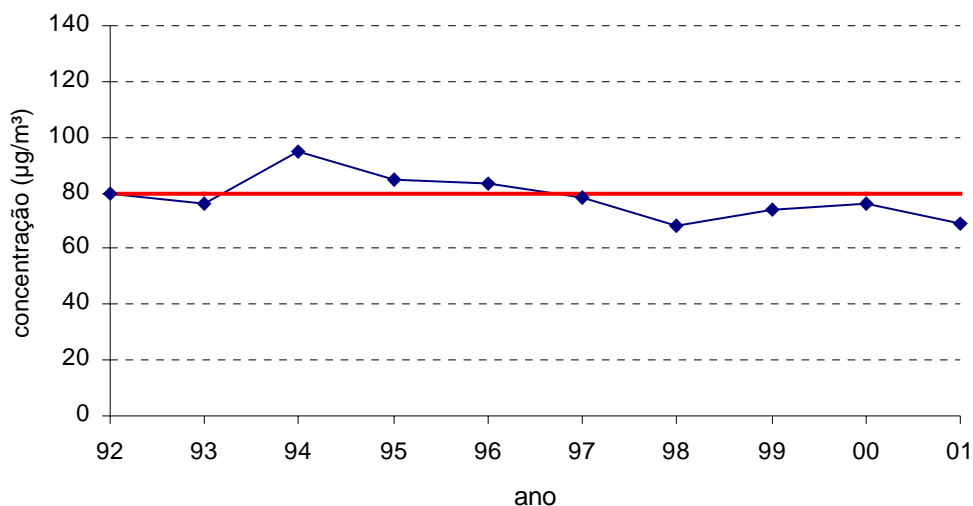
Considerando-se que no período analisado há poucas ultrapassagens do PQAr diário e para evitar que a análise do comportamento sazonal seja influenciada por períodos curtos altamente desfavoráveis à dispersão dos poluentes, fez-se também uma análise das médias mensais nesses mesmos cinco anos, calculadas a partir das médias diárias de 0h a 24h, apresentada na figura 21. Nessa figura, observa-se claramente que as concentrações de MP<sub>10</sub> apresentaram uma significativa elevação durante os meses de inverno na estação São Caetano do Sul, apresentando suas máximas concentrações nos meses de julho e agosto.



**Figura 21 - MP<sub>10</sub> - Médias mensais no período de 1997 a 2001**

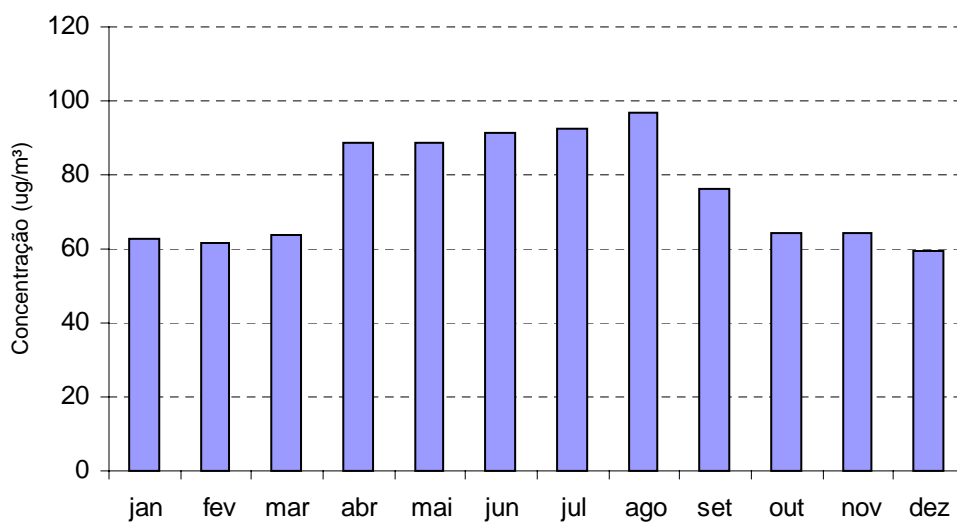
### Partículas Totais em Suspensão - PTS

A figura 22 apresenta a evolução das médias geométricas anuais de PTS. Nesta figura, observa-se que as concentrações médias anuais apresentam uma tendência de queda, porém menos acentuada que no caso do MP<sub>10</sub>. Desde 1997 o PQAr anual não é excedido, embora as concentrações ainda se apresentem muito próximas deste.



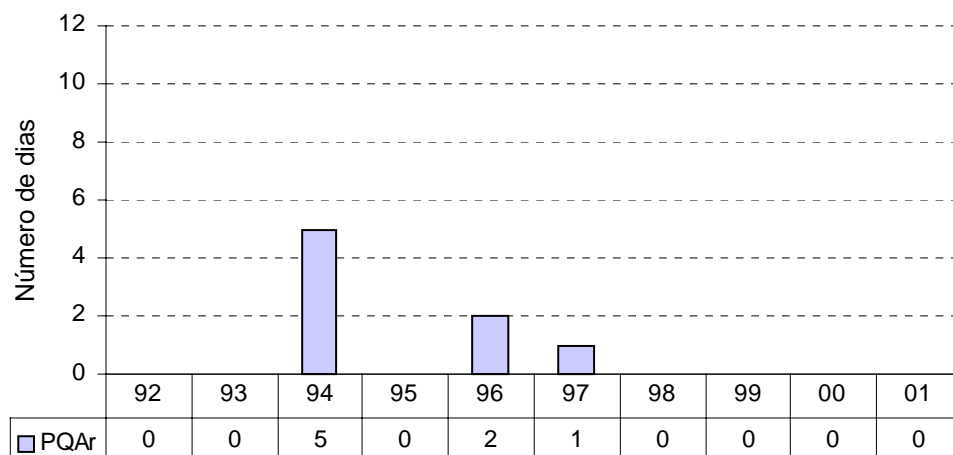
**Figura 22 - PTS - Médias geométricas anuais**

A figura 23 mostra que as concentrações de PTS apresentam uma significativa elevação durante os meses de inverno na estação São Caetano do Sul, apresentando suas máximas concentrações nos meses de julho a agosto, semelhante ao  $MP_{10}$ .



**Figura 23 - PTS - Médias mensais no período de 1997 a 2001**

A figura 24 apresenta o número de dias de ultrapassagem do PQAr por PTS ( $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) na estação São Caetano do Sul.



**Figura 24 - PTS - Dias de ultrapassagem do PQAr**

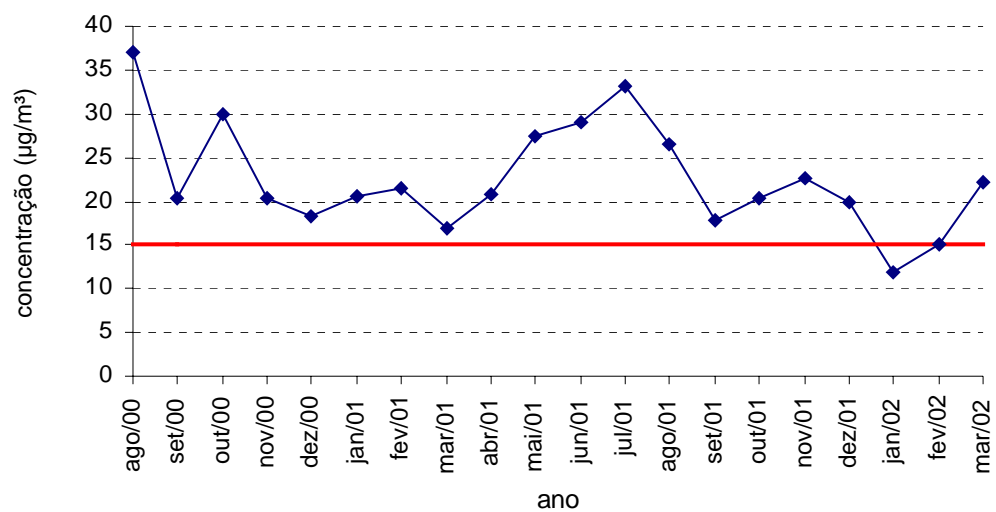
Podemos observar que nos últimos 10 anos ocorreram poucas ultrapassagens do PQAr de PTS, sendo a maior frequência (5 dias) em 1994. Desde 1998 não se registrou mais nenhuma ultrapassagem do PQAr por PTS na estação São Caetano do Sul.

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

A partir de 03/07/2000, o monitoramento de partículas inaláveis finas passou a ser efetuado de forma sistemática nesta estação. A fração fina predomina no material particulado inalável, correspondendo, em média, a 56% deste material.

Na figura 25, podemos observar o perfil da concentração média mensal de  $MP_{2,5}$  no período de ago/2000 a mar/2002. Por se tratar de uma série muito pequena, não é possível ainda avaliar tendência de aumento ou diminuição das concentrações.

Apesar de não existir na legislação nacional padrão para  $MP_{2,5}$ , os valores propostos pela EPA EUA são: média aritmética das médias anuais (calculadas a partir das médias de 24h) dos últimos três anos consecutivos não pode ultrapassar  $15\mu g/m^3$ ; o percentil 98 das médias de 24 horas em três anos não pode ultrapassar  $65\mu g/m^3$ . Levando-se em conta que as amostragens realizadas não foram diárias e lembrando que os valores de padrão mencionados ainda não foram implantados, observou-se que a média aritmética anual de 2001 nesta estação foi superior ao padrão proposto.



**Figura 25 -  $MP_{2,5}$  - Médias aritméticas mensais**

#### 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, divididas em setores, conforme apresentado na figura 26.



LEGENDA:

- Atividades Encerradas
- Indústrias com Caldeira (Gás Natural)
- Tanques: Combustível e Gás Liquefeito de Petróleo
- Cabine de Pintura - GM

**Figura 26 – Mapa ilustrando as principais fontes de emissão no entorno da estação São Caetano do Sul, e os setores em que estão localizadas**

## Fontes Fixas

As fontes estacionárias prioritárias no perímetro de avaliação da estação não apresentam, de maneira geral, alto potencial de emissão, conforme informações prestadas pela Agência Ambiental de Santo André. A tabela 5 apresenta os valores de emissão para as fontes fixas identificadas. A numeração identifica a localização das fontes na figura 26.

**Tabela 5 - Estimativas de emissão de fontes estacionárias no entorno da estação São Caetano do Sul.**

Empresa	Fonte	Emissão (ton/ano)				
		MP	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	HC
1. Basilar	Caldeira (Gás Natural)	0,090	-	-	-	-
2. ICI do Brasil	Caldeira (Gás Natural)	2,280	40,08	5,28		-
3. General Motors do Brasil	Caldeira	0,042	11,00	-	-	-
	Cabine de pintura	-	-	-	-	-
4. Utingás		-	-	-	-	-
5. Petrobrás-TEDEP		-	-	-	-	212
<b>TOTAL</b>		<b>2,412</b>	<b>51,08</b>	<b>5,28</b>	<b>-</b>	<b>212</b>

A fonte mais importante em termos de emissão de material particulado, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> é a ICI do Brasil, que se situa a nordeste da estação (aproximadamente 1.500 metros). Outra fonte considerada na área de estudo é a General Motors do Brasil, localizada a noroeste da estação, a uma distância de 200 a 1.300 metros. Na GM, foram estimadas somente as emissões de SO<sub>2</sub> e MP de uma caldeira, embora os processos de emissão, por exemplo de HC nas cabines de pintura, possam ser bastante significativas. Outra fonte encontrada no limite de 2.000 metros da área em questão, a leste da estação de São Caetano do Sul, é a Basilar, que devido à distância e quantidade de material particulado emitido, também pode ser considerada desprezível.

Além dessas fontes, outras duas merecem ser citadas pela importância e áreas que ocupam: a Utingás, a 1km a leste da estação, que emite MP desprezível e em caráter esporádico, e a Petrobrás S/A – TEDEP, a aproximadamente 700 metros a nordeste, com 20 tanques para estocagem de 205.000m<sup>3</sup> de combustíveis, que emite hidrocarbonetos devido, principalmente, a um único tanque com teto fixo que é responsável por aproximadamente 75% do total das emissões. Um importante aspecto a considerar diz respeito à altura em que são lançados os poluentes. No caso das fontes estacionárias, as chaminés de todas as fontes tem altura aproximada de 20 metros.

## Fontes Móveis

As fontes móveis mais importantes no entorno da estação em estudo são representadas por poucas avenidas que fazem o acesso e interligação da

região com São Paulo e municípios vizinhos. A principal avenida e fonte linear de emissão a causar impacto nessa área de avaliação é a Avenida Goiás, que se estende de Oeste a Leste, passando a 150 metros ao norte da estação e 300 metros após faz uma curva para Sudoeste, seguindo para o Município de Santo André. Outra via importante é a Av. Presidente Kennedy que se prolonga na direção Norte/Sul, terminando na Av. Goiás. Foi considerada também neste estudo a Rua Piratininga, via com tráfego menos intenso que as anteriores, que se estende de Sudoeste a Nordeste, interligando as avenidas Pres. Kennedy e Goiás.

A Av. do Estado, que vem de Nordeste, atinge seu ponto mais próximo da estação a Norte (600m), sofre um desvio para Nordeste por 1km e retoma o sentido Sudeste. Apesar de estar mais distante que as outras vias, tem bastante representatividade neste estudo em virtude do grande tráfego de veículos.

Outra via com característica de trânsito estritamente local é a Rua Aurélia, paralela à Av. Pres. Kennedy, com 200 metros de extensão. A estação está localizada entre a Av. Pres. Kennedy e a Rua Aurélia.

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

As emissões nas cinco vias analisadas foram estimadas a partir dos dados de contagem de veículos obtidos nos dias 19/10/00 (quinta-feira) e 02/05/02 (quinta-feira), conforme apresentados na tabela 6.

Na Av. Goiás, foram feitas 4 (quatro) contagens de 30 minutos, considerando os 2 (dois) sentidos da via, nos seguintes horários: 6h45 às 7h15 - 9h05 às 9h35 - 12h00 às 12h30 - 18h10 às 18h40

Na Av. Pres. Kennedy, foram efetuadas também 4 (quatro) contagens de 30 minutos nos 2 (dois) sentidos da via, nos seguintes horários: 7h20 às 7h50 - 10h00 às 10h30 - 12h35 às 13h05 - 17h30 às 18h00

Na Rua Piratininga, via de 2 (dois) sentidos, foram realizadas duas contagens de 30 minutos: 10h50 às 11h20 - 13h10 às 13h40

Na Rua Aurélia, de sentido único, também foram realizadas duas contagens de 30 minutos: 10h50 às 11h20 - 13h10 às 13h40

Na Av. do Estado, de duplo sentido de tráfego, foram efetuadas 4 (quatro) contagens de 30 minutos: 7h30 às 8h00 - 9h00 às 9h30 - 12h30 às 13h00 - 17h15 às 17h45

Para se chegar ao volume de tráfego diário, considerou-se a média das contagens realizadas, obtendo-se a média horária de fluxo de veículos. Adotou-se, como critério, que essa média horária é válida entre as 06h00 e 22h00, e que no horário complementar há uma redução de 70%. 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.

O volume de tráfego estimado é apresentado na tabela 6.

**Tabela 6 - Estimativa de tráfego de veículos leves e movidos a diesel na Avenida Goiás, Av. Pres. Kennedy, Av. do Estado e nas ruas Aurélia e Piratininga**

Fonte		Volume de tráfego (Diário)	Volume anual estimado
Av. Goiás	Veículos Leves	67.068	20.925.216
	Veículos Diesel	5.962	1.860.144
Av. Pres. Kennedy	Veículos Leves	21.123	6.590.376
	Veículos Diesel	1.067	332.904
Rua Piratininga	Veículos Leves	6.882	2.147.184
	Veículos Diesel	791	246.792
Rua Aurélia	Veículos Leves	1.601	499.512
	Veículos Diesel	55	17.160
Av. do Estado	Veículos Leves	72.238	22.538.256
	Veículos Diesel	6.900	2.152.800

Para a estimativa de emissão das fontes móveis, foram considerados os fatores de emissão de veículos em uso na RMSP em 2001, conforme tabela 7.

**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>	NO <sub>x</sub>	CO	HC
Gasool	0,08	0,16	0,70	12,3	1,3
Diesel	0,81	0,43	13,0	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
Av. Goiás*	gasool	5,8	11,7	51,3	901	95,2
	diesel	5,3	2,8	84,6	116	18,9
	<b>Total</b>	<b>11,1</b>	<b>14,5</b>	<b>135,9</b>	<b>1017</b>	<b>114,1</b>
Av. Pres.Kennedy**	gasool	0,3	0,6	2,8	49	5,1
	diesel	0,2	0,1	2,6	3	0,6
	<b>Total</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>5,4</b>	<b>52</b>	<b>5,7</b>
Rua Piratininga***	gasool	0,1	0,2	1,1	18	2,0
	diesel	0,1	0,1	2,2	3	0,5
	<b>Total</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>3,3</b>	<b>21</b>	<b>2,5</b>
Rua Aurélia****	gasool	0	0	0	1	0,1
	diesel	0	0	0	0	0
	<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,1</b>
Av. do Estado*****	gasool	9,9	19,8	86,8	1525	161,1
	diesel	9,6	5,1	153,9	210	34,3
	<b>Total</b>	<b>19,5</b>	<b>24,9</b>	<b>240,7</b>	<b>1735</b>	<b>195,4</b>

\* Fonte linear de 3.500 m de extensão

\*\* Fonte linear de 600 m de extensão

\*\*\*Fonte linear de 700 m de extensão

\*\*\*\*Fonte linear de 200 m de extensão

\*\*\*\*\*Fonte linear de 5.500 m de extensão Fonte

A tabela 9 relaciona as emissões das fontes estacionárias e móveis dentro de cada setor (ver figura 26).

