

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 Cambuci

Dezembro/2006

Índice

Sumário	2
1. Introdução.....	3
2. Classificação de Estações de Monitoramento.....	4
3. Metodologia	6
3.1. Características da Estação	7
3.2. Avaliação da Qualidade do Ar.....	7
3.3. Microinventário de Fontes	8
3.4. Influência das Condições Meteorológicas	9
4. Caracterização das Estações da Rede Automática.....	9
4.1. Estação Cambuci.....	12
4.1.1. Características da Estação	12
4.1.2. Tendências da Qualidade do Ar.....	16
4.1.3. Microinventário de Fontes.....	19
Fontes Estacionárias	20
Fontes Móveis	20
4.1.4. Influência das Condições Meteorológicas	22
4.1.5. Escalas de Representatividade.....	23
4.1.6. Conclusões	27
5. Bibliografia.....	28
Equipe de Trabalho	28
Colaboração	28
Revisão.....	28

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 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 Cambuci, da rede automática de monitoramento da qualidade do ar.

As informações levantadas foram divididas em vários itens: a) características locais da estação, onde se informa a localização geográfica, monitores, condições do entorno da estação etc.; b) avaliação da qualidade do ar, onde se apresenta 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 2 km; d) influência das condições meteorológicas, onde se apresenta uma comparação entre as concentrações de poluentes e as variáveis meteorológicas, tanto em termos médios quanto episódicos.

As análises mostraram que a qualidade do ar observada é influenciada, sobretudo, por emissões veiculares provenientes de veículos que trafegam na malha viária próxima da estação.

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 instalada (rede OPS/OMS) mede os teores de dióxido de enxofre (SO₂) 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 SO₂ foram, no interior do Estado, substituídos por monitores passivos. Uma segunda rede mede partículas totais em suspensão (PTS) desde 1983 na RMSP e Cubatão. A terceira rede mede as concentrações das partículas inaláveis finas - MP_{2,5}, em alguns pontos da RMSP.

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. A partir de 1996 destaca-se a renovação dessa rede automática e, a partir de 2000, a instalação de estações no interior do Estado.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Embora o trabalho seja de avaliação da rede de monitoramento da RMSP como um todo, este relatório apresenta, além de uma parte teórica, os aspectos relacionados somente à estação **Cambuci**, 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⁽¹⁾ (Agência de Proteção Ambiental dos EUA) e OMS⁽²⁾ (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

Característica da Estação	Descrição
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

Escala de Representatividade	Área de Abrangência
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 O₃ e parte do NO₂, 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 SO₂.

3. Metodologia

O trabalho foi desenvolvido procurando abordar e levantar o maior número possível de informações que permitam classificar as estações, bem como fornecer um histórico da qualidade do ar no período monitorado. Apresentam-se, a seguir, as informações e análises realizadas no trabalho.

3.1. Características da Estação

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

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

3.2. Avaliação da Qualidade do Ar

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

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

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

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

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

3.3. Microinventário de Fontes

Para avaliar o impacto das fontes sobre a estação, foram definidas duas regiões delimitadas por dois círculos concêntricos, de 400 e 2000m de raio. No raio de 400 metros, por estar muito próximo da estação, procurou-se identificar todas as fontes que possam estar influenciando nas medições na estação. Entre 400 e 2000m, foram levantadas as principais fontes. As fontes de emissão foram então localizadas em termos de quadrantes (NW, NE, SE e SW) e setores (1 a 8), cada quadrante com dois setores, um no raio menor e outro no maior, conforme ilustrado na figura 1.

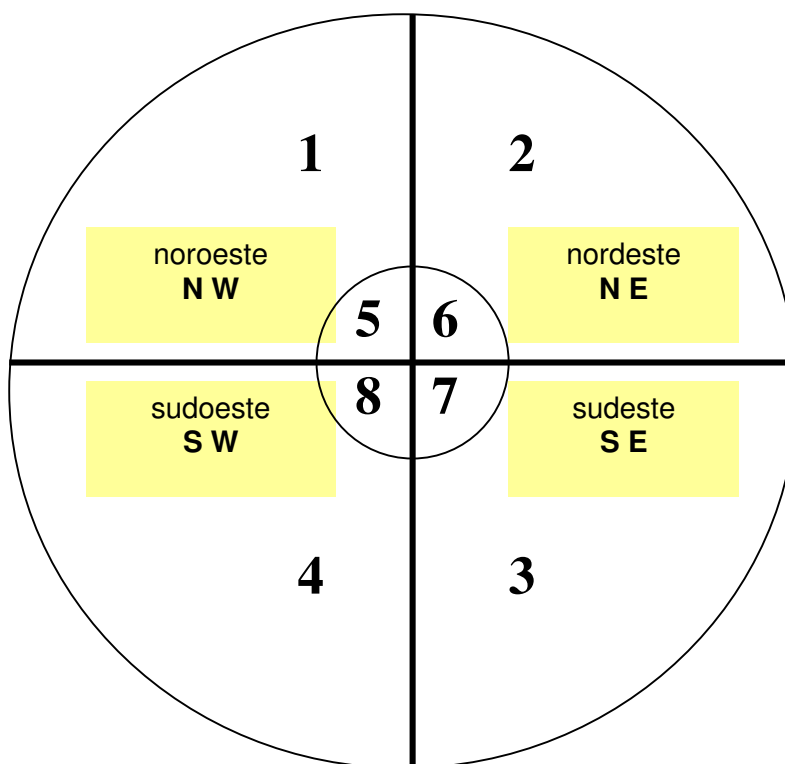


Figura 1 - Quadrantes considerados para localização das fontes e direção do vento

No caso das fontes industriais, foram utilizados os dados e estimativas de emissão mais atuais disponíveis, fornecidos pelas agências ambientais da CETESB. No caso de fontes móveis, as estimativas foram realizadas considerando-se as vias de tráfego como fontes linha. As estimativas de tráfego foram obtidas a partir de contagens de veículos nas principais vias, realizadas pela própria equipe durante o trabalho ou fornecidas pelos órgãos de trânsito, e de fatores de emissão médios para os principais poluentes, estimados pela CETESB.

A avaliação do impacto das fontes na estação de monitoramento, tanto fixas como veiculares, em termos de sua posição geográfica, foi feita dividindo-se a área de abrangência em oito setores, conforme apresentado na figura 1. Basicamente, foram somadas as emissões das fontes fixas e das fontes veiculares para cada um dos setores.

Para auxiliar na caracterização das fontes e comparação com os dados de particulado inalável do microinventário, apresentam-se ainda os estudos realizados pela CETESB utilizando a técnica de modelo receptor. Embora não haja estudo com modelo receptor para todas as regiões monitoradas e tais estudos tenham sido realizados em períodos distintos, os resultados apresentados ajudam a identificar as fontes de emissão que mais contribuem para a degradação da qualidade do ar por partículas inaláveis.

3.4. Influência das Condições Meteorológicas

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

Foram comparadas então as direções dos ventos em cada quadrante com os dados de qualidade do ar observados no mesmo horário na estação, construindo-se gráficos que indicam a frequência e velocidade com que o vento soprou de cada direção e a respectiva concentração média associada, incluindo as diferenças obtidas entre os períodos diurno e noturno.

