

DIRETORIA DE ENGENHARIA, TECNOLOGIA E QUALIDADE AMBIENTAL

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DO AR

DIVISÃO DE TECNOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR

**Caracterização das estações de  
monitoramento de fumaça no interior  
do Estado de São Paulo  
Estações do município de Sorocaba  
julho – 2004**

## ÍNDICE GERAL

1. Introdução .....	1
2. Classificação das estações de monitoramento .....	1
3. Material particulado - Fumaça .....	3
4. Caracterização do município.....	4
4.1 Aspectos gerais .....	4
4.2 Comportamento do vento .....	7
5. Caracterização das estações.....	9
5.1 Estação Sorocaba – Centro .....	9
5.2 Estação Sorocaba – Humberto de Campos .....	14
6. Microinventário de fontes.....	18
6.1 Sorocaba-Centro .....	18
6.2 Sorocaba-Humberto de Campos .....	19
7. Tendências de qualidade do ar.....	25
8. Resultados e discussão .....	30
9. Conclusões e sugestões.....	31
10. Bibliografia.....	32
11. Equipe de trabalho.....	32

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 – Localização das estações de monitoramento da qualidade do ar no município de Sorocaba. ....	6
Figura 2 - Rosa de Vento para 24 horas. ....	7
Figura 3 - Rosas de Vento por período. ....	8
Figura 4 – Rosas de Poluição de MP <sub>10</sub> por período. ....	9
Figura 5 – Mapa de localização da estação Sorocaba Centro ....	10
Figura 6 – Vista da estação Sorocaba - Centro (Norte) ....	11
Figura 7 – Vista da estação Sorocaba – Centro (Sul) ....	12
Figura 8 – Vista da estação Sorocaba – Centro (Leste).....	12
Figura 9 – Vista da estação Sorocaba – Centro (Oeste).....	13
Figura 10 – Mapa de localização da Estação Sorocaba - Humberto de Campos.....	14
Figura 11 – Vista da estação Sorocaba – Humberto de Campos (Norte).....	15
Figura 12 – Vista da estação Sorocaba – Humberto de Campos (Sul) ....	16
Figura 13 – Vista da estação Sorocaba – Humberto de Campos (Leste).....	16
Figura 14 – Vista da estação Sorocaba – Humberto de Campos (Oeste).....	17
Figura 15 - Localização da estação Sorocaba-Centro - raio de 2000m.....	16
Figura 16 – Localização da estação Sorocaba-Humberto de Campos – raio de 2000m. ....	23
Figura 17 – Evolução das concentrações médias anuais de fumaça. ....	25
Figura 18 – Concentrações máximas de fumaça na estação Sorocaba-Centro (1992 a 2001) .....	26
Figura 19 – Concentrações máximas de fumaça na estação Sorocaba-Humberto de Campos (1999 a 2003) .....	26
Figura 20 – Concentrações médias de fumaça por mês (1999 a 2001) .....	27
Figura 21 – Concentrações diárias (amostra a cada seis dias) de fumaça – 2001.....	28
Figura 22 – Médias aritméticas de fumaça distribuídos por dia da semana .....	29
Figura 23 – Correlação entre as concentrações de fumaça da estação Humberto de Campos e MP <sub>10</sub> da rede automática - 2003. ....	30

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das estações em relação ao uso do solo e população exposta. ....	2
Tabela 2 – Padrão nacional de qualidade do ar e critérios para episódios agudos de poluição do ar. ....	4
Tabela 3 – Estimativa de emissão de fontes fixas no entorno da estação Sorocaba-Centro. ....	20
Tabela 4 – Estimativa de tráfego de veículos leves e diesel no entorno da estação Sorocaba-Centro. ....	21
Tabela 5 – Fatores de emissão de veículos em uso na RMSP em 2003. ....	21
Tabela 6 - Estimativa de emissão de fontes móveis no entorno da estação Sorocaba - Centro. ....	22
Tabela 7 – Estimativa de tráfego de veículos leves e diesel no entorno da estação Sorocaba-Humberto de Campos. ....	24
Tabela 8 - Estimativa de emissão de fontes móveis no entorno da estação Sorocaba -Humberto de Campos. ....	24

## SUMÁRIO

A rede manual de monitoramento da qualidade do ar avalia as concentrações de fumaça em 17 municípios do Estado de São Paulo.

Considerando o crescimento econômico ocorrido no Estado ao longo dos anos, que pode ter ocasionado alterações no uso do solo, mudanças de via de tráfego nos municípios e, conseqüentemente, no entorno das estações, faz-se necessária uma reavaliação das mesmas.

O objetivo deste estudo é caracterizar e reavaliar o entorno das estações medidoras de fumaça instaladas no interior, para posteriormente, redimensionar esta rede visando a otimização do monitoramento. Este relatório apresenta os aspectos relacionados às estações do município de Sorocaba (Centro e Humberto de Campos).

A estação Centro, de acordo com a classificação em relação ao uso do solo e população exposta pode ser classificada como “comercial”, por localizar-se na região central da cidade onde há grande movimentação de pedestres e tráfego de veículos leves e pesados. Quanto à escala espacial de representatividade, o levantamento das principais fontes emissoras no entorno da estação, tanto fixas quanto veiculares, que estão localizadas num raio de 500 metros em torno da estação, indicou que ela é classificada como “média escala”.

A estação Humberto de Campos, pode ser classificada como “residencial” e em relação à escala espacial de representatividade, pode ser considerada como “escala urbana”, uma vez que a estação recebe a contribuição de poluentes oriundos de toda região urbana.

## 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 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 ( $\text{SO}_2$ ) e fumaça na RMSP (desde 1973) e interior (desde 1986). Os níveis de fumaça continuam sendo medidos pelo mesmo método até os dias de hoje, enquanto que o de medição de  $\text{SO}_2$  foi substituído pelo método de amostrador passivo. Uma segunda rede mede partículas totais em suspensão (PTS) desde 1983 na RMSP e Cubatão.

A rede manual de monitoramento da qualidade do ar avalia as concentrações de fumaça em 17 municípios do Estado de São Paulo, a saber: São José dos Campos, Taubaté, Ribeirão Preto, Americana, Campinas, Jundiaí, Limeira, Paulínia, Piracicaba, Franca, Itu, Sorocaba, Salto, Votorantim, Araraquara, São Carlos, Santos.

Considerando o crescimento econômico ocorrido no Estado ao longo dos anos, que pode ter ocasionado alterações no uso do solo, mudanças de via de tráfego nos municípios e, conseqüentemente, no entorno das estações, faz-se necessária uma reavaliação das mesmas.

O objetivo deste estudo é caracterizar e reavaliar o entorno das estações medidoras de fumaça instaladas no interior, para posteriormente, redimensionar esta rede visando a otimização do monitoramento.

Embora o trabalho seja de avaliação da rede manual de monitoramento do Estado de São Paulo, este relatório apresenta os aspectos relacionados somente às estações do município de Sorocaba. Posteriormente, as informações aqui apresentadas serão incorporadas a um relatório geral contendo a análise das estações e da rede como um todo.

## 2. CLASSIFICAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO

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 relação:

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

Existem várias classificações utilizadas em diversas estações de monitoramento no mundo inteiro, mas todas elas fornecem informações similares. Utilizou-se neste trabalho uma classificação adaptada, principalmente, das classificações da USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos EUA), e da OMS (Organização Mundial da Saúde).

A classificação baseada no uso do solo e população exposta está apresentada na tabela 1.

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

**TABELA 1 – CLASSIFICAÇÃO DAS ESTAÇÕES EM RELAÇÃO AO 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, localizadas não próximas 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).

A área de abrangência, ou seja, a escala espacial de representatividade da estação caracteriza seu entorno, onde os valores medidos podem ser considerados semelhantes. A escala de representatividade de uma estação é baseada nos objetivos de monitoramento da rede e de cada estação individualmente. As escalas espaciais de maior interesse, conforme o objetivo a que se destinam, são:

- **Microescala** – concentrações abrangendo áreas de dimensão de poucos metros até 100 metros;
- **Média-escala** – concentrações para 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 cidade ou regiões metropolitanas, da ordem de 4 a 50km;
- **Escala regional** – concentrações geralmente de uma área rural, de geografia razoavelmente uniforme e de dimensões de dezenas a centenas de quilômetros;

No caso das estações de monitoramento de fumaça, preferencialmente, devem estar localizadas em áreas centrais da cidade, com movimentação representativa de pedestres e sujeita à influência de tráfego de veículos no seu entorno. É importante ressaltar, que o monitoramento de fumaça não deve ser realizado em vias de tráfego intenso, uma vez que os resultados podem ser superestimados.

