

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

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

**ABRIL – 2005**

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

## DOCUMENTO

Tipo Relatório	Data Abr/2005	Origem ETQ	Nº Página/V. 51	Nº Mapas
-------------------	------------------	---------------	--------------------	----------

## TÍTULO DO DOCUMENTO

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

## AUTOR RESPONSÁVEL

Assinatura/Carimbo/Data
Rosana Curilov

## AUTORES/ENTIDADES OU UNIDADES A QUE PERTENCEM

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

## DOCUMENTO AUTORIZADO POR

Assinatura/Carimbo/Data
-------------------------

## DOCUMENTO REVISADO

Assinatura/Carimbo/Data
-------------------------

CLASSIFICAÇÃO DE  
SEGURANÇA

<input checked="" type="checkbox"/> EXTERNA <input type="checkbox"/> INTERNA <input type="checkbox"/> RESERVADA
--

## PALAVRAS CHAVES

Qualidade do Ar – Rede de Monitoramento – Caracterização de Estação
---

## CÓDIGO E TÍTULO DO PROJETO

--

## DISTRIBUIÇÃO INTERNA

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

## USO DA BIBLIOTECA

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

## RESUMO

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

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

## OBSERVAÇÕES

## USO DA BIBLIOTECA

Local	Editora				
Idioma					
Português	Inglês	Espanhol	Francês	Alemão	Italiano
Série					

## Índice Geral

Sumário .....	5
1. Introdução.....	6
2. Classificação de Estações de Monitoramento – Aspectos Teóricos.....	7
3. Metodologia .....	9
3.1. Características da Estação .....	10
3.2. Avaliação da Qualidade do Ar .....	10
3.3. Microinventário de Fontes .....	11
3.4. Influência das Condições Meteorológicas .....	12
4. Caracterização das Estações da Rede Automática.....	12
4.1. Estação Cerqueira César .....	15
4.1.1. Características da Estação .....	15
Condições Locais .....	16
4.1.2. Tendências da Qualidade do Ar .....	22
Monóxido de Carbono - CO.....	22
Monóxido de Nitrogênio - NO .....	22
Dióxido de Nitrogênio - NO <sub>2</sub> .....	23
Partículas Inaláveis (MP <sub>10</sub> ) .....	24
4.1.3. Microinventário de Fontes .....	26
4.1.4. Escalas de Representatividade .....	29
Estudo especial comparativo de Estação Fixa e Temporária .....	47
4.1.5. Conclusões .....	49
5. Bibliografia.....	51
Equipe de Trabalho .....	51
Revisão.....	51
Colaboração .....	51

## Sumário

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

As informações levantadas foram divididas em vários itens: a) características locais da estação, onde informa-se a localização geográfica, monitores, condições do entorno da estação etc.; b) avaliação da qualidade do ar, onde apresenta-se uma evolução da qualidade do ar ao longo dos anos; c) microinventário de fontes, onde foram registradas as principais fontes de emissão que afetam as concentrações medidas na estação em um raio de 2km; d) comparação do perfil de concentração média dos poluentes ao longo do dia nesta estação com o perfil observado em outras estações da rede, tanto em termos médios quanto nos períodos de ocorrência de episódios de maiores concentrações.

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

## 1. Introdução

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

A primeira rede manual (rede OPS/OMS) instalada mede os teores de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e fumaça (FMC) na RMSP (desde 1973) e interior (desde 1986). Os níveis de fumaça continuam sendo medidos pelo mesmo método até os dias de hoje, enquanto os monitores de SO<sub>2</sub> foram substituídos por monitores passivos. Uma segunda rede mede partículas totais em suspensão (PTS) desde 1983 na RMSP e Cubatão.

A rede automática é composta por analisadores automáticos, instalados em estações remotas e interligados a uma central de recepção e processamento de dados, operando desde 1981 na RMSP e Cubatão. Atualmente, possui 29 estações fixas de amostragem e duas estações móveis. Pode-se destacar a renovação dessa rede automática ocorrida em 1996 e a instalação de estações no interior do Estado a partir de 2000.

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

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

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

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

- os níveis médios de concentração de poluentes na atmosfera para a região.

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

O objetivo deste trabalho é basicamente o de classificar cada uma das estações das redes de monitoramento da CETESB, especialmente as da rede automática, garantindo assim o atendimento aos objetivos da rede de monitoramento da qualidade do ar. Este trabalho pretende também identificar as principais informações necessárias à adequada classificação das estações, e assim servir de base para criação de um mecanismo de atualização constante das informações.

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

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

Embora o trabalho seja de avaliação da rede de monitoramento da RMSB como um todo, este relatório apresenta, além de uma parte teórica, os aspectos relacionados somente à estação **Cerqueira César**, 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 adequadas 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 devido 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 ações de controle implementadas pela CETESB.

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

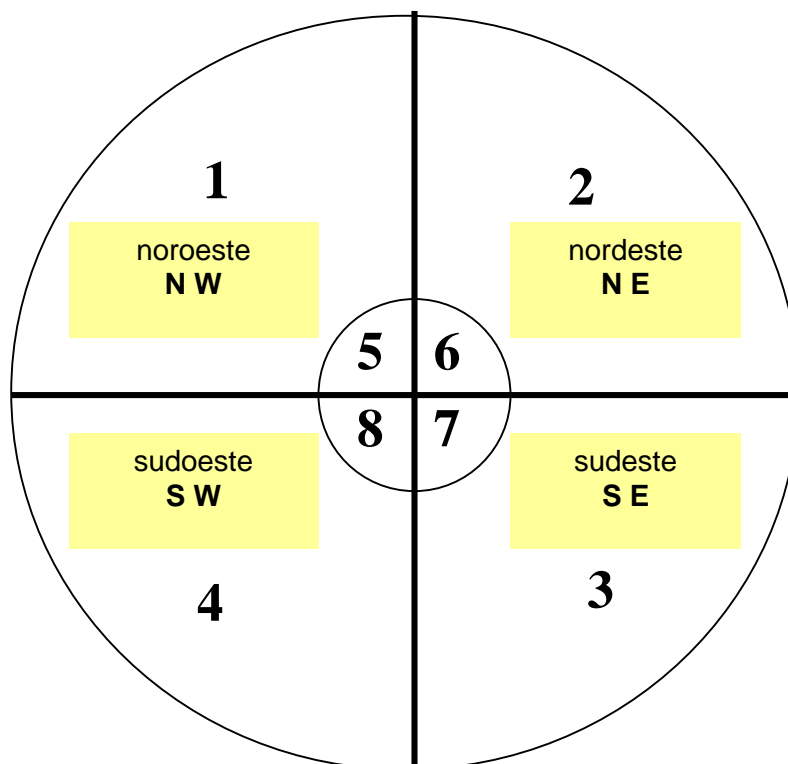
Os dados utilizados para avaliação da qualidade do ar são todos os poluentes medidos pela rede automática da CETESB, a saber: Partículas Inaláveis ( $MP_{10}$ ), Dióxido de Enxofre ( $SO_2$ ), Óxidos de Nitrogênio ( $NO_x$  -  $NO_2$  e  $NO$ ), Ozônio ( $O_3$ ), Monóxido de Carbono ( $CO$ ), Hidrocarbonetos ( $HC$  -  $HCNM$  e  $CH_4$ ) 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 de partículas inaláveis que mais contribuem para a degradação da qualidade do ar.

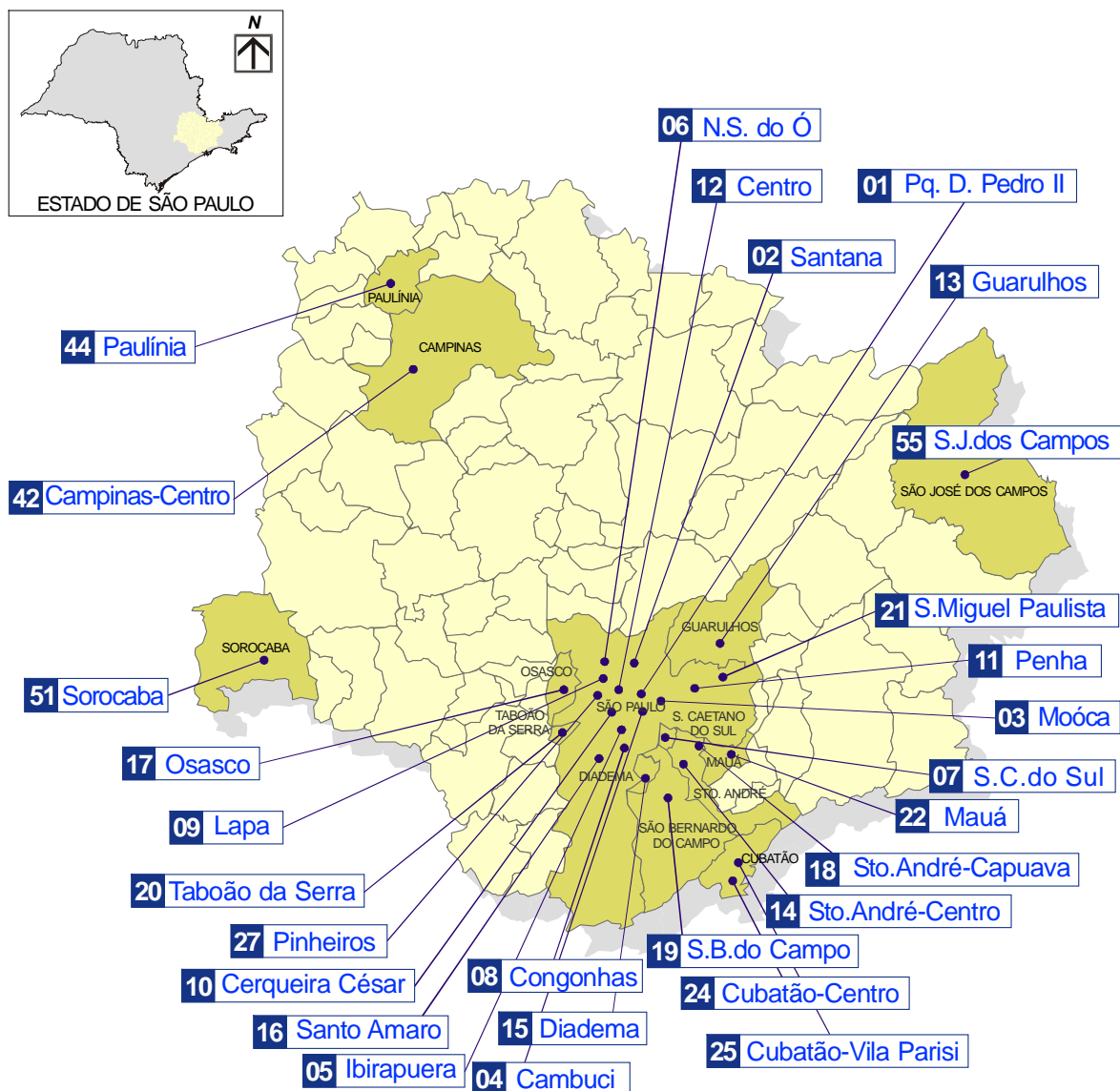
### **3.4. Influência das Condições Meteorológicas**

Quando uma estação de monitoramento da CETESB possui séries históricas de parâmetros meteorológicos, tais como: direção e velocidade dos ventos, temperatura, umidade e radiação, estes são considerados para avaliar as condições meteorológicas médias que influenciam a dispersão/concentração de poluentes emitidos pelas fontes no entorno da estação que está sendo analisada. Se a estação não possui os referidos parâmetros, busca-se utilizar dados de uma estação próxima que possam ser representativos do local em análise. Esta estação mais próxima pode ser da CETESB ou de outra instituição. No presente relatório, como a estação de Cerqueira César não mede parâmetros meteorológicos devido a vegetação e edificações existentes no entorno da mesma que cria um padrão de circulação dos ventos muito local, não foi possível estabelecer um outro ponto da cidade com condições de parâmetros meteorológicos que pudesse ser utilizado como descritor das influências meteorológicas. Como a estação de Cerqueira César está situada em uma feição particular do relevo da cidade de São Paulo, procuraremos entender o fenômeno da dispersão/concentração de poluentes através de uma análise da topografia local.

### **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 quatro locais de amostragem, sendo um móvel, estão situados na RMSP, conforme ilustrado na figura 2. Há ainda duas estações em Cubatão e uma estação em cada um dos municípios de Paulínia, Campinas, Sorocaba e São José dos Campos. As duas estações móveis são deslocadas em função da necessidade de monitoramento em locais onde não existem estações de amostragem ou para estudos complementares à própria rede.

A atual rede mede os seguintes parâmetros: partículas inaláveis ( $MP_{10}$ ), dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), óxidos de nitrogênio (NO e  $NO_2$ ), ozônio ( $O_3$ ), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos totais menos metano e metano (HCNM e  $CH_4$ ), direção e velocidade do vento, umidade relativa do ar, temperatura do ar, pressão atmosférica e radiação solar (global e ultravioleta), conforme distribuição mostrada na tabela 3. Vale salientar que nas estações em que são medidos ventos, são calculados desvios padrões das direções dos ventos e classes de estabilidade atmosférica.



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

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

ESTAÇÃO Nº	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES	PARÂMETROS																	
		MP <sub>10</sub>	MP <sub>2,5</sub>	FMC	PTS	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	HCNM	O <sub>3</sub>	UR	TEMP	VV	DV	P	RAD
01	Parque D. Pedro II	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
02	Santana	X											X			X	X		
03	Moóca	X											X			X	X		
04	Cambuci	X																	
05	Ibirapuera	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X
06	Nossa Senhora do Ó	X											X	X	X				
07	São Caetano do Sul	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
08	Congonhas	X				X	X	X	X	X									
09	Lapa	X					X	X	X	X									
10	Cerqueira César	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
11	Penha	X																	
12	Centro	X								X									
13	Guarulhos	X														X	X		
14	Santo André - Centro	X								X						X	X		
15	Diadema	X											X						
16	Santo Amaro	X			X					X			X			X	X		
17	Osasco	X			X	X	X	X	X	X						X	X		
18	Santo André - Capuava	X			X								X			X	X		
19	São Bernardo do Campo	X			X											X	X		
20	Taboão da Serra	X						X	X	X				X	X				
21	São Miguel Paulista	X											X	X	X	X	X		
22	Mauá	X					X	X	X				X						
27	Pinheiros	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X		

MP<sub>10</sub> Partículas inaláveis

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

FMC Fumaça

PTS Partículas Totais em Suspensão

SO<sub>2</sub> Dióxido de enxofre

NO Monóxido de nitrogênio

NO<sub>2</sub> Dióxido de nitrogênio

NO<sub>x</sub> Óxido de nitrogênio

CO Monóxido de carbono

CH<sub>4</sub> Metano

HCNM Hidrocarbonetos totais menos Metano

O<sub>3</sub> Ozônio

VV Velocidade do Vento

DV Direção do Vento

UR Umidade Relativa do Ar

P Pressão Atmosférica

TEMP Temperatura

RAD Radiação Total e Ultra-violeta

#### 4.1. Estação Cerqueira César

Apresentam-se a seguir os diversos aspectos relacionados à estação Cerqueira César 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	Faculdade de Saúde Pública – USP Av. Dr. Arnaldo, 725 – Cerqueira César – São Paulo		
Coordenadas:	Lat. 23° 33' 11" S	UTM (23K)	329 250
	Long. 46° 40' 22" W	UTM (23K)	7 394 230
Altitude:	817m		
Altura de captação da amostra:		3,5 m	

**Tabela 4: Parâmetros monitorados**

Parâmetros	Método	Equipamento	Início	Término
MP <sub>10</sub>	Radiação Beta	PW9790-Philips	01/01/85	30/09/95
MP <sub>10</sub>	Radiação Beta	FH62 I-N-Graseby-Andersen	10/05/96	
SO <sub>2</sub>	Coulometria	PW9755-Philips	01/01/86	25/08/95
SO <sub>2</sub>	Fluorescência de Pulso (ultravioleta)	Modelo 43 – Thermo E.I.I.	17/06/96	
CO	Coulometria	PW9775-Philips	01/01/85	30/09/95
CO	Infravermelho não Dispersivo	Modelo 48 – Thermo E.I.I.	01/05/96	
NO <sub>x</sub>	Quimiluminescência	PW9765-Philips	01/01/86	11/10/93
NO <sub>x</sub>	Quimiluminescência	Modelo 42 – Thermo E.I.I.	10/05/96	

### Condições Locais

Localizada em uma das partes mais altas da Cidade de São Paulo, a estação Cerqueira César encontra-se instalada na Faculdade de Saúde Pública e distante cerca de 7 metros da Av. Dr. Arnaldo, que possui tráfego intenso tanto de veículos leves como pesados, conforme pode-se ver na figura 3.