Por fim, foram comparados os resultados de qualidade ambiental e meteorologia com os dados de emissão inventariados de cada quadrante ou setor, procurando estabelecer uma relação de causa-efeito, ou seja, quais são efetivamente as fontes que mais contribuem para os valores de concentração observados na estação de monitoramento.

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

A análise das principais fontes que exercem influência na estação permitiu então a classificação de cada estação em termos de área de abrangência (escala de representatividade), tipos principais de fontes e população exposta às concentrações medidas na estação ou níveis equivalentes.

4. Caracterização das Estações da Rede Automática

A rede automática da CETESB é composta por 29 estações fixas de amostragem e 2 estações móveis. Vinte e um locais de amostragem estão situados na RMSP, conforme ilustrado na figura 2. Há ainda 3 estações em Cubatão, 2 em Paulínia, 1 em Campinas, 1 em Sorocaba e 1 em São José dos Campos. As duas estações móveis são deslocadas em função da necessidade de monitoramento em locais onde não existem estações de amostragem ou para estudos complementares à própria rede.

A atual rede mede os seguintes parâmetros: partículas inaláveis (MP_{10}), dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO e NO_2), ozônio (O_3), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos totais menos metano e metano ($HCNM$ e CH_4), direção e velocidade do vento, umidade relativa do ar, temperatura do ar, pressão atmosférica e radiação solar

(global e ultravioleta), conforme distribuição mostrada na tabela 3. Vale salientar que nas estações em que são medidos ventos, são calculados desvios padrões das direções dos ventos e classes de estabilidade atmosférica.

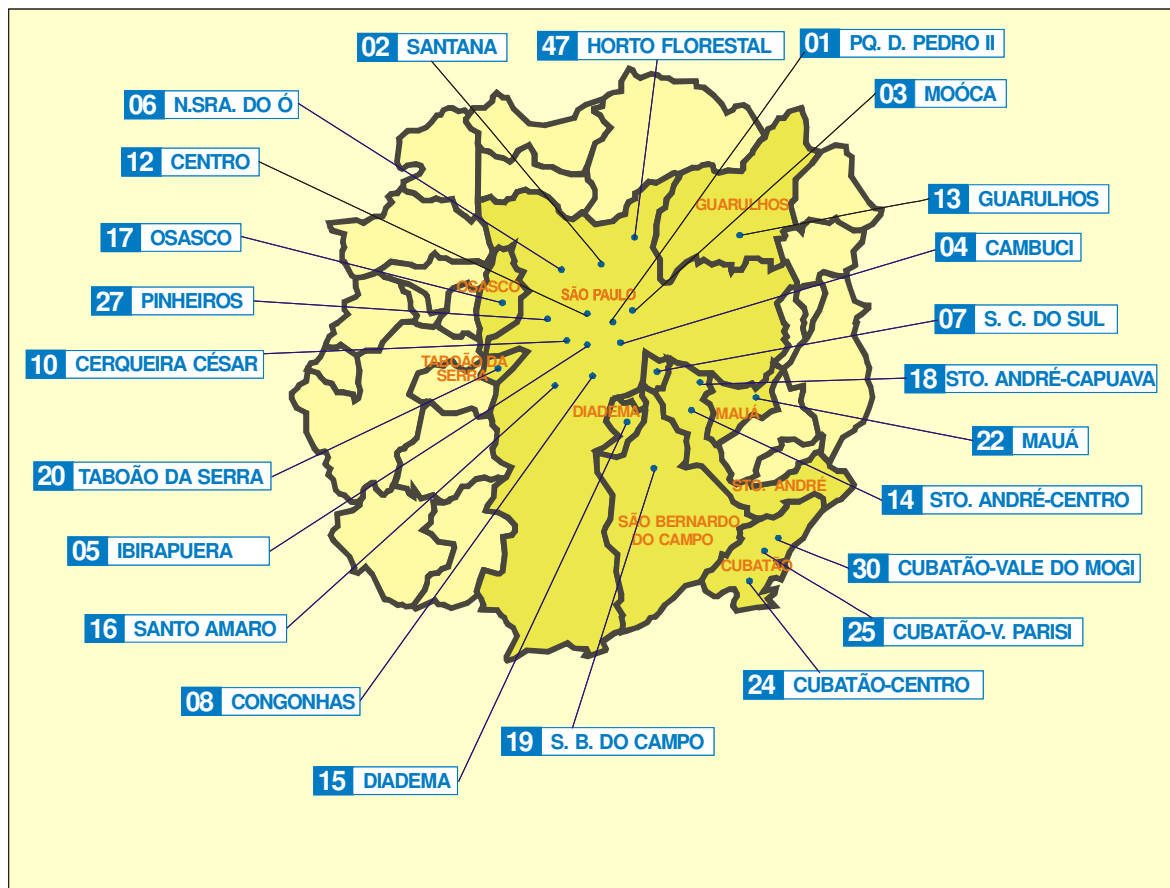


Figura 2 – Localização das estações da rede automática na RMSP

Tabela 3 – Configuração da rede automática – RMSP

ESTAÇÃO Nº	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES	PARÂMETROS																	
		MP ₁₀	MP _{2,5}	FMC	PTS	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	CO	CH ₄	HCNM	O ₃	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									
10	Cerqueira César	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
12	Centro	X								X									
13	Guarulhos	X				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	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	X				
22	Mauá	X					X	X	X				X						
27	Pinheiros	X	X	X	X		X	X	X	X			X	X	X	X	X		
47	Horto Florestal						X	X	X				X	X	X	X	X		X

MP₁₀ Partículas inaláveis
 MP_{2,5} Partículas inaláveis finas
 FMC Fumaça
 PTS Partículas Totais em Suspensão
 SO₂ Dióxido de enxofre
 NO Monóxido de nitrogênio

NO₂ Dióxido de nitrogênio
 NO_x Óxido de nitrogênio
 CO Monóxido de carbono
 CH₄ Metano
 HCNM Hidrocarbonetos totais menos Metano
 O₃ 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 Cambuci

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

4.1.1. Características da Estação

Dados da estação

Endereço:	Av. D. Pedro I, 100 – Cambuci – São Paulo IV COMAR (Comando Aéreo Regional)		
Latitude sul:	23°33'47"	UTM (23K)	335.480m
Longitude oeste:	46°36'28"	UTM (23K)	7.392.730m
Altitude:	740m		
Altura de captação da amostra:	3,5m		

Tabela 4: Parâmetros monitorados

Parâmetros	Método	Equipamento	Início	Término
MP ₁₀	Radiação Beta	PW9790-Philips	09/01/80	31/12/00
MP ₁₀	Radiação Beta	FH62 I-N-Graseby-Andersen	09/04/01	
SO ₂	Coulometria	PW9755-Philips	01/01/86	30/09/95

Condições Locais

A estação Cambuci está localizada no pátio do IV Comando Aéreo Regional, numa região predominantemente comercial e residencial, com pouca atividade industrial (Figuras 3 e 4).



Figura 3 – Vista da estação Cambuci (03/08/2005)



Figura 4 – Vista aérea da estação Cambuci (25/03/2002)

A figura 5 mostra uma imagem do Nata⁽⁶⁾, com um círculo de 400 metros de raio, que é utilizado para estabelecer as fontes do entorno que influenciam as concentrações de poluentes medidos por esta estação.

