



**COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL**

**Caracterização das estações de  
monitoramento de fumaça no interior  
do Estado de São Paulo  
Estação do Município de Paulínia  
setembro/2006**



## 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 .....	6
5. Caracterização da estação.....	7
6. Microinventário de fontes .....	11
7. Tendências de qualidade do ar .....	14
8. Resultados e discussão .....	16
9. Conclusões.....	17
10. Bibliografia.....	18
11. Equipe de trabalho .....	18

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização das estações de Paulínia.....	5
Figura 2 – Rosa de vento .....	6
Figura 3 – Entorno da estação .....	7
Figura 4 – Vista da estação Paulínia – Face Sul .....	8
Figura 5 – Vista da estação Paulínia – Face Norte.....	9
Figura 6– Vista da estação Paulínia – Face Oeste.....	10
Figura 7 - Vista da estação Paulínia – Face Leste .....	10
Figura 8 – Evolução das concentrações médias anuais de fumaça (1996-2005) .....	14
Figura 9 – Concentrações máximas de fumaça (1996-2005).....	15
Figura 10 – Concentrações médias de fumaça por mês (1996-2005).....	15
Figura 11 – Médias aritméticas de fumaça por dia da semana (1996-2005) .....	16

## 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 de fumaça .....	4
Tabela 3 – Estimativas de emissões atmosféricas relativas à queima de combustíveis nas fontes estacionárias no município de Paulínia.....	11
Tabela 4 – Estimativa de tráfego de veículos leves, diesel e motocicletas no entorno da estação Paulínia .....	12
Tabela 5 – Fatores médios de emissão de veículos em uso na RMSP em 2005 .....	12
Tabela 6 – Estimativa de emissão de fontes móveis no entorno da estação Paulínia .....	13

## 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 de São Paulo. Basicamente, este monitoramento é realizado por uma rede automática e redes manuais de material particulado (Fumaça, Partículas Totais em Suspensão – PTS, Partículas Inaláveis – MP<sub>10</sub>, e Partículas Inaláveis Finas – MP<sub>2,5</sub>), e dióxido de enxofre.

A rede manual OPS/OMS mede os teores de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e fumaça na Região Metropolitana de São Paulo (desde 1973) e interior (desde 1986). Os níveis de fumaça continuam sendo medidos pelo mesmo método até os dias de hoje, enquanto que o método de medição de SO<sub>2</sub> foi substituído pelo método de amostrador passivo. As partículas totais em suspensão são medidas desde 1983 na RMSP e Cubatão. Além disto, desde 2001 as partículas inaláveis vêm sendo monitoradas por método manual em algumas cidades do interior de São Paulo.

A rede manual de monitoramento de fumaça avalia as concentrações em 16 municípios do Estado de São Paulo, a saber: São José dos Campos, Taubaté, Americana, Campinas, Jundiaí, Limeira, Paulínia, Piracicaba, Franca, Itu, Sorocaba, Salto, Votorantim, Araraquara, São Carlos e 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 à estação do município de Paulínia. Posteriormente, as informações aqui apresentadas serão incorporadas a um relatório geral contendo a análise das demais 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 bairros 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. Assim, para atender ao objetivo desta rede, 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 da partícula.

O parâmetro fumaça está associado ao material particulado suspenso na atmosfera proveniente de processos de combustão, como queima de combustíveis em fontes estacionárias, exaustão de veículos automotores, sobretudo movidos a diesel, queimas ao ar livre, etc. O método de avaliação está baseado na medida da refletância da luz que incide na 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 DE FUMAÇA**

Parâmetro	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> MAA <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 Paulínia situa-se na região nordeste do Estado de São Paulo, distante 118km a oeste da capital possuindo uma área de 145km<sup>2</sup>. Segundo o último censo, possui uma população em torno de 50 mil habitantes. Possui ainda, uma frota de, aproximadamente, 20.000 veículos leves, 3.000 veículos pesados e 3.500 motocicletas. A cidade conta com um parque industrial expressivo.

A CETESB mantém na cidade uma estação de monitoramento de fumaça, sendo que as amostragens são realizadas por um período de 24 horas a cada seis dias. Na figura 1 observa-se a localização desta estação. A CETESB mede também SO<sub>2</sub> no mesmo local, sendo as amostragens realizadas por um período contínuo de 30 dias. O SO<sub>2</sub> é monitorado também em mais dois locais, Santa Terezinha e Bairro Cascata.