**Figura 3 – Vista aérea da estação Cerqueira César (mai/2002)**

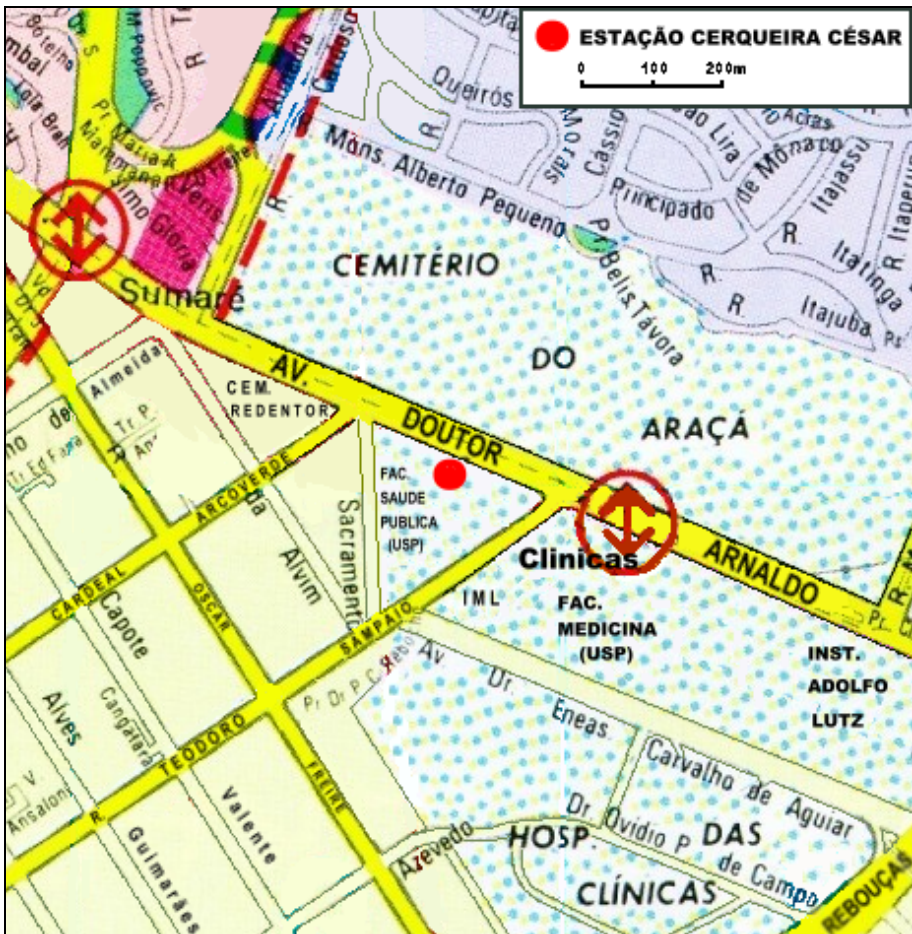
Na figura 4, pode-se verificar a entrada da estação e como a mesma está cercada de vegetação.



**Figura 4 – Vista da estação Cerqueira César (jan/2004)**



A figura 5 mostra a localização da estação Cerqueira César através de um mapa com o traçado viário no entorno da estação.



**Figura 5 – Mapa do entorno viário da estação Cerqueira César.**

A figura 6 mostra fotos que foram tomadas, em cima da estação, nas direções Norte/Sul/Este/Oeste. Nelas pode-se verificar a presença de árvores e edificações que funcionam como barreiras e que modificam, localmente, a circulação do vento.

Na foto da vista leste, há árvores com distâncias de 11 e 15 metros da estação e altura de 4 metros aproximadamente.

Na vista sul, a árvore mais próxima da face sul está a 3 metros de distância e a cerca de 3 metros de altura.

Na face oeste, há árvores a distâncias de 9 e 10 metros da estação e alturas de cerca de 3 e 5 metros, respectivamente. Também é possível verificar uma edificação a 23 metros de distância com altura aproximada de 12 metros.

Na face norte, é possível observar que existe em grande quantidade árvores de médio porte que funcionam como barreira para o vento, embora estejam a uma distância em torno de 15 metros do outro lado da Avenida Dr. Arnaldo.

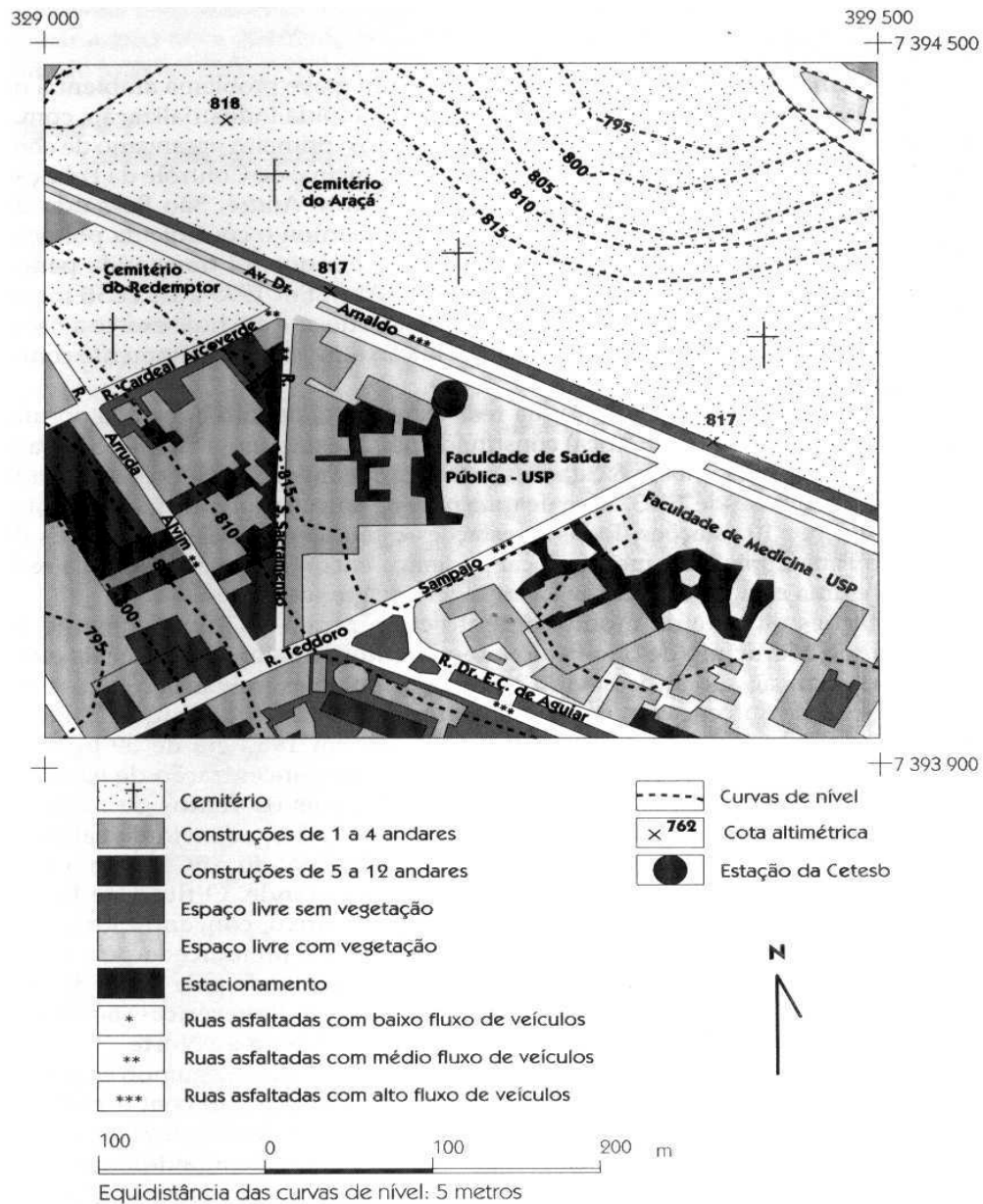


**Figura 6 – Vistas do entorno da Estação Cerqueira César (jan/2004).**

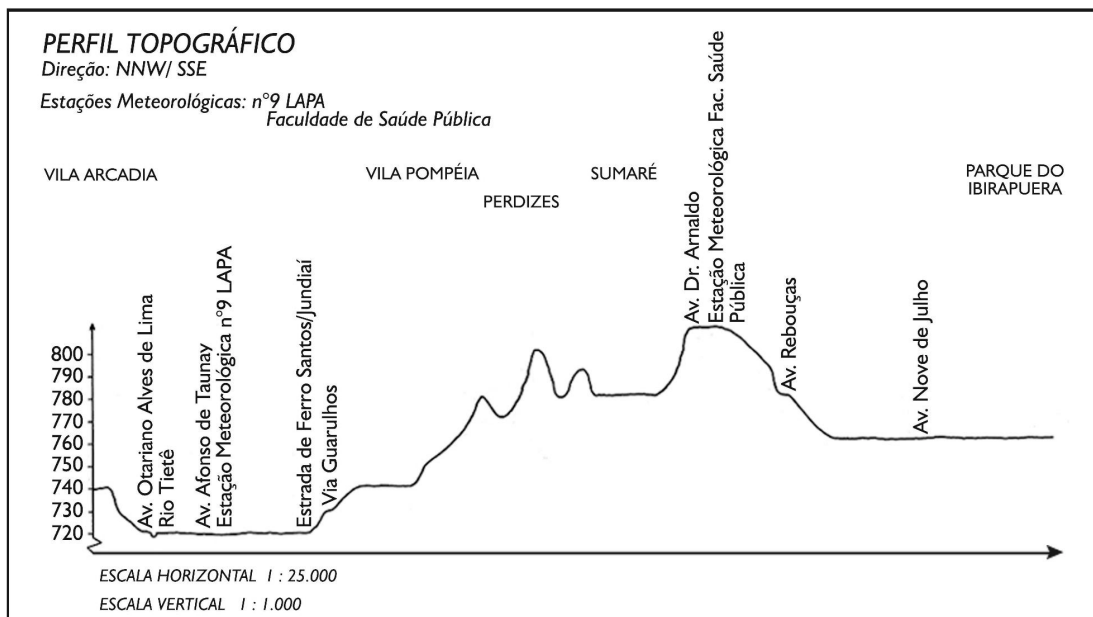
Conforme foi descrito, é possível concluir que a vegetação e edificações no entorno do sítio da estação de monitoramento faz com que seja inviável o monitoramento dos parâmetros direção e velocidade do vento. Uma possibilidade seria monitorar os ventos dentro do Cemitério do Araçá mas, à medida que se afasta da Avenida Dr. Arnaldo, o terreno vai se tornando mais íngreme, condição que pode ser verificada na figura 7, com a representação das curvas de nível. Dessa forma, é necessário fazer uma breve descrição da topografia do terreno. O local no qual a estação de Cerqueira César está instalada pertence a um importante componente do relevo da cidade de São Paulo, denominado por Aziz Nacib Ab'Saber de "Espigão Central" *apud* <sup>(7)</sup>, sendo este mesmo o divisor de águas entre os rios Tamanduateí e Pinheiros. Nele, a altitude é superior a 800 metros. Uma importante característica deste divisor é que a vertente voltada para o



rio Tamanduateí tem uma declividade um pouco menor que a volta para o rio Pinheiros. O perfil topográfico da figura 8 mostra esta diferença.

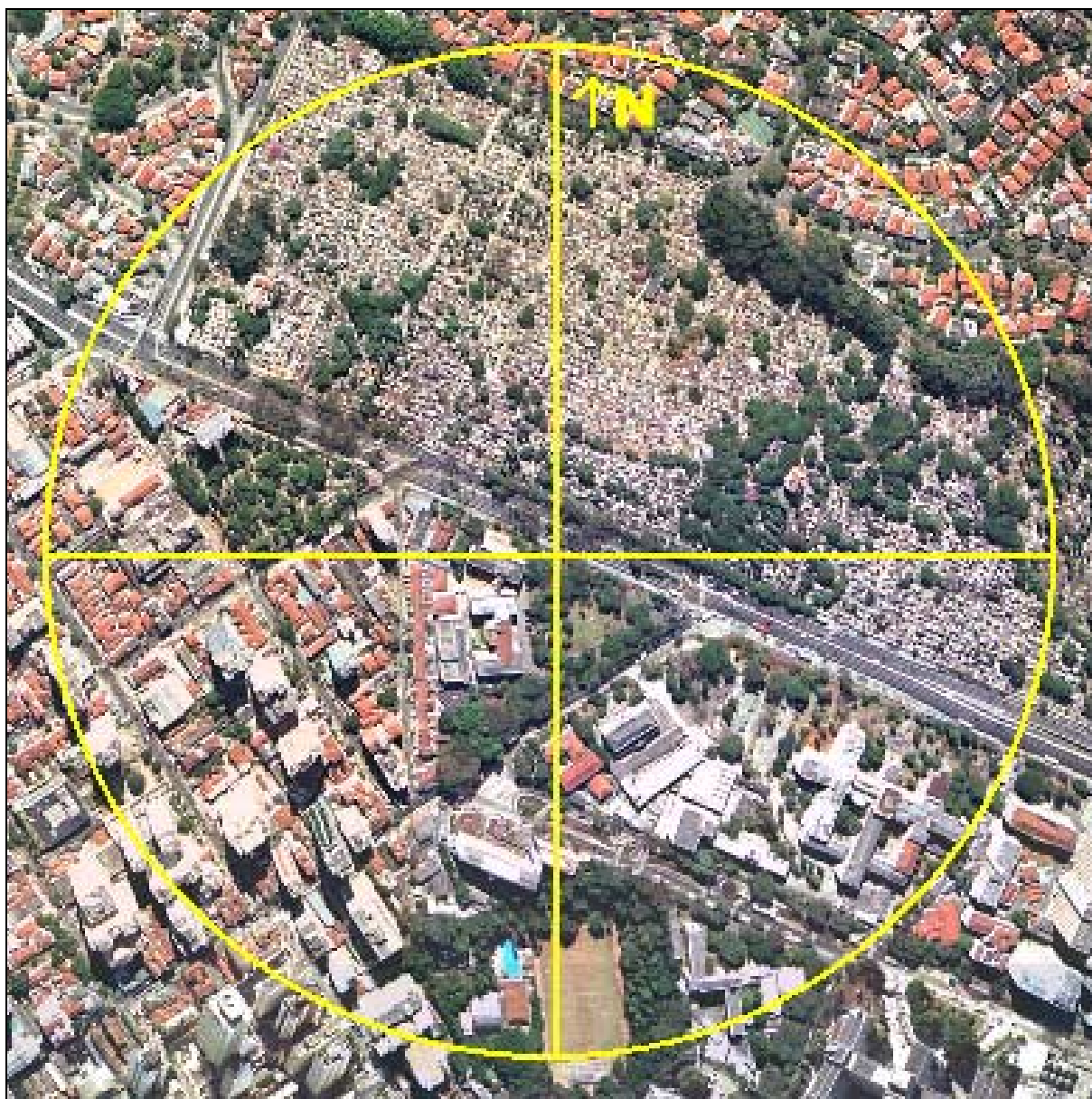


**Figura 7 – Curvas de nível do entorno da Estação Cerqueira César <sup>(7)</sup>**



**Figura 8- Perfil topográfico com corte na direção NNW/SSE com a localização da Estação de Cerqueira César (fonte: CETESB)**

A figura 9 mostra uma imagem do Nata <sup>(6)</sup>, com um círculo de 400 metros de raio, o qual é utilizado para estabelecer as fontes que influenciam as concentrações de poluentes medidos na estação ora em estudo.



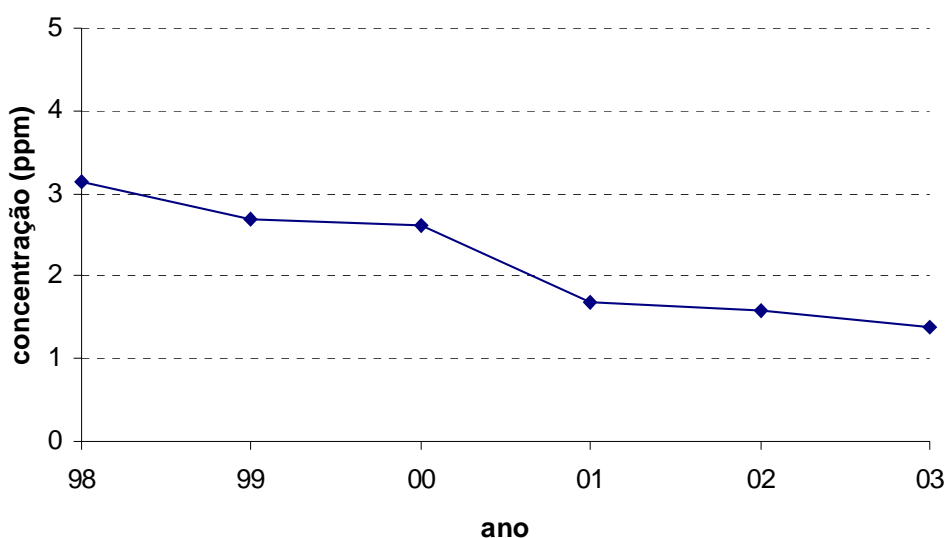
**Figura 9 - – Imagem Nata <sup>(6)</sup> do entorno da estação Cerqueira César com raio de 400m.**

#### 4.1.2. Tendências da Qualidade do Ar

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

##### Monóxido de Carbono - CO

A figura 10 apresenta a evolução das concentrações médias anuais obtidas através das máximas médias móveis de 8 horas de monóxido de carbono na estação Cerqueira César, no período de 1998 a 2003. Observa-se uma tendência significativa de redução das concentrações nos últimos anos. É importante destacar que não existe limite legal de concentração de CO para períodos anuais e o gráfico elaborado serve apenas para análise de tendência.