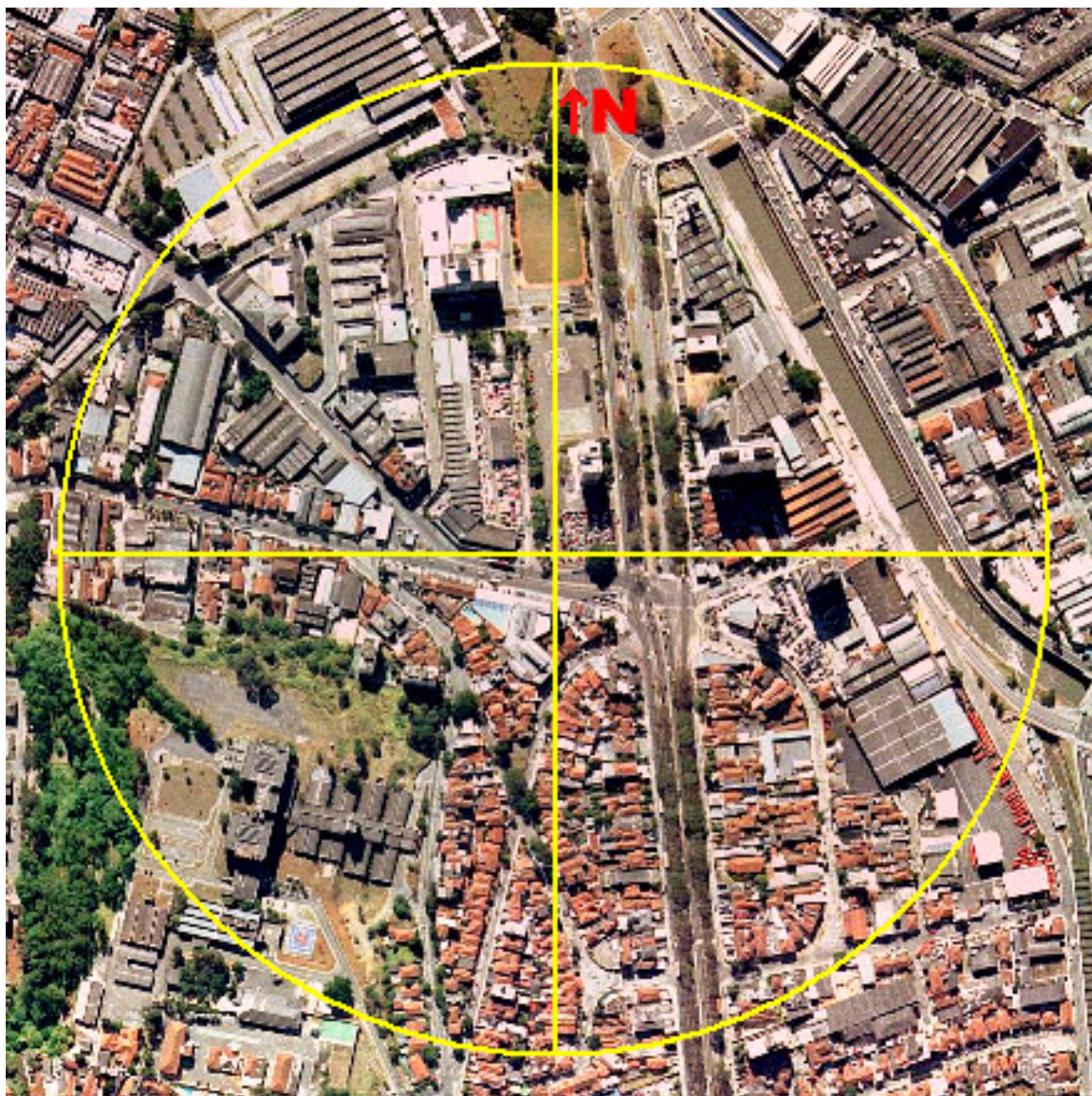


Figura 5 – Imagem-Nata⁶ do entorno da estação Cambuci com raio de 400m

A figura 6 mostra fotos tomadas sobre a estação em 03/08/2005, nas direções Norte/Sul/Leste/Oeste.

Na foto da vista norte vemos uma edificação a cerca de 60 metros de distância.

Na vista oeste vemos a R. Cavalheiro Afonso Nicoli que possui um tráfego pequeno e está a quatro metros da estação; a dois metros de distância há uma árvore de aproximadamente quatro metros de altura.

Na face leste há uma árvore a cerca de trinta metros de distância e aproximadamente quatro metros de altura. Mais ao fundo aparece a Av. D. Pedro I que possui um tráfego intenso tanto de veículos leves como pesados e fica a aproximadamente sessenta metros da estação.

Na face sul fica a R. da Independência que possui um tráfego intenso tanto de veículos leves como pesados e fica a aproximadamente dez metros da estação.



Figura 6 – Vistas do entorno da Estação Cambuci (03/08/2005)

4.1.2. Tendências da Qualidade do Ar

Visando avaliar o perfil das concentrações do poluente (MP_{10}) monitorado na estação Cambuci ao longo dos anos, elaborou-se análises com os dados obtidos na estação, nos períodos monitorados e disponíveis.

Partículas Inaláveis (MP_{10})

A figura 7 apresenta a evolução das médias aritméticas anuais de MP_{10} nos últimos 6 anos na estação Cambuci. Nesta figura, observa-se que as concentrações médias anuais encontram-se abaixo de $50\mu g/m^3$ (PQAr anual) e têm apresentado tendência de queda nos últimos anos.

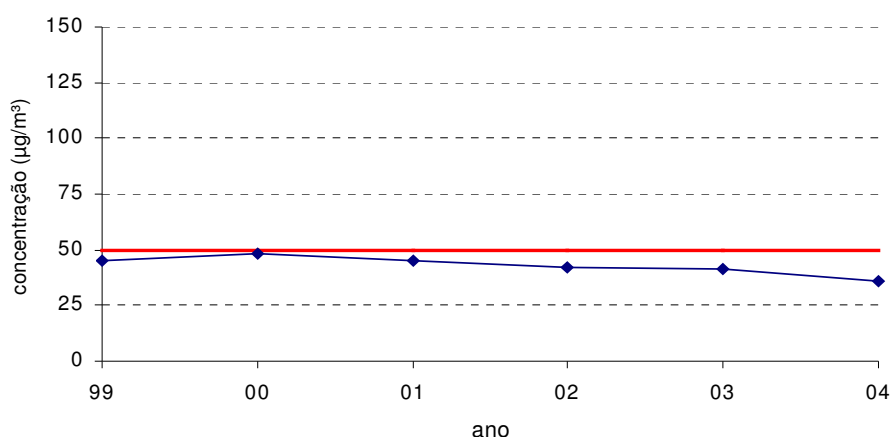


Figura 7 – MP_{10} – Médias aritméticas anuais

Conforme podemos ver na figura 8, durante o período de 1999 a 2004 houve uma única ultrapassagem do padrão de curto prazo (média de 24 horas - $150\mu g/m^3$), ocorrido em 4 de julho de 2001, com o valor de concentração de $157\mu g/m^3$.