De acordo com a classificação das estações em relação ao uso do solo e população exposta e à escala de representatividade, as estações que monitoram fumaça devem ser, preferencialmente, comercial e média-escala ou escala de bairro.

### 3. MATERIAL PARTICULADO - FUMAÇA

As características do material particulado em suspensão na atmosfera variam muito em função de sua composição química e física, das fontes de emissão e do tamanho de partícula.

O parâmetro fumaça é utilizado para avaliar o material particulado suspenso na atmosfera proveniente de processos de combustão, como queima de combustíveis em fontes estacionárias, exaustão de veículos automotores, sobretudo a diesel, queimas ao ar livre, etc. Esta determinação está baseada na medida de refletância de poeira, o que confere a este parâmetro a característica de estar diretamente relacionada ao teor de fuligem na atmosfera.

Os efeitos adversos do material particulado na atmosfera, além de criarem problemas de visibilidade e incômodo, estão associados aos problemas de saúde, incluindo riscos maiores de doenças cardíacas e pulmonares.

Os padrões de qualidade do ar estão definidos na Resolução CONAMA N° 03, DE 28/06/1990. Cada padrão define legalmente um limite máximo para a concentração de cada poluente atmosférico, de modo que seja garantida a proteção da saúde e do bem-estar da população. A tabela 2 apresenta o

padrão nacional de qualidade do ar para fumaça, bem como os critérios estabelecidos para episódios agudos de poluição do ar.

O padrão primário representa a concentração que se ultrapassada pode afetar a saúde da população. Pode ser entendido como nível máximo tolerável de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazos. Já o padrão secundário de qualidade do ar representa a concentração abaixo da qual se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como danos à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Pode ser entendido como nível desejado de concentração de poluentes constituindo-se meta a longo prazo. O objetivo do estabelecimento de padrões secundários é criar uma base para uma política de prevenção da degradação da qualidade do ar.

**TABELA 2 – PADRÃO NACIONAL DE QUALIDADE DO AR E CRITÉRIOS PARA EPISÓDIOS AGUDOS DE POLUIÇÃO DO AR.**

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão Primário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Padrão Secundário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Atenção ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Alerta ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Emergência ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Fumaça	24 horas <sup>1</sup> MMA <sup>2</sup>	150 60	100 40	250	420	500

1 - Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano

2 - Média aritmética anual

## 4. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO

### 4.1 Aspectos gerais

O município de Sorocaba, com uma área de 443km<sup>2</sup>, localiza-se a 90 quilômetros a oeste da capital do Estado de São Paulo com uma população em torno de 500 mil habitantes, segundo o último censo.

Seu relevo pode ser caracterizado como levemente ondulado a ondulado com altitude média de 600 metros, sendo que seu ponto mais alto chega a 1.028 metros. Com relação ao clima, a cidade apresenta uma temperatura média das máximas em torno de 30°C no verão e média das mínimas de 12°C no inverno. A precipitação média anual é de 1.350mm das quais cerca de 80% ocorre no período de outubro a março. Os ventos predominantes são do quadrante este a sul. Saliente-se que, assim como em outras regiões do Estado a umidade relativa do ar, no período seco, chega a atingir valores de 15%, principalmente no mês de setembro.

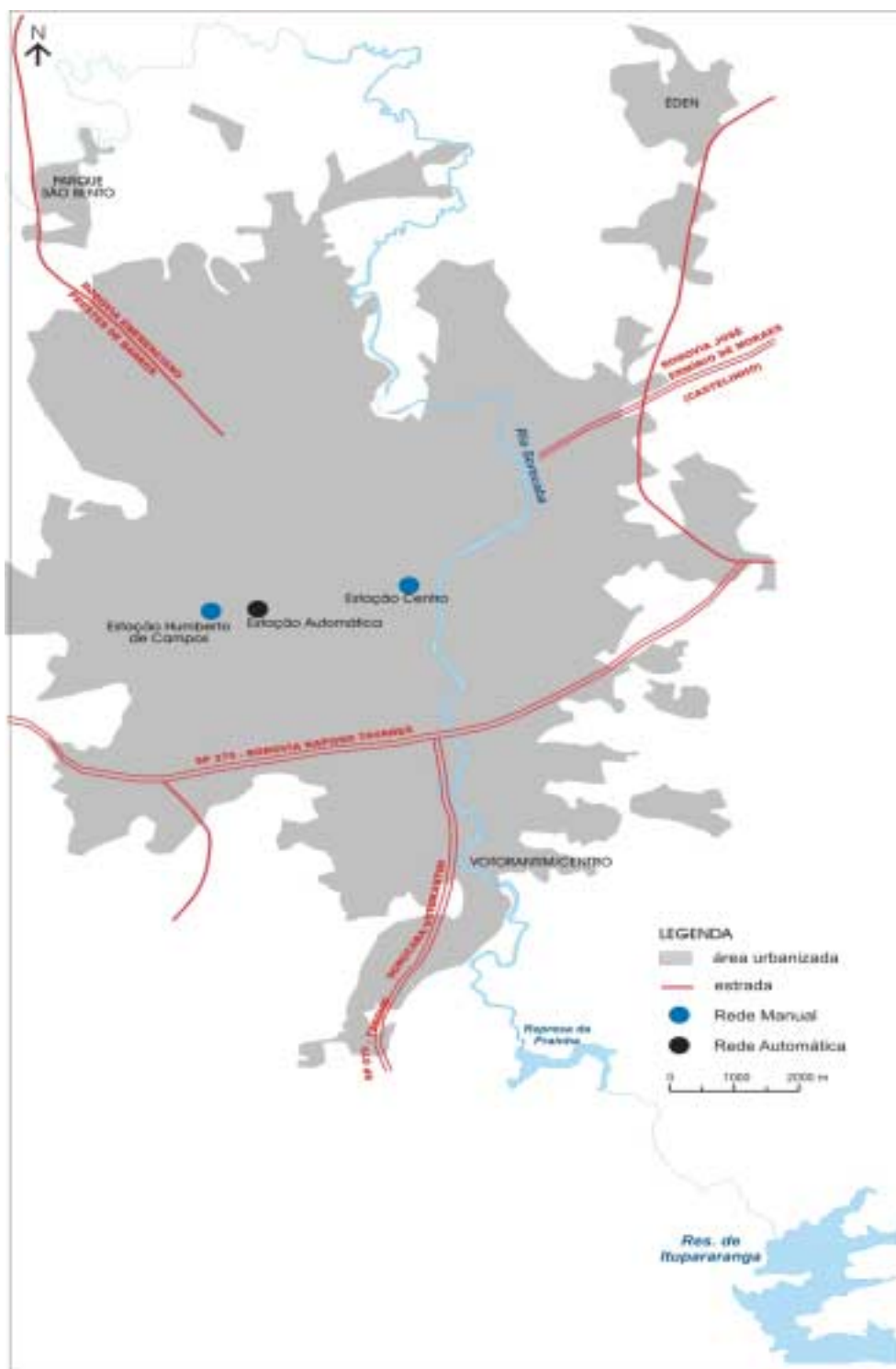


## COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

Sorocaba conta, atualmente, com cerca de 1.400 estabelecimentos industriais, dos quais 150 são de médio a grande porte. Possui ainda, uma frota de, aproximadamente, 160.000 veículos leves, 13.000 veículos pesados e 30.000 motocicletas.

Segundo informações da Agência Ambiental de Sorocaba, a região também é bastante afetada pelas queimadas urbanas, provenientes da prática de atear fogo em terrenos baldios, de praças não urbanizadas e nos resíduos vegetais resultantes da poda de árvores e capina.