Além dessas estações, o município possui uma estação automática de avaliação da qualidade do ar, localizada na Praça Oadil Pietrobon - Vila Bressani, monitorando desde 2000, os parâmetros: partículas inaláveis (MP<sub>10</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>), óxidos de nitrogênio (NO e NO<sub>2</sub>) e parâmetros meteorológicos (direção e velocidade de vento, temperatura e umidade relativa, pressão e radiação solar). Na figura 1 observa-se a localização dessas estações.

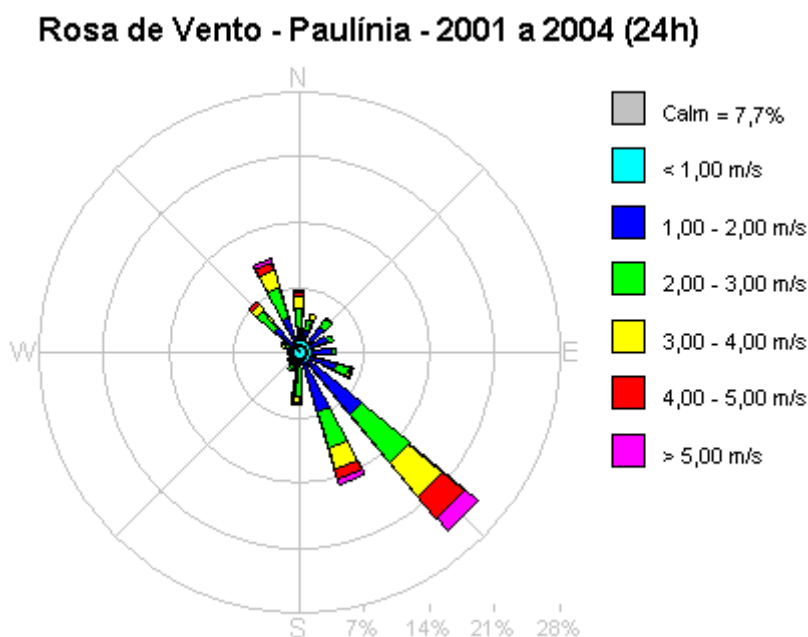




Figura 1 – Localização das estações de Paulínia

## 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, foi elaborada a rosa de vento para o período de 2001 a 2004, utilizando-se os dados horários de direção e velocidade do vento medidos na estação automática de monitoramento da qualidade do ar de Paulínia, conforme figura 2. O vento predominante observado foi de direção sudeste. Essa estação possui uma boa ventilação, apresentando 7,7% de calmaria (velocidade do vento horário menor do que 0,45m/s) em todo o período. Em função as características topográficas da região, o comportamento do vento nesta estação pode ser considerado representativo para todo o município de Paulínia.

