

DIRETORIA DE ENGENHARIA, TECNOLOGIA E QUALIDADE AMBIENTAL

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DO AR

DIVISÃO DE TECNOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR

SETOR DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE DO AR

**MATERIAL PARTICULADO INALÁVEL
FINO ($MP_{2,5}$) E GROSSO ($MP_{2,5-10}$)
NA ATMOSFERA DA REGIÃO
METROPOLITANA DE SÃO PAULO
(2000 – 2006)**

DEZEMBRO/2008

SUMARIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 A CONTAMINAÇÃO ATMOSFÉRICA NA RMSP E EM GRANDES CENTROS URBANOS | 2 |
| 1.2 EFEITOS À SAÚDE | 5 |
| 2. OBJETIVO DO ESTUDO | 7 |
| 3. AMOSTRAGEM E ANÁLISE | 7 |
| 3.1 LOCAIS DE AMOSTRAGEM | 7 |
| 3.2 ESCALA DE REPRESENTATIVIDADE | 7 |
| 3.3 PERÍODO E DURAÇÃO DA AMOSTRAGEM | 8 |
| 3.4 MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE | 8 |
| 3.5 VALIDAÇÃO DOS DADOS | 9 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 10 |
| 4.2 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS DADOS DE CONCENTRAÇÕES (MEDIANA, MÁXIMA, MÍNIMA E PERCENTIS 25% E 75%) | 10 |
| 4.3. COMPARAÇÃO COM PADRÕES DE QUALIDADE DO AR DOS EUA E VALORES DA OMS | 14 |
| 4.4 PARTÍCULAS INALÁVEIS FINAS – ESTUDO DE TENDÊNCIA | 15 |
| 4.5 COMPORTAMENTO SAZONAL | 16 |
| 4.5.1 CONCENTRAÇÕES - MÉDIAS MENCIAIS | 16 |
| 4.5.2 VARIAÇÃO DIÁRIA | 17 |
| 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 20 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 22 |
| 8. EQUIPE DE TRABALHO | 23 |
| 9. ANEXOS | 24 |

1. Introdução

A atmosfera da Região Metropolitana de São Paulo, RMSP, é um sistema complexo, no qual estão presentes aerossóis e gases emitidos principalmente pelos veículos automotores e pelas indústrias. Poluentes podem também ser formados por reações químicas na atmosfera, que somados aos poluentes emitidos diretamente pelas fontes, levam a uma degradação ainda maior da qualidade do ar. No que se refere aos aspectos climáticos, a RMSP, assim como todo o Estado de São Paulo, possui basicamente duas estações predominantes, uma que vai de maio a setembro, mais seca, e outra de outubro a abril, chuvosa⁽¹⁾. Na estação seca, ocorrem com frequência situações meteorológicas com muitas horas de calmaria, céu claro, grande estabilidade atmosférica e ocorrência de inversão térmica muito próxima à superfície terrestre. Quanto aos aspectos geográficos, a RMSP destaca-se pela proximidade do Oceano Atlântico, da Serra do Mar e da Serra da Cantareira, que influenciam na climatologia local, com ocorrência dos fenômenos de brisa terrestre e marítima.

A RMSP, em décadas passadas, sofreu problemas agudos de contaminação do ar por vários poluentes, dentre eles, o material particulado. Esses episódios foram registrados pela rede de monitoramento da qualidade do ar da CETESB cujo início de funcionamento ocorreu na década de 70, com a instalação e operação de uma rede manual e posteriormente também, a partir de 1981, com a implantação de uma rede automática de monitoramento da qualidade do ar. Estudos específicos sobre as características físicas dos aerossóis quanto ao tamanho das partículas e sua composição na RMSP foram realizados pela CETESB em 1986-1987, publicados em 1989^(2,3). Naqueles estudos, as partículas foram coletadas nas faixas de tamanho: a) menor ou igual a 2,5 μm ; b) entre 2,5 μm e 10 μm ; c) menor que 10 μm e d) menor que 100 μm . Uma dessas publicações⁽³⁾, além de constatar na época os elevados níveis de material particulado inalável (MP_{10}) quando comparados aos padrões de qualidade do ar dos Estados Unidos, recomendou um estudo de viabilidade da adoção de padrões de qualidade do ar para o MP_{10} , visto que na época, para aquele parâmetro, à luz dos conhecimentos técnicos e científicos, esses padrões eram mais adequados para a proteção da saúde da população. Embora os níveis de concentração de material particulado na região tenham decrescido nos anos seguintes, o que provocou a diminuição e posteriormente a ausência de episódios críticos de poluição do ar por este poluente, ainda assim seus níveis atuais são considerados elevados tomando-se em conta os efeitos crônicos à saúde da população da RMSP.