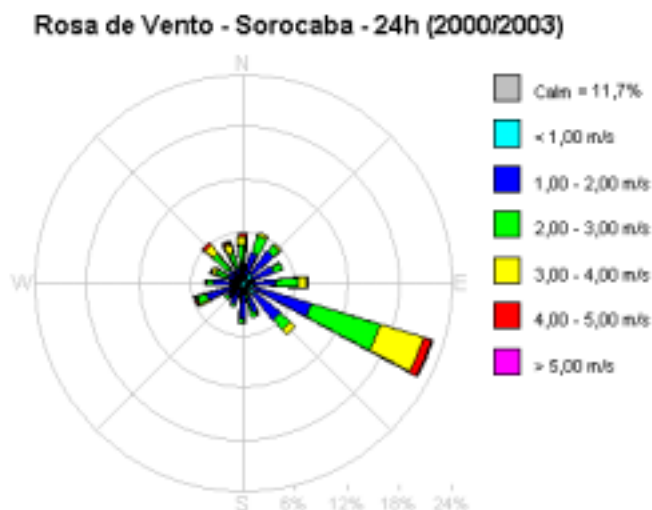
A CETESB mantém na cidade de Sorocaba duas estações de monitoramento de dióxido de enxofre e fumaça (Rede Manual), sendo que as amostragens de fumaça são realizadas por um período de 24 horas a cada seis dias e o  $\text{SO}_2$  por um período contínuo de 30 dias. Além dessas estações, o município possui uma estação automática de monitoramento da qualidade do ar (Rede Automática), operando desde 2000, com os seguintes parâmetros: partículas inaláveis ( $\text{MP}_{10}$ ), dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), ozônio ( $\text{O}_3$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{NO}_2$ ) e parâmetros meteorológicos (direção e velocidade de vento, temperatura e umidade relativa). Na figura 1 observa-se a localização dessas estações.



**Figura 1 – Localização das estações de monitoramento da qualidade do ar no município de Sorocaba.**

## 4.2 Comportamento do Vento

Para entender o comportamento dos poluentes na atmosfera em uma dada região, é necessário um conhecimento das condições meteorológicas locais, e um dos parâmetros que deve ser observado é o vento. Uma forma de análise deste parâmetro é através de rosa de vento, onde se pode observar direções predominantes e velocidades médias para um grande período de tempo. Assim, foram elaboradas as rosas de vento para o período de 2000 a 2003, utilizando-se os dados horários de direção e velocidade do vento medidos na estação automática de monitoramento da qualidade do ar de Sorocaba. A seguir, na figura 2, é apresentada a rosa de vento para Sorocaba, durante as 24 horas, onde o vento predominante observado foi de direção ESE. Essa estação possui uma boa ventilação, apresentando 11,7% de calmaria (velocidade do vento horário menor do que 0,44m/s) em todo o período. Como a estação automática está localizada num ponto alto da cidade, o comportamento do vento nesta estação pode ser considerado representativo para o município de Sorocaba.



**Figura 2 - Rosa de Vento para 24 horas.**

Apesar da predominância do vento de direção ESE, há variações da direção do vento durante os períodos do dia. Na figura 3 são apresentadas as rosas de vento para Sorocaba, para os seguintes períodos: 1-6h, 7-12h, 13-18h e 19-24h. Observa-se que durante a noite e madrugada há predominância do vento de direção ESE, porém no período da manhã há contribuições também de direções no quadrante N-E, com intensidade do vento de fraco a moderado (1-3m/s) e à tarde há grande contribuição do quadrante N-W, com maior intensidade na velocidade do vento, de moderado a forte (>3m/s).

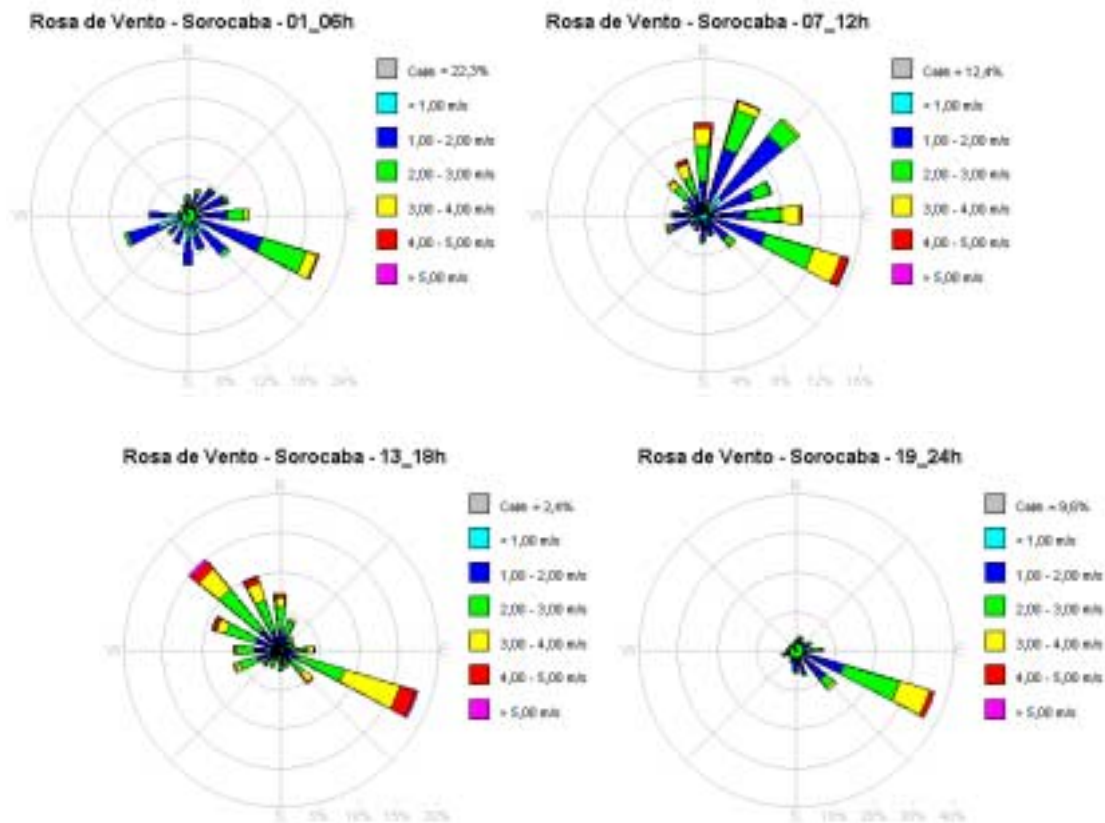


Figura 3 - Rosas de Vento por período.

A seguir, na figura 4, estão apresentadas as rosas de poluição, por período de 6 horas, que mostram a contribuição do vento para a concentração de partículas inaláveis. As rosas de poluição foram elaboradas utilizando-se dados de concentração de  $MP_{10}$  e direção do vento agrupados hora a hora, para os anos de 2000 a 2003. Relacionando-se as direções de vento com a concentração, pode-se obter as direções que mais contribuem para a concentração deste poluente, sendo que, nesta estação, observou-se contribuições de todos os quadrantes, conforme o período, mas com o predomínio da direção ESE. Ressalta-se também as contribuições maiores oriundas do quadrante N-E pela manhã, com valores acima de  $50\mu g/m^3$  e  $100\mu g/m^3$ .