**Tabela 9 - Estimativas de emissão de fontes estacionárias e móveis no entorno da estação São Caetano do Sul.**

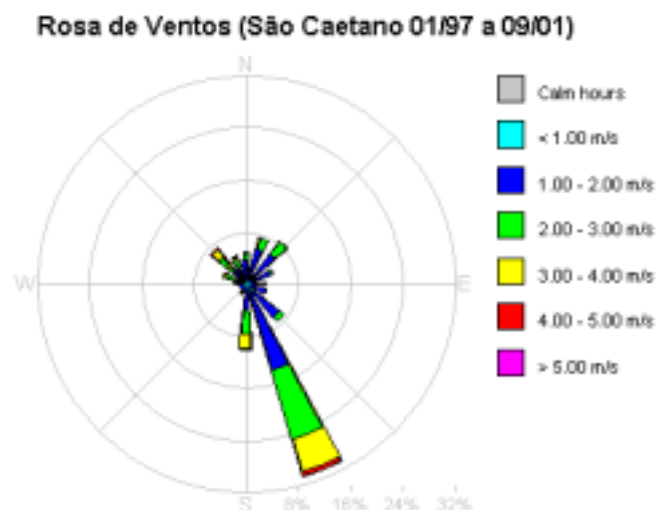
Quadrante	Setor	Emissão das fontes (ton/ano)						Emissão Total (ton/ano)				
		Fonte	MP	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	HC	MP	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	HC
0 - 90 (Nordeste)	2	Av. Estado [2700 m]	9,6	12,2	118,2	852	95,9					
		ICI Brasil (2)	2,28	40,1	5,3	-	-	11,88	52,3	123,5	852	95,9
		Utingás (4)	-	-	-	-	-					
	6	Av. Goiás [450 m]	1,4	1,9	17,5	131	14,7					
		TEDEP (5)	-	-	-	-	212	1,6	2,1	19,3	148	228,6
		Av. Pres. Kennedy [200 m]	0,2	0,2	1,8	17	1,9					
90 - 180 (Sudeste)	3	Av. Estado [1200 m]	4,2	5,5	52,5	378	42,6					
		Av. Goiás [1050 m]	3,3	4,3	40,8	305	34,2	7,6	10	95,7	698	78,6
		R. Piratininga [500 m]	0,1	0,2	2,4	15	1,8					
	7	Av. Pres. Kennedy [400 m]	0,3	0,5	3,6	35	3,8	0,3	0,5	3,6	35	3,8
180 - 270 (Sudoeste)	4	Rua Piratininga [200 m]	0,1	0,1	0,9	6	0,7	0,1	0,1	0,9	6	0,7
	8	Rua Aurélia [200 m]	0	0	0	1	0,1	0	0	0	1	0,1
270 - 360 (Noroeste)	1	Av. Estado [1600 m]	5,7	7,2	70	505	56,9					
		Av. Goiás [1600 m]	5,1	6,6	62,1	465	52,1					
		Brasilar (1)	0,09	-	-	-	-	10,93	24,8	132,1	970	109
		GM (3)	0,04	11	-	-	-					
	5	Av. Goiás [400 m]	1,3	1,7	15,5	116	13,1	1,3	1,7	15,5	116	13,1

Observação: os números entre parênteses correspondem às fontes industriais, tal como apresentadas na tabela 5. 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 de ventos é através de rosas de ventos, onde podem-se observar direções predominantes e velocidades médias de ventos para um grande período de tempo. A figura 27, que representa a rosa de ventos da estação São Caetano do Sul para os anos 1997 a 2001, mostra a direção SSE como a de ventos predominantes, embora sejam observadas pequenas contribuições de outras direções. A porcentagem de calmaria e ventos variáveis (normalmente ventos fracos) nesta estação foi de 19% para os anos considerados, percentual este de cerca de 1/5 do período monitorado.



**Figura 27 - Rosa de ventos da estação São Caetano do Sul 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 do vento na estação São Caetano do Sul em cada quadrante ao longo do dia**

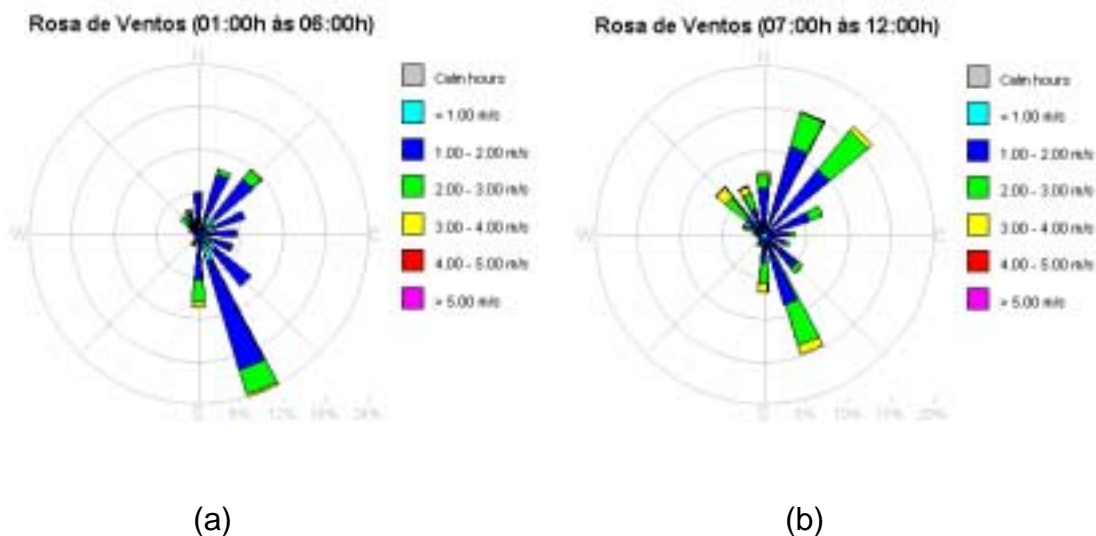
Hora	NE	SE	SW	NW	Calm/var
01:00	326	601	96	122	581
02:00	366	543	85	132	596
03:00	354	507	101	147	606
04:00	388	482	88	135	620
05:00	404	462	102	132	627
06:00	453	449	83	148	601
07:00	508	428	88	149	568
08:00	654	445	85	189	383
09:00	840	436	92	242	156
10:00	826	432	97	318	92
11:00	741	392	112	423	99
12:00	574	428	125	554	88
13:00	381	510	152	617	115
14:00	233	652	176	604	110
15:00	152	813	163	540	112
16:00	88	964	169	473	87
17:00	73	1071	162	413	56
18:00	74	1153	145	330	70
19:00	79	1136	167	232	156
20:00	89	1113	143	174	242
21:00	138	996	127	149	342
22:00	184	903	103	135	420
23:00	245	770	111	118	489
24:00	313	681	101	125	498

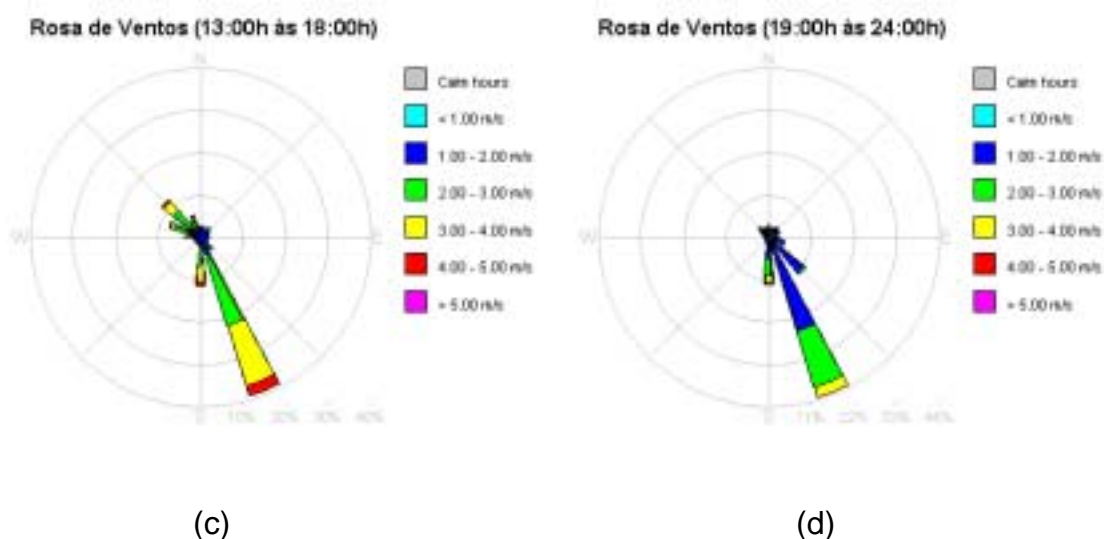
Os resultados mostram que:

- Na madrugada e início da manhã, predomina a condição de calmaria, tendo a sua máxima frequência às 5h. É o período que apresenta a pior condição de dispersão dos poluentes;
- No período da manhã, entre 7h e 11h, predominam os ventos do quadrante NE, com máxima frequência às 9h. Esses ventos são, portanto, os mais freqüentes no período do pico de tráfego matutino;
- A partir do final da manhã, aumenta a frequência de ventos do quadrante NW, ventos estes que se tornam predominantes no início da tarde, com maior frequência às 13h;
- No período da tarde até a noite, os ventos são predominantemente do quadrante SE, com máxima frequência às 18h. É importante ponderar que esses ventos do SE são os mais freqüentes quando considerados todos os horários somados. Os ventos deste quadrante ocorrem principalmente na presença de duas condições meteorológicas distintas: o primeiro caso está associado com a atuação de um anticiclone polar, onde os ventos são relativamente constantes em direção e ocorre em praticamente todas as horas do dia; o segundo caso ocorre pela penetração da brisa marítima e ocorre a partir da tarde até a noite, o que pode ser observado pela máxima frequência de ocorrência nesse período;
- Os ventos do quadrante SW apresentam baixa ocorrência na região em todos os horários do dia.

A observação do regime de ventos presente na região, conforme descrito, orientou a elaboração de rosas de ventos divididas em seis horas, conforme apresentado na figura 28.

Para uma melhor visualização do comportamento dos ventos na estação São Caetano do Sul, foram feitas rosas de ventos em períodos do dia (figuras 26a, b, c, d), quando são observadas mudanças nas direções dos ventos com o decorrer do dia.





**Figura 28 - Rosas de ventos por período do dia da estação São Caetano do Sul para os anos 1997 a 2001. Madrugada (a), manhã (b), tarde (c) e noite (d).**

Na figura 28a, que mostra a rosa de ventos para o período da madrugada (1h às 6h), observa-se predominância de ventos do quadrante SE e ainda do quadrante NE, porém, em menor porcentagem. Neste período do dia, a velocidade do vento é bastante baixa e a porcentagem de calmaria e de ventos variáveis é de 35%.

No período da manhã (7h às 12h) (figura 28b), a contribuição do quadrante NE é maior que a do SE, existe ainda uma contribuição do quadrante NW com velocidades um pouco mais altas, isto ocorre porque os ventos de rajada diurnos são, na maioria das vezes, deste quadrante. Neste período do dia, a porcentagem de calmaria e ventos variáveis foi de 13%.

Na figura 28c, que mostra o comportamento do vento à tarde (13h às 18h), permanece ainda uma pequena contribuição da direção NW, porém, a direção SSE é a predominante, principalmente porque, neste período do dia, os regimes de vento na região onde se encontra situada a cidade de São Caetano Sul são bastante influenciados pelos efeitos da brisa marítima. Durante a tarde, a velocidade média dos ventos é a mais alta de todo o período do dia e a porcentagem de calmaria e de ventos variáveis a mais baixa, apenas 5%.

O comportamento no período da noite (19h às 24h), apresentado na figura 28d, mostra que praticamente não existe contribuição de outros quadrantes que não o do SE. Neste período do dia, a brisa marítima ainda é atuante, porém, a velocidade média do vento é mais baixa que a da tarde e ocorre um aumento da porcentagem de calmaria e de ventos variáveis, que atinge 22%, sendo menor apenas que a da madrugada.

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:

1. Avaliar o perfil do vento ao longo do dia, observando-se os horários de maior frequência em cada direção, bem como os horários de maior frequência de calmaria e vento variável (figura 28 e tabela 10).
2. Avaliar os perfis de concentração de cada poluente medido na estação ao longo do dia, por dia da semana. Esta análise foi feita considerando o comportamento dos poluentes de cada um dos dias da semana no período de maio a setembro, em que as concentrações são mais altas. Fez-se também uma análise das médias de inverno e verão 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.
3. Analisar as concentrações médias em função de diferentes velocidades de vento, com ventos soprando dos quadrantes NE, SE, SW e NW, e em condições de calmaria e vento variável. Os períodos do dia foram selecionados com base nas distribuições diárias de concentração obtidas;
4. Verificar a que quadrante de vento estão associadas as maiores concentrações médias e checar se o vento deste quadrante é o predominante (conforme tabela 10) nos horários de pico de concentração dos poluentes.

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

5. Verificar o comportamento do poluente em função da velocidade do vento, tentando assim detectar se os resultados correspondem a emissões de fontes localizadas nas proximidades ou distantes do local de monitoramento;
6. No caso do ozônio, a análise foi feita com base nos dados de ultrapassagem de padrão (frequência de dados maiores que 160µg/m<sup>3</sup>) no período das 12h às 17 horas.

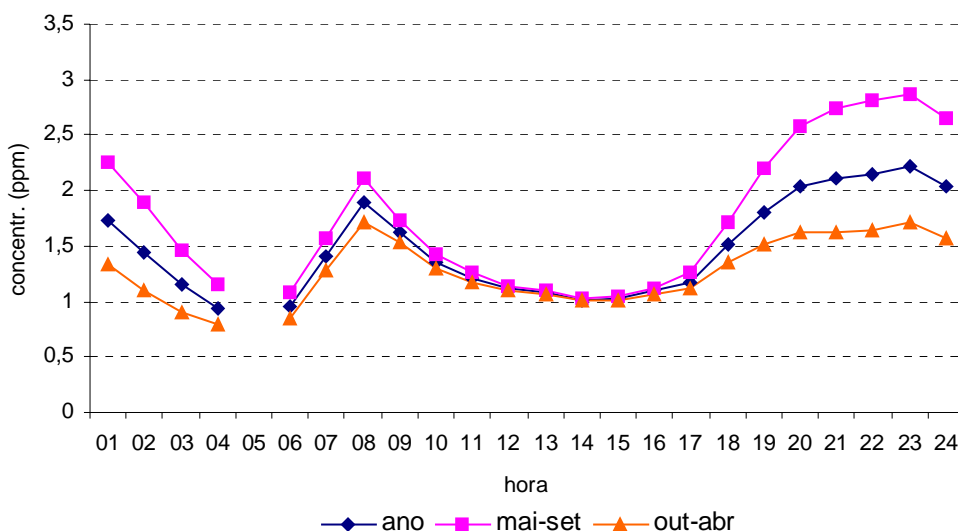
As análises foram feitas separadamente para cada poluente, uma vez que a representatividade da estação pode variar em função do poluente considerado. Além disso, quanto à localização, a estação pode sofrer o impacto da emissão de um dado poluente e não ser capaz de monitorar adequadamente a emissão de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

### **Monóxido de Carbono - CO**

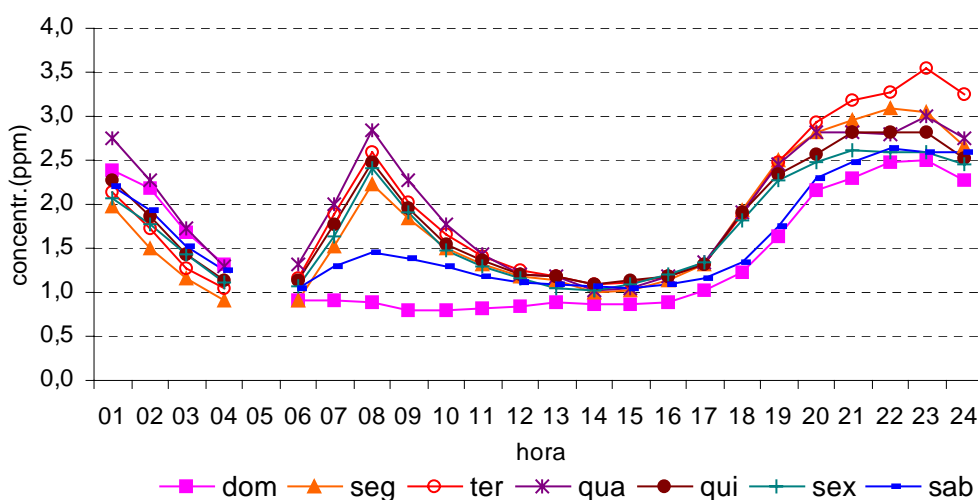
As figuras 29 e 30 ilustram as variações sazonais e por dia da semana do CO na estação São Caetano do Sul, respectivamente. Os perfis de inverno e verão apresentados ilustram as diferenças resultantes das variações meteorológicas médias na condição de dispersão dos poluentes, determinantes principalmente no período noturno. Com relação às variações por dia da semana (figura 30), 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 que há dois máximos preferenciais de concentração, um no período

entre 6h e 11h da manhã e outro no período noturno, entre 19h e 5h. O primeiro está associado ao aumento do tráfego de veículos (pico da manhã), de curta duração, já que precede um período, no início da tarde, com condições meteorológicas mais favoráveis à dispersão dos poluentes. O segundo máximo de concentração se inicia a partir do pico de tráfego da tarde, quando há grande emissão veicular, e se prolonga pela noite, sob condições meteorológicas mais desfavoráveis à dispersão, atingindo seu máximo às 23h. Não existem dados às 5h por ser o horário utilizado para verificação automática diária da calibração do monitor.