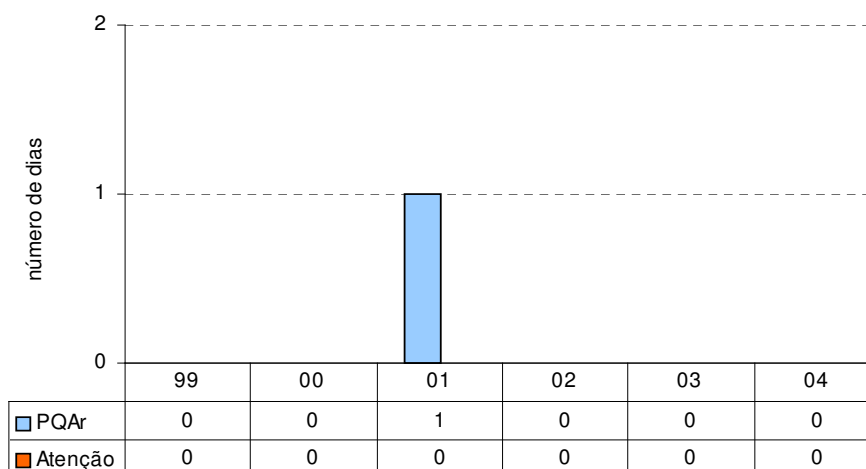


Figura 8 – MP_{10} – Dias de ultrapassagem do PQAr e nível de Atenção

Considerando-se que no período analisado há somente uma ultrapassagem 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 9. Nessa figura, observa-se que as concentrações de MP_{10} apresentam uma elevação durante os meses de inverno, apresentando sua concentração média máxima no mês de agosto, seguida de junho e julho.

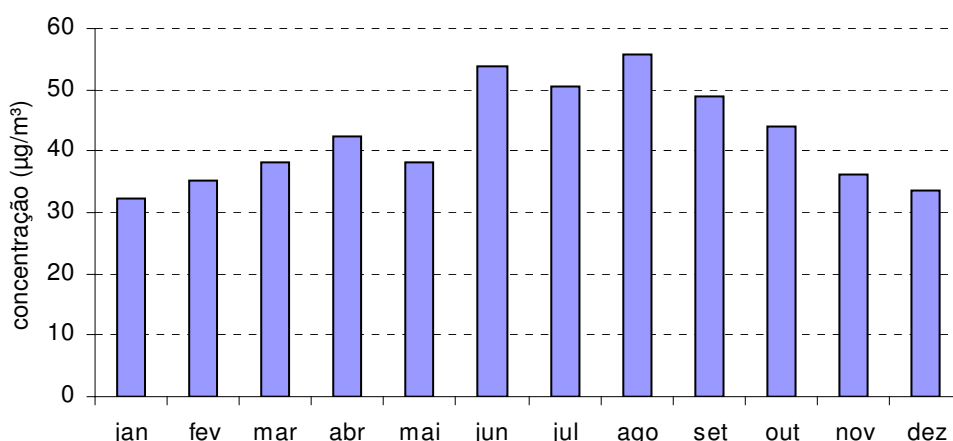


Figura 9 – MP_{10} – Médias mensais no período de 1999 a 2004

Partículas Inaláveis - MP_{10}

A figura 10 ilustra a distribuição das concentrações médias ao longo do dia para o período de 1999 a 2004, considerando os diferentes dias da semana.

Nessa figura, observa-se que as mais altas concentrações ocorrem no período da manhã entre 8 e 10h seguidas de um decréscimo, e voltam a subir a partir das 15h. 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.

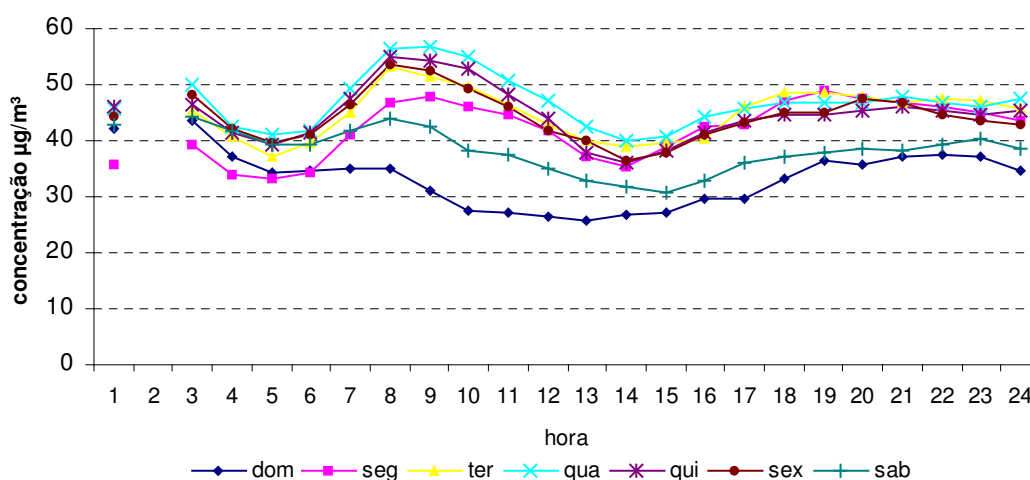


Figura 10 - MP_{10} - Médias horárias por dia da semana no período de 1999 a 2004

A figura 11 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 7h e a tarde a partir das 18h permanecendo elevadas durante o período noturno, e que o período do inverno é em média bem mais alto do que o período de verão.

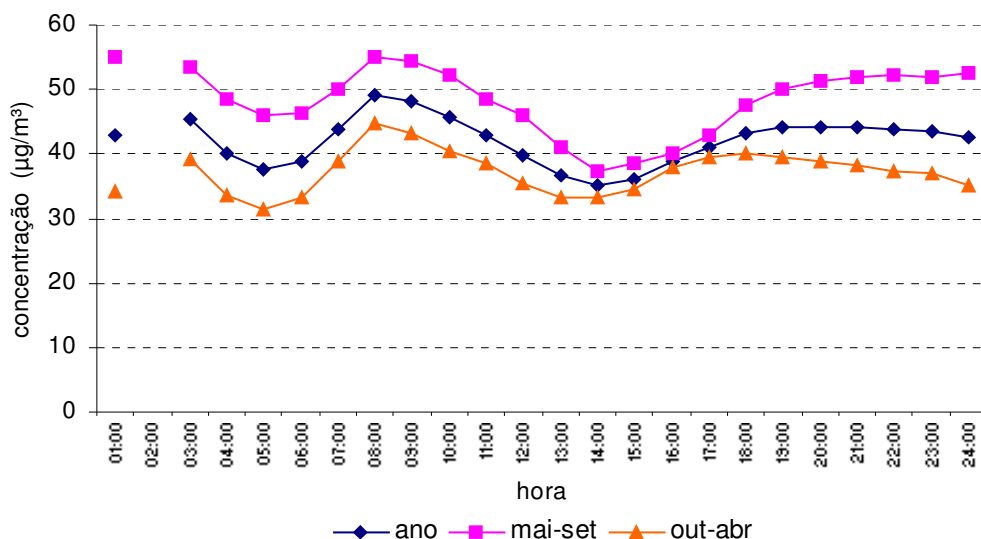


Figura 11 - MP₁₀ - Médias horárias por época do ano no período de 1999 a 2004

Observa-se na figura 12, uma variação bastante discreta entre as concentrações nos dias da semana e maior variação nas médias de final de semana.