Embora não haja um padrão de qualidade do ar para $\text{MP}_{2,5}$ no Brasil, a CETESB, com o intuito de avaliar de forma mais sistemática os níveis desse parâmetro na RMSP, iniciou, a partir de 2000, o monitoramento das partículas inaláveis finas ($\text{MP}_{2,5}$) e grossas ($\text{MP}_{2,5-10}$) a cada 6 dias. As partículas das duas faixas de tamanho foram avaliadas, inicialmente em um único local (Cerqueira César) e a partir de 2002, também no Ibirapuera, Pinheiros e São Caetano do Sul, cujos resultados são objeto de análise deste relatório.

1.1 A Contaminação Atmosférica na RMSP e em Grandes Centros Urbanos

A atmosfera é um sistema constituído por gases, partículas líquidas e sólidas, que mantêm entre si um processo de interação física e química constante. Em áreas urbanas como a RMSP, além das fontes naturais, há as antropogênicas como fontes adicionais de emissão dos poluentes que contribuem significativamente para a deterioração da qualidade do ar. As fontes antropogênicas são divididas em estacionárias e móveis. Dentre as estacionárias, destacam-se as emissões da queima de combustíveis, dos processos industriais, da construção civil, da demolição, das indústrias processadoras de metais e petroquímicas bem como da queima de biomassa. Nas fontes móveis, constituída pelos veículos automotores, incluem-se as emissões pelo cano de escapamento e a poeira ressuspensa proveniente das vias pavimentadas ou não. Os aerossóis, constituídos por partículas sólidas ou líquidas em suspensão, são formados por uma mistura de partículas de origem primária e secundária. As de origem primária são aquelas emitidas diretamente pelas fontes, sejam elas fontes naturais (ex: erupções vulcânicas, incêndios em florestas, pólen, aerossol marinho) ou antropogênicas (ex: emissão veicular, industrial, queima de biomassa), enquanto que as secundárias não são emitidas diretamente, mas formam-se a partir da transformação dos gases e vapores em partículas. As partículas são classificadas em geral pelas suas propriedades aerodinâmicas, uma vez que essas propriedades determinam os processos de transporte e remoção no ar, penetração e deposição no trato respiratório. O diâmetro aerodinâmico de uma partícula é entendido como o diâmetro de uma esfera de densidade unitária que possui a mesma velocidade de sedimentação da partícula de interesse.

Tomando por base o tamanho das partículas, o MP inalável em atmosferas urbanas pode ser classificado em 3 principais frações: partículas inaláveis grossas, entre 2,5 e 10 µm em diâmetro aerodinâmico; partículas inaláveis finas, menores que 2,5 µm de diâmetro aerodinâmico e partículas ultrafinas, menores que 0,1 µm (100 nm). Partículas nas diferentes frações de tamanho diferem em suas origens, características físicas e composição química.

A fração ou moda grossa, as maiores que 2,5 µm, geralmente é constituída por partículas primárias, produzidas por processos mecânicos. Fontes biológicas também podem contribuir para essa moda. Assim, em ambientes urbanos, as partículas grossas são provenientes basicamente da emissão direta dos veículos, da ressuspensão da poeira do solo em vias públicas devido ao tráfego, das atividades industriais e do material biológico como grãos de pólen e fragmentos de bactérias. Na moda grossa pode ser incluído o material da crosta terrestre ressuspensado, tais como as poeiras provenientes de processos da agricultura trazidas pelos ventos, do solo a céu aberto, de ruas não pavimentadas ou operações de mineração. Essas partículas podem também ser formadas pela liberação de material não queimado em processos de combustão de biomassa, como resíduos de combustão.

As partículas inaláveis finas, menores que 2,5 µm em diâmetro aerodinâmico, conhecidas como fração ou moda fina, são produzidas a partir da emissão direta e dos gases precursores em processos de combustão. Parte dessas partículas são produzidas em tamanhos muito pequenos e são denominadas ultrafinas. Elas são produzidas por processos de nucleação e condensação de substâncias de baixa pressão de vapor, formadas por vaporização a altas temperaturas ou por reações químicas na atmosfera. Partículas nessa faixa de nucleação, ou moda, crescem rapidamente por coagulação (combinação de duas ou mais partículas para formar uma partícula maior) ou por condensação de moléculas na forma de gás ou vapor sobre

a superfície das partículas existentes. A eficiência da coagulação e condensação diminui com o crescimento das partículas. Essa queda de eficiência resulta efetivamente em um limite superior de tamanho de aproximadamente $1\ \mu\text{m}$, que não consegue ser excedido, exceto pelo crescimento higroscópico em atmosferas úmidas⁽⁴⁾. Então, essas partículas tendem a se manter em uma faixa de tamanho de $0,1$ a $1\ \mu\text{m}$.