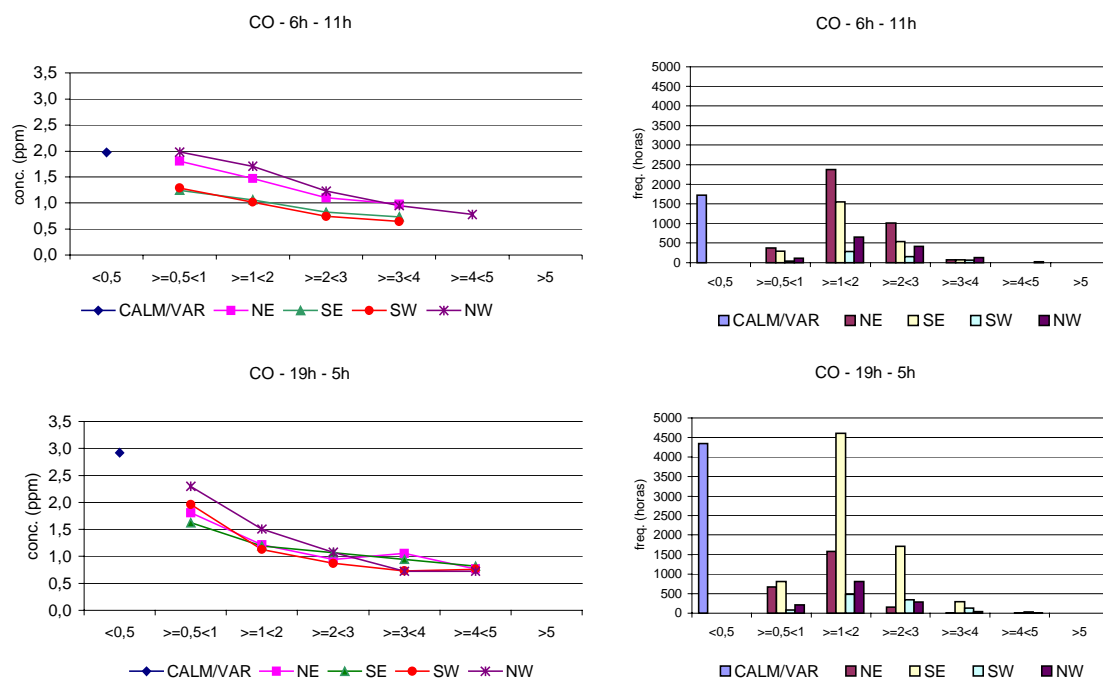
**Figura 29 - CO - Médias horárias por época do ano no período de 1997 a 2001**



**Figura 30 - CO - Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2001 (maio a setembro)**

Por serem esses os períodos que mais contribuem para as concentrações de CO observadas na estação, foram então considerados para elaboração dos

gráficos que ilustram as concentrações do poluente em função da velocidade e do quadrante do vento, conforme figura 31.



**Figura 31 - CO- Médias e freqüência de ocorrência (horas) nos períodos das 6h às 11h e das 19 às 5h, em função de velocidade e quadrante dos ventos no período de 1997 2001**

A figura 31 mostra que as concentrações médias mais elevadas de CO foram observadas nos períodos de calmaria e vento variável, mais freqüentes no período da noite, conforme se observa também na tabela 10 e na figura 28 (rosa de ventos). De maneira geral, as concentrações médias diminuem com o aumento da velocidade do vento, indicando que as condições de dispersão são mais importantes do que o transporte de regiões mais afastadas. Apesar de a emissão de CO ser maior no período diurno, devido ao tráfego de veículos, as concentrações ambientais médias de CO no período noturno são equivalentes, o que mostra a persistência deste poluente na atmosfera em condições de dispersão desfavoráveis.

Durante a manhã (das 6h às 11h), as maiores concentrações foram observadas com ventos soprando dos quadrantes NW e NE, coincidindo com as direções em que se localizam as vias de tráfego intenso mais próximas, Av. Goiás e Av. do Estado, indicando que estas fontes podem ter papel importante nas concentrações observadas na estação nesse horário. Observa-se ainda que no período das 6h às 11h é maior a freqüência de ventos do quadrante NE, com grande freqüência também de ventos soprando dos quadrantes SE e NW.

No período noturno (das 19h às 5h), as concentrações pouco variam com a direção do vento, indicando ser predominante o efeito da estagnação atmosférica.

### 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



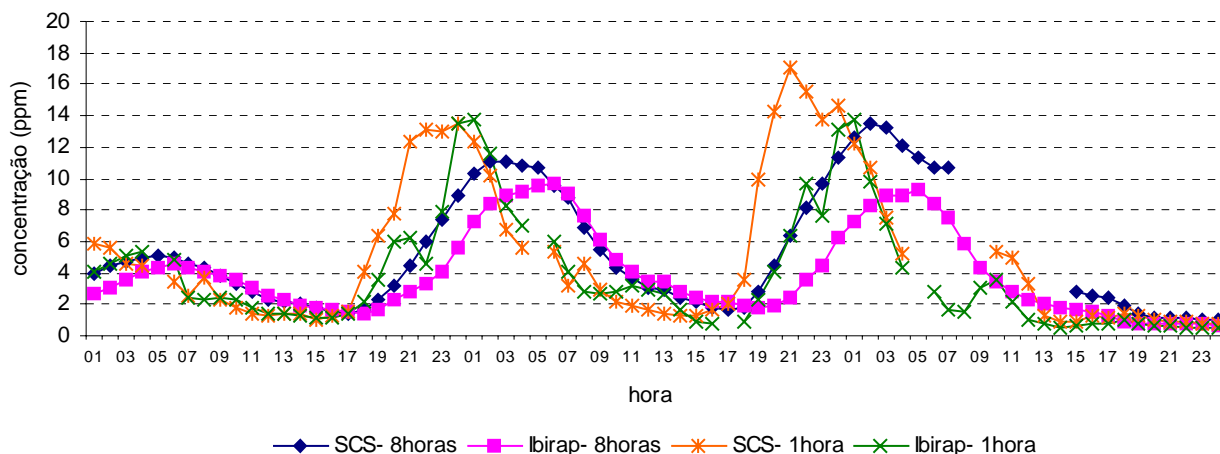
comportamento das concentrações de CO nos dias em que a média de 8 horas esteve mais elevada no ano de 2001.

Nos dias 03, 04 e 05 de julho de 2001, condições meteorológicas bastante desfavoráveis à dispersão de poluentes produziram os níveis mais elevados de concentração do ano na estação São Caetano do Sul. A tabela 11 apresenta a distribuição dos dados horários de CO, direção e velocidade do vento, onde pode-se observar que as concentrações mais elevadas ocorreram no período noturno, sob condições de calmaria.

**Tabela 11 - Dados de concentração de CO e vento registrados na estação São Caetano do Sul nos dias 03, 04 e 05/07/2001**

Dia Hora	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	5,8	calm	-	12,4	calm	-	12,3	calm	-
02:00	5,7	0,8	SE	10,2	calm	-	10,7	calm	-
03:00	4,6	calm	-	6,7	calm	-	7,5	0,6	NE
04:00	4,4	calm	-	5,5	calm	-	5,2	calm	-
05:00	-	0,6	NE	-	calm	-	-	calm	-
06:00	3,4	0,8	NE	5,3	calm	-	-	0,6	NW
07:00	2,6	calm	-	3,2	0,8	NE	-	0,7	NE
08:00	3,7	1,0	SE	4,6	calm	-	-	calm	-
09:00	2,3	1,4	NE	3,0	1,1	NE	-	0,8	NW
10:00	1,7	1,9	NE	2,1	1,6	NE	5,3	1,0	NE
11:00	1,4	2,0	NE	1,9	1,4	NE	4,9	1,4	NE
12:00	1,3	1,4	NE	1,7	1,6	NE	3,4	1,6	NW
13:00	1,4	1,4	NE	1,4	1,6	NE	1,3	1,4	SW
14:00	1,4	1,4	NE	1,2	1,5	NE	0,9	1,4	SW
15:00	1,0	calm	-	1,3	1,5	NE	1,0	2,1	SW
16:00	1,3	1,2	NE	1,6	1,7	NE	1,3	2,7	SE
17:00	1,6	1,2	NE	2,0	1,3	NE	1,2	3,3	SE
18:00	4,1	0,8	NE	3,6	calm	-	1,4	3,1	SE
19:00	6,3	0,7	NE	10,0	calm	-	1,2	3,3	SW
20:00	7,8	calm	-	14,3	calm	-	1,0	2,8	SW
21:00	12,3	calm	-	17,1	0,6	SE	0,9	2,9	SE
22:00	13,1	calm	-	15,5	0,8	SE	0,8	2,3	SE
23:00	13,0	calm	-	13,8	calm	-	0,8	2,6	SE
24:00	13,5	calm	-	14,6	calm	-	0,7	2,2	SE

A figura 32 apresenta os dados de concentração de 1 hora e média de 8 horas para o mesmo dia das estações São Caetano do Sul e Ibirapuera. O objetivo da comparação é identificar se as altas concentrações têm origem em fenômenos exclusivamente locais ou se são observadas também em outras estações, principalmente as representativas de escalas espaciais maiores, e portanto causadas por condições que atingem uma grande área.



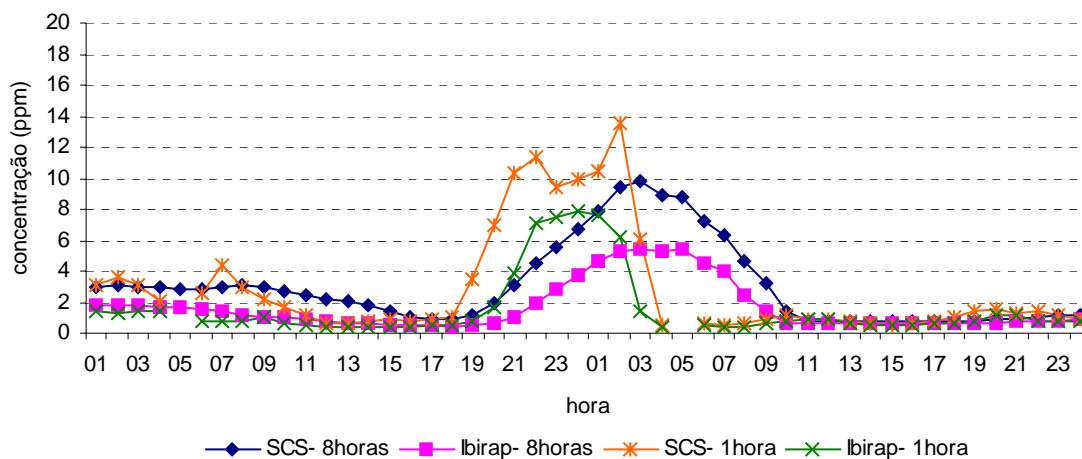
**Figura 32 - CO - Médias horárias e móveis de 8 horas nas estações São Caetano do Sul e Ibirapuera para os dias 03, 04 e 05/07/2001**

A análise mostra que, apesar de as concentrações horárias em São Caetano do Sul serem mais altas no final da tarde, provavelmente associadas ao aumento do tráfego de veículos, já que a estação São Caetano do Sul está mais próxima de vias de tráfego que a estação Ibirapuera, o perfil é bastante semelhante, ou seja, pode-se perceber que os níveis elevados em São Caetano do Sul estão associados a condições meteorológicas desfavoráveis na área metropolitana como um todo.

A análise para os dias 25 e 26 de agosto (tabela 12 e figura 33) mostra que a situação é equivalente aos episódios dos dias 03 a 05 de julho, ou seja, as concentrações mais elevadas são observadas no período noturno e madrugada, associados à condição meteorológica de estagnação atmosférica, já que concentrações elevadas foram observadas também na estação Ibirapuera.

**Tabela 12 - Dados de concentração de CO e vento registrados na estação São Caetano do Sul nos dias 25 e 26/08/2001**

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



**Figura 33 - CO - Médias horárias e móveis de 8 horas nas estações São Caetano do Sul e Ibirapuera para os dias 25 e 26/08/2001**

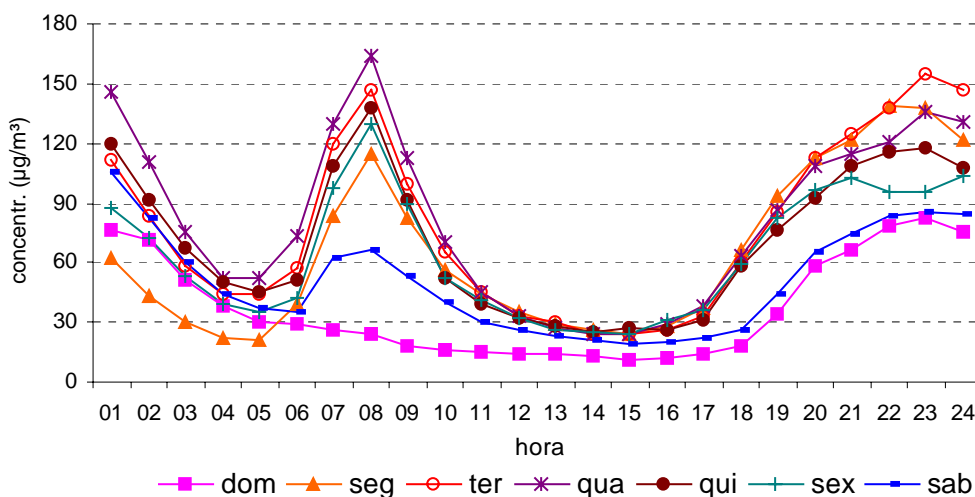
Em termos médios, o regime de ventos no local e o perfil de concentração de CO ao longo do dia, que registrou picos de concentração pela manhã, com predominância de ventos do quadrante NE (quadrante onde estão localizadas as fontes mais significativas de CO), e à noite, quando as condições meteorológicas são, em geral, desfavoráveis à dispersão dos poluentes, indica que esta estação está bem localizada no que diz respeito às fontes de emissão

de CO. Quanto à escala de representatividade, observou-se que a estação sofre principalmente o impacto das emissões de fontes próximas durante o dia, lembrando que a Av. Goiás localiza-se a cerca de 150 metros da estação (média escala), e possivelmente em escala maior no período noturno, já que há significativa redução de emissão nas vias de tráfego.

A análise dos episódios mais agudos mostrou que estes ocorrem no período noturno, sob condições meteorológicas desfavoráveis que afetam a área metropolitana como um todo, confirmando os resultados obtidos pelo comportamento médio. Demonstra também que o efeito da estagnação atmosférica prevalece sobre o efeito do máximo de emissão veicular na ocorrência de episódios agudos.