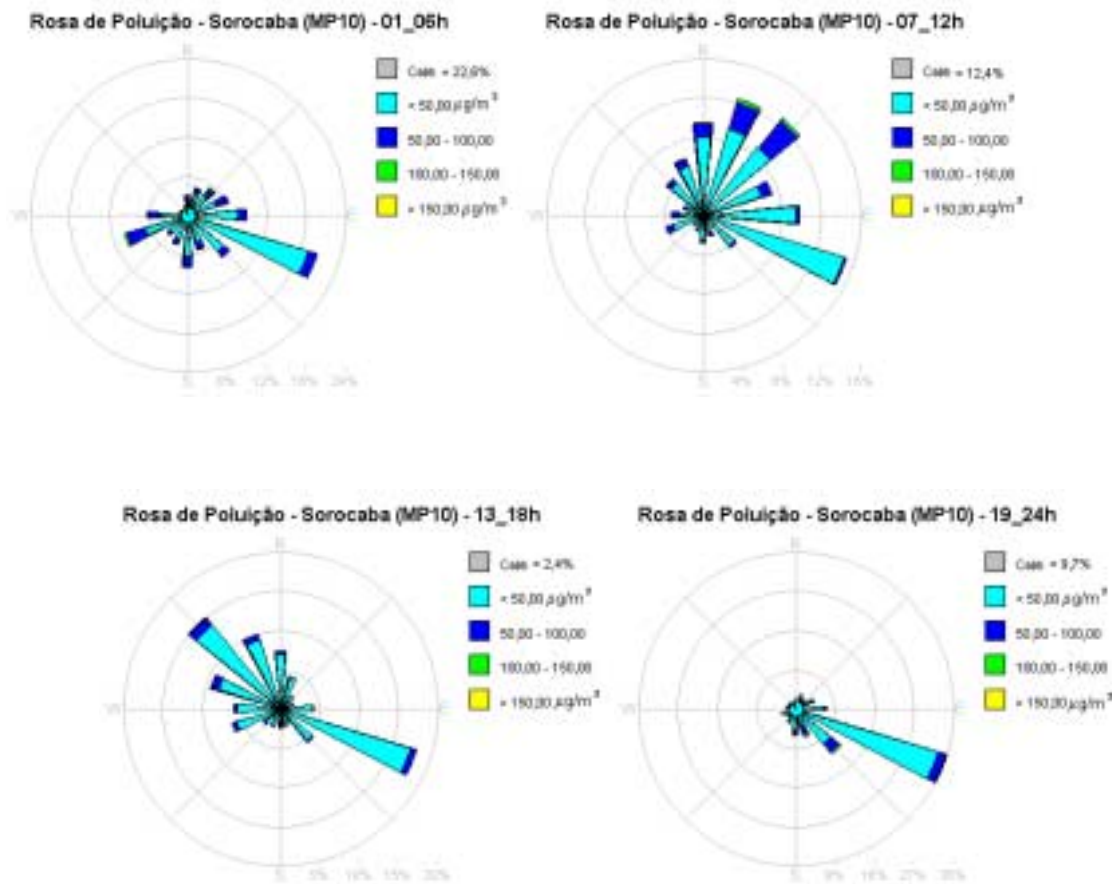


Figura 4 – Rosas de Poluição de MP<sub>10</sub> por período.

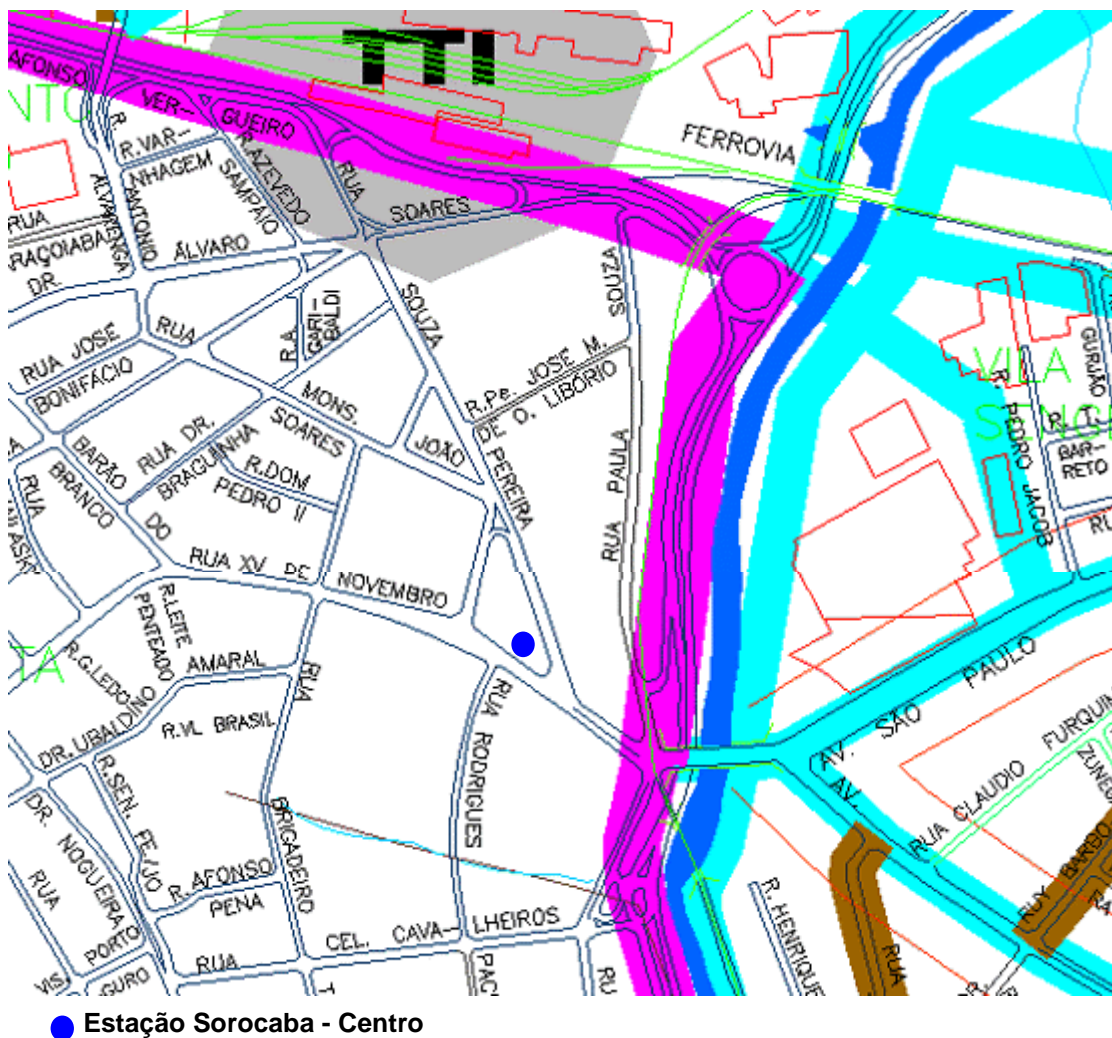
## 5. CARACTERIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES

### 5.1 Estação Sorocaba – Centro

UTM: 23K 0249656 – 7398684    Altitude: 593 m

A estação Sorocaba-Centro está localizada numa região comercial, na Praça Dr. Artur Fajardo (antiga Praça do Canhão), na esquina das ruas Souza Pereira e XV de Novembro, no centro da cidade. Como esta praça esteve em reforma, não houve monitoramento no período de out/2002 a fev/2004. O abrigo foi transferido para outro local na mesma praça, para atender à solicitação da Prefeitura, sem prejuízo à série histórica já obtida.

A figura 5 apresenta o mapa com as ruas do entorno da estação.



**Figura 5 – Mapa de localização da estação Sorocaba Centro**

Fonte: Sorocaba On-line S/C Ltda. - ([www.sorocaba.com.br](http://www.sorocaba.com.br))

As figuras 6 a 9 apresentam fotografias no entorno da estação nas direções norte, sul, leste e oeste.

Na direção norte, apresentado na figura 6, encontram-se as árvores que são os obstáculos mais próximos que situam-se a, aproximadamente, 10 metros. Na face sul da estação (figura 7), observa-se a esquina das ruas XV de Novembro com Souza Pereira. A estação localiza-se a 22 metros da Rua XV de Novembro.

Na figura 8, vista da face leste, pode-se observar a Rua Souza Pereira, via de tráfego mais próxima da estação, a 17 metros. A leste da estação encontra-se também a Avenida Dom Aquirre (marginal do

Rio Sorocaba), via de tráfego intenso que liga a Rodovia Senador José Ermírio de Moraes (Castelinho) às cidades como Piedade e Votorantim.

Na face oeste (figura 9), observa-se a Rua XV de Novembro, via de tráfego mais intenso, com circulação de veículos a diesel somente até a Rua Rodrigues Pacheco, que é o curso normal dos ônibus urbanos.