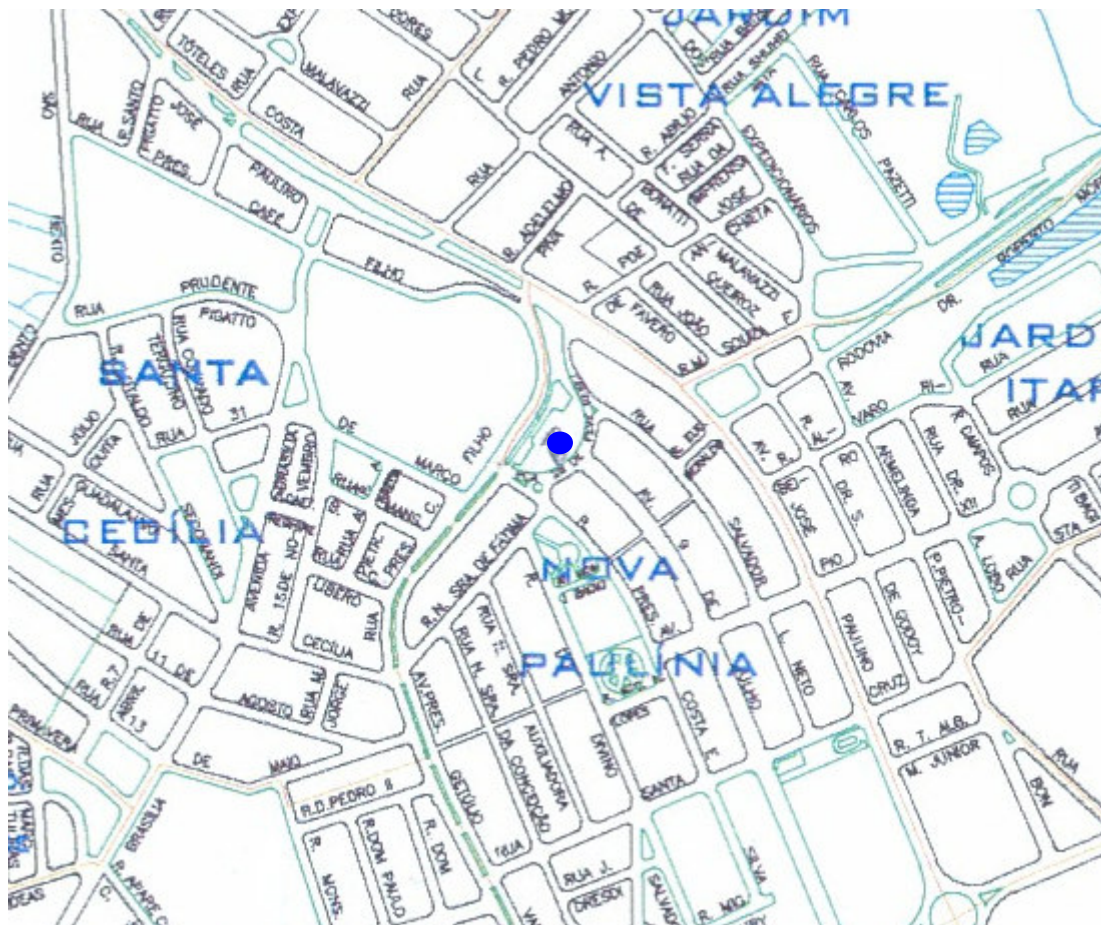


**Figura 2 – Rosa de vento**

## 5. CARACTERIZAÇÃO DA ESTAÇÃO

As coordenadas UTM da estação são 23K0279162 – 7480950 e a altitude é de 751 metros. A estação está localizada na Praça 28 de fevereiro.

A figura 3 apresenta o mapa com as ruas do entorno da estação.



- **Estação manual**

### Figura 3 – Entorno da estação



As figuras 4 a 7 apresentam fotografias do entorno da estação nas direções norte, sul, leste e oeste.

Na face sul da estação (figura 4), observa-se, a aproximadamente 20 metros, a rua que contorna a Praça 28 de fevereiro. Na face norte, apresentada na figura 5, não se observa nenhum obstáculo significativo, sendo que a estação está no centro da praça. Nesta direção, a aproximadamente 100 metros da estação, encontra-se a Avenida Getulio Vargas.



**Figura 4 – Vista da estação Paulínia – Face Sul**



**Figura 5 – Vista da estação Paulínia – Face Norte**

Na figura 6, vista da face oeste, observa-se a cerca de 10 metros da estação o prédio da Prefeitura. Na face leste (figura 7), o obstáculo mais próximo é uma árvore de, aproximadamente 20 metros de altura, que está localizada a 5 metros de distância. Mais ao fundo, a cerca de 15 metros, encontra-se a Rua Salvador L. Neto.





**Figura 6– Vista da estação Paulínia – Face Oeste**



**Figura 7 - Vista da estação Paulínia – Face Leste**

## 6. MICROINVENTÁRIO DE FONTES

Para avaliar o impacto das fontes na estação, foram levantadas as fontes prioritárias de material particulado definidas no entorno da estação. 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.

### *Fontes Fixas*

A tabela 3 apresenta as estimativas de emissões de material particulado em toneladas/ano das principais indústrias que foram inventariadas em 2005. Estas indústrias encontram-se distantes da estação, mas algumas podem apresentar determinado impacto em função da direção dos ventos.