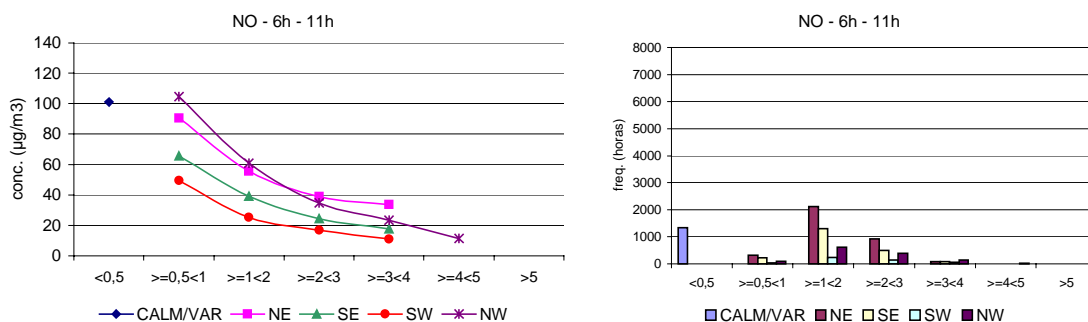
### Monóxido de Nitrogênio - NO

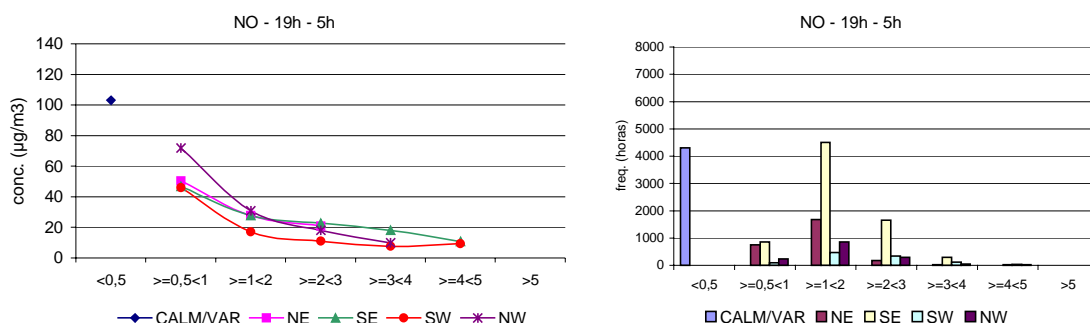
Da mesma forma que para o CO, o perfil das médias de NO ao longo do dia (figura 34) mostra que há dois picos de concentração, no período da manhã e no período noturno. Por ser principalmente emitido pelos veículos automotores, também o NO apresenta concentrações no sábado e domingo mais baixas que nos demais dias da semana.



**Figura 34 - NO - Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2001 (maio a setembro)**

Os gráficos na figura 35 foram elaborados com base nas concentrações médias de NO, velocidade e quadrante dos ventos nesses períodos.





**Figura 35 - NO - Médias e frequência de ocorrência (horas) nos períodos das 6h às 11h e das 19h às 5h, em função de velocidade e quadrante dos ventos no período de 1997 a 2001**

No caso do NO, as concentrações médias mais elevadas foram registradas em condições de calmaria e vento variável. No período da manhã, os valores mais altos foram observados com ventos soprando dos quadrantes NE e NW, quadrantes onde estão localizadas as principais fontes próximas de emissão deste poluente (ver tabela 9). No período noturno, as concentrações caem significativamente com ventos acima de 1m/s para qualquer quadrante de vento, o que indica menor emissão neste período.

Na figura 35, observa-se que ventos soprando do quadrante NE durante a manhã são os mais frequentes nesta estação, no período do dia em que, em geral, ocorrem as máximas concentrações deste poluente, indicando que a localização é adequada para monitorar as emissões das fontes mais significativas de NO.

Em condições de calmaria e vento variável, detectaram-se concentrações médias da mesma ordem de grandeza pela manhã e à noite, mostrando que, mesmo após o pico de emissão, as concentrações na atmosfera se mantêm nos mesmos níveis em razão das condições atmosféricas desfavoráveis à dispersão e da diminuição da altura da camada de mistura.

Ainda na figura 35, observa-se que, à medida que aumenta a velocidade dos ventos dos quadrantes NE e NW pela manhã, as concentrações médias detectadas na estação caem, indicando que esta estação sofre o impacto de emissões de fontes próximas, anteriormente mencionadas. O mesmo ocorre com ventos soprando dos quadrante SE e SW, porém de maneira menos acentuada.

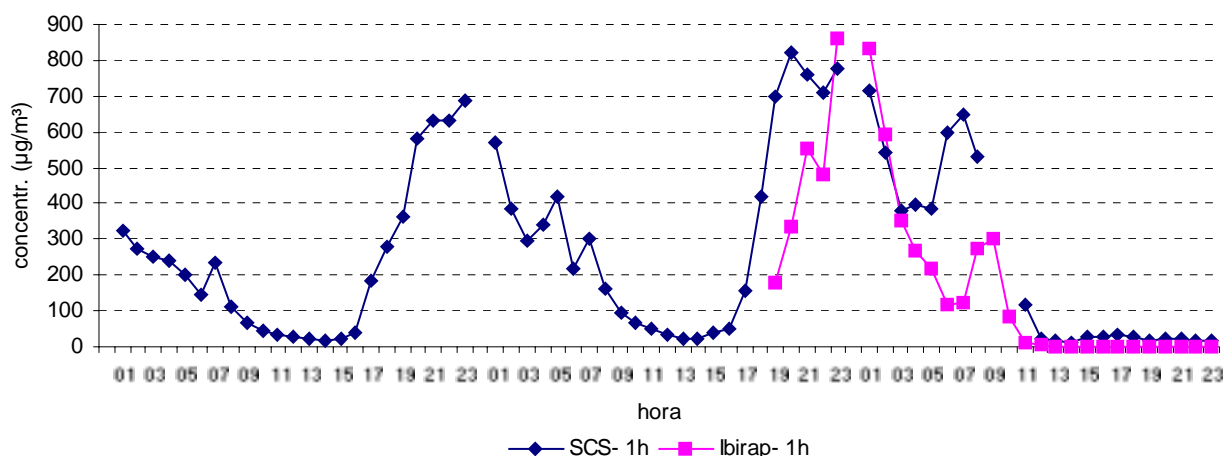
### Episódios de alta concentração

A análise dos dois mais elevados episódios de médias horárias em 2001 estão apresentados a seguir. A condição atmosférica observada nos dias 3, 4 e 5/07 determinou a ocorrência das concentrações mais elevadas no ano de 2001. Nesses dias, as condições de dispersão atmosférica foram bastante desfavoráveis, conforme já observado na análise do CO. A máxima concentração horária de NO observada foi de 820µg/m³, às 21h do dia 4.

**Tabela 13 - Dados de concentração de NO e vento registrados na estação São Caetano do Sul nos dias 03, 04 e 05/07/2001**

Dia	03/07/2001			04/07/2001			05/07/2001		
Hora	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	-	calm	-	-	calm	-	-	calm	-
02:00	326	0,8	SE	571	calm	-	713	calm	-
03:00	276	calm	-	388	calm	-	543	0,6	NE
04:00	254	calm	-	297	calm	-	381	calm	-
05:00	243	0,6	NE	343	calm	-	396	calm	-
06:00	200	0,8	NE	421	calm	-	387	0,6	NW
07:00	147	calm	-	216	0,8	NE	598	0,7	NE
08:00	233	1,0	SE	302	calm	-	647	calm	-
09:00	114	1,4	NE	161	1,1	NE	534	0,8	NW
10:00	67	1,9	NE	96	1,6	NE		1,0	NE
11:00	46	2,0	NE	70	1,4	NE		1,4	NE
12:00	32	1,4	NE	48	1,6	NE	116	1,6	NW
13:00	29	1,4	NE	32	1,6	NE	25	1,4	SW
14:00	23	1,4	NE	22	1,5	NE	18	1,4	SW
15:00	16	calm	-	23	1,5	NE	12	2,1	SW
16:00	23	1,2	NE	39	1,7	NE	26	2,7	SE
17:00	40	1,2	NE	51	1,3	NE	29	3,3	SE
18:00	183	0,8	NE	157	calm	-	35	3,1	SE
19:00	278	0,7	NE	418	calm	-	28	3,3	SW
20:00	362	calm	-	700	calm	-	15	2,8	SW
21:00	580	calm	-	820	0,6	SE	24	2,9	SE
22:00	631	calm	-	758	0,8	SE	22	2,3	SE
23:00	633	calm	-	711	calm	-	19	2,6	SE
24:00	686	calm	-	775	calm	-	16	2,2	SE

O gráfico comparativo com a estação Ibirapuera (figura 36) mostra que concentrações elevadas foram também observadas nesta última, associadas portanto a uma condição meteorológica em escala regional.



**Figura 36 - NO - Médias horárias nas estações São Caetano do Sul e Ibirapuera para os dias 03, 04 e 05/07/2001.**

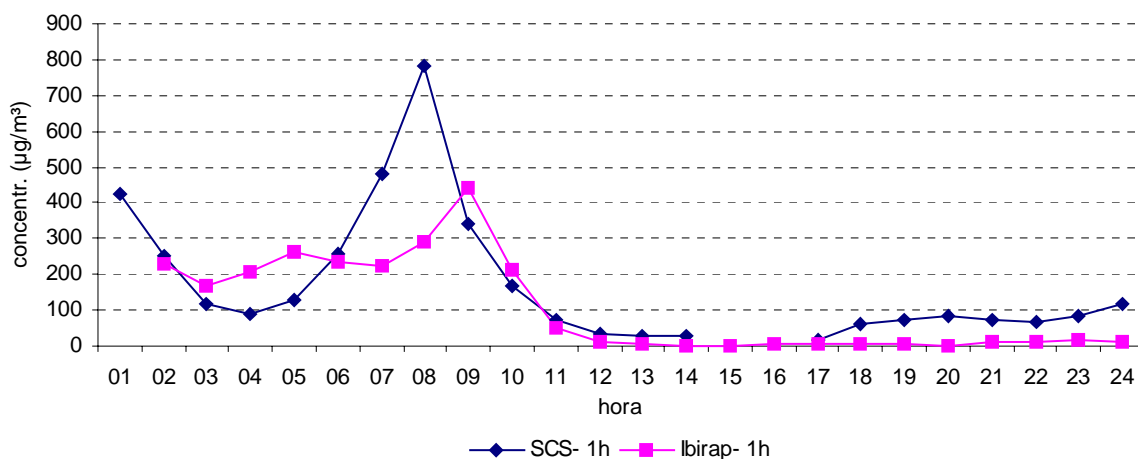
No dia 02/08, observou-se o segundo episódio (média horária) mais elevado de NO em 2001, atingindo a concentração máxima de  $783\mu\text{g}/\text{m}^3$  às 8h. Nesse dia,

observou-se um período longo de calmaria anterior à máxima registrada (tabela 14).

**Tabela 14 - Dados de concentração de NO e vento registrados na estação São Caetano do Sul no dia 02/08/2001**

Dia	02/08/2001		
Hora	Conc.(1h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	423	calm	-
02:00	254	calm	-
03:00	119	calm	-
04:00	91	calm	-
05:00	129	calm	-
06:00	259	calm	-
07:00	481	calm	-
08:00	783	calm	-
09:00	340	0,7	NE
10:00	165	1,1	NE
11:00	70	1,3	NW
12:00	36	1,4	NE
13:00	27	2,1	NE
14:00	29	1,9	NE
15:00	-	1,6	SE
16:00	-	2,5	SE
17:00	18	3,1	SW
18:00	60	2,6	SE
19:00	73	2,0	SE
20:00	83	1,6	SE
21:00	71	1,1	SE
22:00	68	0,9	SE
23:00	85	calm	-
24:00	119	calm	-

É importante observar que, diferentemente do ocorrido no episódio em 4 de julho, esse episódio não pode ser atribuído somente à condição meteorológica, já que ocorreu no horário em que as concentrações de NO são normalmente mais altas (ver figura 34). Também diferentemente do que ocorreu em julho, as concentrações observadas em São Caetano do Sul foram significativamente mais altas que as observadas na estação Ibirapuera (figura 37), indicando que há uma influência significativa de fontes próximas.

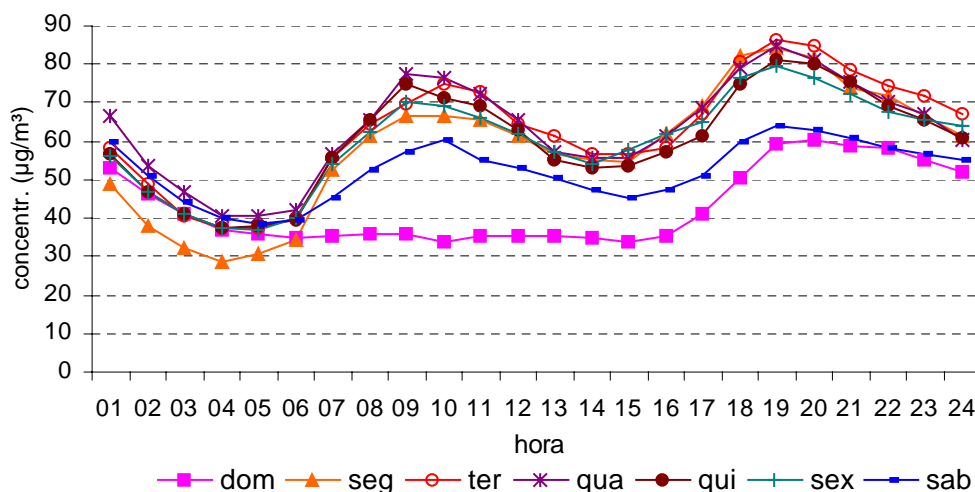


**Figura 37 - NO - Médias horárias nas estações São Caetano do Sul e Ibirapuera para o dia 02/08/2001**

Assim, a estação São Caetano do Sul está localizada adequadamente para o monitoramento de NO, visto que registra concentrações provenientes das fontes mais significativas em média escala (100 a 500m), bem como é capaz de registrar picos noturnos de escala espacial maior. As análises dos episódios de alta concentração mostraram que ambas as situações são responsáveis pela ocorrência das máximas concentrações.

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

A figura 38 mostra o perfil de concentração de NO<sub>2</sub> (média horária), ao longo do dia. Também no caso do NO<sub>2</sub>, observam-se tanto no período diurno quanto noturno concentrações em média mais baixas no final de semana, efeito este que se estende à madrugada de segunda-feira.

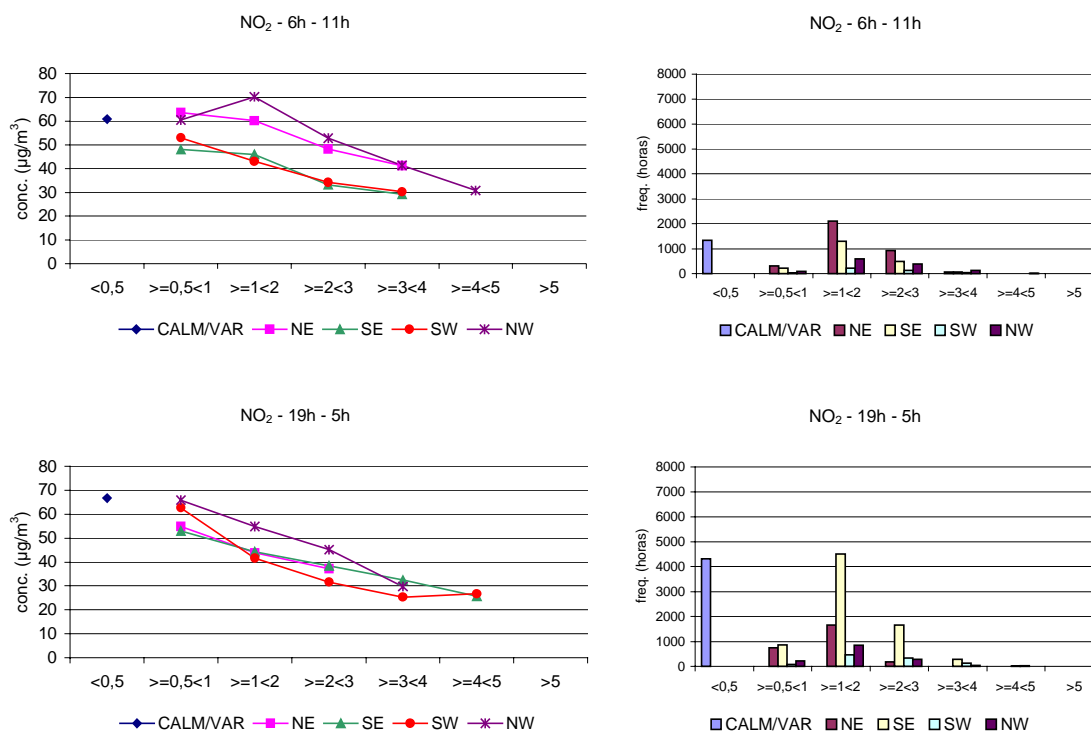


**Figura 38 - NO<sub>2</sub> - Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2001 (maio a setembro)**

Mantendo o critério que adota os períodos de maior concentração para avaliar o comportamento dos poluentes veiculares, foram elaborados os gráficos



apresentados na figura 39, que consideraram as concentrações médias de  $\text{NO}_2$  nos períodos das 6h às 11h e das 19h às 5h.



**Figura 39 -  $\text{NO}_2$  - Médias e freqüência de ocorrência nos períodos das 6h às 11h e das 19 às 5h, em função de velocidade e quadrante dos ventos, no período de 1997 a 2001**

No caso do  $\text{NO}_2$ , 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 39 mostra que em condições de calmaria e vento variável as concentrações na atmosfera são um pouco maiores no período noturno do que pela manhã. No período da manhã, as concentrações mais elevadas foram observadas sob ação de ventos dos quadrantes NE e NW, onde se localizam as principais fontes de emissão de  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$ ) (Av. Goiás e Av. do Estado). Estas fontes também se estendem a SE da estação, conforme se observa na figura 26. Como no caso do  $\text{NO}$  e do  $\text{CO}$ , também se observa uma redução das concentrações à medida que aumenta a velocidade dos ventos, tanto pela manhã quanto à noite.