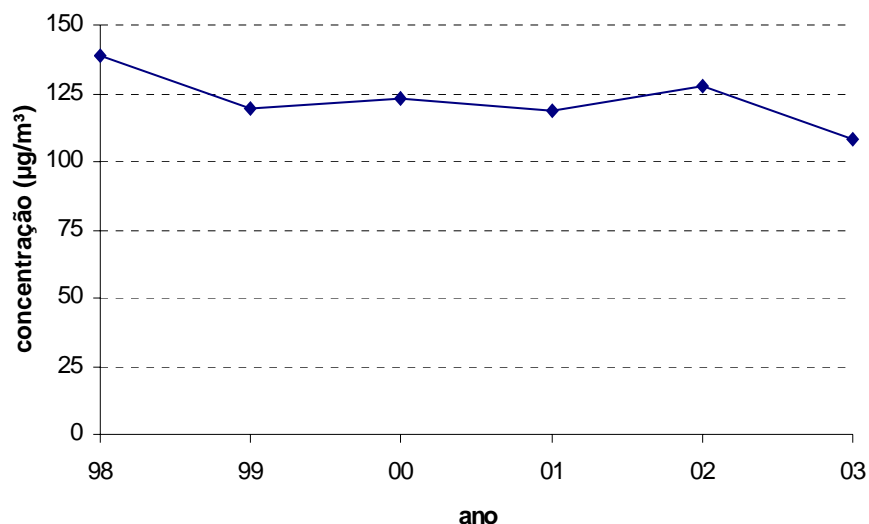


**Figura 10 – CO – Médias das máximas (médias de 8 horas)**

De 1998 a 2003, não houve nenhuma ultrapassagem dos níveis do PQAr de 8 horas (9ppm) e Atenção (15ppm) na Estação Cerqueira César.

##### Monóxido de Nitrogênio - NO

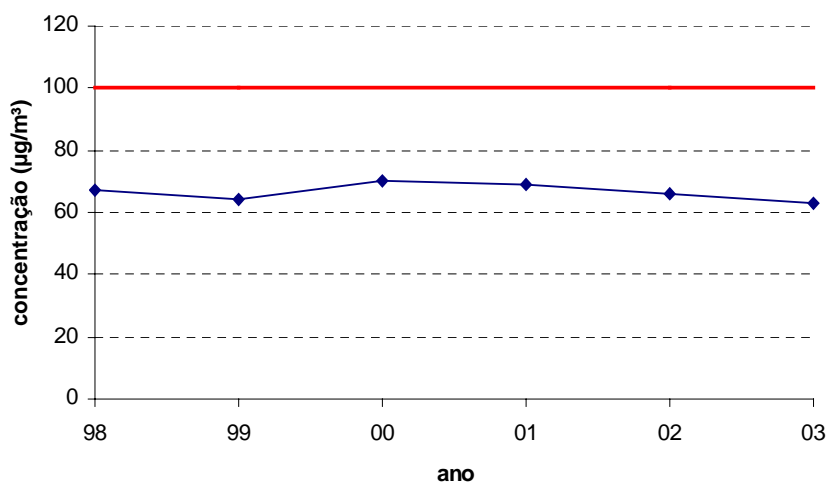
Não há padrão legal para NO. A figura 11 apresenta as concentrações médias anuais de monóxido de nitrogênio na estação Cerqueira César, de 1998 a 2003, considerando-se o período das 7 às 11 horas, horário em que se observam as maiores concentrações. Os valores médios apresentaram uma queda mais acentuada de 1998 a 1999 e de 2002 a 2003, sendo que de 1999 a 2002 os valores se mantiveram estáveis em torno de  $125\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



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

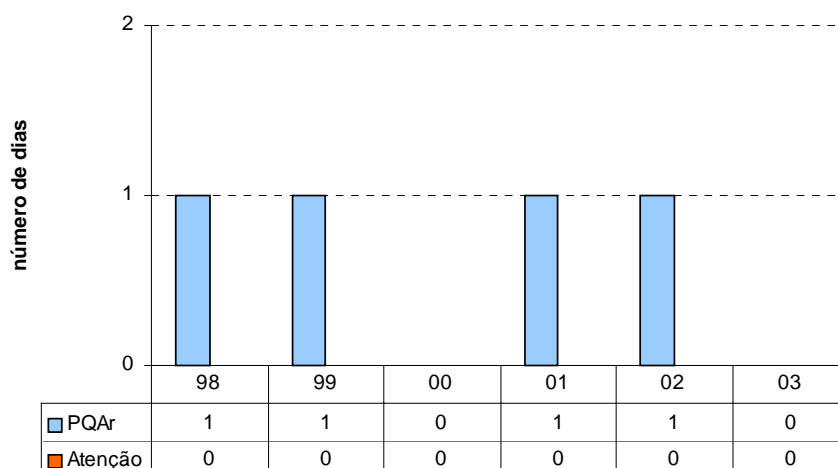
#### **Dióxido de Nitrogênio - NO<sub>2</sub>**

No período de 1998 a 2003 (figura 12), podemos observar que as concentrações encontraram-se bem abaixo de 100 µg/m³, PQAr anual para este poluente.



**Figura 12 – NO<sub>2</sub> – Médias aritméticas anuais**

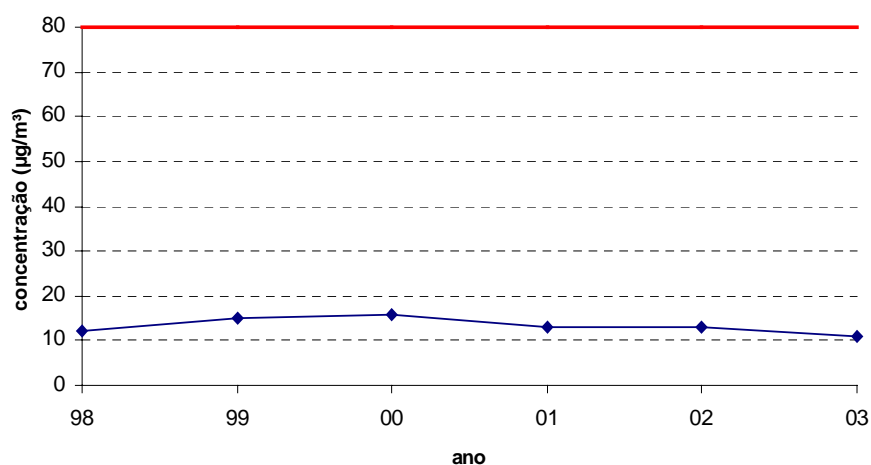
A figura 13 apresenta o número de dias de ultrapassagem do PQAr (320µg/m³) e Atenção (1130µg/m³) de 1 hora para NO<sub>2</sub>. Observa-se que nos anos de 1998, 1999, 2001 e 2002 houve apenas uma ultrapassagem por ano do PQAr, nos demais, nenhuma.



**Figura 13 – NO<sub>2</sub> – Número de dias de ultrapassagem do PQAr e nível de Atenção de 1998 a 2003**

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

A análise dos últimos 6 anos de dados mostra que os níveis de concentração de SO<sub>2</sub> (médias aritméticas anuais) registrados estão muito abaixo do PQAr anual de 80µg/m<sup>3</sup>, conforme ilustrado na figura 14. Os dados mostram que esses níveis têm sido mantidos e, no caso da estação Cerqueira César, apresentam-se abaixo de 16µg/m<sup>3</sup>

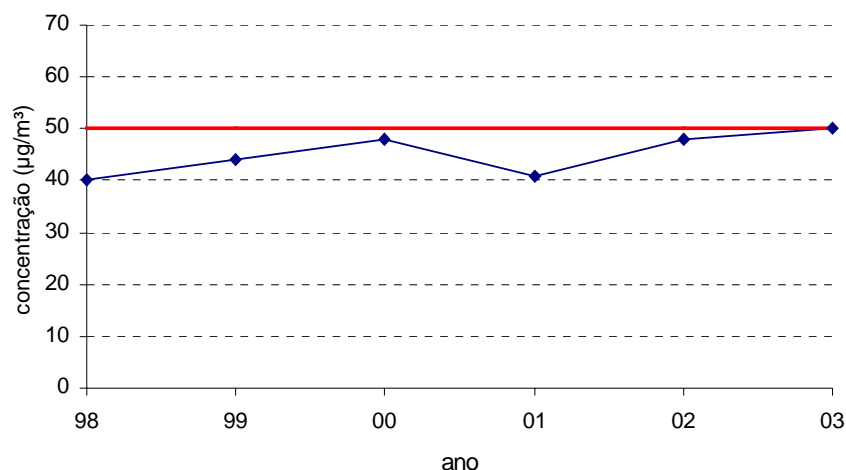


**Figura 14 - SO<sub>2</sub> - Médias aritméticas anuais de SO<sub>2</sub>**

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

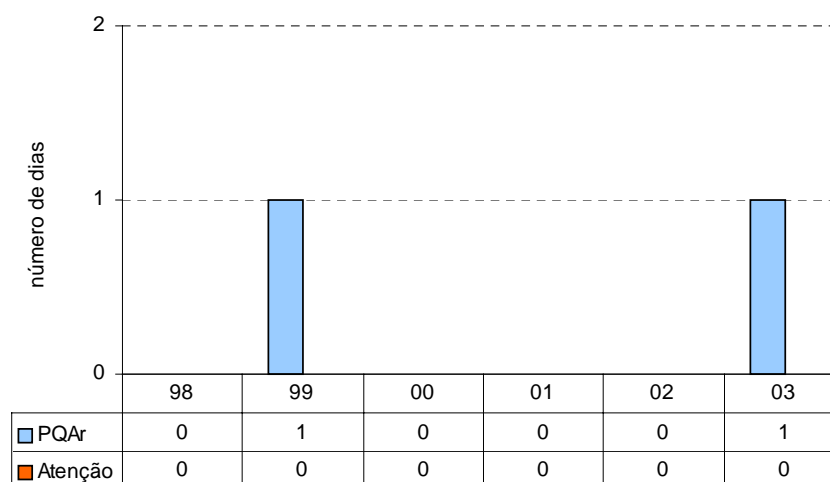
A figura 15 apresenta a evolução das médias aritméticas anuais de MP<sub>10</sub> nos últimos 6 anos na estação Cerqueira César. Nesta figura, percebe-se que as concentrações médias anuais apresentam-se bastante próximas do PQAr.





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

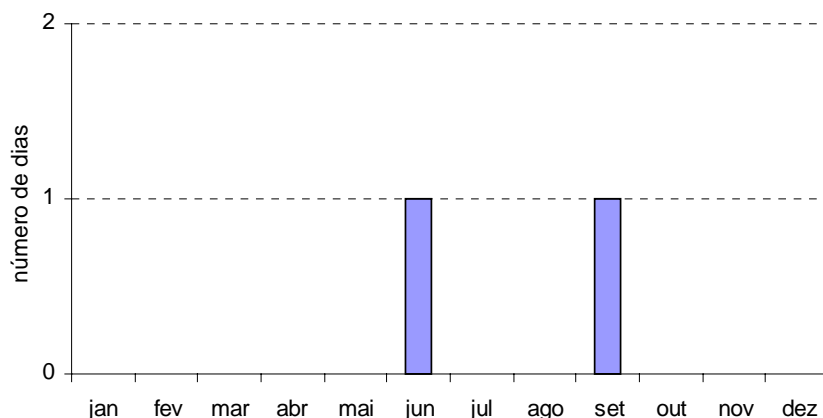
Os resultados observados com relação ao padrão legal de curto prazo de MP<sub>10</sub> (150µg/m³ - média de 24 horas), conforme apresentado na figura 16, indicam que, durante o período, somente em 1999 e 2003 houve ultrapassagem do padrão (um dia).



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

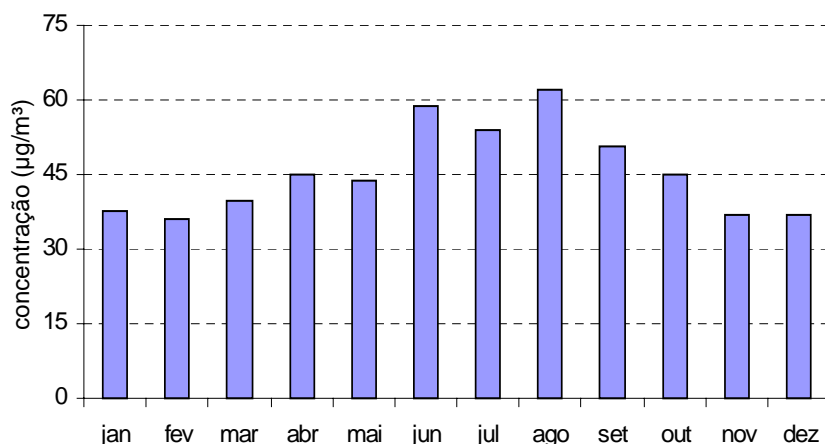
Em termos sazonais, sabe-se que no Estado de São Paulo os níveis mais elevados de concentração dos poluentes primários, ou seja, aqueles emitidos diretamente pelas fontes emissoras, são observados no período de inverno. Isso ocorre pelas condições meteorológicas mais desfavoráveis à dispersão dos poluentes 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 por MP<sub>10</sub> no período de 1998 a 2003, apresentada na figura 17. Pode-se observar que não houve ultrapassagens do PQAr nos meses de verão, e que os dois únicos episódios de ultrapassagem ocorreram nos meses de junho e setembro.



**Figura 17– MP<sub>10</sub> – Distribuição mensal do número de dias de ultrapassagem do PQAr no período de 1998 a 2003**

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 anos, apresentada na figura 18. Nessa figura, observa-se claramente que as concentrações de MP<sub>10</sub> apresentam uma elevação durante os meses de inverno, apresentando sua concentração média máxima entre os meses de junho e agosto.



**Figura 18 – MP<sub>10</sub> – Médias mensais no período de 1998 a 2003**

#### 4.1.3. Microinventário de Fontes

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

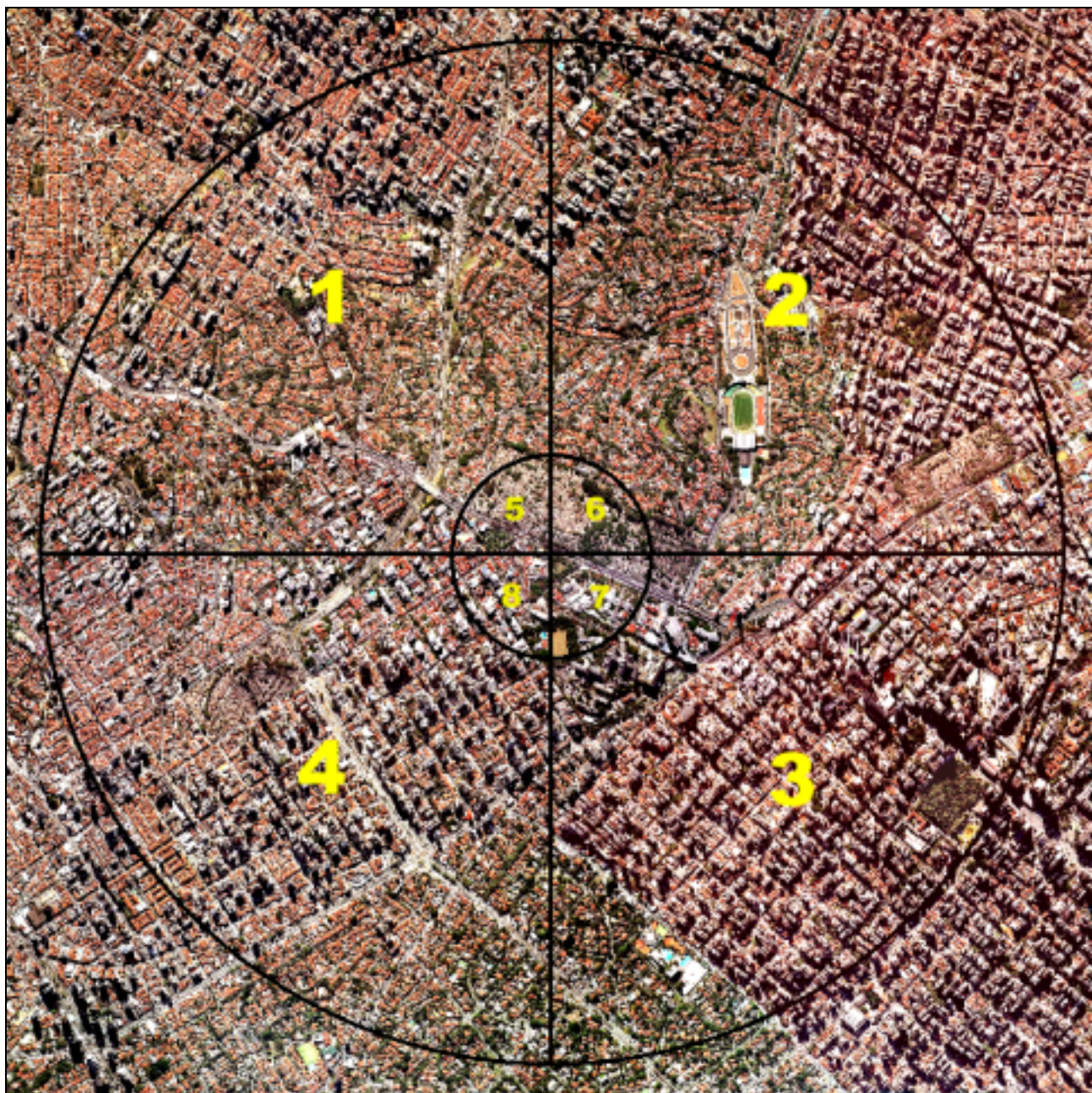


Figura 19 – Imagem Nata <sup>(6)</sup> do entorno da estação Cerqueira César com raio de 400 e 2000m.