**TABELA 3 – ESTIMATIVAS DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS RELATIVAS À QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS NAS FONTES ESTACIONÁRIAS NO MUNICÍPIO DE PAULÍNIA**

Empresa	Emissões de Material Particulado (t/ano)
Petrobrás-Replan	1416,80
Galvani	258,60
Rhodia	87,10
Degussa	29,80
Bann	5,00
Orsa	4,70
Nutriara	3,60
Agribands	1,70
Silcon	1,60
Syngenta	1,60
Hércules	1,00
Dupont/Invista	0,70
Moinhos Cruzeiro do Sul	0,60
Kraton	0,40

### *Fontes Móveis*

As fontes móveis mais importantes nas proximidades da estação, e consideradas neste estudo, são os veículos que trafegam na Rua Salvador L. Neto, Av. Getúlio Vargas e Praça 28 de Fevereiro. Foram efetuadas duas contagens dos veículos, movidos a gasolina/álcool, diesel e motocicletas, nas ruas próximas à estação da CETESB no dia 27/04/2006 (quinta-feira) das 11h25 às 11h40 e das 14h15 às 14h30. 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, DIESEL E MOTOCICLETAS NO ENTORNO DA ESTAÇÃO PAULÍNIA**

Via	Fonte	Volume de tráfego diário	Volume de tráfego anual
<b>Pça. 28 de fevereiro</b>	Veículos leves	4.122	1.285.000
	Veículos diesel	552	170.000
	Motocicletas	270	85.000
<b>Rua Salvador L. Neto</b>	Veículos leves	6.035	1.885.000
	Veículos diesel	515	160.000
	Motocicletas	918	285.000
<b>Av. Getúlio Vargas</b>	Veículos leves	9.126	2.850.000
	Veículos diesel	1.214	380.000
	Motocicletas	1.431	445.000

Para a estimativa de emissão das fontes móveis, considerou-se os fatores de emissão de veículos em uso, na RMSP, em 2005, conforme tabela 5.

**TABELA 5 – FATORES MÉDIOS DE EMISSÃO DE VEÍCULOS EM USO NA RMSP EM 2005**

Tipo de veículo	Material Particulado g/km
Gasolina-C*	0,08
Diesel	0,57
Motocicletas	0,05

\* contém 22% de álcool anidro (volume) e 600 ppm de enxofre (peso).



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

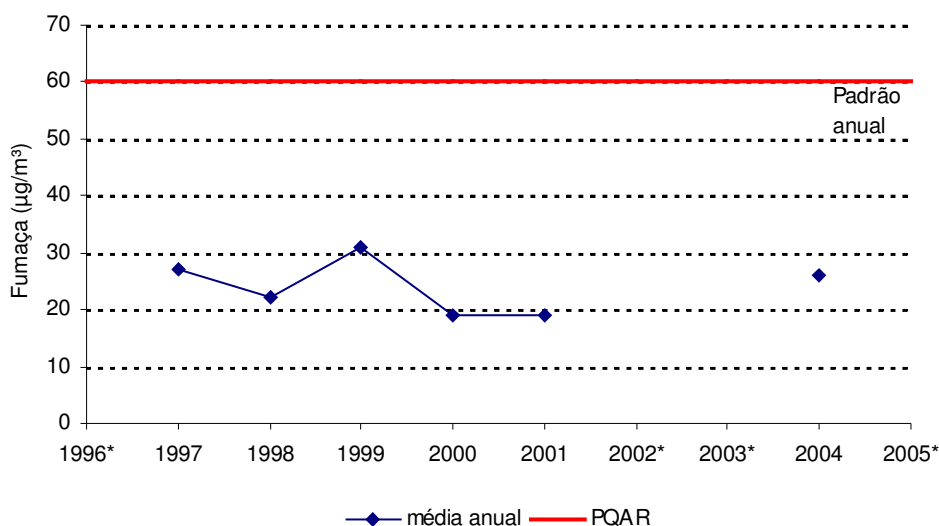
LOCAL	FONTE	Material Particulado t/ano
<b>Pça. 28 de fevereiro *</b>	Gasolina C	0,02
	Diesel	0,02
	Motocicletas	0,01
<b>Rua Salvador L. Neto *</b>	Gasolina C	0,03
	Diesel	0,02
	Motocicletas	0,01
<b>Av. Getúlio Vargas *</b>	Gasolina C	0,05
	Diesel	0,04
	Motocicletas	0,01
<b>TOTAL</b>		<b>0,21</b>

\* Fonte linear de 200m

Vale destacar que, no caso das fontes móveis foi realizada apenas uma estimativa de emissão das principais vias no entorno, de modo que os dados da Tabela 6 não podem ser comparados com os da Tabela 3, que trata das estimativas das principais fontes estacionárias em todo o município.