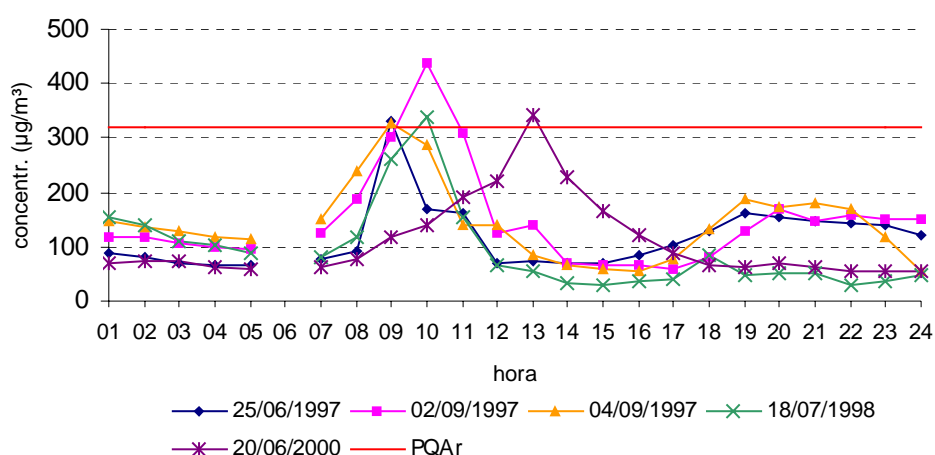
Observou-se que a diminuição de concentração de  $\text{NO}_2$  à medida que aumenta a velocidade dos ventos foi menos acentuada do que no caso do  $\text{NO}$  e do  $\text{CO}$ , em que se observaram quedas mais bruscas de concentração com o aumento da velocidade. Presume-se que isto indique serem o  $\text{CO}$  e o  $\text{NO}$  mais sensíveis às emissões de fontes próximas, de tal forma que com o aumento da velocidade dos ventos estes poluentes sofrem dispersão, detectando-se, assim, concentrações significativamente menores. Já no caso do  $\text{NO}_2$ , os níveis de concentração se reduzem mais gradativamente, graças à formação

deste poluente na atmosfera e ao seu transporte de locais mais distantes, favorecido com ventos fortes.

Assim, no que diz respeito à escala de representatividade, esta estação sofre o impacto de emissões de fontes próximas, mas também é capaz de detectar a influência de precursores emitidos por fontes distantes do local de amostragem.

### Episódios de alta concentração

Apesar de as concentrações mais elevadas de  $\text{NO}_2$ , média de todos os dias, ocorrerem às 19h (ver figura 38), ou seja, coincidindo com o pico de tráfego no início da noite, a análise considerando os dias de ultrapassagem do PQAr primário de  $\text{NO}_2$  ( $320\mu\text{g}/\text{m}^3$  - 1 hora) mostra que eles ocorrem preferencialmente no período da manhã (figura 40), em concordância com o esperado em termos do ciclo fotoquímico na atmosfera.



**Figura 40 -  $\text{NO}_2$  - Médias horárias nos 5 dias de ocorrência de episódios acima do PQAr no período de 1997 a 2001**

A análise dos valores mais altos de concentração horária observados em 2001, apresentados nas tabelas 15 e 16, confirma os resultados observados nas ultrapassagens de  $\text{NO}_2$ , ou seja, os picos de concentração ocorrem no período da manhã.

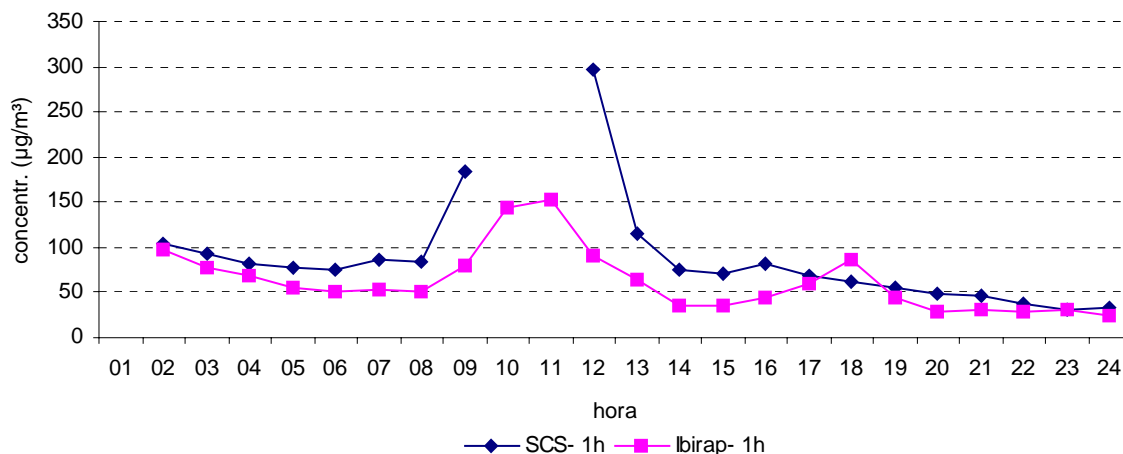
**Tabelas 15 - Dados de concentração de NO<sub>2</sub> e vento registrados na estação São Caetano do Sul nos dias 05/07 e 02/08/2001**

Dia	05/07/2001		
Hora	Conc.(1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	-	calm	-
02:00	104	calm	-
03:00	93	0,6	NE
04:00	82	calm	-
05:00	78	calm	-
06:00	75	0,6	NW
07:00	86	0,7	NE
08:00	85	calm	-
09:00	184	0,8	NW
10:00	-	1,0	NE
11:00	-	1,4	NE
12:00	297	1,6	NW
13:00	116	1,4	SW
14:00	76	1,4	SW
15:00	70	2,1	SW
16:00	82	2,7	SE
17:00	70	3,3	SE
18:00	63	3,1	SE
19:00	56	3,3	SW
20:00	49	2,8	SW
21:00	46	2,9	SE
22:00	37	2,3	SE
23:00	31	2,6	SE
24:00	34	2,2	SE

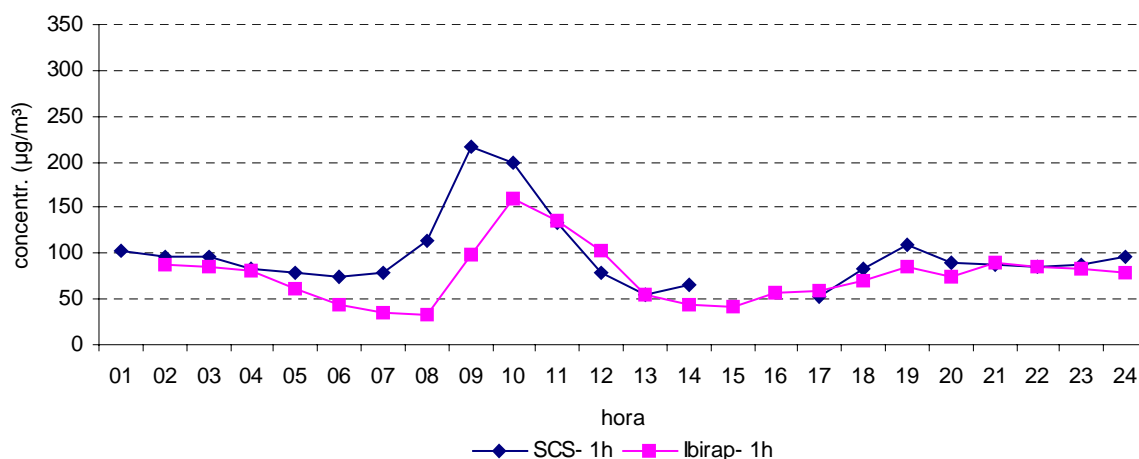
Dia	02/08/2001		
Hora	Conc.(1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	103	calm	-
02:00	97	calm	-
03:00	97	calm	-
04:00	83	calm	-
05:00	79	calm	-
06:00	74	calm	-
07:00	78	calm	-
08:00	113	calm	-
09:00	217	0,7	NE
10:00	199	1,1	NE
11:00	133	1,3	NW
12:00	78	1,4	NE
13:00	55	2,1	NE
14:00	65	1,9	NE
15:00	-	1,6	SE
16:00	-	2,5	SE
17:00	52	3,1	SW
18:00	83	2,6	SE
19:00	108	2,0	SE
20:00	91	1,6	SE
21:00	88	1,1	SE
22:00	85	0,9	SE
23:00	88	calm	-
24:00	97	calm	-

É interessante observar que, mesmo no período de alta estagnação atmosférica, como no dia 5/07, quando as concentração mais altas de NO foram observadas à noite, as concentrações mais altas de NO<sub>2</sub> foram observadas pela manhã.

No dia 02/08, os valores altos de NO<sub>2</sub> (máxima às 9h) ocorreram em horário posterior ao da ocorrência de valores altos de NO (máxima às 8h), no período da manhã, concordando com o esperado em termos de ciclo fotoquímico. Além disso, quando comparados com os valores de concentração no Ibirapuera (figura 42), observa-se que são bastante superiores, indicando que em São Caetano do Sul houve influência de condições locais.



**Figura 41 - NO<sub>2</sub> - Médias horárias nas estações São Caetano do Sul e Ibirapuera para o dia 05/07/2001**

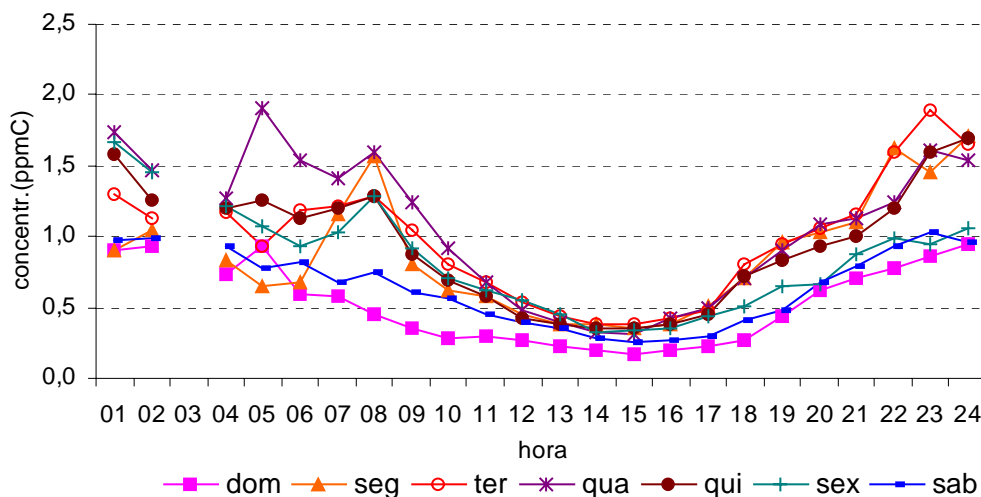


**Figura 42 - NO<sub>2</sub> - Médias horárias nas estações São Caetano do Sul e Ibirapuera para o dia 02/08/2001**

Assim, para o NO<sub>2</sub>, a estação São Caetano apresenta poucos episódios acima do PQAr diário. A análise desses episódios e dos valores mais altos em 2001 mostra que eles ocorrem no período da manhã, como efeito do transporte em grande escala, mas principalmente pela conversão do NO emitido por fontes no entorno, em média escala, onde destaca-se o tráfego de veículos automotores.

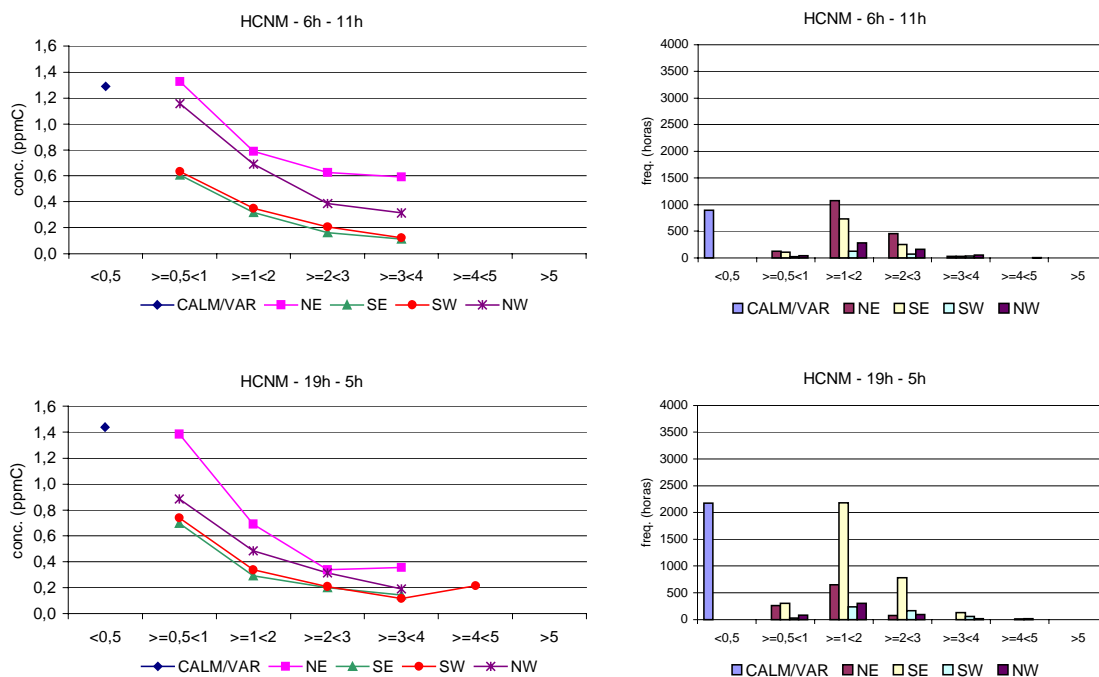
#### **Hidrocarbonetos Totais Menos Metano - HCNM**

O perfil de concentrações de HCNM ao longo do dia (figura 43) mostra que este poluente apresenta teores na atmosfera mais elevados no período da manhã (entre 6h e 11h) e à noite e madrugada (entre 19h e 5h).



**Figura 43 - HCNM - Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2001 (maio a setembro)**

A figura 44 foi obtida a partir dos dados das concentrações médias deste poluente nos períodos da manhã e da noite. No caso dos HCNM, as concentrações mais elevadas ocorrem quando os ventos sopram dos quadrantes NE e NW, respectivamente. A NE se localizam os tanques de combustível da Petrobrás indicando que nesta estação, provavelmente, são detectadas as emissões evaporativas deste grupo de fontes. A NW da estação, localiza-se a fábrica da GM onde operações de pintura são responsáveis pela emissão de compostos orgânicos voláteis para a atmosfera, cujas emissões são detectadas na estação quando o vento sopra deste quadrante.



**Figura 44 - HCNM - Médias e freqüência de ocorrência nos períodos das 6h às 11h e das 19h às 5h, em função de velocidade e quadrante dos ventos, no período de 1997 a 2001**

Observa-se que para ventos soprando dos quadrantes SE e SW os valores de concentração, bem como os perfis de concentração em função da velocidade do vento, se assemelham nos períodos noturno e diurno. Com ventos do quadrante NE, observa-se uma queda mais abrupta nas concentrações no período noturno com o aumento da velocidade do vento, indicando que pela manhã há possivelmente fontes distantes que são significativas. Durante a noite, quando há uma redução das emissões na área urbana, há redução nas concentrações com o aumento da velocidade do vento. Outra indicação de que há fontes de emissão importantes atuando durante o dia consiste no fato de que, com calmaria e vento variável, observam-se concentrações médias semelhantes em ambos os períodos (1,42 e 1,49  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente durante a manhã e noite sob condições de vento calmo).

Para ventos do quadrante NW, observa-se que a concentração média durante o dia é significativamente maior do que à noite para ventos fracos, indicando que as emissões das fontes existentes nesta direção são mais significativas neste período.

### Episódios de alta concentração

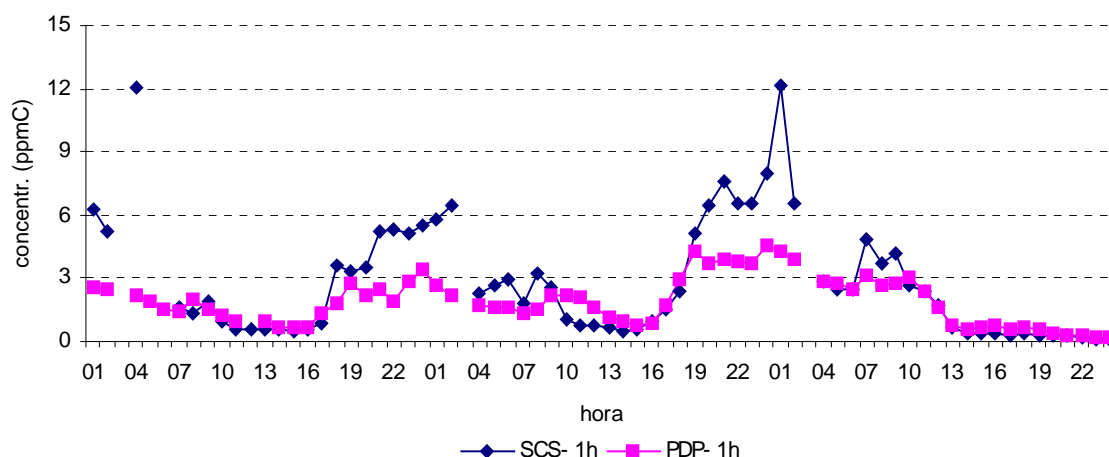
A análise dos episódios com as maiores concentrações horárias de 2001 na estação São Caetano do Sul, apresentada nas figuras e tabelas a seguir, mostra que os picos ocorreram preferencialmente no início da madrugada, sob condições de calmaria.