**Figura 6 – Vista norte da estação Sorocaba - Centro**



**Figura 7 – Vista sul da estação Sorocaba – Centro**



**Figura 8 – Vista leste da estação Sorocaba – Centro**



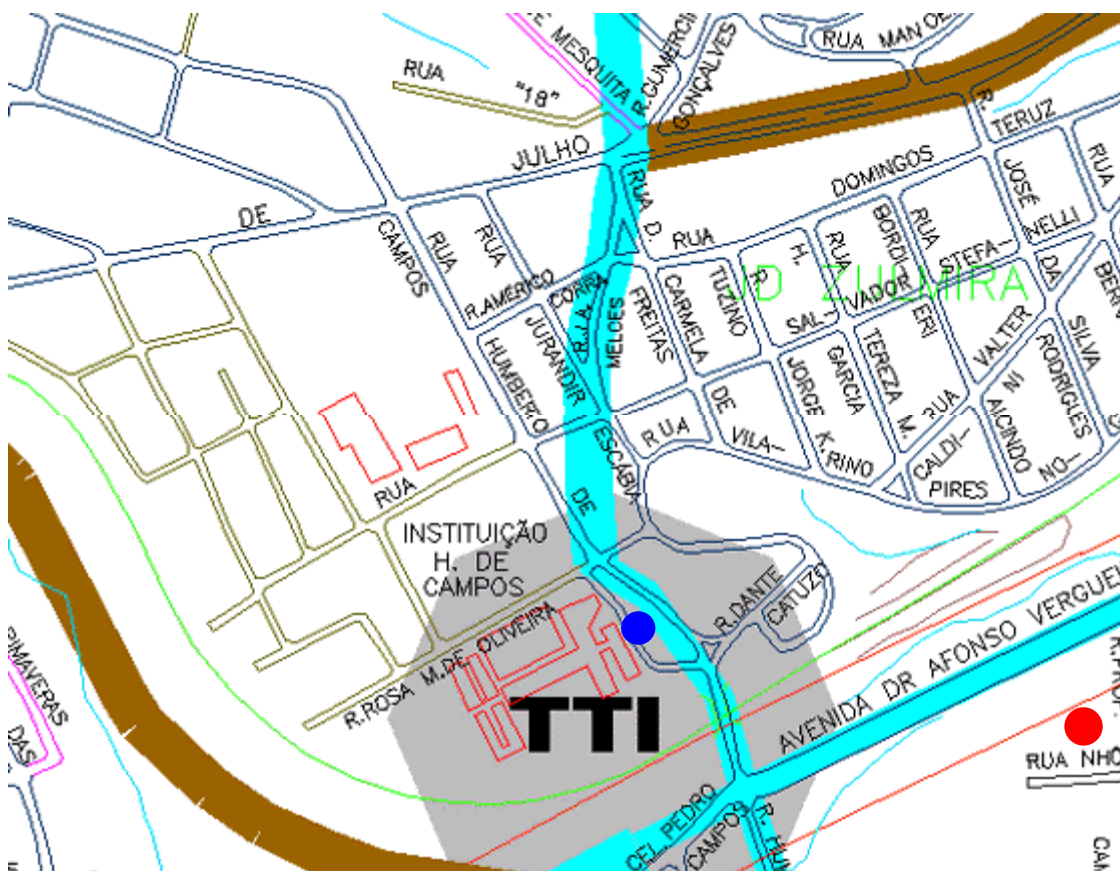
**Figura 9 – Vista oeste da estação Sorocaba – Centro**

## 5.2 Estação Sorocaba – Humberto de Campos

UTM: 23K0246581 – 7398791    Altitude: 640 m

A estação Sorocaba-Humberto de Campos situa-se em um bairro estritamente residencial, em frente ao Instituto Humberto de Campos, na Rua Humberto de Campos, 541, Bairro Santa Terezinha.

A figura 10 apresenta o mapa com as ruas do entorno da estação. Nesta figura, observa-se também a estação automática de monitoramento da qualidade do ar, que se encontra aproximadamente a 300m da estação Humberto de Campos.



- Estação Sorocaba - Humberto de Campos  
● Estação Automática de Sorocaba

**Figura 10 – Mapa de localização da Estação Sorocaba - Humberto de Campos**

Fonte: Sorocaba On-line S/C Ltda. - ([www.sorocaba.com.br](http://www.sorocaba.com.br))

As figuras 11 a 14 apresentam fotografias no entorno da estação nas direções norte, sul, leste e oeste.

Na direção norte, apresentada na figura 11, encontra-se, a cerca de 30 metros da estação, a Rua Humberto de Campos única via de tráfego no entorno. Na face sul da estação (figura 12), encontram-se os obstáculos mais próximos, distantes a 10 metros.

Na face leste, figura 13, pode-se observar a Rua Humberto de Campos com vista para a região central da cidade, uma vez que esta estação localiza-se em altitude mais elevada. Na face oeste (figura 14), observa-se a 30 metros, o prédio do Instituto Humberto de Campos.



**Figura 11 – Vista norte da estação Sorocaba – Humberto de Campos**



**Figura 12 – Vista sul da estação Sorocaba – Humberto de Campos**



**Figura 13 – Vista leste da estação Sorocaba – Humberto de Campos**



Figura 14 – Vista oeste da estação Sorocaba – Humberto de Campos

## **6. MICROINVENTÁRIO DE FONTES**

### **6.1 Sorocaba-Centro**

Para avaliar o impacto das fontes na estação, foram levantadas as fontes prioritárias de material particulado definidas em uma região delimitada por círculo concêntrico de 2000m de raio, conforme apresentado na figura 15.

Deve-se considerar que a fumaça representa apenas uma fração deste material particulado e que esta fração pode variar de fonte para fonte dependendo do tipo de emissão da mesma.



● Estação Manual

🚌 Terminal Rodoviário

🏭 1 Aços Villares S/A

🏭 2 Companhia Nacional de Estamparia – Cianê

**Figura 15 – Localização da Estação Sorocaba-Centro – raio de 2000m**

**Fontes Fixas**

As fontes prioritárias no perímetro de avaliação da estação não apresentam, de maneira geral, alto potencial de emissão, conforme informações prestadas pela Agência Ambiental de Sorocaba. A tabela 3 apresenta os valores de emissão para as fontes fixas identificadas.

**TABELA 3 – ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE FONTES FIXAS NO ENTORNO DA  
ESTAÇÃO SOROCABA-CENTRO**

<b>Empresa</b>	<b>MP t/ano</b>
Aços Villares S/A	11,76
Companhia Nacional de Estamparia - CIANÊ	16,70
<b>Total</b>	<b>28,46</b>

A fonte mais significativa em termos de emissão é a Cia. Nacional de Estamparia – CIANÊ, que possui uma caldeira a cavaco, e situa-se a nordeste da estação, a aproximadamente 400 metros. Outra fonte existente é a Aços Villares S/A, que também situa-se a nordeste da estação, no entanto, a uma distância de 1km.

**Fontes Móveis**

As fontes móveis mais importantes no entorno da estação, e consideradas neste estudo, são as ruas que dão acesso e que circundam a Praça Arthur Fajardo. Em função da direção do fluxo de veículos, foram efetuadas contagens no dia 01/04/04 (quinta-feira), na Rua Souza Pereira e na Rua XV de Novembro, antes da Rua Rodrigues Pacheco, que é o curso normal dos veículos a diesel.

A contagem de veículos teve o objetivo de estimar a ordem de grandeza da contribuição das fontes móveis na composição total das emissões do local. Para tanto, foram efetuadas duas contagens considerando os veículos leves (veículos movidos a álcool e veículos movidos a gasolina C que contém 22% de álcool anidro e 600ppm de enxofre – massa), diesel e motocicletas na Rua Souza Pereira e na Rua XV de Novembro. A primeira contagem foi realizada de manhã, das 10h10 às 10h40, quando se observou que a somatória dos primeiros quinze minutos representava, aproximadamente, a metade da contagem final, demonstrando que o fluxo de veículos é bastante homogêneo. No período da tarde foi realizada outra contagem, das 13h25 às 13h40 nos mesmos pontos.

Para o cálculo do volume de tráfego diário dos veículos leves e diesel, expandiu-se essas contagens para 60 minutos e calculou-se a média dos valores obtidos. Adotou-se como critério que essa média horária é válida entre 6h e 22h e que no horário complementar há uma redução de 70% no volume de tráfego. Para o cálculo do volume anual, considerou-se 52 semanas no ano e redução de 50% no tráfego aos sábados e domingos. No caso das motos, a média diária foi calculada levando-se em conta as médias horárias entre 9h e 18h e mantendo-se os mesmos critérios dos veículos leves e diesel. O volume de tráfego estimado é apresentado na tabela 4.