## 7. TENDÊNCIAS DE QUALIDADE DO AR

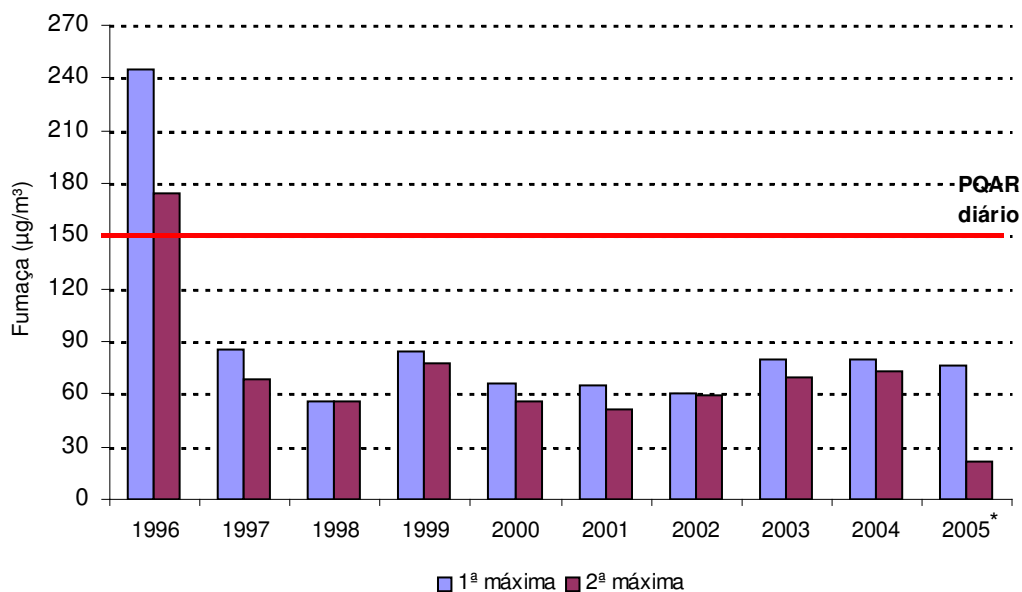
A estação Paulínia opera desde 1986 na Praça 28 de Fevereiro. As médias aritméticas anuais de fumaça obtidas no município de Paulínia de 1996 a 2005 estão apresentadas na figura 8. Para o cálculo da média aritmética anual dos poluentes, utiliza-se o critério de representatividade dos dados, isto é, pelo menos 50% do número de amostras a cada quadrimestre. Na estação Paulínia, os anos de 1996, 2002, 2003 e 2005 não atenderam a este critério, portanto, os valores não foram apresentados no gráfico. As médias aritméticas anuais apresentadas foram inferiores ao padrão anual de qualidade do ar ( $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), porém, devido ao reduzido número de amostras, não é possível afirmar qual a tendência dos dados de fumaça atualmente.