**Tabela 16 - Dados de concentração de HCNM e vento registrados na estação São Caetano do Sul nos dias 03, 04 e 05/07/2001**

Dia	03/07/2001			04/07/2001			05/07/2001		
	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	6,3	calm	-	5,8	calm	-	12,1	calm	-
02:00	5,2	0,8	SE	6,5	calm	-	6,5	calm	-
03:00	-	calm	-	-	calm	-	-	0,6	NE
04:00	12,1	calm	-	2,3	calm	-	2,8	calm	-
05:00	-	0,6	NE	2,7	calm	-	2,5	calm	-
06:00	-	0,8	NE	3,0	calm	-	2,5	0,6	NW
07:00	1,6	calm	-	1,8	0,8	NE	4,9	0,7	NE
08:00	1,3	1,0	SE	3,2	calm	-	3,7	calm	-
09:00	1,9	1,4	NE	2,6	1,1	NE	4,1	0,8	NW
10:00	1,0	1,9	NE	1,0	1,6	NE	2,7	1,0	NE
11:00	0,6	2,0	NE	0,8	1,4	NE	2,4	1,4	NE
12:00	0,5	1,4	NE	0,7	1,6	NE	1,7	1,6	NW
13:00	0,5	1,4	NE	0,7	1,6	NE	0,7	1,4	SW
14:00	0,6	1,4	NE	0,5	1,5	NE	0,4	1,4	SW
15:00	0,5	calm	-	0,6	1,5	NE	0,4	2,1	SW
16:00	0,6	1,2	NE	0,9	1,7	NE	0,4	2,7	SE
17:00	0,8	1,2	NE	1,5	1,3	NE	0,3	3,3	SE
18:00	3,6	0,8	NE	2,3	calm	-	0,4	3,1	SE
19:00	3,3	0,7	NE	5,1	calm	-	0,3	3,3	SW
20:00	3,5	calm	-	6,5	calm	-	0,3	2,8	SW
21:00	5,2	calm	-	7,6	0,6	SE	0,3	2,9	SE
22:00	5,4	calm	-	6,5	0,8	SE	0,2	2,3	SE
23:00	5,2	calm	-	6,6	calm	-	0,1	2,6	SE
24:00	5,5	calm	-	8,0	calm	-	0,1	2,2	SE

As concentrações em São Caetano foram bem superiores às observadas na estação Parque D. Pedro II, indicando que há um efeito combinado entre condições meteorológicas adversas e a presença de emissões próximas que

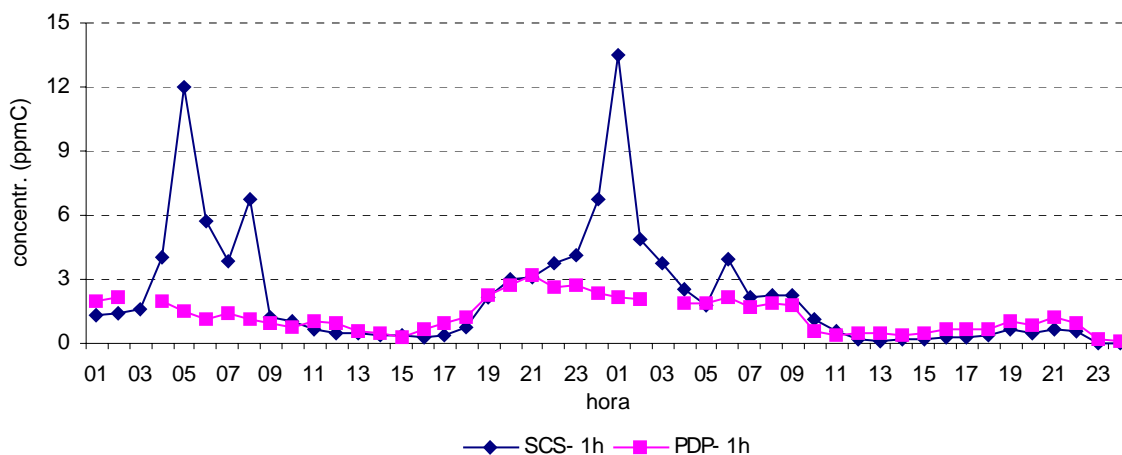
favorecem a ocorrência de altas concentrações em São Caetano do Sul. Outro fato que contribui para que se atribua às emissões locais os picos de concentração é que eles ocorrem muito rapidamente, comportamento que não é compatível com situações meteorológicas de pouca dispersão. É importante salientar que foram utilizados dados de HCNM da estação P.D. Pedro II por ser a única que também monitora este poluente, mas que sua localização muito próxima a vias de tráfego, dificulta uma comparação mais direta com estações com diferente escala de representatividade.



**Figura 45 - HCNM - Médias horárias nas estações São Caetano do Sul e Parque D. Pedro II para os dias 03, 04 e 05/07/2001**

**Tabela 17 - Dados de concentração de HCNM e vento registrados na estação São Caetano do Sul nos dias 10 e 11/07/2001**

Dia Hora	10/07/2001			11/07/2001		
	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	1,4	calm	-	13,5	calm	-
02:00	1,4	calm	-	4,9	calm	-
03:00	1,6	calm	-	3,7	calm	-
04:00	4,0	calm	-	2,6	calm	-
05:00	12,0	calm	-	1,8	calm	-
06:00	5,7	calm	-	3,9	calm	-
07:00	3,8	calm	-	2,2	calm	-
08:00	6,7	calm	-	2,2	0,7	NE
09:00	1,2	1,1	NE	2,3	1,4	NE
10:00	1,1	1,6	NE	1,1	2,2	NW
11:00	0,6	1,7	NE	0,6	2,9	NW
12:00	0,5	1,6	NE	0,2	3,5	NW
13:00	0,5	1,4	NW	0,1	4,4	NW
14:00	0,4	1,8	NW	0,1	4,4	NW
15:00	0,4	1,2	NW	0,2	4,5	NW
16:00	0,3	1,4	NW	0,2	4,0	NW
17:00	0,4	1,4	NW	0,3	4,0	NW
18:00	0,7	1,1	NW	0,4	2,9	NW
19:00	2,2	calm	-	0,6	2,0	NW
20:00	3,0	calm	-	0,5	2,5	NW
21:00	3,1	calm	-	0,7	1,6	NW
22:00	3,7	calm	-	0,6	2,0	NW
23:00	4,1	calm	-	0,0	4,9	SW
24:00	6,8	calm	-	0,0	5,0	SW



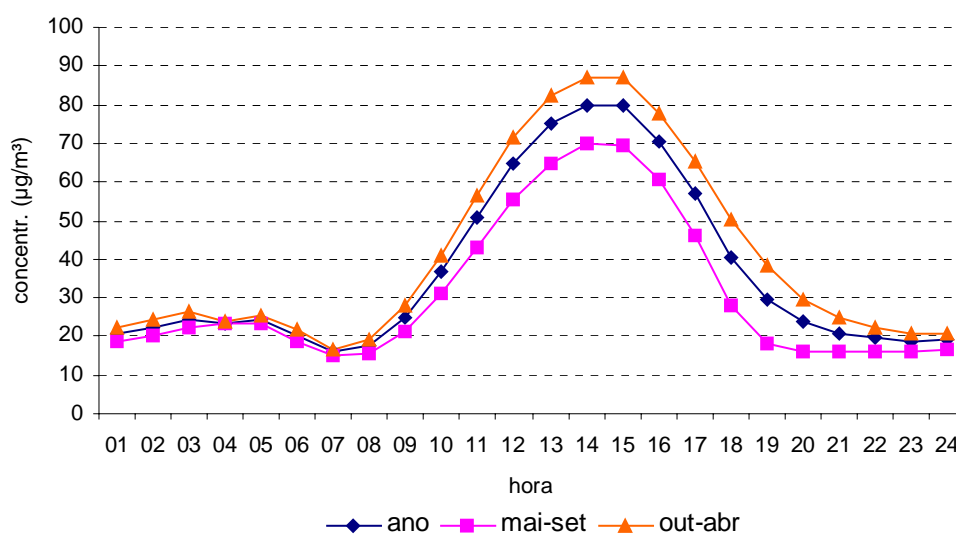
**Figura 46 - HCNM - Médias nas estações São Caetano do Sul e Parque D. Pedro II para os dias 10 e 11/07/2001**

A análise do comportamento dos HCNM na estação São Caetano do Sul sugere que há forte influência de fontes próximas nas concentrações observadas, localizadas principalmente a NE e NW da estação, confirmando assim os dados de emissão das fontes inventariadas. A análise das concentrações médias mostra que elas são mais elevadas no período noturno e madrugada. Também os picos de concentração ocorrem preferencialmente na madrugada e em períodos curtos, muitas vezes de uma hora de duração.



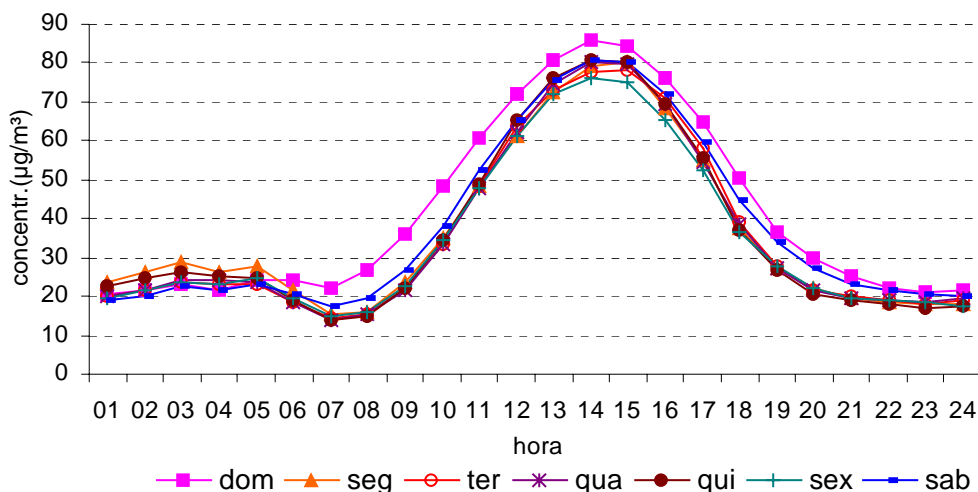
## Ozônio – O<sub>3</sub>

O ozônio possui um perfil de concentrações médias ao longo do dia bastante diferente dos demais poluentes, pois apresenta um máximo de concentração no período da tarde, entre 12h e 17h, conforme apresentado na figura 47. Esse 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. 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.



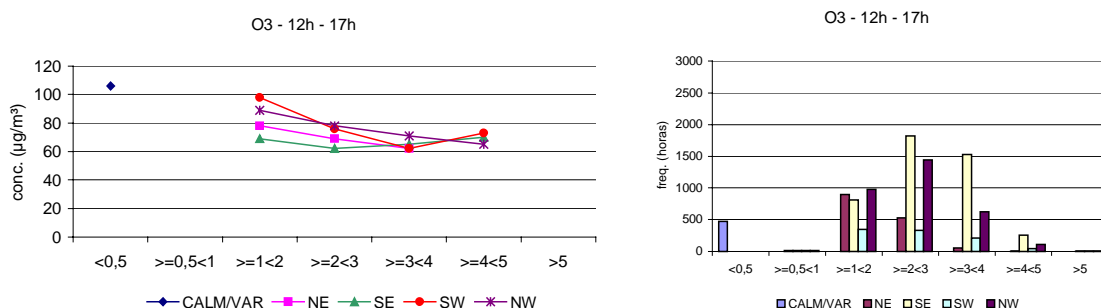
**Figura 47 - O<sub>3</sub> - Médias horárias por época do ano no período de 1997 a 2001**

A análise por dia da semana (figura 48) mostra 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> verificado na estação.



**Figura 48 - O<sub>3</sub> - Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2001**

Utilizou-se o período das 12h às 17h para a elaboração da figura 49, que apresenta as concentrações médias de O<sub>3</sub> em função do quadrante e da velocidade dos ventos. 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 do quadrante SW, no entanto, este quadrante é o que apresenta a menor freqüência de ocorrência.



**Figura 49 - 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 2001**

Algumas características do comportamento do O<sub>3</sub> devem ser consideradas, todavia, para interpretação da figura 49. Uma delas é que o O<sub>3</sub> é um poluente secundário, e assim as concentrações são representativas de áreas maiores, sofrendo menor influência de fontes de poluição próximas (exceto para estações muito próximas de fontes de NO). Outra característica do O<sub>3</sub> é que por ser 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 do O<sub>3</sub> mas também de seus precursores.

Considerando que o comportamento do vento no período das 12h às 17h é bastante variável, mesmo em termos médios, conforme apresentado na tabela

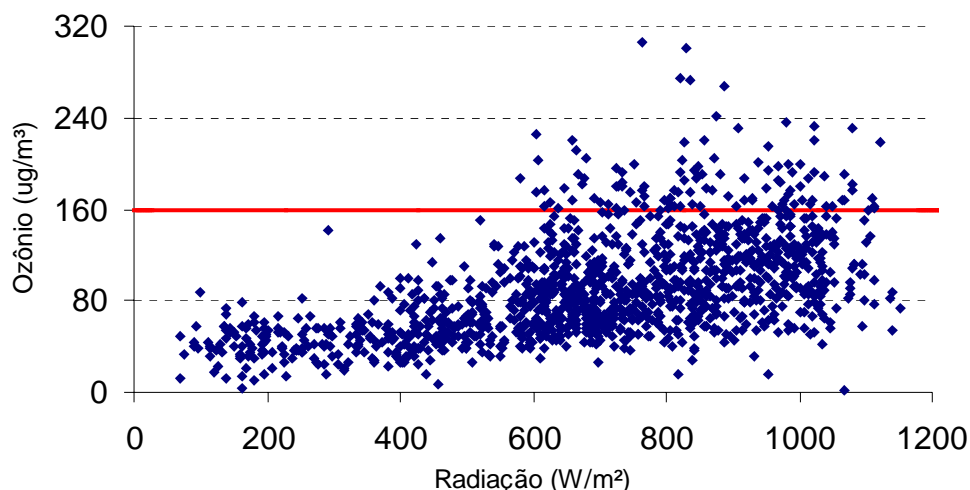
10, é bastante difícil avaliar a origem do transporte pela simples comparação do vento com a concentração de  $O_3$  para um mesmo horário. Além disso, o giro do vento que ocorre no período da tarde é em grande parte devido à atuação da brisa marítima, muitas vezes no horário da máxima concentração horária do  $O_3$ . Assim, fez-se uma análise considerando a frequência de ocorrência do vento por hora do dia nos dias em que há ultrapassagem do PQAr ( $160\mu g/m^3$ ), conforme apresentado na tabela 18.

**Tabela 18 - Frequência de quadrante do vento por hora para os 145 dias em que houve ultrapassagem do PQAr de  $O_3$  na estação São Caetano do Sul no período de 1997 a 2001**

Hora	Calmo	NE	SE	SW	NW
10:00	17	98	15	5	8
11:00	23	89	10	3	18
12:00	20	58	17	10	39
13:00	37	29	24	17	38
14:00	24	14	41	34	32
15:00	16	5	75	21	28
16:00	11	4	100	15	14
17:00	10	2	104	17	10

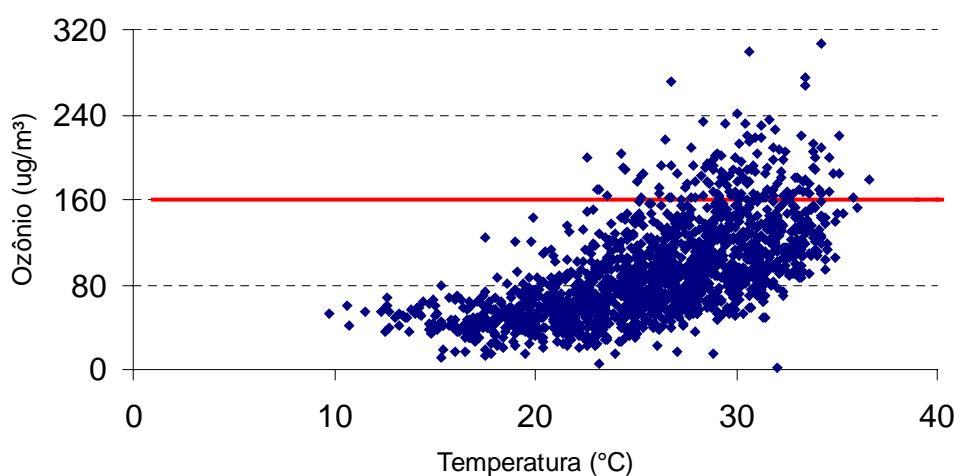
A tabela 18 mostra que nos dias em que há ultrapassagem do PQAr ( $160\mu g/m^3$ ), o vento sofre na maioria dos casos um giro durante o dia, começando com ventos predominantemente do quadrante NE no período da manhã, vento do NW no início da tarde, entre 12h e 13h, e ventos predominantemente do SE a partir das 15h, devido à atuação da brisa marítima. Esta análise explica a grande frequência de ocorrências de episódios de  $O_3$  com ventos do quadrante SE, cujas fontes não se localizam nas direções de vento deste quadrante, mas como consequência do transporte da massa de ar em horários anteriores ao dos máximos valores de concentração horária, aliado à influência de outras variáveis meteorológicas, como radiação.