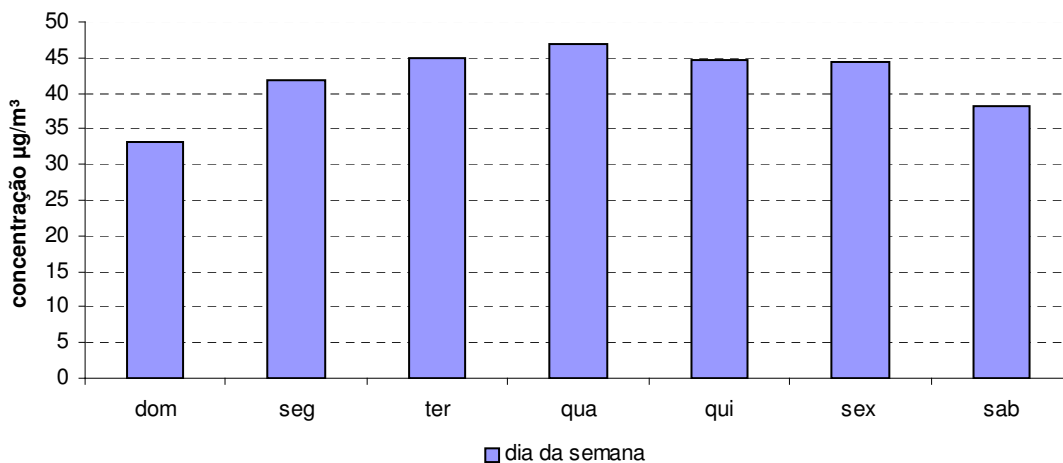


Figura 12 - MP₁₀ - Médias por dia da semana no período de 1999 a 2004

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 2.000m de raio, em setores, conforme apresentado na figura 13⁽⁶⁾.

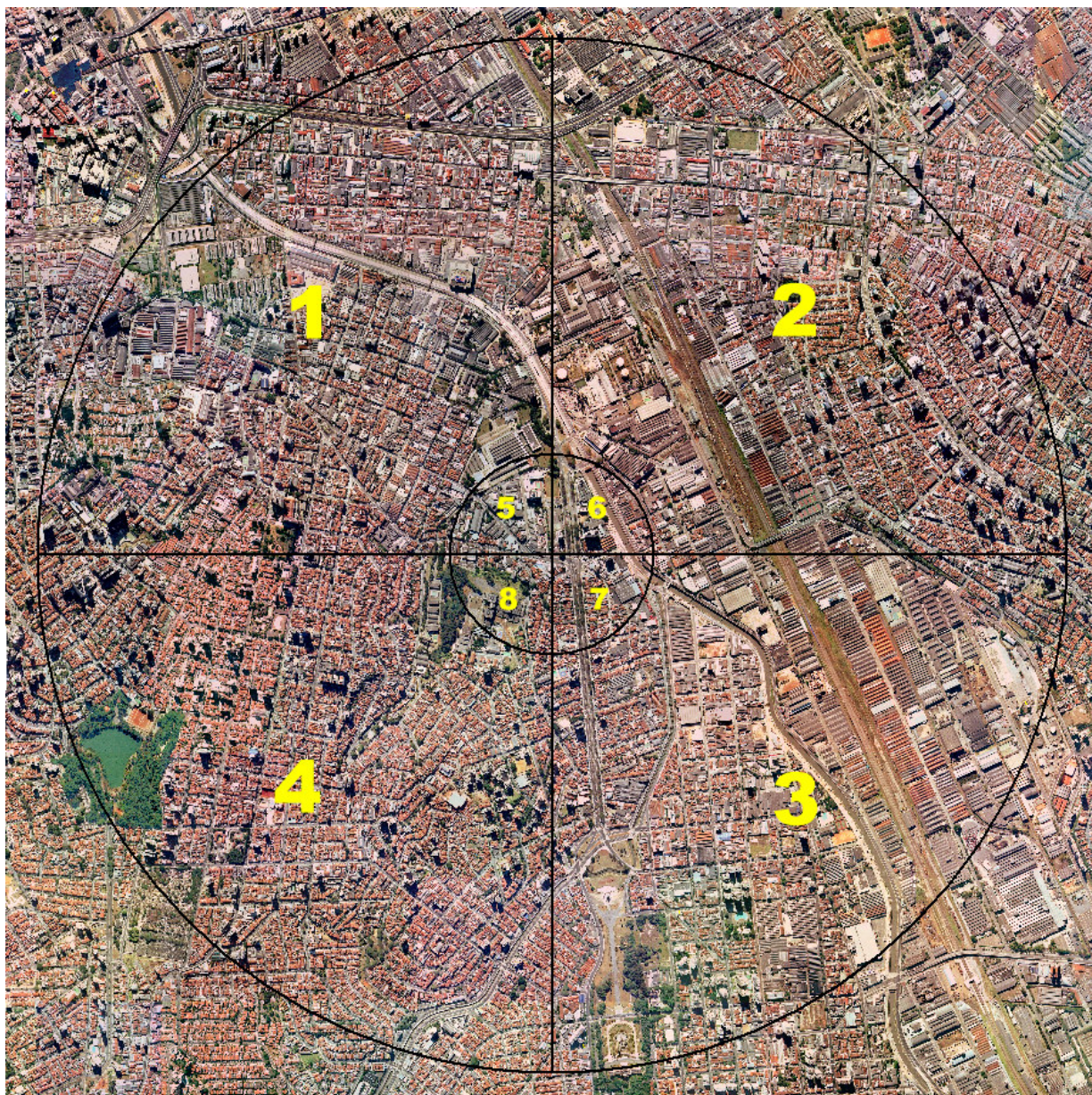


Figura 13 – Mapa Nata⁽⁶⁾ ilustrando as principais fontes de emissão e setores no entorno da estação Cambuci

Fontes Estacionárias

De acordo com a Agência Ambiental do Ipiranga e Agência Ambiental de Pinheiros, as fontes estacionárias situadas na área de abrangência desse estudo, não são suficientemente representativas a ponto de causar impacto na estação amostradora. Deve-se levar em consideração que nos últimos anos houve uma considerável migração da matriz energética utilizada nas plantas industriais, passando do óleo combustível para o gás natural.

Fontes Móveis

As fontes móveis mais importantes no entorno da estação em estudo são representadas por poucas, mas importantes vias de tráfego. As avenidas mais próximas e fontes lineares de emissão a causar impacto na área de avaliação, no raio de 400 metros são: Av. do Estado que se estende na direção norte-sudeste a uma distância entre 300 e 400 metros da estação, Av. D. Pedro I na direção norte-sul, tendo seu ponto mais próximo inferior a 100 metros e R. da Independência que vem do oeste, passa ao lado da estação e encontra a Av. D. Pedro I, no quadrante sul-leste.

As demais vias de tráfego no entorno não foram consideradas em virtude da pouca representatividade do volume de tráfego.

Considerando essas fontes lineares citadas como as mais importantes na região de estudo, foram feitas estimativas de emissão, diferenciando-se os veículos leves dos veículos movidos a diesel. Não foram efetuadas contagens para se estimar o número de motos que trafegam nessas vias, devido à constatação de que é pouco expressiva a contribuição das mesmas no total de veículos em circulação.

As emissões nas vias analisadas foram estimadas a partir dos dados de contagem de veículos realizada no dia 19/05/05 (quinta-feira). Foram efetuadas contagens de 15 minutos, simultaneamente em cada ponto, nos horários compreendidos entre 7h e 18h15.