## **Fontes Fixas**

De acordo com a Agência Ambiental de Pinheiros, no perímetro de avaliação da estação, não existem fontes fixas com potencial de emissão representativo. Por ser uma região com restrições impostas pela lei de zoneamento municipal, nessa área são encontradas apenas pequenas fontes estacionárias tais como: postos de abastecimento de combustíveis e fornos de restaurantes, padarias e pizzarias.

Grande parte da área abrangida pelo círculo de 400 metros ao redor da estação, é ocupada pelos cemitérios do Araçá e Redentor, pela Faculdade de Saúde Pública e pelo Complexo do Hospital das Clínicas.

## **Fontes Móveis**

As fontes móveis mais importantes no entorno da estação em estudo são representadas por poucas vias de tráfego. A avenida mais próxima e fonte linear de emissão a causar impacto nessa área de avaliação é a Av. Dr. Arnaldo, que se estende de noroeste a sudeste, passando em frente à estação, corredor natural entre a região do Sumaré e as avenidas Paulista, Consolação e Rebouças. Duas outras vias tem contribuição significativa na emissão de poluentes, a Rua Teodoro Sampaio que liga a região de Pinheiros à Av. Dr. Arnaldo e a Rua Cardeal Arcoverde no fluxo contrário, liga a Av. Dr. Arnaldo à região de Pinheiros.

Considerando essas fontes lineares como as mais importantes na região de estudo, foram feitas estimativas de emissão, diferenciando-se os veículos leves dos veículos movidos a diesel. Dentre os veículos leves, foram efetuadas algumas amostragens para se estimar a participação dos táxis na composição da frota, visto que aproximadamente 90% destes usam gás natural veicular (GNV) como combustível. Observou-se que, na média, 12,5% da frota de veículos leves é composta de táxis, sendo então desconsiderados proporcionalmente em relação ao total desse tipo de veículo, no cálculo da emissão. Foram efetuadas também algumas contagens para se estimar o número de motos que trafegam nessas vias.

As emissões nas vias analisadas foram calculadas a partir da média das contagens de veículos realizadas nos dias 27/11/2003 (quinta-feira) e 11/03/2004 (quinta-feira). Foram realizadas contagens de 15 minutos, simultaneamente em cada ponto, nos horários compreendidos entre 7h20 e 18h00.

Para se chegar ao volume de tráfego diário de veículos leves e diesel, considerou-se o valor médio nas contagens realizadas, obtendo-se a média horária de fluxo de veículos. Adotou-se, como critério, que essa média horária é válida entre 6h00 e 22h00, e que no horário complementar há uma redução de 70% no volume de tráfego. Para as motos, considerou-se o período compreendido entre 9h00 e 18h00, visto que estudos anteriores em outros locais, mostraram que, predominantemente, a utilização de motos é feita pelos chamados moto-boys em horário comercial. No horário complementar, das 18h00 às 9h00, assim como nos finais de semana, adotou-se que o volume de motos em circulação é equivalente a 10% do tráfego diurno dos dias úteis.

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

**Tabela 5: Contagem de veículos na Avenida Dr. Arnaldo, Rua Teodoro Sampaio e Rua Cardeal Arcoverde**

Via	Fonte	Volume de tráfego diário	Volume anual estimado
Av. Dr. Arnaldo	Veículos Leves	83.941	26.190.000
	Veículos Diesel	9.936	3.100.000
	Motos	6.321	1.795.000
Rua Cardeal Arcoverde	Veículos Leves	17.690	5.520.000
	Veículos Diesel	3.054	955.000
	Motos	808	230.000
Rua Teodoro Sampaio	Veículos Leves	25.590	7.985.000
	Veículos Diesel	5.299	1.655.000
	Motos	808	230.000

Para a estimativa de emissão das fontes móveis, foram considerados os fatores de emissão de veículos em uso na RMSP em 2003 (tabela 6), por ser a informação mais atualizada disponível na época da contagem.

**Tabela 6: Fatores de emissão de veículos em uso na RMSP em 2003**

Tipo de veículo	Fatores de emissão (g/km)				
	MP	SO <sub>2</sub>	NOx	CO	HC
Leves	0,08	0,12	0,70	12,3	1,26
Diesel	0,81	0,43	13,0	17,8	2,9
Motos	0,05	0,04	0,1	19,7	2,6

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, dentro de cada setor levando-se em conta a extensão destas fontes lineares (tabela 7).

**Tabela 7: Estimativas de emissão de fontes móveis no entorno da estação Cerqueira César**

Quadrante	Setor	Emissão das fontes (ton/ano)						Emissão Total (ton/ano)				
		Fonte	MP	SO <sub>2</sub>	NOx	CO	HC	MP	SO <sub>2</sub>	NOx	CO	HC
90-180	7	Av. Dr. Arnaldo [400m]	1,9	1,8	23,5	166	18,7	3,1	2,7	26,5	184	21,0
		Rua Teodoro Sampaio [150m]	1,2	0,9	3,0	18	2,3					
180-270	8	Rua Teodoro Sampaio [300m]	3,4	1,8	6,0	36	4,6	3,7	11,0	10,1	44	7,2
		Rua Cardeal Arcoverde [250m]	0,3	9,2	4,1	8	2,6					
270-360	5	Av. Dr. Arnaldo [400m]	1,9	1,8	23,5	166	18,7	2,0	5,5	25,1	169	19,7
		Rua Cardeal Arcoverde [100m]	0,1	3,7	1,6	3	1,0					

Observação: Os números entre colchetes correspondem à extensão das vias de tráfego no setor considerado.

#### 4.1.4. Escalas de Representatividade

Devido à localização da estação em estudo, conforme descrito no item 4.1.1, não foi possível efetuar a análise das condições de vento no local.

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

- Avaliar o perfil de concentração dos poluentes e compará-lo com o perfil das estimativas de emissão nos dias em que foram realizadas as contagens de veículos, buscando identificar se os picos de concentração coincidem com os picos de emissão, o que evidenciaria a influência do tráfego nos dados medidos nesta estação.
- Comparar os níveis médios de concentração, bem como os perfis de concentração média dos poluentes medidos nesta estação com os perfis obtidos em outras estações da rede, levando-se em consideração as características de localização das estações. As médias de concentração referem-se a períodos que variam de 4 a 6 anos de dados, conforme especificado nas legendas das figuras.
- Com o objetivo de complementar as informações da estação, comparativamente às demais estações da rede automática, será aplicada neste estudo uma técnica estatística denominada Análise de Agrupamento. O método tem o objetivo de reunir elementos semelhantes em um mesmo grupo, de acordo com as variáveis selecionadas.
- Analisar os perfis nos dias de concentração mais elevada, visando identificar se os resultados observados em episódios de maiores concentrações representam o comportamento em condições médias.
- Comparar as concentrações em diferentes dias da semana, por exemplo, dias úteis e fins de semana, quando as concentrações tendem a ser menores.

As análises acima descritas foram feitas separadamente para cada poluente.

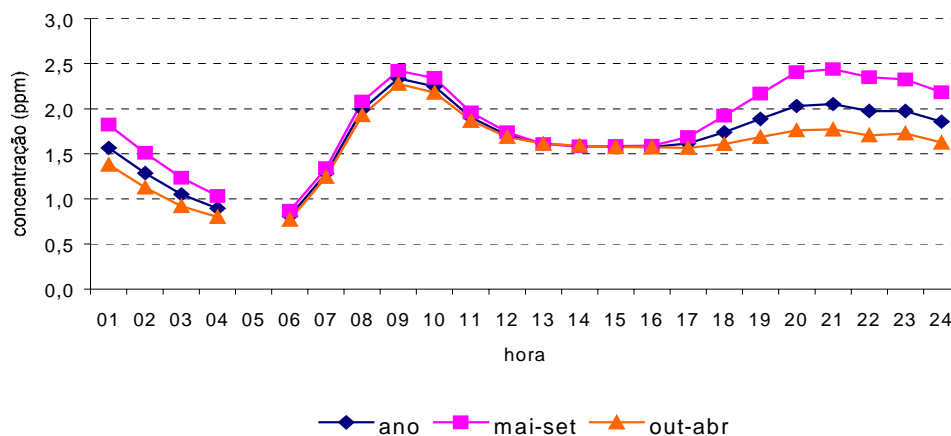
- Comparar os resultados do "Estudo Especial", realizado no período de 12 de julho a 25 de agosto de 1997, quando foi instalada uma outra estação temporária nas proximidades da estação automática, visando avaliar a escala de abrangência da estação. Para este comparativo, os poluentes analisados foram apresentados em conjunto.

## **Monóxido de Carbono - CO**

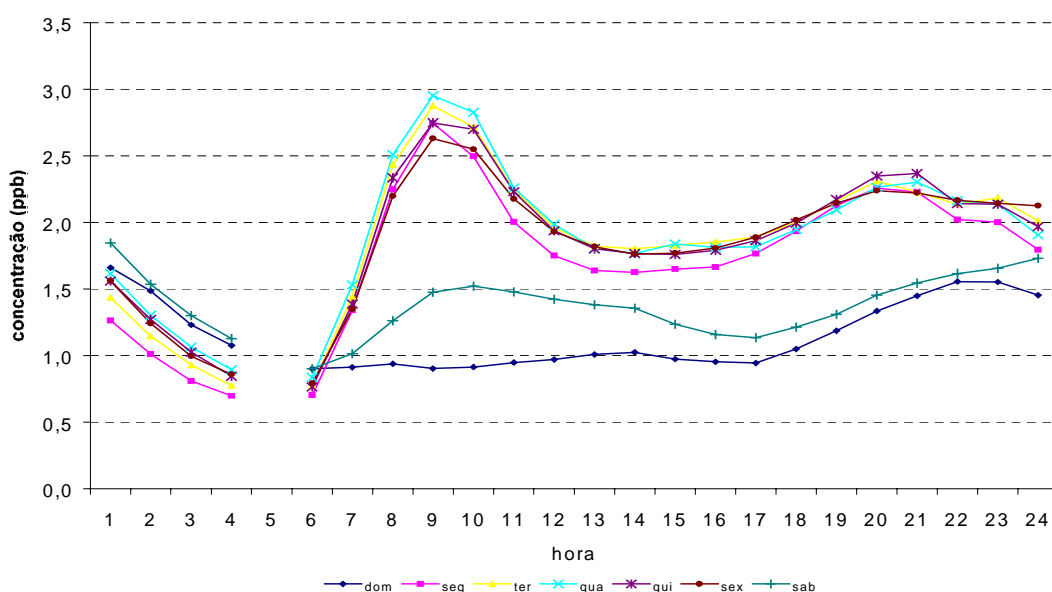
As figuras 20 e 21 ilustram, respectivamente, as variações médias horárias por período do ano e por dia da semana do CO na estação Cerqueira César. Os perfis de inverno e verão apresentados ilustram as diferenças resultantes das variações meteorológicas médias entre os períodos do ano, determinantes principalmente no período noturno. Com relação às variações por dia da semana (figura 21 e 22), observa-se que os perfis de segunda a sexta-feira são bastante semelhantes, e que as concentrações de CO caem bastante no fim de semana.

Em termos médios, o perfil das concentrações horárias de CO ao longo do dia, mostra dois picos de concentração. Um pela manhã, cujo máximo é registrado às 9 horas e está associado ao aumento do tráfego de veículos, é de curta duração e precede um período com condições meteorológicas mais favoráveis à dispersão dos poluentes. Outro pico é observado no período noturno, com máximas concentrações médias entre 20h e 21h.

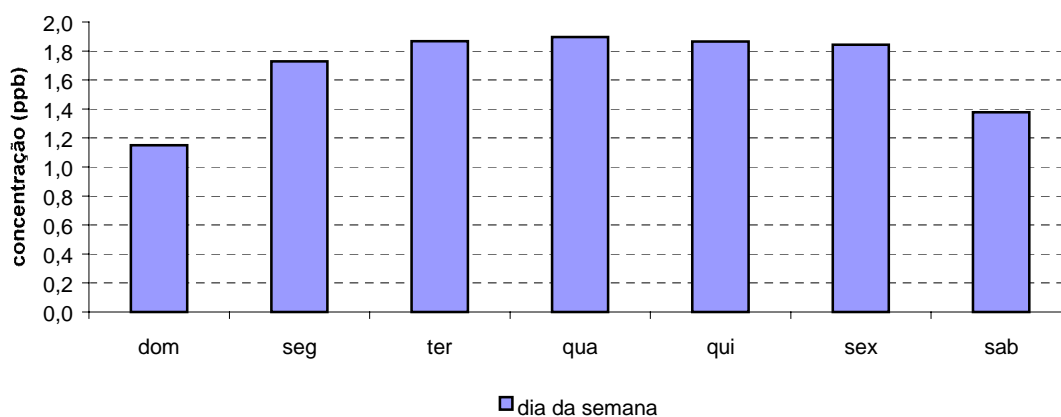
Não existem dados às 5h por ser o horário utilizado para calibração automática diária do monitor.



**Figura 20 – CO – Médias horárias por época do ano no período de 1998 a 2003**



**Figura 21 – CO – Médias horárias por dia da semana no período de 1998 a 2003**



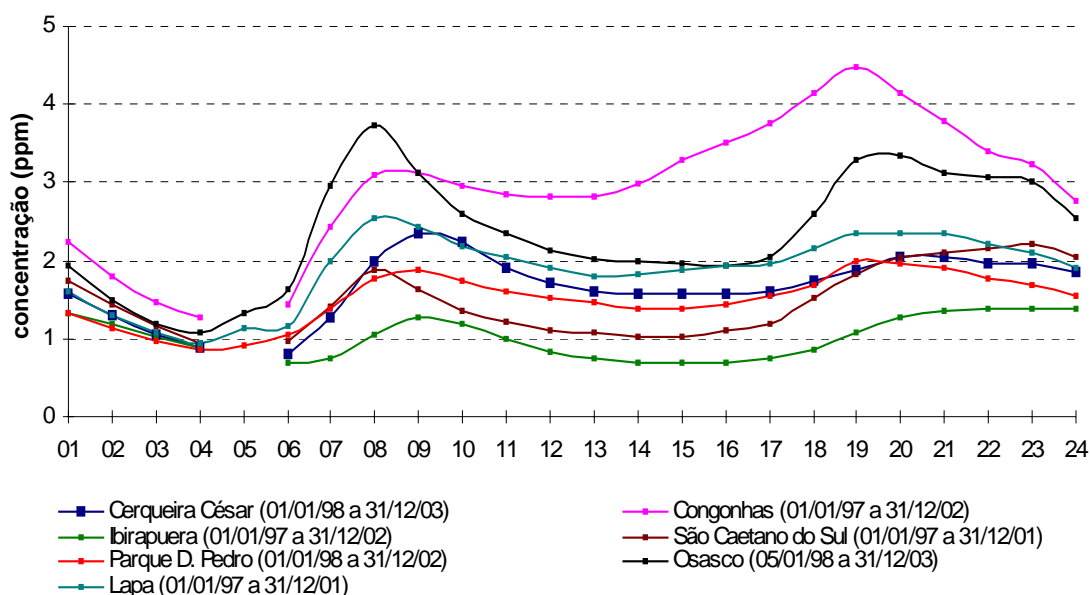
**Figura 22 – CO – Médias por dia da semana no período de 1998 a 2003**

## Concentração x Emissão

Os perfis de emissão de veículos leves e pesados que circularam nas principais vias no entorno da estação em 27/11/2003 foram semelhantes aos perfis de emissão em 11/03/2004. Entretanto, não foi possível estabelecer uma relação direta entre estimativa de emissão e concentração de CO. É importante considerar que as estimativas de emissão foram feitas com base nos dados de contagem e que os locais de contagem são vias de tráfego no limite de saturação, assim, há situações em que o fluxo está mais livre, dando vazão a um maior número de veículos, e neste caso, a emissão pode ser efetivamente menor do que quando o tráfego está lento, de forma que os dados de contagem podem, eventualmente, não refletir a emissão real.

## Comparação com outras estações da Rede

A comparação dos níveis de concentração, bem como do perfil de CO médio ao longo do dia na estação Cerqueira César com o comportamento médio deste poluente em outras estações da rede na RMSP, além das considerações relativas à localização em relação às fontes de emissão, são indicativos da escala de abrangência da estação.



**Figura 23 - Comparação do perfil de CO ao longo do dia em várias estações da rede**

De maneira geral, as estações apresentam perfis de concentração de CO semelhantes (figura 23), sendo interessante notar que nas estações mais centrais, como Cerqueira César, Parque D. Pedro II e Ibirapuera, o pico da manhã, associado ao tráfego, ocorre por volta das 9h. Já nas estações mais periféricas, como Osasco, Lapa e São Caetano do Sul, os picos de concentração ocorrem mais cedo, representando a dinâmica do fluxo de veículos na cidade.

A estação Congonhas apresenta um perfil de concentração diferenciado em relação às demais estações representadas, com o pico de concentração no final da tarde significativamente mais acentuado que o da manhã.