Além do transporte, outro parâmetro que influencia nas concentrações do  $O_3$  é a radiação solar. A figura 50 ilustra as variações das concentrações máximas diárias de  $O_3$  em São Caetano do Sul em função das máximas diárias de radiação solar observadas na estação Ibirapuera, no período de 1997 a 2001. Observa-se que concentrações acima do PQAr de 1 hora ocorrem somente na presença de radiação acima de  $600 W/m^2$ . Apesar disso, observam-se também muitos dias com radiação solar alta e concentrações baixas de  $O_3$ , mostrando que a radiação máxima diária isoladamente não explica o comportamento geral do  $O_3$ .



**Figura 50 - Dispersão das máximas diárias do O<sub>3</sub> em São Caetano do Sul e máximas diárias de radiação na estação Ibirapuera no período de 1997 a 2001**

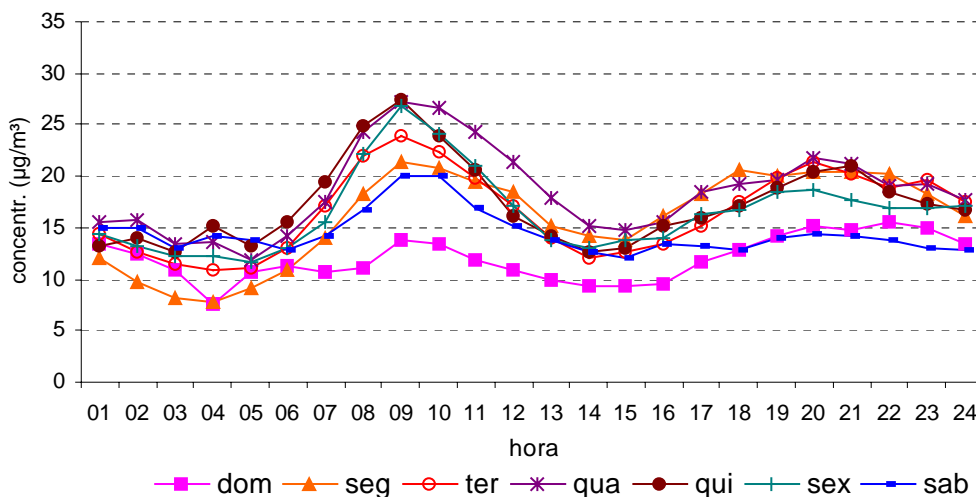
Considerando a temperatura do ar em análise semelhante à realizada para radiação solar, observa-se que a maioria das de ultrapassagens do PQAr ocorrem em dias quentes, com temperatura máxima diária acima de 25°C (figura 51).



**Figura 51 - Dispersão das máximas diárias do O<sub>3</sub> e máximas diárias de temperatura na estação São Caetano do Sul no período de 1997 a 2001**

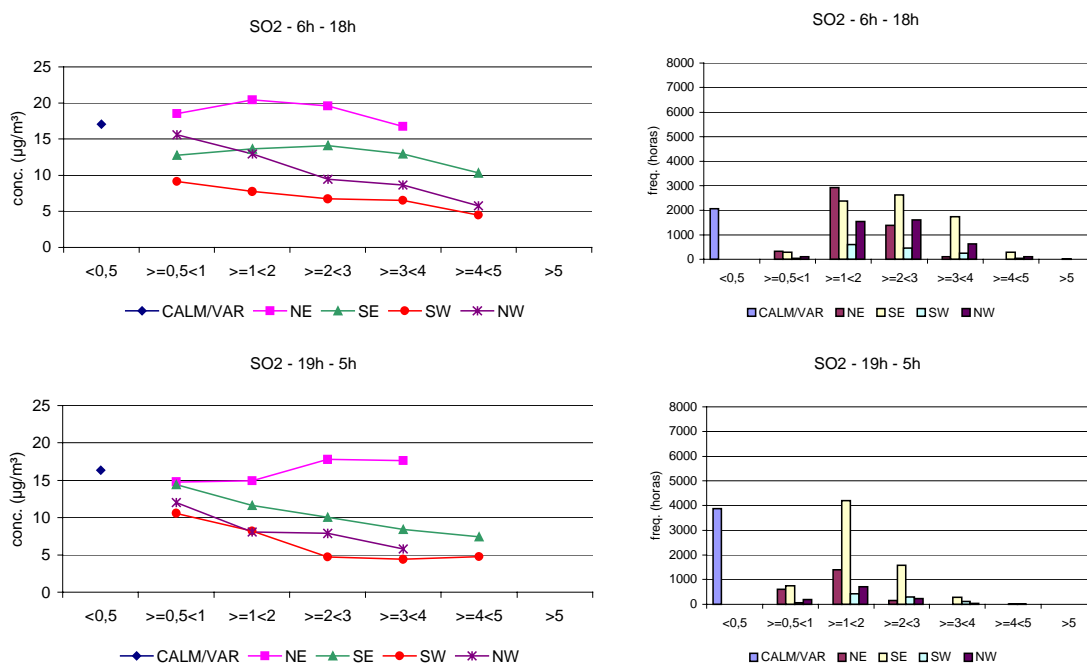
### **Dióxido de Enxofre - SO<sub>2</sub>**

Os perfis das médias de SO<sub>2</sub> ao longo do dia e por períodos do ano, com dados obtidos no período de 1997 a 2001, são apresentados na figura 52, onde observa-se que as maiores concentrações, em média, ocorrem durante a manhã, com máximo às 9h.



**Figura 52 - SO<sub>2</sub> - Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2001 (maio a setembro)**

A figura 53 mostra as concentrações médias de SO<sub>2</sub> em função da variação do quadrante e da velocidade dos ventos para os períodos das 6h às 18h e das 19h às 5h



**Figura 53 - SO<sub>2</sub> - Médias e frequência de ocorrência nos períodos das 6h às 18h e das 19h às 5h, em função de velocidade e quadrante dos ventos, no período de 1997 a 2001**

As concentrações de SO<sub>2</sub> são mais altas com ventos do quadrante NE e mais baixas com ventos dos quadrantes NW e SW. Com ventos do NE, observa-se que as concentrações médias durante o dia mantêm-se nos mesmos níveis com o aumento da velocidade dos ventos até 3m/s, indicando que, além das emissões de fontes próximas, medidas com ventos fracos, também são

importantes emissões de fontes mais distantes, que atingem a estação quando transportadas pelo vento.

O aumento das concentrações com o aumento da velocidade do vento do NE no período noturno, quando as emissões de origem veicular tendem a ser menores, podem indicar a influência de fontes fixas, como a ICI, ou outras que estejam fora do perímetro inventariado.

### Episódios de alta concentração

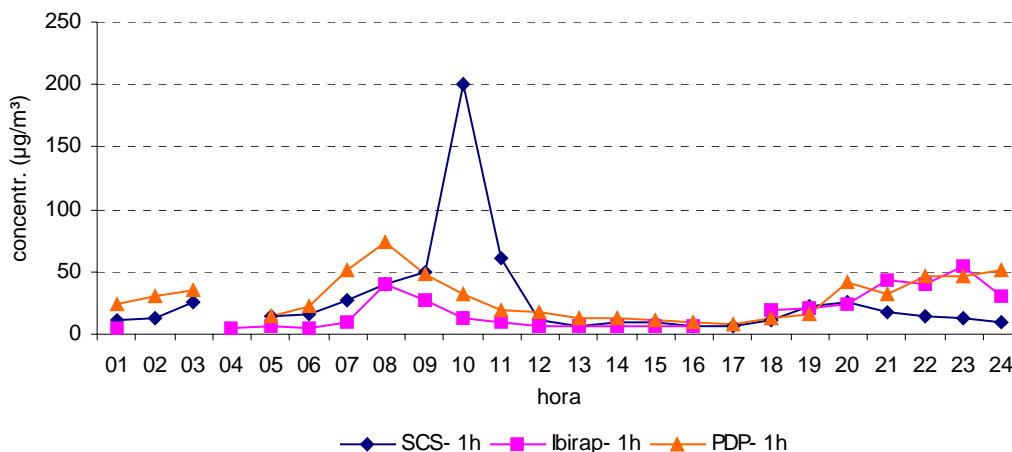
A tabela 19 apresenta as concentrações horárias e vento para os dois dias em que as concentrações de 1 hora foram altas em São Caetano do Sul em 2001 e nas figuras 54 e 55 são comparados esses dias com as concentrações observadas nas estações Ibirapuera e Parque D. Pedro II.

**Tabela 19 - Dados de concentração de SO<sub>2</sub> e vento registrados na estação São Caetano do Sul nos dias 23/03 e 08/08/2001**

Dia	23/03/2001		
Hora	Conc.(1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	11,3	calm	-
02:00	13,4	calm	-
03:00	25,9	calm	-
04:00	-	calm	-
05:00	14,6	0,8	SE
06:00	15,7	calm	-
07:00	28,0	0,8	NE
08:00	40,7	1,3	NE
09:00	49,5	1,4	NE
10:00	201,1	1,6	NE
11:00	61,1	1,9	NE
12:00	11,2	1,9	NW
13:00	5,7	1,6	SW
14:00	10,3	1,6	NW
15:00	9,5	2,6	SE
16:00	6,5	2,2	SE
17:00	6,4	1,7	SW
18:00	11,4	0,7	SE
19:00	22,4	calm	-
20:00	25,5	0,8	NE
21:00	17,1	calm	-
22:00	14,5	calm	-
23:00	13,0	calm	-
24:00	10,3	calm	-

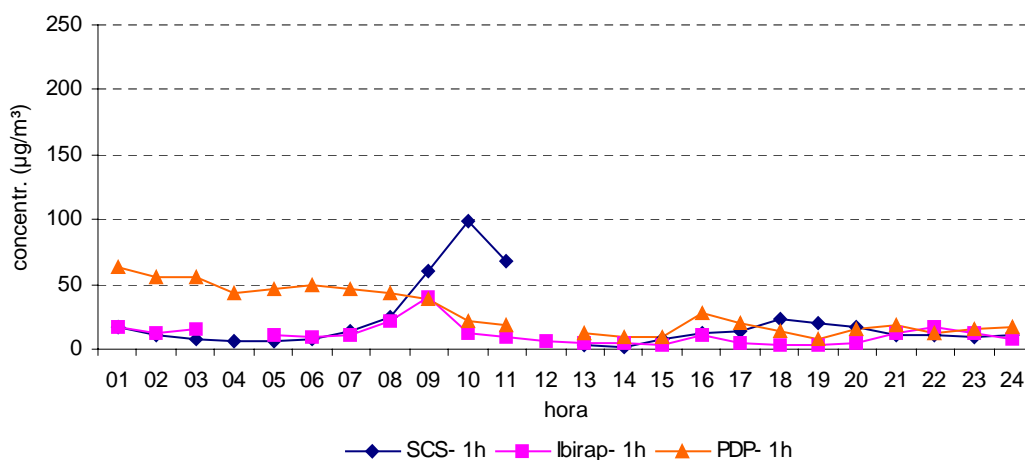
Dia	08/08/2001		
Hora	Conc.(1h) µg/m <sup>3</sup>	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	17,6	calm	-
02:00	11,5	calm	-
03:00	7,6	0,7	SE
04:00	5,7	calm	-
05:00	6,0	calm	-
06:00	7,4	0,7	SE
07:00	14,0	calm	-
08:00	24,4	0,8	SE
09:00	59,5	1,6	SE
10:00	99,2	2,0	SE
11:00	67,7	2,8	SW
12:00	-	2,8	SW
13:00	2,5	2,4	SE
14:00	1,9	2,2	SE
15:00	8,4	3,0	SE
16:00	11,8	2,5	SE
17:00	13,8	2,8	SE
18:00	23,9	2,5	SE
19:00	19,5	2,6	SE
20:00	16,8	2,0	SE
21:00	10,5	1,4	SE
22:00	10,1	1,1	SE
23:00	8,6	1,4	SE
24:00	10,0	0,9	SE

No dia 23/03, um máximo de cerca de 200µg/m<sup>3</sup> de concentração de SO<sub>2</sub> foi observado às 10h da manhã, com ventos do quadrante NE. Apesar de ser o valor horário mais elevado do ano, não pode ser considerado alto pois o PQAr é de 320µg/m<sup>3</sup>, como média de 24 horas.



**Figura 54 - SO<sub>2</sub> - Médias horárias nas estações São Caetano do Sul, Ibirapuera e Parque D. Pedro II para o dia 23/03/2001.**

No dia 08/08, observou-se uma concentração horária de 99,2µg/m³, também às 10h da manhã, desta vez com ventos do quadrante SE de 2m/s. Esse comportamento de máxima de SO<sub>2</sub> durante a manhã também é observado no comportamento médio (figura 52), indicando ser este o horário preferencial para a ocorrência das máximas no dia. Por outro lado, a análise dos dois episódios mostra que as concentrações se elevam em períodos curtos, de algumas horas, com ventos de direções variadas, indicando ser influência de fontes próximas.



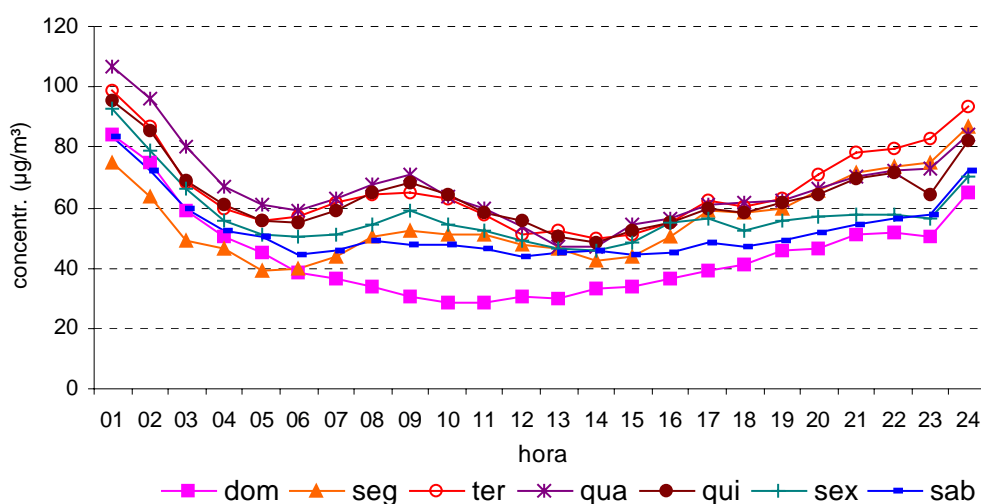
**Figura 55 - SO<sub>2</sub> - Médias horárias nas estações São Caetano do Sul, Ibirapuera e Parque D. Pedro II para o dia 08/08/2001.**

A estação São Caetano do Sul sofre o impacto de emissões de fontes próximas deste poluente, e uma vez que se observou um aumento de concentração com ventos fortes de nordeste no período noturno, não se deve descartar a possibilidade de a estação ser capaz de detectar poluentes emitidos por fontes distantes do local de amostragem. Além disso, as concentrações observadas na estação são, em geral, bastante baixas, que podem representar em grande parte uma concentração de fundo (“background”) para a região.

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

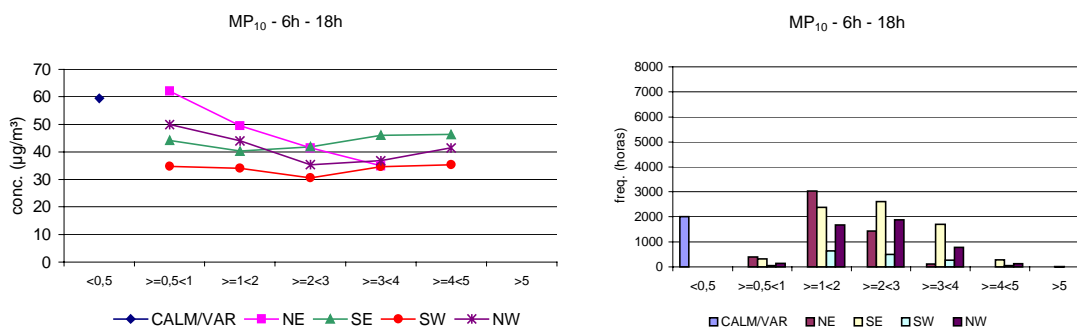
A figura 56 ilustra a distribuição das concentrações médias ao longo do dia para o período de 1997 a 2001, considerando os diferentes dias da semana.