Para se chegar ao volume de tráfego diário de veículos leves e diesel, considerou-se o valor médio das contagens realizadas, obtendo-se a média horária do fluxo de veículos. 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 se estimar o volume anual, considerou-se o ano com 52 semanas e o volume de tráfego diário válido somente para os dias úteis. Nos finais de semana, estimou-se uma redução de 50% no fluxo de veículos, tanto leves como diesel (tabela 5).

**Tabela 5: Contagem de veículos na Av. D.Pedro I,
Av. do Estado e R. da Independência**

Local	Fonte	Volume de tráfego diário	Volume anual estimado
Rua da Independência	Veículos leves	32.826	10.250.000
	Veículos diesel	5.520	1.725.000
Av. D. Pedro I	Veículos leves	40.020	12.500.000
	Veículos diesel	8.961	2.800.000
Av. do Estado	Veículos leves	70.104	21.875.000
	Veículos diesel	13.726	4.285.000

Para a estimativa de emissão das fontes móveis, foram considerados os fatores de emissão de veículos em uso na RMSP em 2004 (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 2004

Tipo de veículo	Fatores de emissão (g/km)				
	MP	SO ₂	NOx	CO	HC
Gasool	0,08	0,12	0,68	12,1	1,24
Diesel	0,62	0,43	11,17	15,6	2,48

A partir dos fatores de emissão e do volume de tráfego estimado nas principais vias no entorno da estação, calculou-se a emissão de poluentes em ton/ano, levando-se em conta a extensão destas fontes lineares (tabela 7).

Tabela 7: Emissões de fontes móveis

Local	Fonte	Emissões (ton/ano)				
		MP	SO ₂	NO _x	CO	HC
Rua da Independência*	Gasool	0,33	0,49	2,79	49,61	5,08
	Diesel	0,43	0,30	7,71	10,76	1,71
	Total	0,76	0,79	10,50	60,37	6,79
Av. D. Pedro I*	Gasool	0,80	1,20	6,80	121,00	12,40
	Diesel	1,39	1,86	25,02	17,47	5,55
	Total	2,19	2,06	31,82	138,47	17,95
Av.do Estado**	Gasool	0,70	1,05	5,95	105,87	10,85
	Diesel	1,06	0,74	19,14	10,76	1,71
	Total	1,76	1,79	25,09	116,63	12,56

* Fonte linear de 400m de extensão

** Fonte linear de 800m de extensão

A tabela 8 relaciona as estimativas de emissões das fontes móveis dentro de cada setor

Tabela 8: Estimativas de emissão das fontes móveis no entorno da estação Cambuci

Quadrante	Setor	Emissão das fontes (ton/ano)						Emissão Total (ton/ano)				
		Fonte	MP	SO ₂	NO _x	CO	HC	MP	SO ₂	NO _x	CO	HC
0 - 90 (Nordeste)	6	Av. D Pedro I [400m]	1,10	1,03	15,91	69,24	8,98	2,42	2,37	34,7	156,7	18,4
		Av. do Estado [300m]	1,32	1,34	18,82	87,47	9,42					
90 - 180 (Sudeste)	7	Av. D Pedro I [400m]	1,10	1,03	15,91	69,24	8,97	1,54	1,48	12,2	98	12,1
		Av. do Estado [100m]	0,44	0,45	6,27	29,16	3,14					
180 - 270 (Sudoeste)	8	Rua da Independencia [100m]	0,19	0,19	2,63	15,10	1,70	0,19	0,19	2,6	15	1,7
270 - 360 (Noroeste)	5	Rua da Independencia [300m]	0,57	0,60	7,87	45,27	5,09	0,57	0,6	7,9	45	5,1

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

4.1.4. Influência das Condições Meteorológicas

Neste capítulo, faz-se uma análise procurando identificar a influência dos parâmetros meteorológicos e das fontes de poluição inventariadas sobre as concentrações de MP₁₀ observadas na estação.

Para entender o comportamento dos poluentes na atmosfera, é necessário um bom conhecimento da meteorologia local, e um dos parâmetros que deve ser analisado é o

vento. Na estação do Cambuci não são medidos parâmetros meteorológicos, o que dificulta identificar o setor que mais contribui para as concentrações. Entretanto, para descrever o comportamento dos ventos na estação em avaliação, utilizou-se as informações da estação de São Caetano do Sul devido a proximidade (distante cerca de 6km em linha reta e a sudeste de onde está instalada a estação Cambuci) e sem grande variação topográfica.

De maneira geral, o comportamento dos ventos pode ser descrito da seguinte forma de acordo com o relatório Cetesb: Caracterização da Rede Automática da Qualidade do Ar na RMSP – Estação São Caetano do Sul (páginas 40 a 42):

- Na madrugada e início da manhã há uma predominância de calmaria, sendo assim o pior período para as condições de dispersão de poluentes;
- No período da manhã, coincidindo o pico do tráfego matutino, há o predomínio de ventos do quadrante NE;
- Na parte da tarde há um aumento da frequência dos ventos do quadrante NW;
- Os ventos do quadrante SE são os predominantes quando considerados todos os horários do dia. Esta situação é ocasionada, principalmente, por duas condições meteorológicas distintas: a primeira está associada à atuação de anticiclones polares, onde os ventos são constantes em direção em praticamente todo o dia; a segunda condição ocorre pela atuação da brisa marítima ocorrendo a partir da tarde até a noite;
- Os ventos do quadrante SW são os de menor ocorrência em todos os horários do dia.

4.1.5. Escalas de Representatividade

Para avaliar se a estação está bem localizada no que diz respeito às fontes prioritárias de emissão dos poluentes, a análise consistiu em:

- Comparar o perfil de concentração de MP_{10} , no dia em que foram feitas as contagens de veículos, com o volume de tráfego nos horários correspondentes. Caso os perfis de concentração e de tráfego coincidam, evidencia-se a influência direta das emissões nas vias mais próximas. Caso os perfis de tráfego e concentração não se sobreponham e isto não possa ser atribuído a fatores meteorológicos, pode-se supor que os dados medidos na estação também refletem a influência de fontes de poluição mais distantes, além das emissões inventariadas.
- Comparar o perfil de MP_{10} nesta estação com o de outras estações da rede, em termos de valores e também de variação da concentração média ao longo do dia.
- Analisar os perfis nos dias em que se detectaram as concentrações mais elevadas, visando identificar se os resultados observados em episódios de maiores concentrações representam o comportamento em condições médias.

A apresentação em gráfico das concentrações horárias de material particulado inalável e das contagens de veículos leves e pesados, no dia 19/05/2005, permite observar que, especialmente no período do final da manhã e início da tarde, o perfil de concentração é diferente do perfil que representa o número total de veículos na R. da Independência e Av. D. Pedro I, nas imediações da estação.