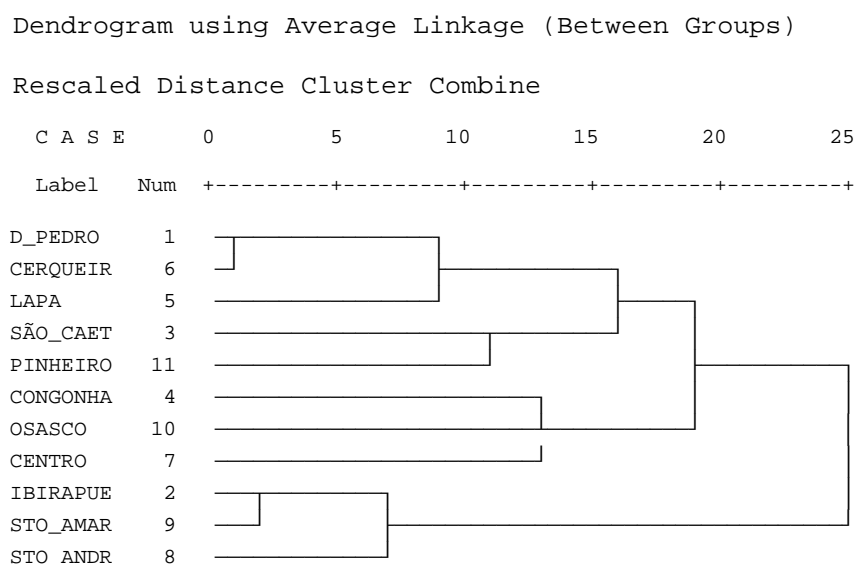


As estações mencionadas são representativas de microescala, com exceção da estação São Caetano, cujas fontes mais representativas situam-se na média escala, e da estação Ibirapuera, representativa de escala de bairro.

### Análise de agrupamento

Com o objetivo de complementar as informações da estação, comparativamente às demais estações da rede automática, foi empregada a técnica estatística de análise de agrupamento. Nesta técnica, os dados que estão dispostos em uma matriz (elementos versus variáveis) são convertidos em distâncias, medidas de semelhança entre os elementos, que neste caso são as estações, sendo as variáveis os valores de CO. Os grupos formados podem ser visualizados através de um gráfico denominado dendrograma (figura 24). O período analisado foi de 01/jan/2001 a 26/dez/2003, com dados horários (24 horas). As 11 estações avaliadas foram: Pq. D. Pedro II, Cerqueira César, Lapa, São Caetano, Pinheiros, Congonhas, Osasco, Centro, Ibirapuera, Santo Amaro e Santo André.

A seguir, os dendrogramas que ilustram os grupos formados:



**Figura 24 - Dendrograma**

A metodologia aplicada aos dados de CO mostrou serem as estações Parque D. Pedro II e Cerqueira César as mais semelhantes em termos de comportamento deste poluente, uma vez que foram as primeiras que se agruparam.

### Episódios de maiores concentrações

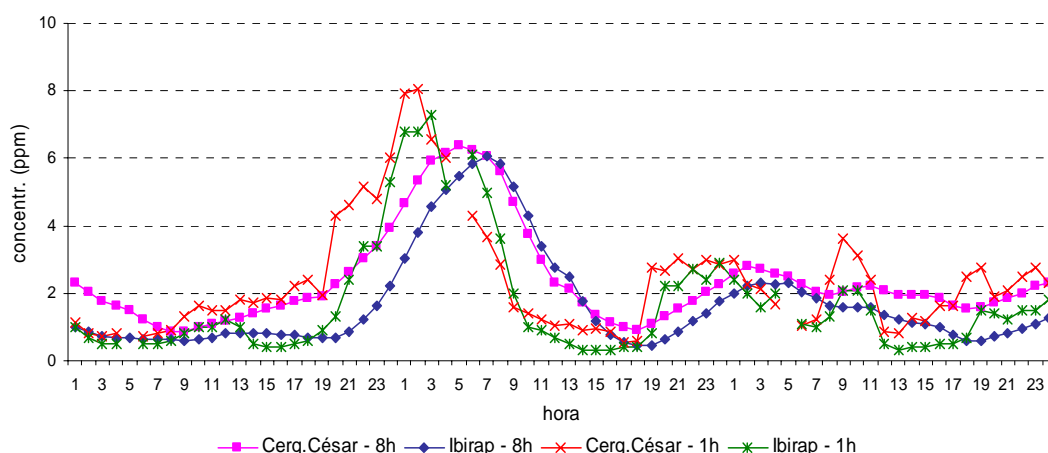
No intuito de verificar se os resultados observados sob condições médias representam o comportamento em situações mais agudas, apresenta-se o comportamento das concentrações de CO nos dias em que as médias móveis de 8 horas estiveram mais elevadas no ano de 2003.

Nas figuras 25 e 26 nota-se que os picos de maiores concentrações em Cerqueira César coincidiram com os picos observados no Ibirapuera, mostrando que tais episódios foram eventos registrados em escala urbana, que podem estar relacionados às condições meteorológicas mais desfavoráveis à dispersão de poluentes, considerando também que estes episódios ocorreram em finais de

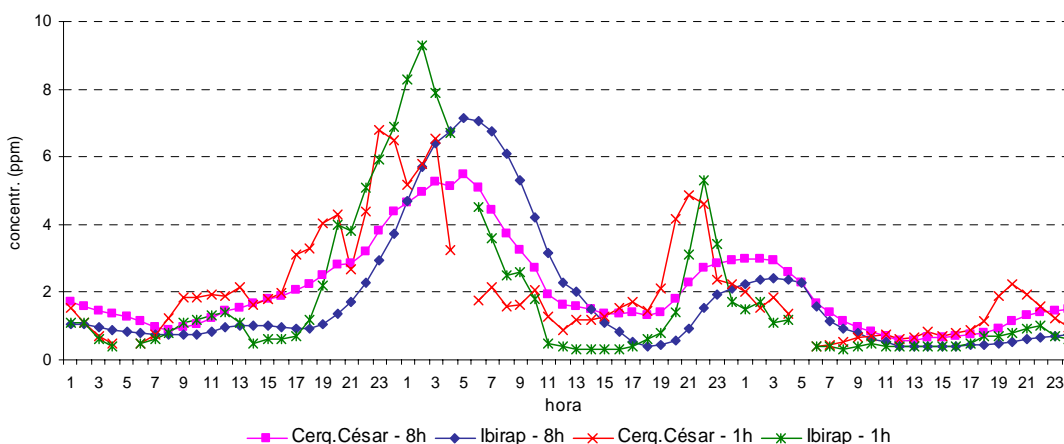
semana e as maiores concentrações horárias foram observadas durante a noite e madrugada.

Os picos de concentração observados às 8 horas só foram observados na segunda-feira (02/06/03) e sexta-feira (04/07/03).

A estação Ibirapuera reflete a poluição em uma escala maior de abrangência e, portanto, indica se os episódios registrados em dada estação foram consequência de condições particulares de emissão e dispersão dos poluentes ou se estão relacionados a eventos em escala urbana.



**Figura 25 – CO – Médias horárias e móveis de 8 horas nas estações Cerqueira César e Ibirapuera para os dias 31/05 (sábado), 01 (domingo) e 02/06/2003 (segunda)**

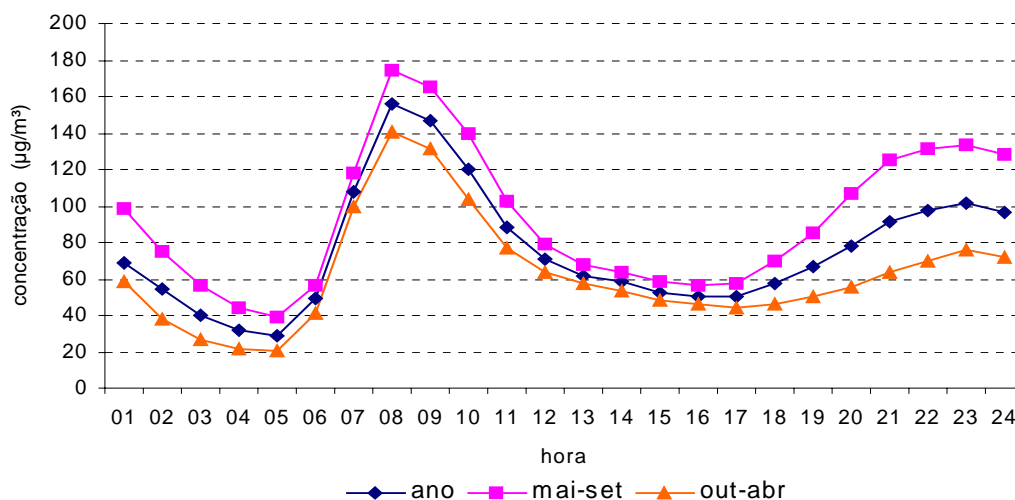


**Figura 26 – CO – Médias horárias e móveis de 8 horas nas estações Cerqueira César e Ibirapuera para os dias 04 (sexta), 05 (sábado) e 06/07/2003 (domingo)**

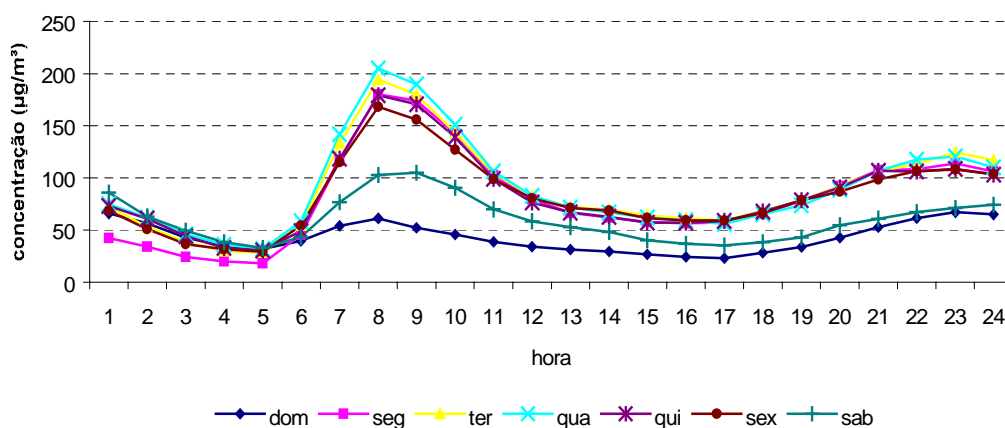
### Monóxido de Nitrogênio - NO

O perfil das médias de NO ao longo do dia (figuras 27 e 28) mostra que há um pico de concentração no período da manhã às 8:00h, agudo e de curta duração, e outro que inicia no período noturno a partir das 18:00h, bem mais atenuado. Por ser principalmente emitido pelos veículos automotores, também o NO apresenta

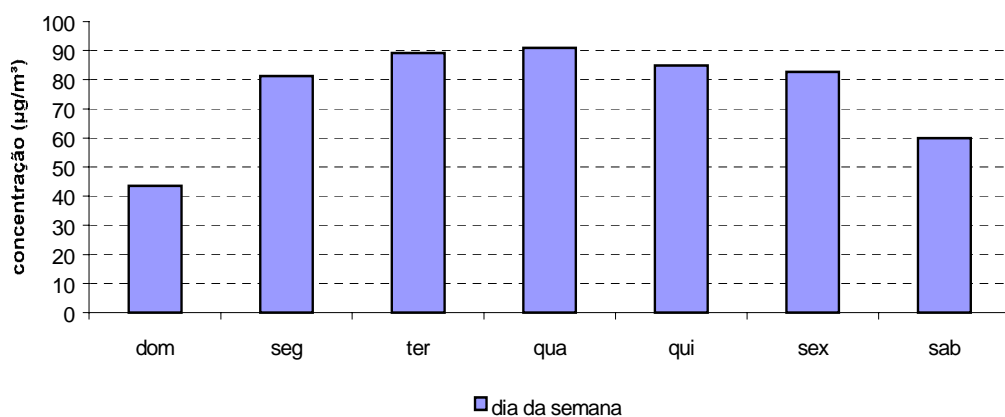
concentrações no sábado, domingo e madrugada da segunda-feira, bem mais baixas que nos demais dias da semana (figuras 28 e 29).



**Figura 27 - NO - Médias horárias por época do ano período 1998 a 2003**



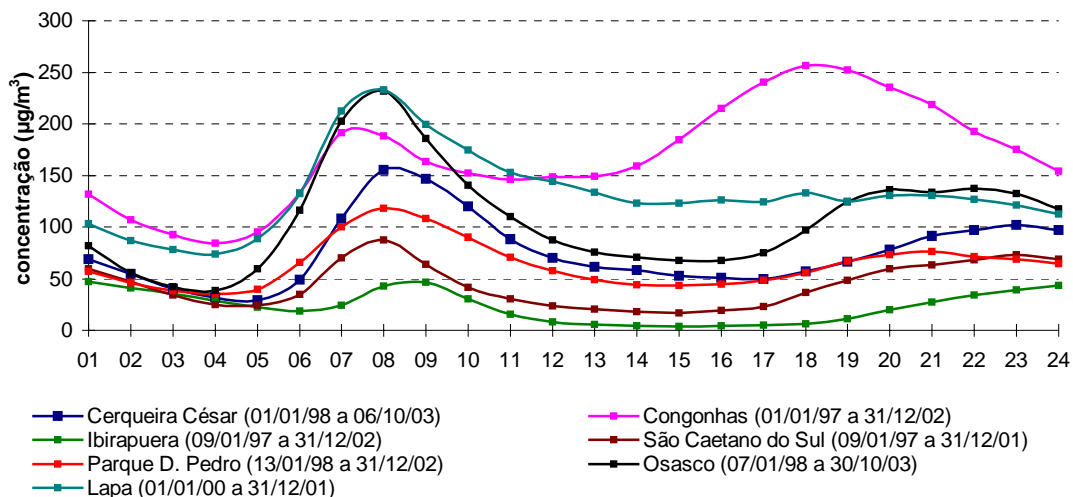
**Figura 28 - NO - Médias horárias por dia da semana de 1998 a 2003**



**Figura 29 - NO - Médias por dia da semana no período de 1998 a 2003**

### Comparação com outras estações da Rede

A comparação do perfil de NO ao longo do dia na estação Cerqueira César com o comportamento deste poluente em outras estações da rede é apresentada na figura 30.



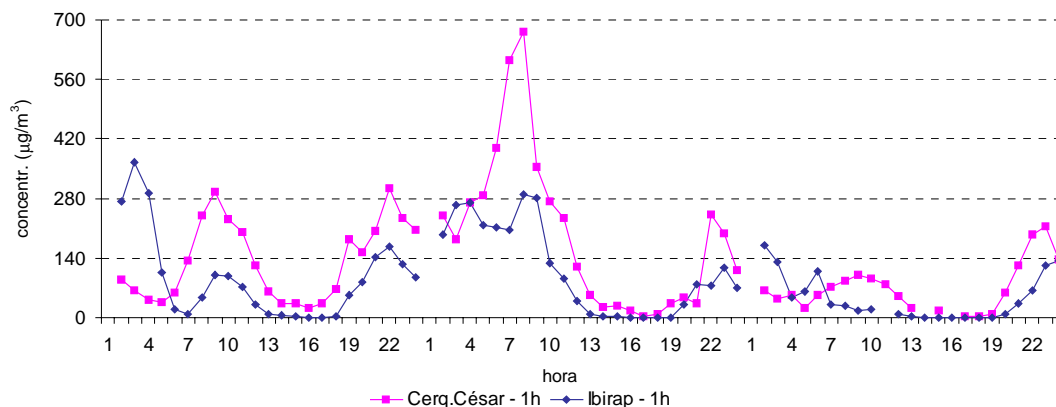
**Figura 30 - Comparação do perfil de NO ao longo do dia**

O perfil de concentração de NO em Cerqueira César é semelhante aos perfis observados em outras estações da rede automática, com exceção de Congonhas e Lapa.

As concentrações médias em Cerqueira César são superiores às médias de Ibirapuera e São Caetano do Sul, representativas de escala de bairro e de média escala, respectivamente. As estações representativas de microescala, Osasco e Parque D. Pedro II apresentam perfis parecidos com o de Cerqueira César.

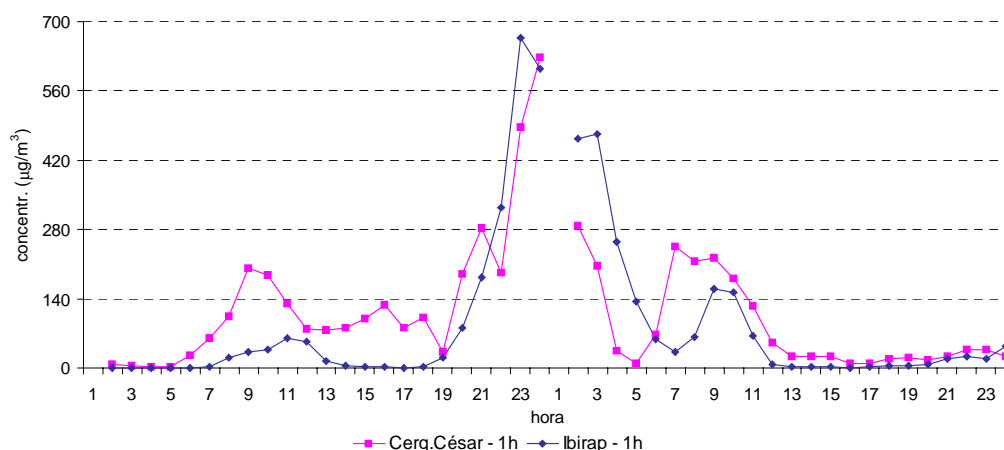
### Episódios de maiores concentrações

O maior episódio de NO de 2003 ocorreu no dia 22 de agosto às 8 horas, coincidindo com o horário de pico de tráfego, e atingiu a concentração horária de  $671\mu\text{g}/\text{m}^3$ . No horário do episódio a maioria das estações da rede automática indicavam ventos fracos, ou seja, descarta-se a possibilidade de transporte reforçando a hipótese de se tratar de um episódio causado por efeitos locais, indicando que a localização é adequada para monitorar as emissões das fontes de NO no entorno da estação. A partir das 9h, as condições meteorológicas de dispersão de poluentes melhoraram e garantiram a diminuição da concentração desse poluente. O mesmo não se observa na estação Ibirapuera de acordo com a figura 31.