**TABELA 4 – ESTIMATIVA DE TRÁFEGO DE VEÍCULOS LEVES E DIESEL NO ENTORNO DA ESTAÇÃO SOROCABA-CENTRO**

<b>Via</b>	<b>Fonte</b>	<b>Volume de tráfego diário</b>	<b>Volume de tráfego anual</b>
Rua Souza Pereira	Veículos leves	17.388	5.425.000
	Veículos diesel	2.300	720.000
	Motocicletas	2.538	792.000
Rua 15 de Novembro	Veículos leves	22.688	7.080.000
	Veículos diesel	1.803	565.000
	Motocicletas	2.687	840.000

Para a estimativa de emissão das fontes móveis, considerou-se os fatores de emissão de veículos em uso, na RMSP, em 2003, conforme tabela 5.

**TABELA 5 – FATORES DE EMISSÃO DE VEÍCULOS EM USO NA RMSP EM 2003**

<b>Tipo de veículo</b>	<b>MP g/km</b>
Gasolina-C	0,08
Diesel	0,81
Motocicletas	0,05

**TABELA 6 - ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE FONTES MÓVEIS NO ENTORNO DA  
ESTAÇÃO SOROCABA - CENTRO**

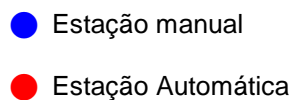
LOCAL	FONTE	MP t/ano
Rua Souza Pereira *	gasolina C	0,06
	diesel	0,08
	motocicletas	0,01
	<b>Sub-total</b>	<b>0,15</b>
Rua 15 de Novembro**	gasolina C	0,10
	diesel	0,08
	motocicletas	0,01
	<b>Sub-total</b>	<b>0,19</b>
<b>Emissões totais</b>		<b>0,34</b>

\* fonte linear de 135m

\*\* fonte linear de 170m

Comparando as tabelas 3 e 6, observou-se que o total das emissões das fontes fixas corresponde a 99% da somatória das emissões fixas e móveis. No entanto, deve-se considerar que a fumaça representa apenas uma fração do material particulado e a altura em que os poluentes são lançados, sendo que a altura da chaminé da caldeira à cavaco da Estamparia Cianê é de 19,5 metros.

A figura 16 mostra a estação Sorocaba-Humberto de Campos e sua localização dentro de um raio de 2000m. Esta estação está localizada em um bairro residencial, não apresentando fontes fixas no seu entorno.



**Figura 16 – Localização da estação Sorocaba-Humberto de Campos – raio de 2000m.**

**Fontes Móveis**

Foi efetuada contagem de veículos leves, diesel e motocicletas na Avenida Humberto de Campos em 01/04/04 (quinta-feira). A primeira contagem ocorreu no período da manhã, das 11h30 às 11h45 e na parte da tarde, nova contagem entre 14h05 e 14h20. Para o cálculo do volume de tráfego diário foram utilizados os mesmos critérios adotados na estação Sorocaba-Centro. O volume de tráfego estimado é apresentado na tabela 7.

**TABELA 7 – ESTIMATIVA DE TRÁFEGO DE VEÍCULOS LEVES E DIESEL NO ENTORNO DA ESTAÇÃO SOROCABA-HUMBERTO DE CAMPOS**

Via	Fonte	Volume de tráfego diário	Volume de tráfego anual
Rua Humberto de Campos	Veículos leves	11.776	3.675.000
	Veículos diesel	2.392	745.000
	Motocicletas	2.700	840.000

**TABELA 8 - ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE FONTES MÓVEIS NO ENTORNO DA ESTAÇÃO SOROCABA-HUMBERTO DE CAMPOS**

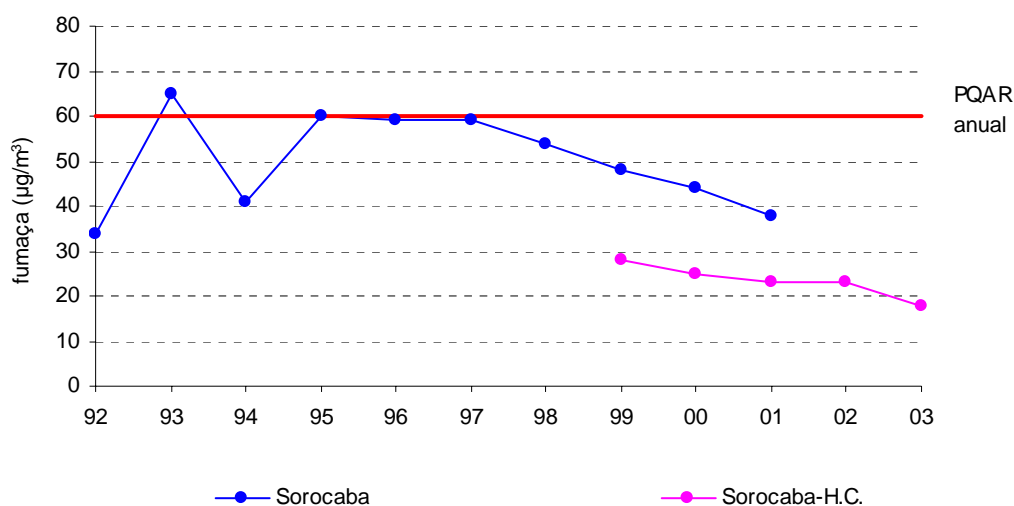
LOCAL	FONTE	MP t/ano
Rua Humberto de Campos *	gasolina C	0,06
	diesel	0,12
	motocicletas	0,01
	<b>Total</b>	<b>0,19</b>

\* fonte linear de 200m

## 7. TENDÊNCIAS DE QUALIDADE DO AR

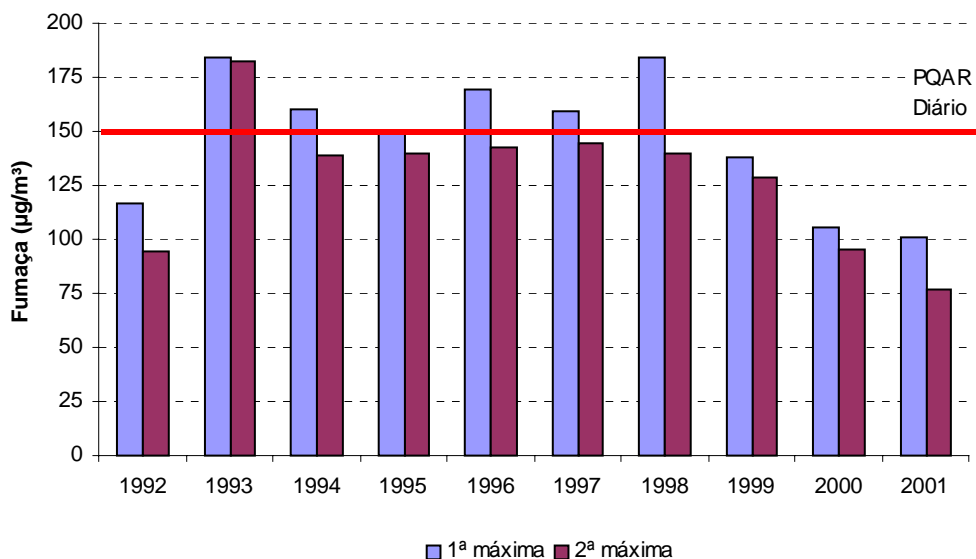
As médias aritméticas anuais de fumaça obtidas no município de Sorocaba, nas estações Centro e Humberto de Campos, de 1992 a 2003, estão apresentadas na figura 17. Observa-se uma tendência de queda nas concentrações médias de fumaça na estação Centro a partir de 1997. Essa queda pode ser atribuída à mudança no sistema de transporte coletivo urbano (roteiro e renovação da frota), como também pela intensificação na fiscalização de fumaça preta nas empresas de ônibus. A estação Humberto de Campos também apresentou tendência de queda, no entanto, menos acentuada.

A estação Sorocaba - Centro está operando desde 1986 e a estação Humberto de Campos desde 1999 em substituição à estação Sorocaba – Jardim Europa.