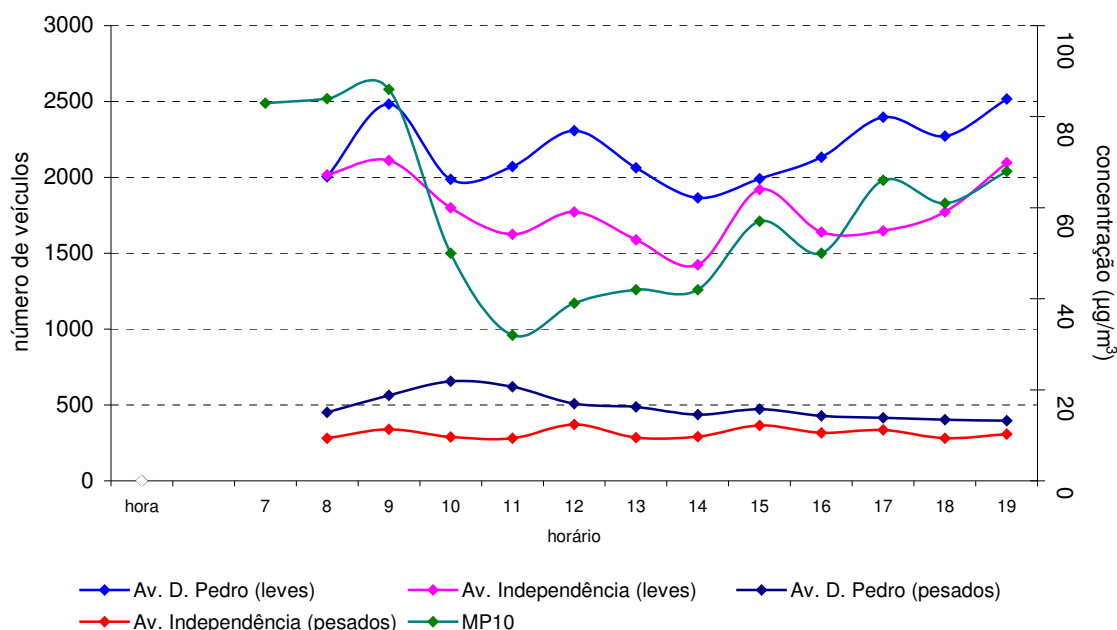


Figura 14 – Perfil do MP₁₀ medido na estação e estimativa do número de veículos leves e pesados em cada uma das principais vias no entorno da estação, em 19/05/2005

Os perfis que representam as médias horárias de veículos pesados são mais atenuados que as curvas de veículos leves, e estas, por sua vez, apresentam variações menos acentuadas que o perfil de concentração de MP₁₀. No período entre 8h e 9h, as concentrações foram muito elevadas, caindo significativamente a partir das 10h, embora o número de veículos nas avenidas mais próximas da estação não tenha diminuído de forma tão significativa. A partir das 14h, as concentrações aumentam gradativamente, tendendo a desenvolver um perfil semelhante ao do número de veículos que circulam nas principais vias no entorno da estação. Neste dia, as condições meteorológicas de dispersão foram bastante desfavoráveis durante a madrugada e início da manhã, com inversão térmica próxima à superfície e muita calmaria em toda a Região Metropolitana de São Paulo, o que explica as elevadas concentrações detectadas no período da manhã. Quando a velocidade do vento começa a aumentar de intensidade, a direção varia de NE a W, isto é, na direção contrária à localização da fonte em relação às avenidas D. Pedro I e Independência, o que se reflete na queda brusca de concentração de MP₁₀. Desta forma, não há indícios de que as concentrações medidas nesta estação sejam influenciadas por fontes distantes. Assim, a classificação da estação quanto à escala de abrangência deve considerar o número médio de veículos que circula no entorno, bem como a distância da estação em relação à via mais próxima.

Segundo este critério, como o volume de tráfego diário na Av. Independência foi estimado entre 30.000 e 40.000 veículos, e a estação está a cerca de 10 metros, com a sonda de captação de amostra a uma altura de 3 metros do solo, a estação classifica-se como de microescala para MP₁₀.

O trecho da Av. Independência mais próximo da estação está a SW, que é o quadrante em que ocorrência de ventos é menor, a julgar pelo perfil de vento observado na Estação São Caetano do Sul, que fica na mesma bacia aérea da estação Cambuci. Nos horários de pico de tráfego, o vento predominante sopra de NE (onde se localiza a Av. D. Pedro I), pela manhã, e de NW no período da tarde (Parque). Desta forma, de maneira geral, o impacto das emissões das fontes que circulam na Av. Independência fica atenuado pela dispersão promovida pelos ventos que sopram em sentido contrário nos horários de pico de tráfego.

Comparação com outras estações da Rede

A comparação do perfil horário de MP_{10} de várias estações da rede (figura 15) mostra similaridade entre os perfis das estações Cambuci, Cerqueira César, Parque D. Pedro II e São Caetano do Sul, porém com níveis de concentração diferentes.

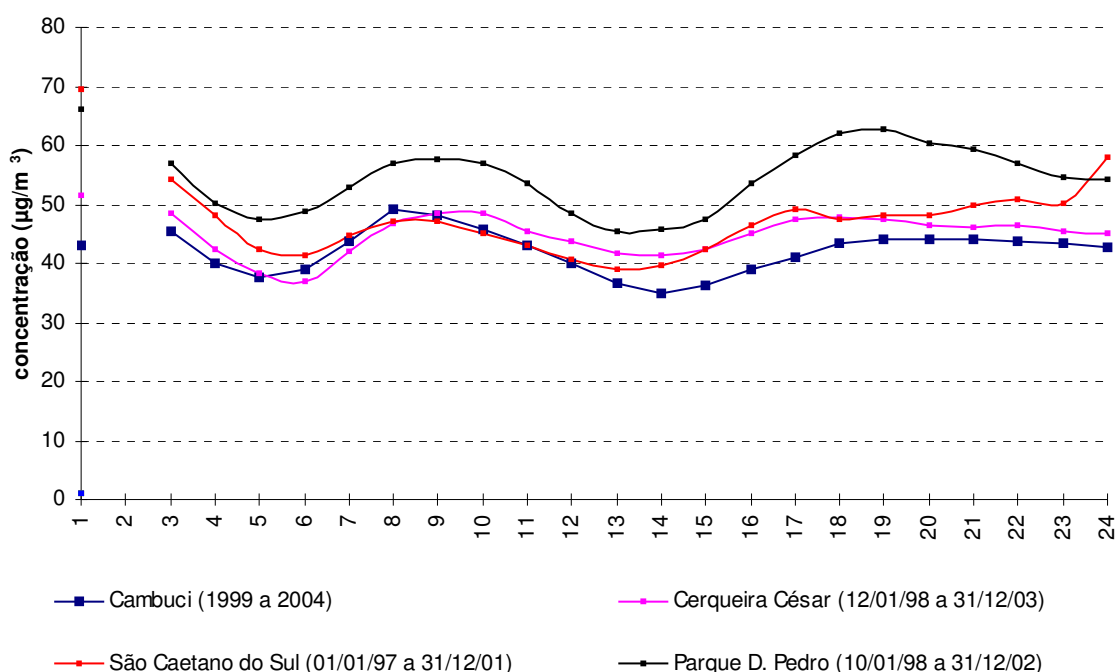


Figura 15 - MP_{10} – Perfil de concentração ao longo do dia

Na estação Cambuci, o perfil de concentração em função da hora do dia apresenta picos compatíveis com os picos de emissão veicular, com concentrações médias no período da manhã da mesma ordem de grandeza das detectadas nas estações Cerqueira César e São Caetano do Sul, e um pouco mais baixas no período da tarde.