**Figura 31 – NO – Médias horárias nas estações Cerqueira César e Ibirapuera para os dias 21, 22 e 23/08/2003**

O segundo maior episódio ocorreu no dia primeiro de junho às 24h, atingindo a concentração de  $628\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Esse episódio pode ser associado à condição meteorológica de estagnação atmosférica observada no período noturno e madrugada, e como nesse horário não há mais emissões significativas na cidade, é possível verificar um nível semelhante de concentração do poluente na estação Ibirapuera (figura 32).

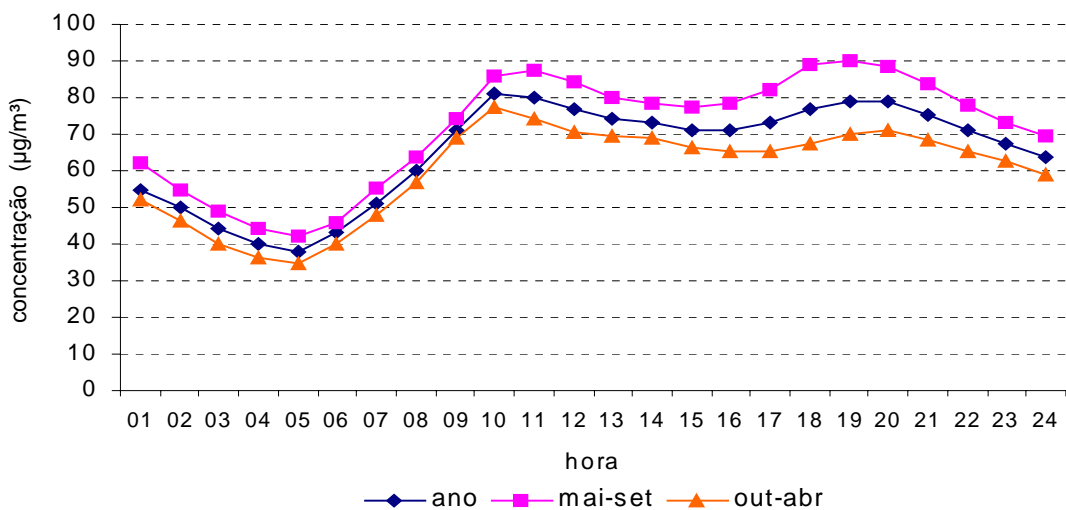


**Figura 32 – NO – Médias horárias nas estações Cerqueira César e Ibirapuera para os dias 01 e 02/07/2003**

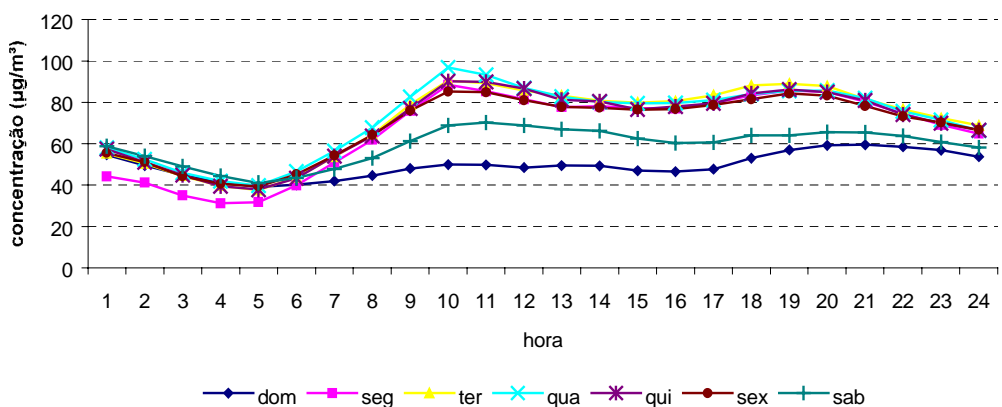
### Dióxido de Nitrogênio - $\text{NO}_2$

Para o  $\text{NO}_2$  podemos observar na figura 33 que as concentrações médias horárias no período de 1998 a 2003 apresentam dois picos de elevação, sendo um pela manhã às 10:00h e outro no início da noite às 19:00h. A figura 34 demonstra que os dias da semana de menor concentração são sábado e domingo, estendendo-se até a madrugada da segunda-feira quando, com o aumento do tráfego de veículos, este poluente volta rapidamente aos níveis dos dias úteis da semana.

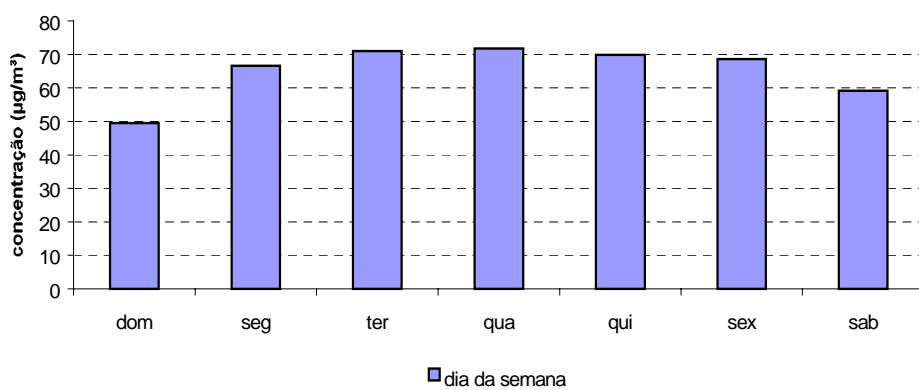
Este comportamento também é observado na figura 35, onde fica claro que as concentrações são bastante semelhantes entre segundas e sextas-feiras.



**Figura 33 - NO<sub>2</sub> - Médias horárias por época do ano no período de 1998 a 2003**



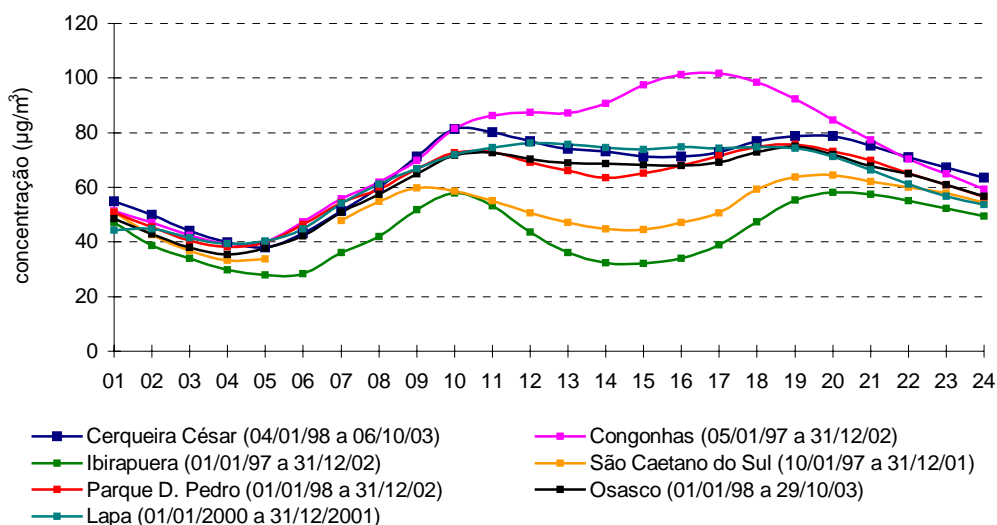
**Figura 34 - NO<sub>2</sub> - Médias horárias por dia da semana no período de 1998 a 2003**



**Figura 35 - NO<sub>2</sub> – Médias por dia da semana no período de 1998 a 2003**

**Comparação com outras estações da Rede**

Na figura 36, são apresentados os perfis de concentração média de NO<sub>2</sub> por hora do dia em várias estações da rede

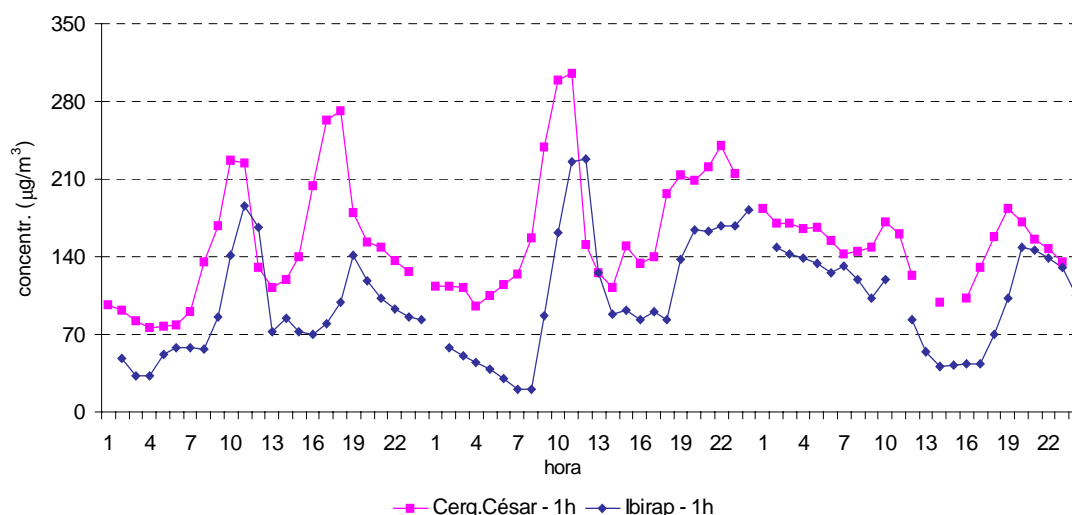


**Figura 36 - NO<sub>2</sub> – Comparação do perfil de NO<sub>2</sub> ao longo do dia em várias estações**

A estação Congonhas apresenta um perfil de concentração diferente das demais estações da rede automática para o NO<sub>2</sub>. A estação Parque D. Pedro II, representativa de microescala, apresenta um perfil de concentração horária para este poluente bastante parecido com o perfil observado na estação Cerqueira César.

### Episódios de maior concentração

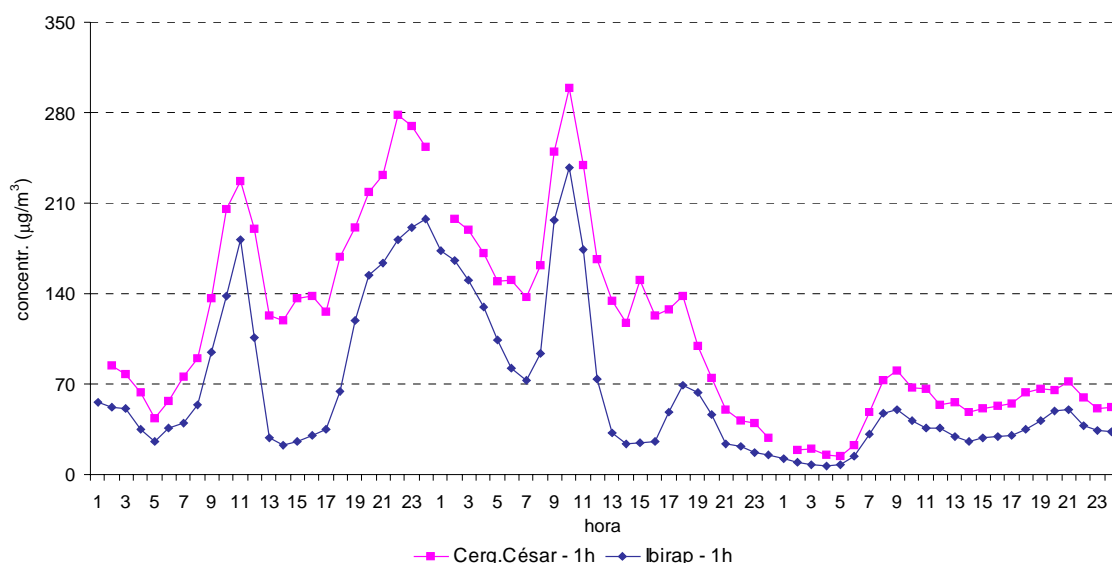
Assim como o NO (máxima às 8h), o maior episódio de NO<sub>2</sub> de 2003 ocorreu no dia 22 de agosto (figura 37), mas para esse poluente o maior valor ocorreu às 12h, concordando com o esperado em termos de ciclo fotoquímico.



**Figura 37 – NO<sub>2</sub> – Médias horárias nas estações Cerqueira César e Ibirapuera para os dias 21, 22 e 23/08/2003**

Na figura 38 observamos que o segundo maior episódio de NO<sub>2</sub> em 2003 ocorreu no dia 24 de setembro às 10h, em condição de ventos fracos e calmaria. A partir

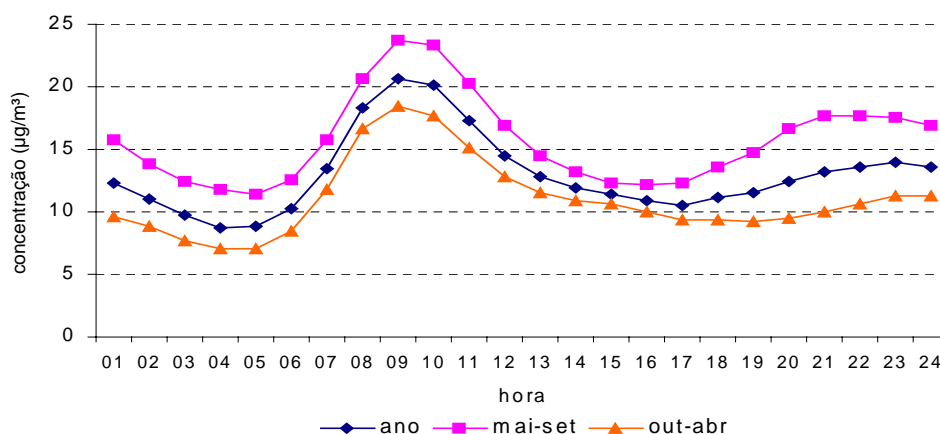
do começo do período noturno do dia 24 e no dia 25 as condições meteorológicas de dispersão mudaram e a concentração desse poluente diminuiu.



**Figura 38 – NO<sub>2</sub> – Médias horárias nas estações Cerqueira César e Ibirapuera para os dias 23, 24 e 25/09/2003**

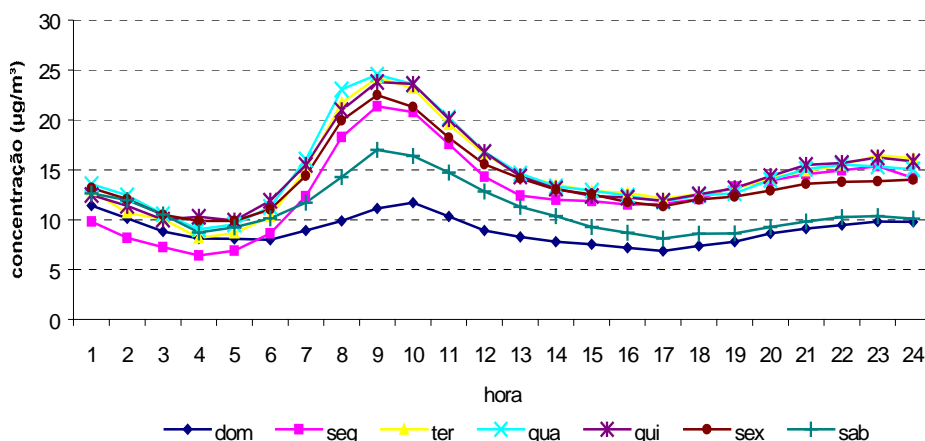
### Dióxido de Enxofre - SO<sub>2</sub>

Os perfis das médias de SO<sub>2</sub> por períodos do ano e ao longo do dia, com dados obtidos no período de 1998 a 2003, são apresentados nas figuras seguintes, onde podemos observar que as maiores concentrações por época do ano ocorrem entre maio e setembro (período de inverno) durante a manhã, com máximo às 9h (figura 39), que as maiores concentrações da semana ocorrem na quarta-feira entre 8 e 9h e as menores concentrações ocorrem na segunda-feira entre 4 e 5h (figura 40), que o dia da semana com menor concentração de SO<sub>2</sub> é o domingo (figura 41).