Nessa figura, observa-se que, apesar de ser possível identificar picos relacionados ao tráfego (às 9h e às 17h), as concentrações são em média mais altas no período noturno, associadas às condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes.

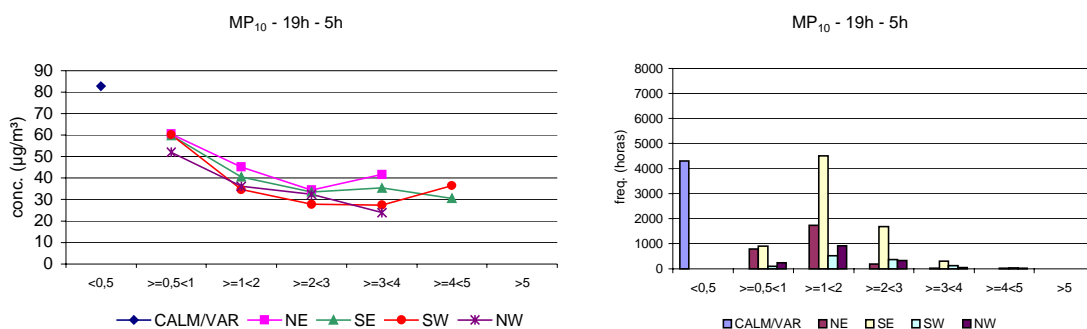


**Figura 56 - MP<sub>10</sub> - Médias horárias por dia da semana no período de 1997 a 2001 (maio a setembro)**

A figura 57 apresenta as concentrações médias de MP<sub>10</sub> das 6h às 18h e das 19h às 5h conforme variam quadrante e velocidade do vento. Observa-se que em situação de calmaria e ventos fracos, a concentração média foi maior no período da noite, mostrando que além do vento, outros fenômenos meteorológicos como estabilidade e inversões térmicas mais próximas ao solo, mais atuantes no período noturno, contribuem para o aumento das concentrações.



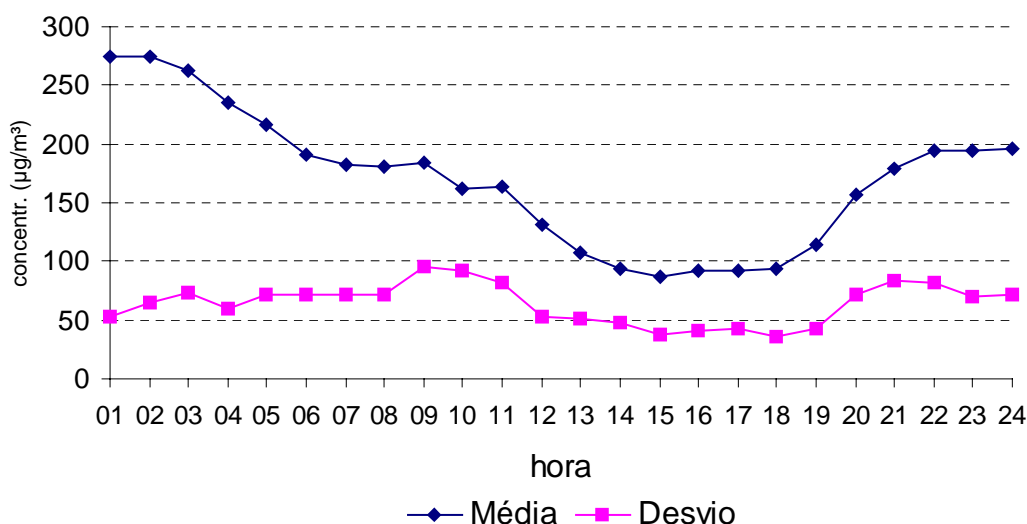




**Figura 57 - MP<sub>10</sub> - Médias e frequência de ocorrência nos períodos das 6h às 18h e das 19h às 5h, em função de velocidade e quadrante dos ventos, no período de 1997 a 2001**

Durante o dia, concentrações com ventos soprando principalmente dos quadrantes NE e NW são as mais elevadas e tendem a cair com ventos de até 3m/s, possivelmente porque nestas direções há mais fontes. A partir de 3m/s, as concentrações tendem a se manter nos mesmos níveis ou subir, indicando efeitos de ressuspensão de poeira do solo e de transporte de poluentes provenientes de áreas mais afastadas. No período noturno, as concentrações tendem a decrescer com o aumento da velocidade do vento, mas neste caso há pouca diferenciação com a direção do vento, prevalecendo os outros efeitos meteorológicos.

Considerando-se somente os 17 dias de ocorrência de ultrapassagem do PQAr (150µg/m³ - média de 24 horas) de 1997 a 2001, ou seja, aqueles dias em que as concentrações estiveram mais elevadas, o perfil horário médio observado, ilustrado na figura 58, mostra que as concentrações mais elevadas ocorrem no período noturno, associadas a condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão.



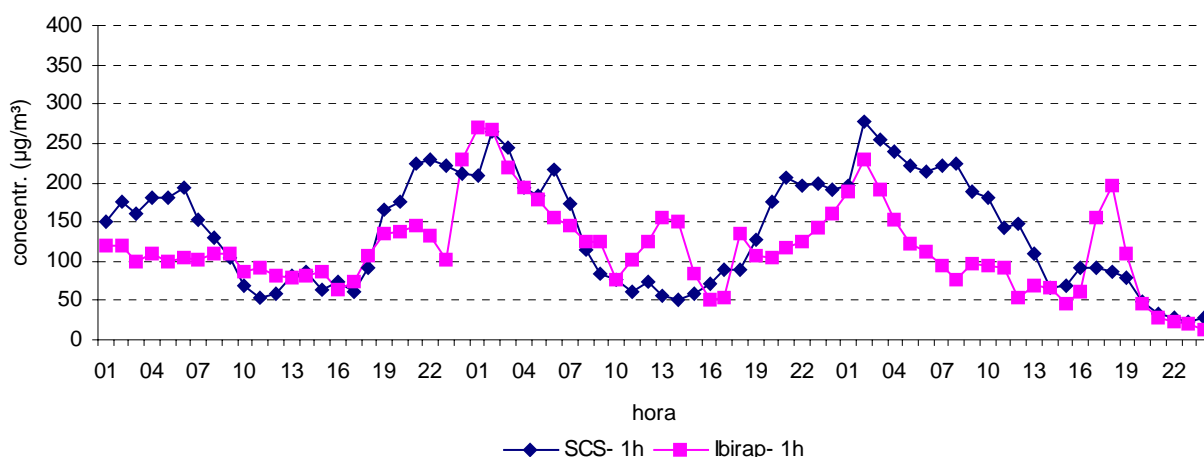
**Figura 58 - MP<sub>10</sub> - Médias horárias nos 17 dias de ocorrência de ultrapassagem do PQAr na estação São Caetano do Sul no período de 1997 a 2001**

A análise dos episódios de mais elevada concentração de  $MP_{10}$  ocorridos em 2001, apresentados nas tabelas 18 e 19 e figuras 59 e 60, confirma os resultados em termos de horário preferencial para ocorrência de máximas de  $MP_{10}$  na estação São Caetano do Sul.

**Tabela 20 - Dados de concentração de MP<sub>10</sub> e vento registrados na estação São Caetano do Sul nos dias 03, 04 e 05/07/2001**

Dia	03/07/2001			04/07/2001			05/07/2001		
Hora	Conc.(1h) µg/m³	Veloc. m/s	Quadrante	Conc.(1h) µg/m³	Veloc. m/s	Quadrante	Conc.(1h) µg/m³	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	150	calm	-	210	calm	-	196	calm	-
02:00	176	0,8	SE	264	calm	-	277	calm	-
03:00	160	calm	-	244	calm	-	254	0,6	NE
04:00	180	calm	-	194	calm	-	239	calm	-
05:00	180	0,6	NE	184	calm	-	221	calm	-
06:00	193	0,8	NE	216	calm	-	215	0,6	NW
07:00	153	calm	-	172	0,8	NE	222	0,7	NE
08:00	129	1,0	SE	116	calm	-	225	calm	-
09:00	104	1,4	NE	85	1,1	NE	187	0,8	NW
10:00	68	1,9	NE	76	1,6	NE	182	1,0	NE
11:00	53	2,0	NE	61	1,4	NE	143	1,4	NE
12:00	58	1,4	NE	74	1,6	NE	149	1,6	NW
13:00	81	1,4	NE	57	1,6	NE	109	1,4	SW
14:00	87	1,4	NE	52	1,5	NE	65	1,4	SW
15:00	64	calm	-	60	1,5	NE	69	2,1	SW
16:00	74	1,2	NE	72	1,7	NE	93	2,7	SE
17:00	61	1,2	NE	90	1,3	NE	91	3,3	SE
18:00	91	0,8	NE	90	calm	-	87	3,1	SE
19:00	166	0,7	NE	127	calm	-	80	3,3	SE
20:00	176	calm	-	176	calm	-	48	2,8	SW
21:00	224	calm	-	206	0,6	SE	34	2,9	SE
22:00	229	calm	-	197	0,8	SE	29	2,3	SE
23:00	223	calm	-	198	calm	-	24	2,6	SE
24:00	212	calm	-	190	calm	-	28	2,2	SE

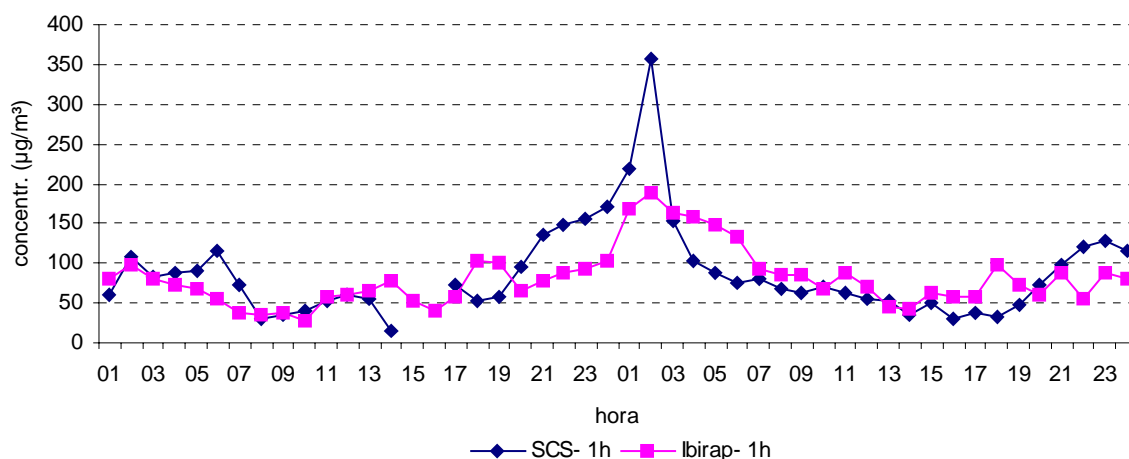
A comparação com as concentrações observadas no Parque do Ibirapuera mostra que o comportamento de ambas são semelhantes, confirmando uma situação meteorológica que ocasionou concentrações relativamente elevadas numa escala espacial urbana.



**Figura 59 - MP<sub>10</sub> - Médias horárias nas estações São Caetano do Sul e Ibirapuera para os dias 03, 04 e 05/07/2001**

**Tabela 21 - Dados de concentração de MP<sub>10</sub> e vento registrados na estação São Caetano do Sul nos dias 16 e 17/07/2001**

Dia	16/07/2001			17/07/2001		
Hora	Conc.(1h) µg/m³	Veloc. m/s	Quadrante	Conc.(1h) µg/m³	Veloc. m/s	Quadrante
01:00	60	calm	-	220	calm	-
02:00	109	calm	-	356	calm	-
03:00	83	calm	-	154	calm	-
04:00	87	calm	-	102	calm	-
05:00	89	calm	-	88	calm	-
06:00	115	calm	-	76	calm	-
07:00	72	0,9	NE	81	calm	-
08:00	30	1,2	NE	68	calm	-
09:00	36	2,3	NE	63	1,2	NE
10:00	40	2,1	NE	70	1,5	NE
11:00	52	2,3	NE	63	1,7	NE
12:00	60	2,3	NE	56	2,1	NW
13:00	55	2,0	NW	52	2,5	NW
14:00	16	1,8	NW	35	2,7	NE
15:00	-	1,8	NW	51	2,5	NW
16:00	-	2,0	NW	31	2,0	NW
17:00	74	1,9	NW	37	2,0	NE
18:00	54	1,1	NW	32	1,6	NW
19:00	59	calm	-	48	0,8	NW
20:00	96	calm	-	73	calm	-
21:00	137	0,6	SE	97	calm	-
22:00	148	calm	-	120	calm	-
23:00	156	calm	-	128	calm	-
24:00	171	calm	-	116	calm	-



**Figura 60 - Médias horárias de MP<sub>10</sub> nas estações São Caetano do Sul e Ibirapuera para os dias 16 e 17/07/2001.**

A análise do perfil das concentrações de MP<sub>10</sub> na estação São Caetano do Sul mostrou que, apesar de existirem fontes de partículas próximas à estação, essas fontes influenciam principalmente nas concentrações no período diurno. As concentrações mais elevadas deste poluente são observadas no período noturno, resultado de condições meteorológicas desfavoráveis e que provocam

altas concentrações em outras áreas de região metropolitana e portanto representativas de uma área de abrangência maior.

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.

#### **4.1.5. Conclusões**

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

A análise do monitoramento da qualidade do ar na estação São Caetano do Sul mostrou que o  $O_3$  é o poluente que mais ultrapassa o PQAr, além disso, não apresenta qualquer tendência de redução nos últimos anos. Os poluentes CO e  $NO_2$  apresentaram poucas ultrapassagens dos padrões de curto prazo nos últimos anos, com tendência de queda de 1997 a 2001. Também se observou tendência de queda das concentrações de material particulado nos últimos anos, tanto para medições de curto quanto de longo prazo (médias anuais). Observou-se ainda níveis baixos de  $SO_2$ .

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

O levantamento das principais fontes emissoras de poluentes no entorno da estação São Caetano do Sul mostrou que elas se localizam numa média escala, em cerca de 100 a 500 metros.

A análise com os dados de qualidade do ar da estação mostrou que essas fontes de poluição inventariadas, tanto fixas como veiculares, influenciam na qualidade do ar observada, indicando ser portanto a média escala a mais adequada para classificação geral da estação em termos de representatividade espacial. Esta escala espacial serve principalmente para avaliar o impacto de fontes ou grupo de fontes.

Devem ser destacadas, no entanto, as diferenças observadas para cada um dos poluentes, que se traduzem muitas vezes em casos particulares em termos de abrangência espacial. Além disso, também o período do dia, notadamente os contrastes dia e noite e suas variações em termos de meteorologia e emissões permitem interpretações para escalas espaciais diferenciadas.

##### **Uso do Solo**

O inventário de fontes de poluição no entorno da estação São Caetano do Sul mostrou que esta é influenciada na média escala tanto por vias de tráfego como por fontes fixas. Estas emissões resultam do uso da região para atividades industriais e comerciais, além de residências. Obviamente, a consideração por poluente permite a identificação de atividades prioritárias em termos de impacto. Por exemplo, o  $SO_2$  é predominantemente de origem industrial, enquanto o CO é predominantemente de origem veicular.

##### **População Exposta**

A escala principal de representatividade da estação, de centenas de metros (média escala) não é a mais abrangente em termos de população, já que não

traduz os níveis a que a maior parte da população do município está submetida. Por outro lado, a existência de muitas residências e atividades comerciais nessa escala permite inferir que as concentrações observadas na estação são equivalentes às que está exposta a população no entorno da estação. Além disso, a maior proximidade das fontes indica concentrações maiores que as observadas em bairros e regiões mais afastadas destas mesmas fontes.

### **Parâmetros Monitorados**

A estação São Caetano do Sul é uma das mais completas estações da rede automática, monitorando todos os poluentes regulamentados, exceto fumaça. Considerando a escala espacial e avaliação do impacto das principais fontes na região, esta estação se mostrou adequada para o monitoramento de todos os poluentes, embora a sua interpretação em termos de qualidade do ar deva considerar os aspectos abordados neste estudo.

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

### **Recomendações**

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

- a redução da influência de árvores no entorno da estação, principalmente na face sul, de forma a minimizar seu impacto na estação e atender as recomendações internacionais de monitoramento;
- considera-se fundamental o aprimoramento do inventário de fontes, principalmente para NO<sub>x</sub>, CO e hidrocarbonetos emitidos por fontes fixas.

## **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

## **Equipe de Trabalho**

Carlos Ibsen Vianna Lacava – coordenador – EQQI  
Américo Tomio Meenochite - EQQT  
Carlos Eduardo Negrão – EQQT  
Dirce Maria Pellegatti Franco – EQQM  
Maria Cristina Neuscheffer de Oliveira – EQQA  
Maria Lúcia Gonçalves Guardani – EQQT  
Orlando Ferreira Filho – EQQI  
Richard Toyota - EQQT  
Rosana Curilov – EQQI

## **Colaboração**

Agência Ambiental de Santo André - CTi-N  
Coordenadoria Técnica - CTc  
Ligia Cristina G. de Siqueira - EEAR