\*não atendeu ao critério de representatividade

**Figura 8 – Evolução das concentrações médias anuais de fumaça (1996-2005)**

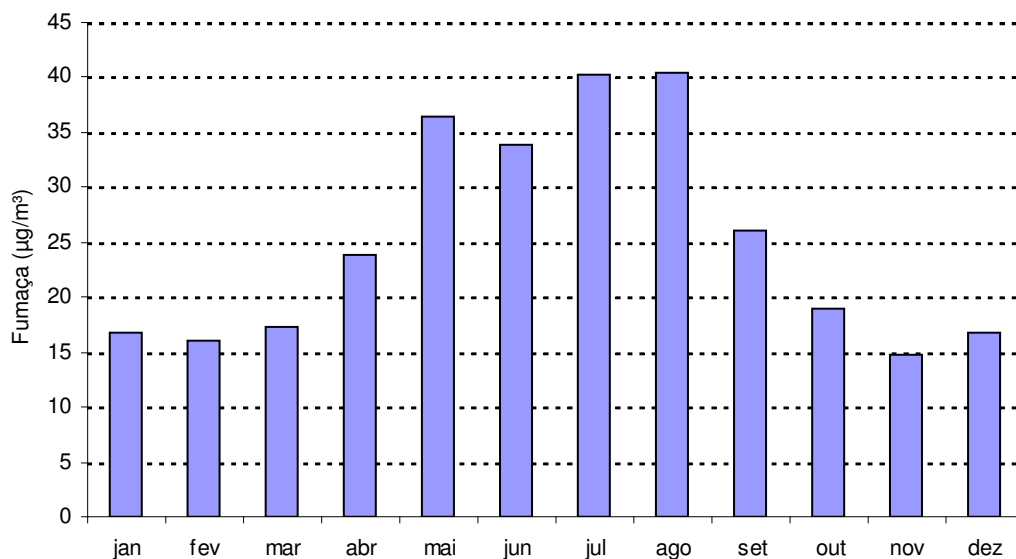
Na figura 9 estão apresentadas as máximas concentrações diárias de fumaça, onde observa-se que houve ultrapassagem do padrão diário de qualidade do ar ( $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), somente em 1996.



\*Houve apenas 2 dias de amostragem

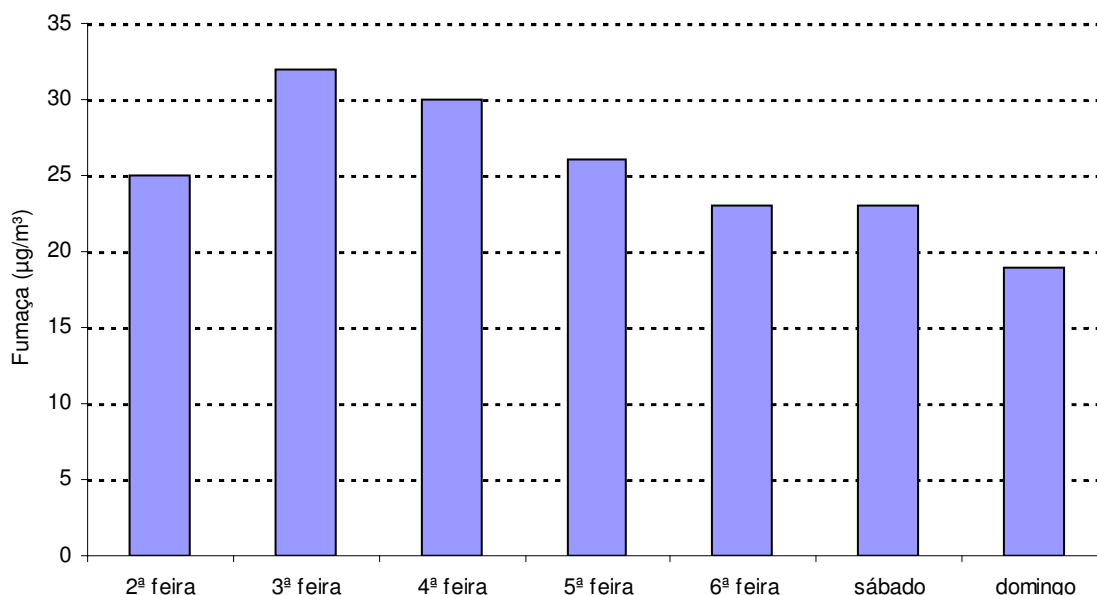
**Figura 9 – Concentrações máximas de fumaça (1996-2005)**

A figura 10 apresenta as concentrações médias de fumaça por mês. Foi observada uma variação sazonal no período de maio a setembro onde, em geral, 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 pluviométrica.



**Figura 10 – Concentrações médias de fumaça por mês (1996-2005)**

A figura 11 apresenta a distribuição por dia da semana das concentrações médias de fumaça. Pode-se observar que as concentrações foram menores aos domingos, possivelmente, devido a queda no fluxo de veículos na região central da cidade neste dia.