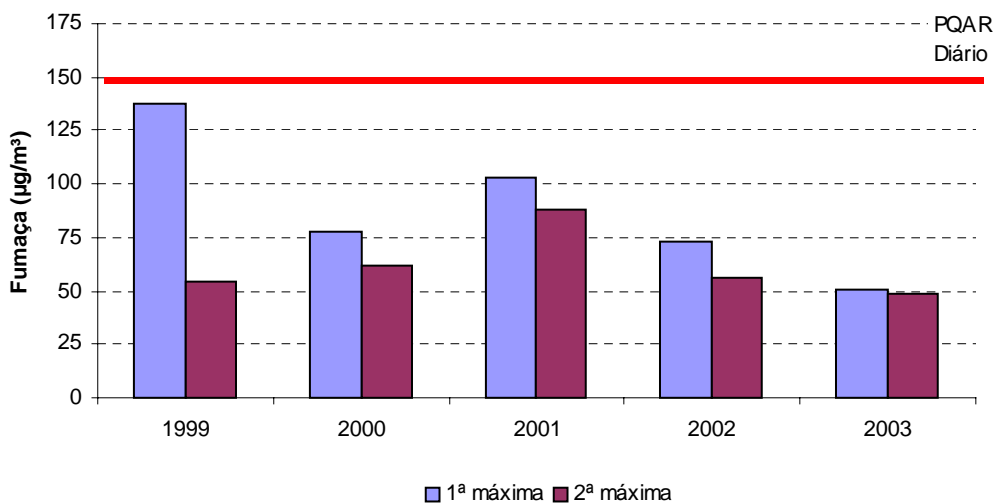


**Figura 17 – Evolução das concentrações médias anuais de fumaça.**

Nas figuras 18 e 19 estão apresentadas as máximas concentrações diárias de fumaça na estação Sorocaba-Centro e Sorocaba-Humberto de Campos, respectivamente. Observa-se que, na estação Centro, ocorreram ultrapassagens do padrão diário de qualidade do ar ( $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) até 1998 e a partir de então, os valores máximos diários observados apresentaram tendência de queda. Na estação Humberto de Campos, não foi observada nenhuma ultrapassagem do padrão diário desde o início do monitoramento.



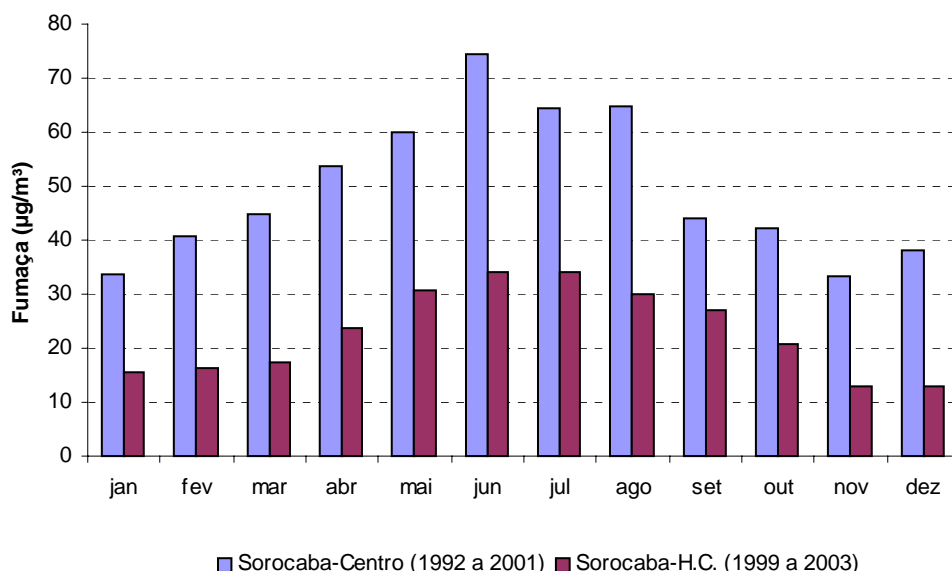
**Figura 18 – Concentrações máximas diárias de fumaça na estação Sorocaba-Centro (1992 a 2001)**



**Figura 19 – Concentrações máximas diárias de fumaça na estação Sorocaba-Humberto de Campos (1999 a 2003)**

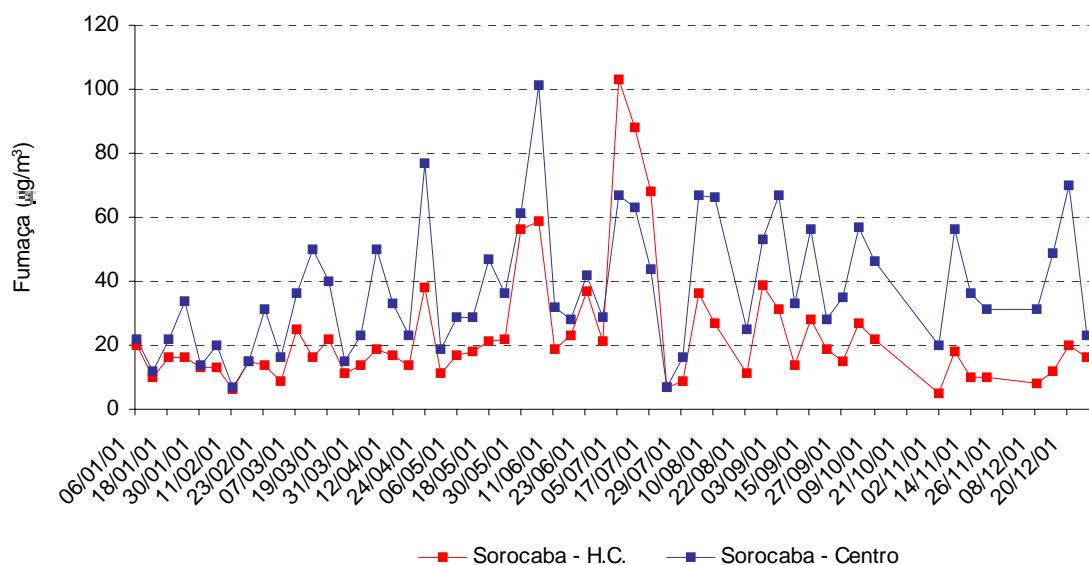
A figura 20 apresenta as concentrações médias de fumaça por mês, nas estações Centro e Humberto de Campos. Observa-se, que as concentrações de fumaça foram maiores no período de inverno, onde, com maior frequência, as condições meteorológicas são menos favoráveis à dispersão de

poluentes devido a maior ocorrência de calmarias por várias horas, inversões térmicas mais próximas da superfície e uma menor precipitação.



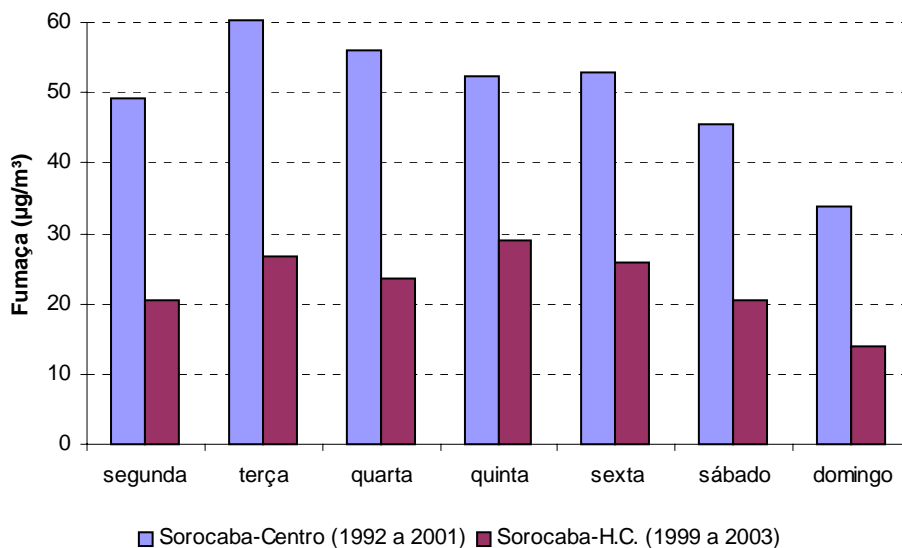
**Figura 20 – Concentrações médias de fumaça por mês (1999 a 2001)**

A figura 21 apresenta dados diários de fumaça das estações Centro e Humberto de Campos referentes ao ano de 2001, pois houve monitoramento na estação Centro até outubro de 2002, devido à reforma na praça. Em função de sua localização, a estação Centro apresentou valores de fumaça maiores do que a estação Humberto de Campos, mas apresentaram uma variação sazonal semelhante, ou seja, a mesma tendência de aumento e/ou diminuição na concentração. No entanto, no mês de julho, ocorreram três dias onde a estação Humberto de Campos, localizada em uma altitude mais elevada em relação à zona central, apresentou valores maiores que a estação Centro.