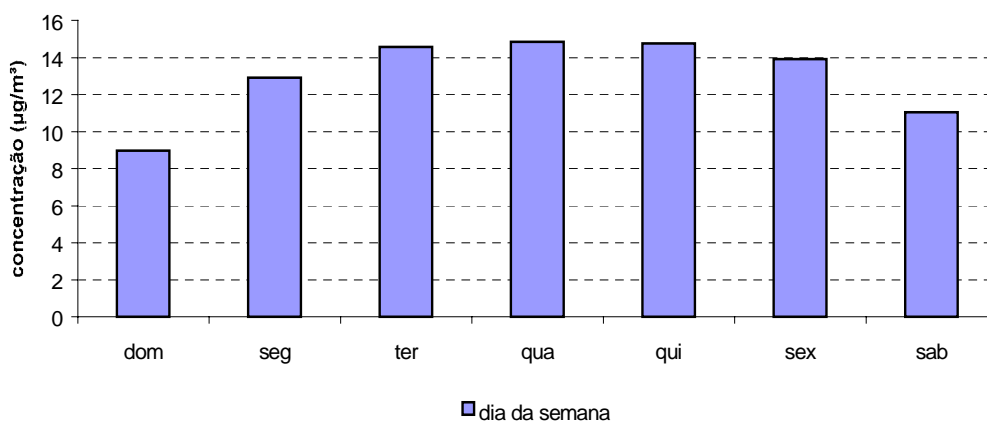


**Figura 39 – SO<sub>2</sub> – Médias horárias por época do ano no período de 1998 a 2003**





**Figura 40 - SO<sub>2</sub> - Médias horárias por dia da semana no período de 1998 a 2003**



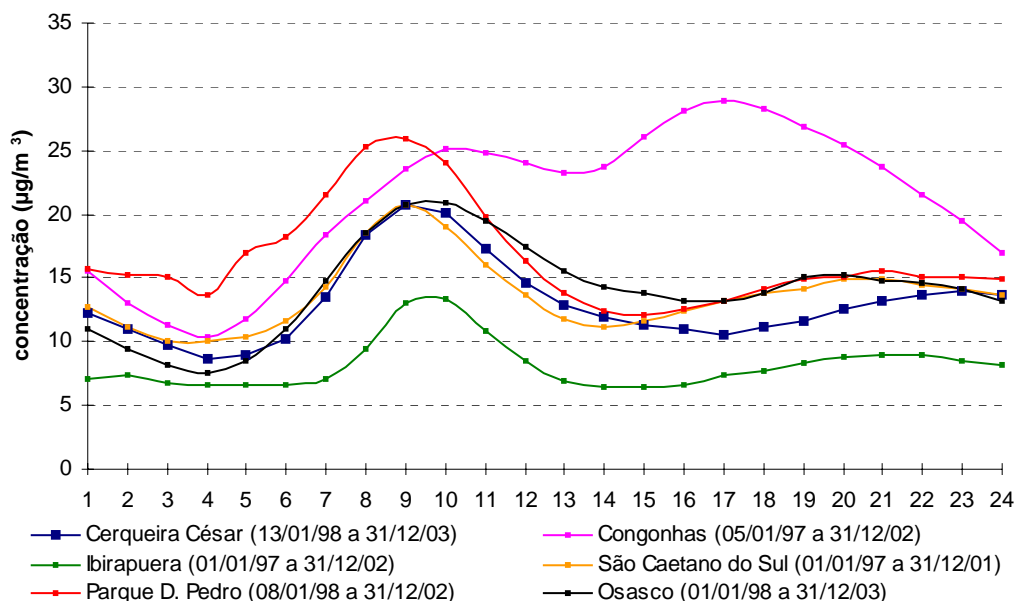
**Figura 41 - SO<sub>2</sub> – Médias por dia da semana no período de 1998 a 2003**

### Concentração x Emissão

Da mesma forma que para o CO, os perfis de concentração não acompanharam os perfis das estimativas de emissão nos dias em que foram feitas as contagens de veículos leves e pesados, possivelmente por imprecisão na estimativa, que foi prejudicada por se tratar de uma região com tráfego próximo do limite de saturação.

### Comparação com outras estações da Rede

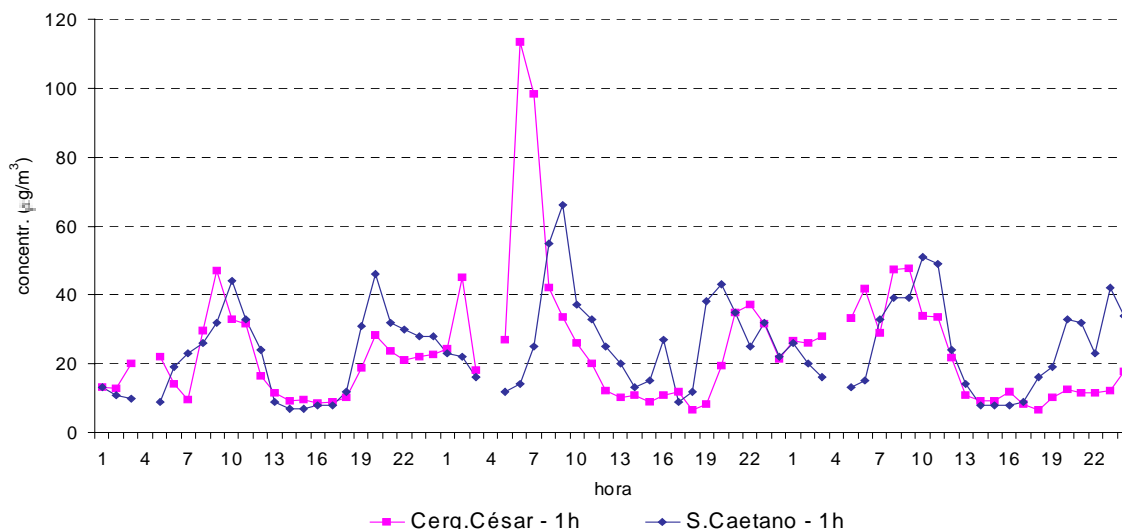
A comparação do perfil de SO<sub>2</sub> na estação Cerqueira César com outras estações da rede (figura 42) mostra perfis semelhantes, com o pico da tarde mais atenuado em relação ao da manhã, com exceção da estação Congonhas, que apresenta um perfil diferenciado para todos os poluentes analisados.



**Figura 42 - SO<sub>2</sub> – Perfil de concentração de SO<sub>2</sub> ao longo do dia**

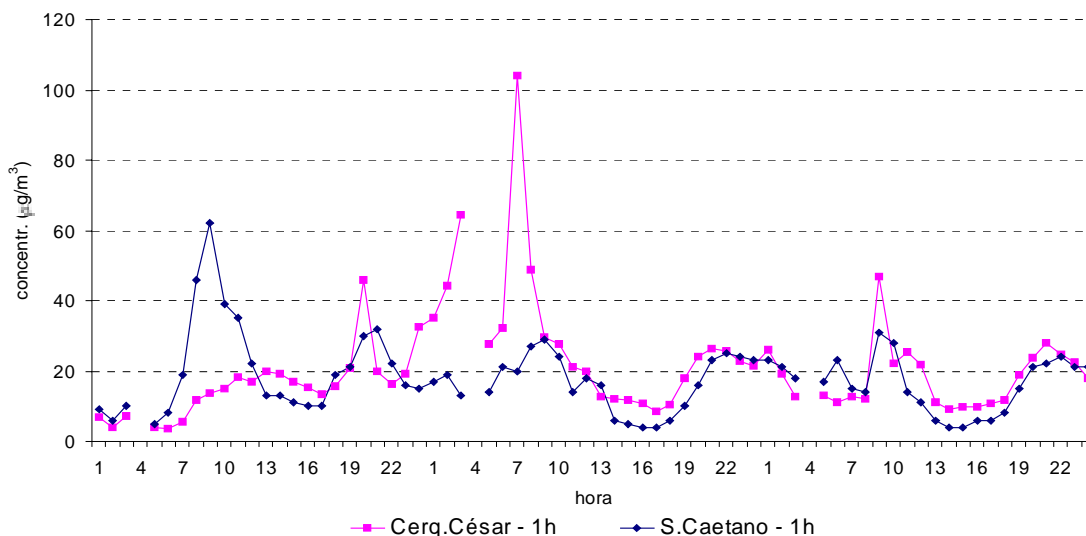
### Episódios de maior concentração

O maior episódio de SO<sub>2</sub> registrado em 2003 ocorreu em 24 de julho às 6h em condições de calmaria em grande parte das estações automáticas da CETESB que medem vento em São Paulo, ou seja, com ventos de baixíssima velocidade que dificultam a dispersão dos poluentes. É possível observar na figura 43 que o nível de concentração de SO<sub>2</sub> no momento do episódio, 113µg/m<sup>3</sup>, está bem abaixo do padrão diário de qualidade que é 365µg/m<sup>3</sup>.



**Figura 43 – SO<sub>2</sub> – Médias horárias nas estações Cerqueira César e São Caetano para os dias 23, 24 e 25/07/2003**

Assim como a primeira, a segunda maior máxima também ocorreu em condições de ventos fracos. O pico de concentração ocorreu no dia 19 de julho às 7h com uma média horária de 104µg/m<sup>3</sup> (figura 44).

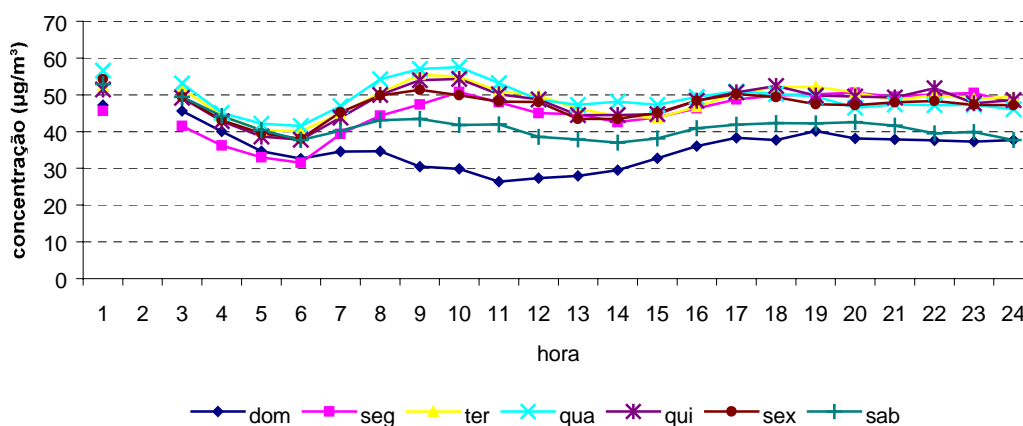


**Figura 44 – SO<sub>2</sub> – Médias horárias nas estações Cerqueira César e São Caetano para os dias 18, 19 e 20/07/2003**

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

A figura 45 ilustra a distribuição das concentrações médias ao longo do dia para o período de 1998 a 2003, considerando os diferentes dias da semana.

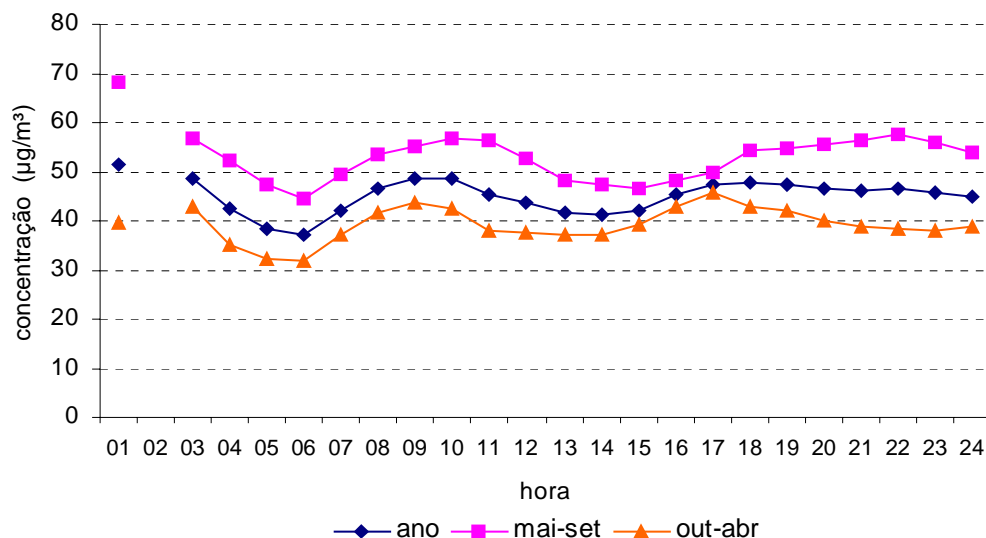
Nessa figura, observa-se que as mais altas concentrações ocorrem no período da manhã seguidas de um leve decréscimo, e que, ao longo do dia, mantêm-se elevadas voltando a subir discretamente por volta das 16h. Nos finais de semana observam-se as mais baixas concentrações, e, no horário das 2h, há ausência de dados devido a troca de posição da fita no equipamento.



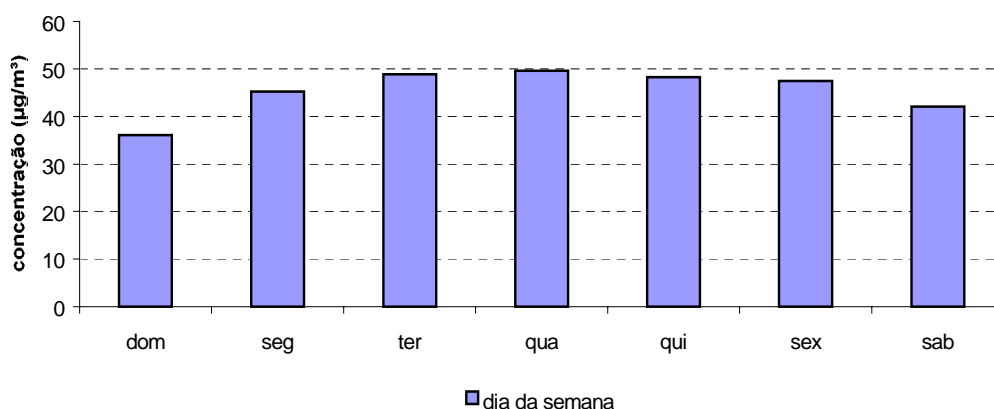
**Figura 45 - MP<sub>10</sub> - Médias horárias por dia da semana no período de 1998 a 2003**

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

Nessa figura, observa-se que as concentrações apresentam um discreto aumento pela manhã a partir das 7:00h e a tarde a partir das 18:00h, e que o período do inverno é em média bem mais alto do que o período de verão.



**Figura 46 - MP<sub>10</sub> - Médias horárias por época do ano no período de 1998 a 2003**



**Figura 47 - MP<sub>10</sub> - Médias por dia da semana no período de 1998 a 2003**

Observa-se na figura 47, uma variação muito pequena entre os dias da semana e maior variação no domingo.

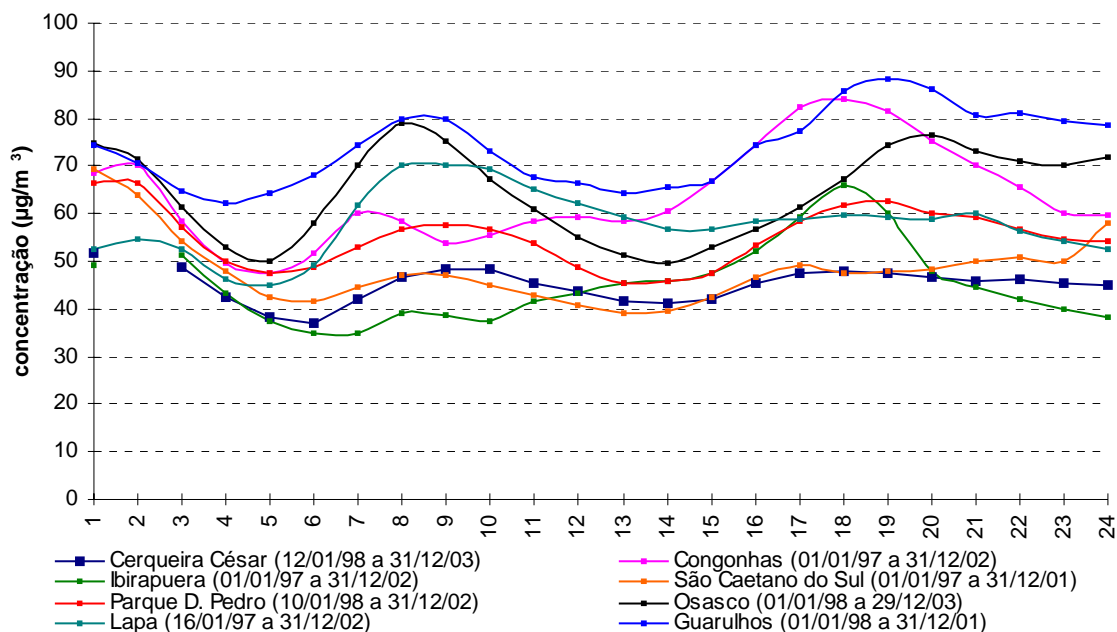
### Concentração x Emissão

Os perfis de concentração não coincidiram com os perfis de estimativa de emissão em 27/11/2003 e em 11/03/2004, quando foram feitas as contagens de veículos leves e pesados nas vias mais próximas. Desta forma, não foi possível obter indicação da escala de representatividade a partir destas medições

Para tanto, utilizaram-se outros recursos, tais como, comparação dos níveis de concentração e dos perfis médios ao longo do dia em várias estações, bem como informações a respeito da localização da estação em relação às fontes de emissão inventariadas.

### Comparação com outras estações da Rede

A comparação do perfil horário de MP<sub>10</sub> de várias estações da rede (figura 48) mostra similaridade entre os perfis das estações Cerqueira César, Parque D. Pedro II e Osasco, porém com níveis de concentração diferentes.