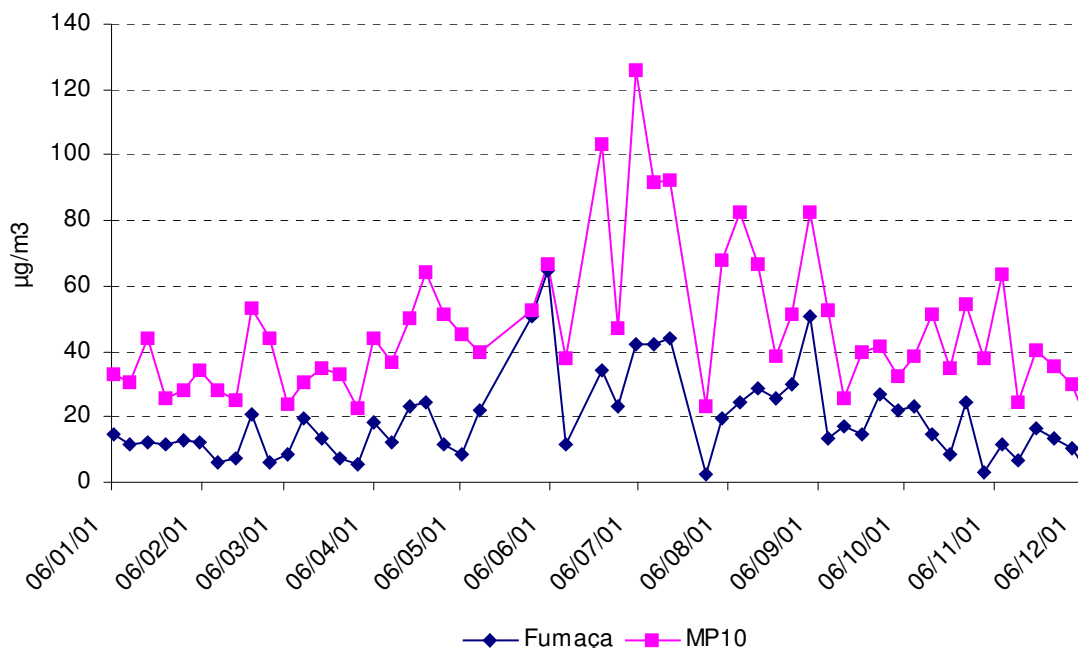
**Figura 11 – Médias aritméticas de fumaça por dia da semana (1996-2005)**

## 8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram efetuadas comparações entre as concentrações de fumaça da estação manual e as partículas inaláveis ( $MP_{10}$ ) da estação automática de monitoramento de qualidade do ar de Paulínia. A distância entre as estações é de aproximadamente 800m.

O parâmetro partículas inaláveis é definido como o material particulado cujo diâmetro aerodinâmico é menor que  $10\mu m$ , podendo ser emitido por veículos automotores, processo de queima de biomassa, durante a operação de processos industriais, ressuspensão da poeira do solo, etc.

A figura 12 apresenta a comparação entre os dados diários de fumaça e  $MP_{10}$  medidos em Paulínia, referentes ao ano de 2001, pois somente neste ano ambas estações atenderam ao critério de representatividade. Observa-se que as concentrações de  $MP_{10}$  foram maiores que as de fumaça, mas apresentaram uma variação semelhante, ou seja a mesma tendência de aumento e/ou diminuição na concentração.



**Figura 12 – Concentrações diárias (amostra a cada seis dias) de fumaça e MP<sub>10</sub> – 2001.**

Verificou-se que a estação Paulínia, 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, e com relação à escala espacial de representatividade é a “escala de bairro”, que representa concentrações para áreas da cidade com atividade uniforme, com dimensões de 500 a 4.000 metros.

## 9. CONCLUSÕES

Após análises, conclui-se que:

- as concentrações de fumaça observadas entre 1996 e 2005, ficaram abaixo do padrão anual de qualidade do ar ( $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e a última ultrapassagem do padrão diário ( $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) foi em 1996.
- esta estação não operou em 2005 e não atendeu ao critério de representatividade em 2002 e 2003. Além disso, como o município de Paulínia já possui um monitor de partículas inaláveis na estação automática de monitoramento de qualidade do ar, cujas concentrações medidas são, em geral, maiores que as de fumaça, e outra estação em fase de instalação, a estação manual deve ser desativada.

## 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 – 2004.
- CETESB - Caracterização das Estações de Monitoramento de Fumaça no Interior do Estado de São Paulo – Estação Sorocaba.
- Paulínia Home Page – Disponível em [www.paulinia.sp.gov.br](http://www.paulinia.sp.gov.br)

## 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 Paulínia