**Figura 21 – Concentrações diárias (amostra a cada seis dias) de fumaça – 2001.**

A figura 22 mostra a distribuição por dia da semana das concentrações médias de fumaça nas estações Centro e Humberto de Campos. Pode-se observar que na estação Centro as concentrações foram menores nos finais de semana, sendo o menor valor observado no domingo, em função da queda no fluxo de veículos na região central da cidade nos finais de semana, principalmente aos domingos. Na estação Humberto de Campos, o comportamento das concentrações de fumaça foi semelhante em todos os dias da semana, com exceção do domingo onde observou-se uma diminuição das mesmas.

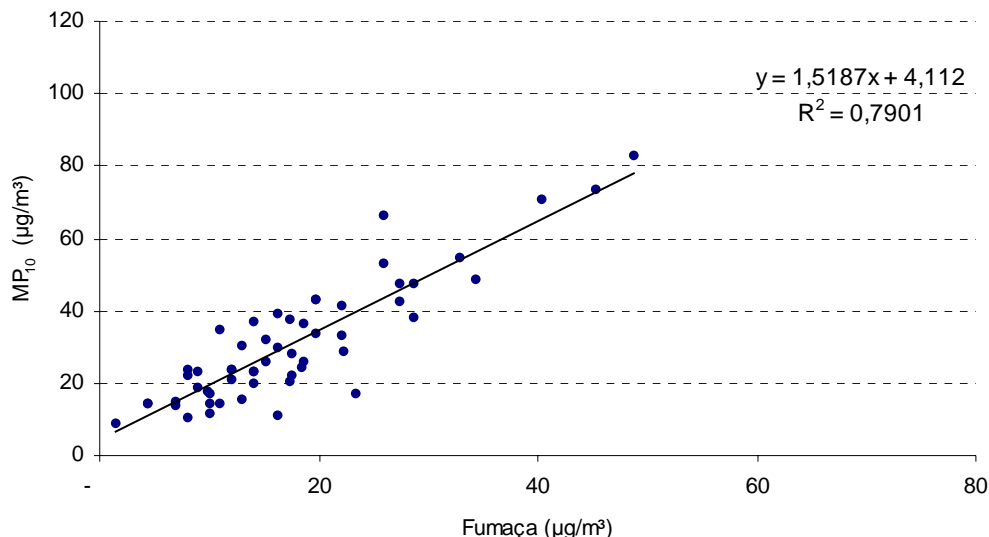


**Figura 22 – Médias aritméticas de fumaça distribuídas por dia da semana**

A seguir, é feita comparação entre a fumaça medida na estação Humberto de Campos e as partículas inaláveis ( $MP_{10}$ ) medidas na estação automática.

O parâmetro partículas inaláveis é definido como o material particulado cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a  $10\mu m$ , podendo ser emitido por veículos automotores, processo de queima de biomassa, durante a operação de processos industriais, ressuspensão da poeira do solo, etc. Sendo assim, este parâmetro pode estar correlacionado com a fumaça.

A figura 23 mostra o gráfico de correlação entre as concentrações de fumaça da estação Humberto de Campos e  $MP_{10}$  da estação Sorocaba (Rede Automática). Foi observada uma boa correlação (0,79) entre os parâmetros, indicando que o  $MP_{10}$ , assim como a fumaça, provavelmente, são emitidos pelas mesmas fontes. Em geral, os valores de  $MP_{10}$  foram maiores que os de fumaça.



**Figura 23 – Correlação entre as concentrações de fumaça da estação Humberto de Campos e MP<sub>10</sub> da rede automática - 2003.**

## 8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### **Sorocaba-Centro:**

As fontes fixas existentes no entorno da estação, que são de maior potencial emissor em relação às fontes móveis, estão localizadas a nordeste. Assim, esta estação está mais sujeita às influências dessas fontes somente no período da manhã, quando há maior contribuição do vento proveniente do quadrante N-E, conforme observado na figura 3. Nos demais períodos, a maior influência deve ser das fontes provenientes de ESE (este-sudeste) que são, predominantemente, fontes veiculares.

Observou-se que esta estação sofre a influência das emissões veiculares do seu entorno, uma vez que o perfil das concentrações de fumaça por dia da semana mostrou concentrações menores nos sábados e domingos, quando ocorre significativa diminuição no volume de tráfego.

A estação Centro, de acordo com a classificação em relação ao uso do solo e população exposta pode ser classificada como “comercial”, por localizar-se na região central da cidade onde há grande movimentação de pedestres e tráfego de veículos leves e pesados. Quanto à escala espacial de

representatividade, o levantamento das principais fontes emissoras no entorno da estação, tanto fixas quanto veiculares, que estão localizadas num raio de 500 metros em torno da estação, indicou que ela é classificada como “média escala”.

#### ***Sorocaba-Humberto de Campos:***

A estação Humberto de Campos não apresenta fontes fixas no seu entorno. Quanto às fontes móveis, há pouca contribuição, uma vez que a emissão da Rua Humberto de Campos é muito pequena.

Comparando-se as duas estações de fumaça, verificou-se uma tendência semelhante em ambas, porém com valores menores de concentração encontrados na estação Humberto de Campos. Por estar localizada em um ponto alto da cidade, essa estação está sujeita a uma boa ventilação, facilitando a dispersão dos poluentes e, considerando as direções de vento atuantes na região, sofre a influência de toda a área urbana.

De acordo com a classificação em relação ao uso do solo e população exposta, esta estação pode ser classificada como “residencial”, uma vez que existe população residente na região. Em relação à escala espacial de representatividade, pode ser considerada como “escala urbana”, uma vez que a estação recebe a contribuição de poluentes oriundos de toda região urbana.

## **9. CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

Considerando que:

- a estação Humberto de Campos é muito próxima da estação automática de monitoramento da qualidade do ar;
- a estação automática de monitoramento da qualidade do ar opera continuamente fornecendo dados de hora em hora;
- existe uma boa correlação entre a fumaça da estação Humberto de Campos e o  $MP_{10}$  medido na estação automática;
- o parâmetro partículas inaláveis também avaliar o material particulado proveniente de processos de combustão;

recomenda-se que a estação Humberto de Campos opere somente até dezembro de 2004, e então seja desativada e reaproveitada em outro local.

## **10. BIBLIOGRAFIA**

- United States Environmental Agency (US-EPA): Code of Federal Regulation, 40 – Pt.58 – Ambiente Air Surveillance. Ed. 1996.
- World Health Organization (WHO) – Guidelines for Air Quality – Geneva – 1999.
- Decreto Estadual nº 8468/76.
- Resolução CONAMA nº 03/90.
- CETESB - Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo – 2003.
- CETESB - Caracterização das Estações da Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar na RMSP – Estação São Caetano do Sul.
- São Paulo (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Informações básicas para o planejamento ambiental/Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Coordenadoria de Planejamento Ambiental. – São Paulo: SMA, 2002.
- DETRAN/PRODESP. São Paulo, junho 2003.

## **11. EQUIPE DE TRABALHO**

Carlos Eduardo Negrão – ETQT

Clarice Aico Muramoto - ETQM

Cristiane Ferreira Fernandes Lopes - ETQA

Roseli Sachi – ETQI

Silmara Regina da Silva – ETQI

Yoshio Yanagi – ETQI

Supervisão: Maria Helena R. B. Martins - ETQA

Colaboração:

Agência Ambiental de Sorocaba (CSr-S) e Setor de Laboratório das Bacias do Sorocaba e Alto Paranapanema (CSr-SL)