Episódios de alta concentração

A análise dos episódios de mais alta concentração de MP_{10} em 2004 mostra duas situações distintas. No dia 15 de julho de 2004, uma brusca elevação na concentração, $241\mu g/m^3$, caracterizou o maior episódio do ano nessa estação. Numa comparação com a estação Ibirapuera é possível notar que apesar dos perfis nessas estações serem bem semelhantes nos dias analisados na figura 16, há a presença de dois picos de concentração distintos por volta de 1h da madrugada e às 8h da manhã do dia 15. Esses

picos são indicativos de influência de fontes no entorno do local da estação, onde dentre as significativas podemos destacar a Av. do Estado.

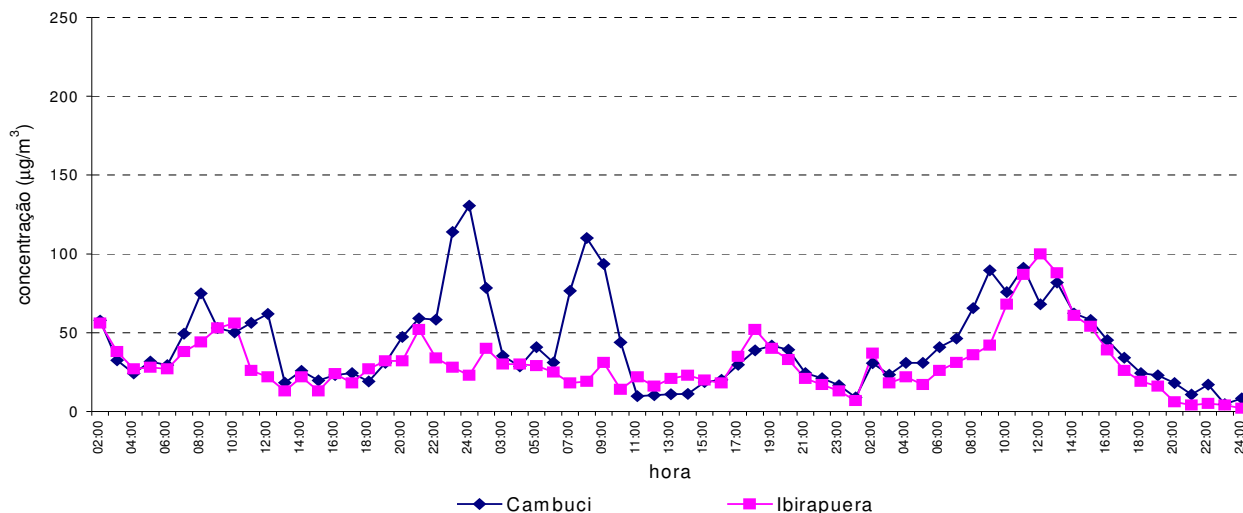


Figura 16 - MP₁₀ – Médias horárias nas estações Cambuci e Ibirapuera para os dias 14, 15 e 16/07/2004

O episódio ocorrido no dia 24 de junho de 2004, às 2h, reflete o que acontece em dias onde as condições meteorológicas não favorecem a dispersão dos poluentes, fazendo com que a concentração deles aumente na cidade como um todo. Esse fato pode ser observado na figura 17, onde as médias horárias nas estações Cambuci e Ibirapuera permanecem similares durante os três dias analisados.

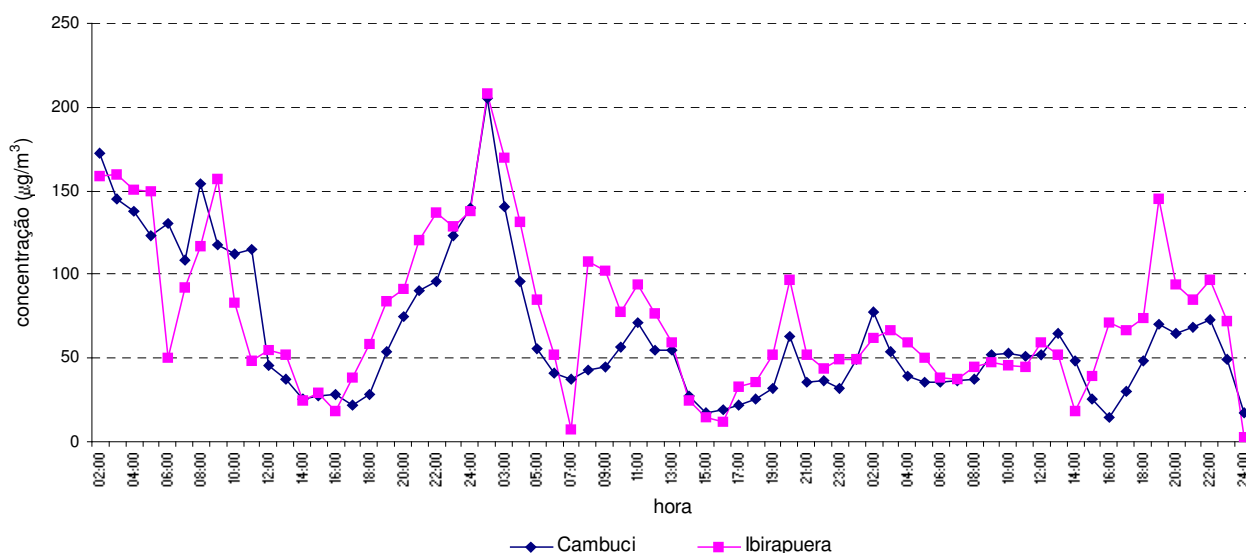


Figura 17 – MP₁₀ – Médias horárias nas estações Cambuci e Ibirapuera nos dias 23, 24 e 25/06/2004

4.1.6. Conclusões

Qualidade do Ar

Escala de Representatividade

O levantamento das principais fontes emissoras de poluentes no entorno da estação Cambuci 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.

Deve-se destacar que o impacto das emissões provenientes da Av. Independência é atenuado pelos ventos, cujas direções predominantes nos horários de pico tráfego são NE e NW, pela manhã e à tarde, respectivamente.

Uso do Solo

A estação está localizada em região predominantemente comercial e residencial. A análise da influência das principais fontes mostrou que as concentrações de MP_{10} observadas na estação decorrem principalmente de emissões veiculares.

População Exposta

Considerando-se que esta estação é de microescala em relação à Av. Independência e que o impacto das emissões é por vezes atenuado em virtude da localização da estação em relação às direções predominantes dos ventos nos horários de pico de tráfego, pode-se inferir que parte da população do bairro, nas proximidades de vias de tráfego intenso, como Av. D. Pedro e Av. do Estado, podem estar sujeitas a concentrações mais elevadas de MP_{10} do que os níveis médios de concentração detectados nesta estação.

Parâmetros Monitorados

A estação Cambuci monitora somente o poluente MP_{10} .

Recomendações

Por esta estação apresentar perfis de concentração semelhantes a outras estações da rede automática na RMSP, inclusive na mesma ordem de grandeza (conforme demonstrado no item “Comparação com outras estações da Rede”), pode-se supor que a alteração do parâmetro atualmente monitorado e/ou a mudança da estação para outro local, poderá propiciar melhores e mais abrangentes informações sobre a qualidade do ar na RMSP.

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 – Nucleo de Pesquisas em Tecnologia Avançada para Monitoramento e Proteção Ambiental (NATA).

Equipe de Trabalho

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

Colaboração

Agência Ambiental de Pinheiros - CBP
Agência Ambiental de Santana – CDS

Revisão

Daniel Silveira Lopes - ETQT