**Figura 48 - MP<sub>10</sub> – Perfil de concentração ao longo do dia**

Na estação São Caetano, as concentrações médias mais elevadas foram registradas no final da noite e na madrugada, período em que as condições meteorológicas são mais desfavoráveis à dispersão, fator este que se mostrou mais relevante do que o efeito do tráfego nesta estação, já que os picos associados às emissões veiculares não atingiram concentrações médias tão elevadas quanto as médias detectadas no período noturno.

As estações Congonhas e Lapa foram diferentes das outras estações no que diz respeito aos perfis de concentração média horária de MP<sub>10</sub>, assim como observado para os outros poluentes analisados nestas duas estações.

### Modelo Receptor

O estudo empregando a técnica de modelo receptor realizado neste local teve por objetivo identificar as fontes de emissão de material particulado inalável que mais contribuem para a degradação da qualidade do ar por esse poluente na região de Cerqueira César. Para tanto, foram coletadas nesse local amostras das frações fina (até 2,5 µm) e grossa (de 2,5 µm a 10 µm) do material particulado inalável no período de julho a outubro de 1993 e de agosto de 1996 a abril 1997. Além de identificar as fontes, o estudo procurou quantificar a participação das várias categorias de fontes.

O impacto das fontes foi estimado a partir do modelo de balanço químico de massas. Esse modelo consiste de um conjunto de equações lineares que expressam as concentrações ambientais das espécies químicas como a soma dos produtos de contribuição das fontes e composição das fontes. As contribuições das fontes não são conhecidas e são estimadas ajustando-se os perfis das fontes selecionadas aos perfis das amostras ambientais por análise de regressão de mínimos quadrados.

Como resultado, obteve-se que as emissões provenientes de fontes veiculares foram preponderantes neste sítio receptor, especialmente na fração fina que, por sua vez, é a maior fração do particulado inalável. Já, o aporte de aerossóis

provenientes de poeira de rua é maior na fração grossa do que no particulado fino. Embora o vento, obviamente, desempenhe papel importante, os veículos também são importantes agentes de ressuspensão da poeira de rua

As fontes que mais se ajustaram ao modelo são descritas nas figuras 49 e 50 a seguir:

RUA: poeira de rua coletada em Cerqueira César, nas imediações da estação de amostragem

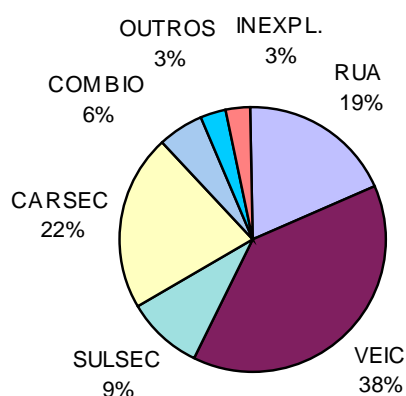
VEIC: emissão veicular

SULSEC: sulfatos secundários

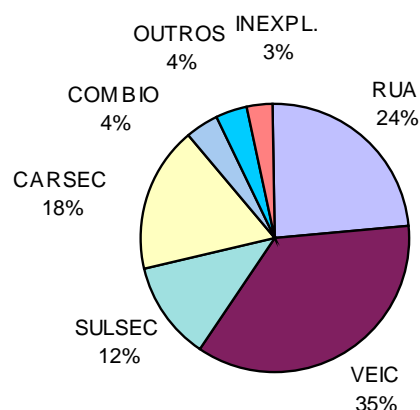
CARSEC: carbono secundário

NITSEC: nitrato secundário

COMBIO: fonte de combustão de biomassa



**Figura 49 - MP<sub>10</sub> – Contribuição percentual das fontes para o material particulado inalável coletado em Cerqueira César, em 1993**



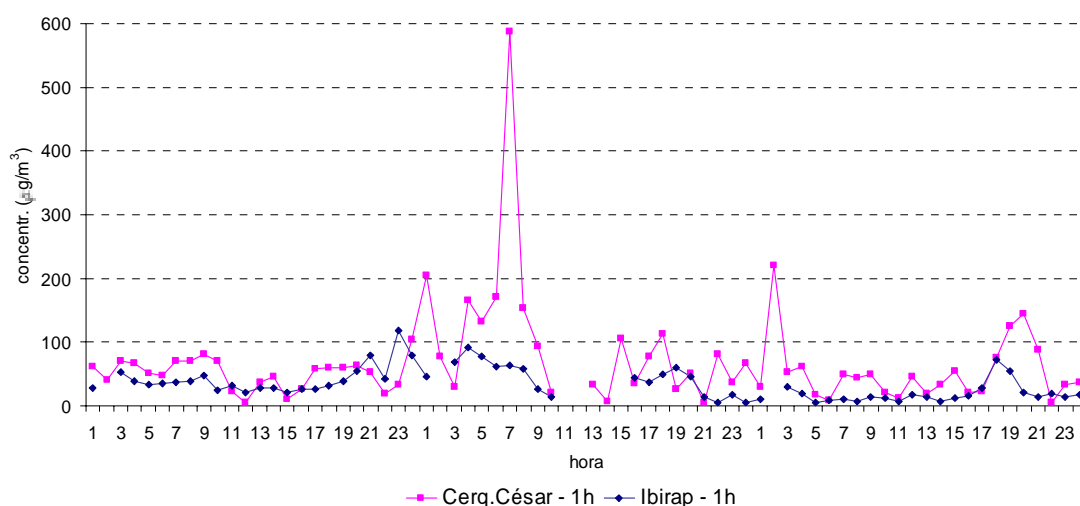
**Figura 50 - MP<sub>10</sub> – Contribuição percentual das fontes para o material particulado inalável coletado em Cerqueira César, em 1996/97**

As emissões provenientes de fontes veiculares foram preponderantes neste sítio receptor, especialmente considerando-se que o carbono secundário é formado a

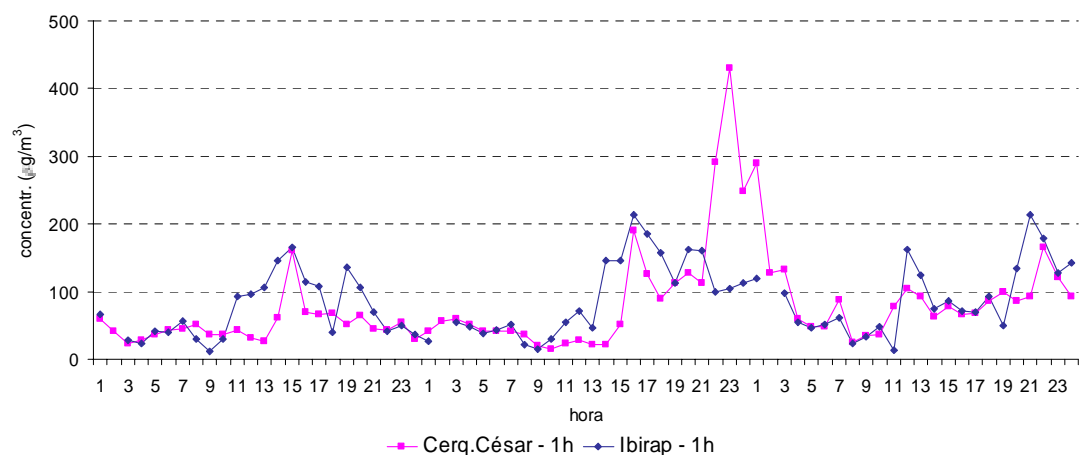
partir de emissões veiculares e que os veículos também são importantes agentes de ressuspensão da poeira de rua, embora o vento, obviamente, desempenhe papel importante.

### Episódios de alta concentração

Nas figuras 51 e 52 vemos que a comparação com as concentrações observadas no Ibirapuera não mostra correspondência entre os picos durante os episódios de alta concentração, indicando tratar-se de influência localizada.



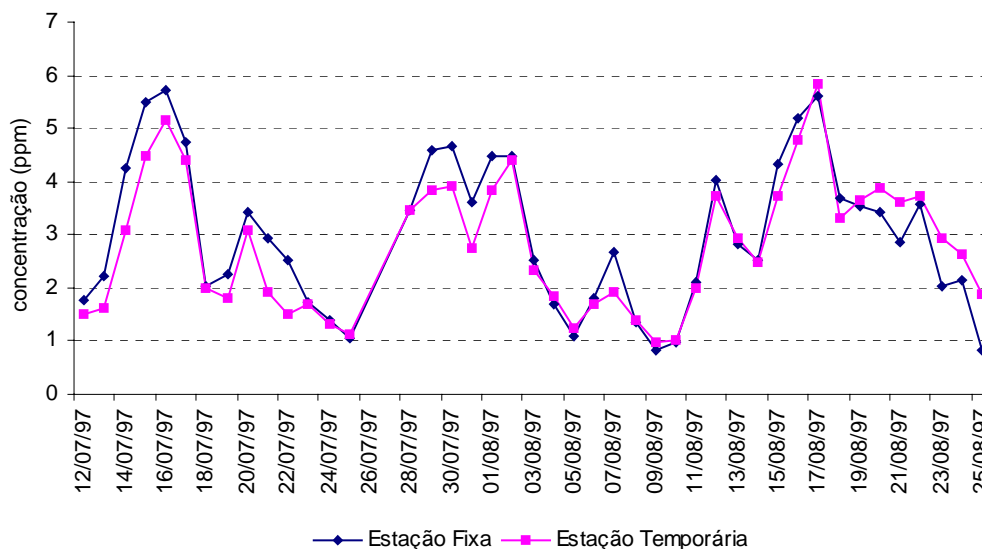
**Figura 51 – MP<sub>10</sub> – Médias horárias nas estações Cerqueira César e Ibirapuera para os dias 9, 10 e 11/01/2003**



**Figura 52 – MP<sub>10</sub> – Médias horárias nas estações Cerqueira César e Ibirapuera para os dias 4, 5 e 6/10/2003**

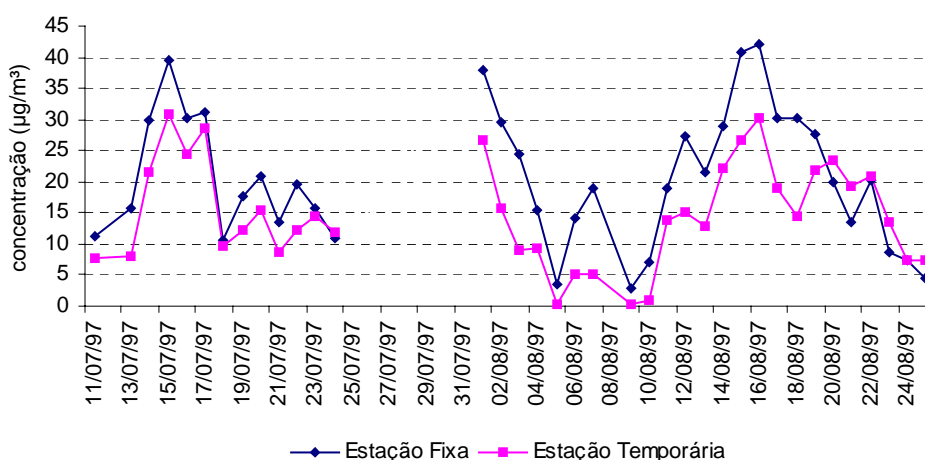
### Estudo especial comparativo de Estação Fixa e Temporária

No período de 11 de julho a 25 de agosto de 1997 foi realizado estudo especial comparativo de emissões, instalando-se temporariamente uma outra estação a cerca de 50 m da Av. Dr. Arnaldo, nas proximidades da estação automática de Cerqueira César, visando avaliar a escala de abrangência da estação. Na figura 53, observa-se que os resultados de CO se equipararam, conforme esperado para duas estações representativas de microescala, dentro do raio de 50 m.



**Figura 53 – CO – Comparativo das médias diárias de médias móveis de 8h no período de 12/julho a 25/agosto de 1997 entre Estação Fixa e Temporária**

A figura 54 apresenta o comparativo das médias diárias entre estação fixa e temporária, demonstrando que o comportamento do  $\text{SO}_2$  é bastante semelhante entre as duas, e que as concentrações observadas são maiores na estação fixa, pois esta se encontra mais próxima da via de tráfego.

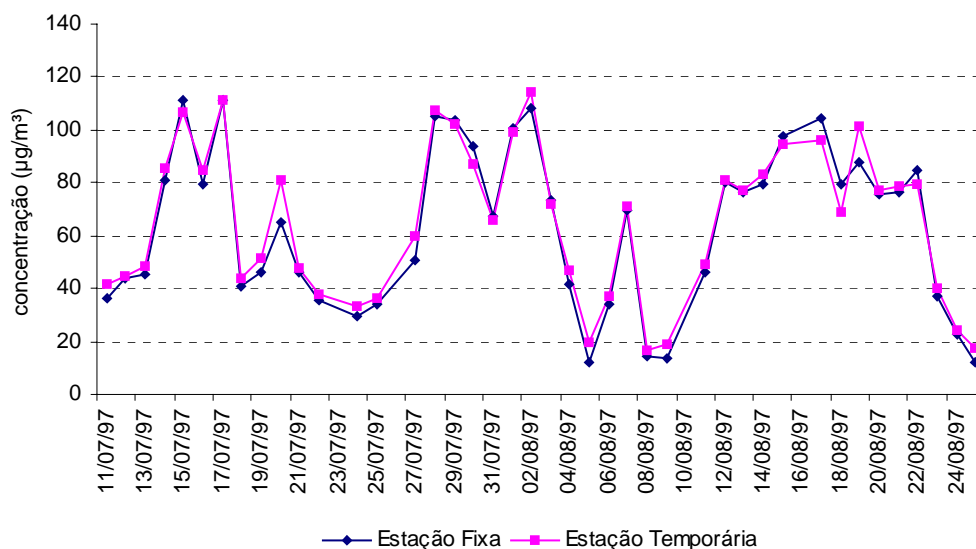


**Figura 54 –  $\text{SO}_2$  – Comparativo das médias diárias no período de 11/julho a 25/agosto de 1997 entre Estação Fixa e Temporária**

A figura a seguir apresenta o comparativo das médias diárias de concentração de  $\text{MP}_{10}$ , medidas na estação fixa da rede automática e na estação temporária durante este estudo especial.

Observamos que os perfis de concentração se sobrepõe, evidenciando que ambas as estações representavam, durante este período, a mesma escala de abrangência.





**Figura 55 – MP<sub>10</sub> – Comparativo das médias diárias de médias móveis de 24h no período de 11/julho a 25/agosto de 1997 entre Estação Fixa e Temporária**

#### 4.1.5. Conclusões

##### Qualidade do Ar

##### Escala de Representatividade

O levantamento das principais fontes emissoras de poluentes no entorno da estação Cerqueira César e a análise dos impactos a ela associados em termos de qualidade do ar na estação de monitoramento mostrou que a estação é representativa de microescala, ou seja, as concentrações observadas nesta estação são representativas de uma área muito pequena, de poucos metros no entorno da estação.

A comparação entre os perfis de concentrações médias horárias de várias estações mostra que, de maneira geral, Cerqueira César, Parque D. Pedro II e Osasco apresentam comportamentos semelhantes. Embora os níveis de concentração sejam, eventualmente, diferentes, as variações ao longo do dia seguem o mesmo padrão, indicando influência dos mesmos tipos de fontes.

A estação Ibirapuera também segue o padrão de variação de concentração ao longo do dia da estação Cerqueira César, embora com concentrações mais baixas, evidenciando ser esta estação representativa de concentrações em níveis de "background", porém influenciada pelas fontes de origem veicular, preponderantes na cidade.

##### População Exposta

A população que reside no bairro está freqüentemente exposta a concentrações equivalentes às da estação.

Por ser esta estação caracterizada como representativa de microescala, as concentrações medidas referem-se a distância até 100m no entorno. Considerando-se que as fontes de emissão preponderantes não estão restritas a

esta área, pode-se supor que a população ao longo das vias mais movimentadas está exposta aos níveis de concentração registrados na estação e, até mesmo, a concentrações eventualmente mais elevadas já que a estação está localizada em situação topograficamente privilegiada no que diz respeito à dispersão de poluentes atmosféricos.

### **Parâmetros Monitorados**

A estação Cerqueira César monitora os poluentes CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> e MP<sub>10</sub>. Considerando ser esta uma estação com característica tipicamente veicular, tanto de veículos de ciclo Otto quanto diesel e que estes veículos são emissores dos poluentes monitorados, ela apresenta uma configuração adequada para:

- 1) Avaliação da qualidade do ar em locais próximos de vias de tráfego intenso;
- 2) Avaliação do impacto ao longo do tempo resultante de alterações nas características da frota, como sua renovação ou alterações nos combustíveis;
- 3) Avaliação da eficácia de determinadas ações de controle, como por exemplo, a fiscalização de fumaça preta.

Por ser uma estação veicular, não é adequada para monitoramento de poluentes secundários, como o ozônio.

Com relação aos parâmetros meteorológicos, a estação Cerqueira César não dispõe de sensores de vento já que os anteparos existentes no entorno inviabilizam medições confiáveis deste parâmetro.

### **Recomendações**

Efetuar poda sistemática da vegetação do entorno da estação, com o objetivo de assegurar que as emissões veiculares não sofram barreiras para atingir os monitores instalados nesta estação.

## **5. Bibliografia**

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

### **Equipe de Trabalho**

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

### **Revisão**

Daniel Silveira Lopes - ETQI

### **Colaboração**

Cti-P - Agência Ambiental de Pinheiros