Partículas de tamanho submicrométrico também podem ser produzidas pela condensação de metais ou compostos orgânicos que são vaporizados em processos de combustão sob altas temperaturas e pela condensação de gases que foram convertidos por reações químicas na atmosfera, a partir de substâncias de baixa pressão de vapor^(4,5). Os principais gases precursores são os óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre, amônia e compostos orgânicos voláteis. Consequentemente, alterações nas concentrações atmosféricas desses gases podem afetar as concentrações de MP. Por exemplo, o SO_2 é oxidado na atmosfera para formar aerossóis de ácido sulfúrico ou por reações que ocorrem na fase gasosa, líquida ou na superfície de sólidos ou ainda na combinação das três fases. O NO_2 é oxidado para ácido nítrico, que por seu turno pode reagir com amônia para formar nitrato de amônia. A fração fina, por essa razão, é composta tipicamente de nitrato, sulfato, amônio, carbono elementar, carbono orgânico constituído por um grande número de compostos orgânicos e traços de metais. Em geral, as partículas possuem um tempo de permanência na atmosfera de horas, dias a semanas, dependendo de seu tamanho. Os constituintes do particulado inalável grosso têm um tempo de permanência na atmosfera menor que os do material particulado fino, principalmente o secundário. Na tabela 1, com referência ao tamanho do material particulado, são apresentadas de forma resumida, as principais informações a respeito.

Para propósitos de regulamentação, o material particulado (MP) é classificado pelo diâmetro aerodinâmico. Como o tamanho é um determinante crítico da probabilidade e local de deposição no trato respiratório, dados evidenciam a associação do risco com o tamanho específico da partícula. Inicialmente, regulamentações e guias orientadores foram estabelecidos por métodos de medições de concentração de material particulado não específicos quanto ao tamanho de corte das partículas, como as partículas totais em suspensão (PTS) nos EUA, e fumaça preta na Europa. Em 1987, os Estados Unidos⁽⁶⁾ promulgaram um padrão para o material particulado de tamanho (diâmetro aerodinâmico) menor que $10\ \mu\text{m}$. Em 1997, foi incluído um novo padrão de MP para partículas de diâmetro aerodinâmico menor que $2,5\ \mu\text{m}$ ⁽⁷⁾. Em 2005, a Organização Mundial da Saúde, OMS, publicou um novo documento com novos valores orientadores para o MP, incluindo o $\text{MP}_{2,5}$ ⁽⁴⁾. No Brasil, embora os primeiros padrões para MP fossem estabelecidos em 1976 para o Estado de São Paulo⁽⁸⁾, com a adoção do parâmetro PTS, e em 1990, para o material particulado inalável (MP_{10}) e fumaça para todo o Brasil⁽⁹⁾, não houve avanços na adoção de novos padrões, como para o material particulado fino inalável ($\text{MP}_{2,5}$).

Tabela 1 - Características das Partículas

| | FINA (< 2,5 µm) | | GROSSA (2,5 e 10 µm) |
|---|---|--|--|
| | ULTRAFINA (<0,1 µm) | ACUMULAÇÃO (0,1 e 2,5 µm) | |
| ORIGEM | Combustão, processos sob temperaturas elevadas e reações atmosféricas | | Quebra de sólidos grandes / gotas |
| FORMAÇÃO | Nucleação Condensação Coagulação | Condensação Coagulação Reação de gases no interior ou exterior das partículas Evaporação de gotas de névoa e nuvens contendo gases dissolvidos e reagidos | Atrito mecânico (moagens, tratamento de superfície por abrasivos) Evaporação de "sprays" Suspensão de poeira Reação de gases no interior e exterior das partículas |
| COMPOSIÇÃO | Sulfatos Carbono elementar Compostos de Metais Compostos orgânicos com baixa pressão de vapor de saturação | Ions de sulfato, nitrato, amônio e hidrogênio Carbono elementar Grande variedade de compostos orgânicos Metais: compostos de Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe etc. Partículas com água | Solo suspenso ou poeira de rua Cinzas da combustão incompleta de carvão, óleo e madeira Nitratos/cloretos/sulfatos de reações de HNO ₃ / HCl/SO ₂ com partículas grossas Óxidos de elementos da crosta terrestre (Si, Al, Ti, Fe) Sais de CaCO ₃ , CaSO ₄ , NaCl, sal marinho Pólen, fungo, esporos de fungos Fragmentos de plantas e animais Desgaste de pneus, pavimentos de estradas |
| FONTES | Combustão atmosférica, Transformação de SO ₂ e alguns compostos orgânicos Processos com temperaturas elevadas | Combustão de carvão, óleo, gasolina, diesel e madeira Produtos de transformação atmosférica do NO _x , SO ₂ , e compostos orgânicos, incluindo espécies orgânicas biogênicas (ex: terpenos) Processos sob temperaturas elevadas, fundições, siderúrgicas etc. | Ressuspensão de poeira industrial e de solo depositado em ruas e estradas Suspensão de solo de atividades de mineração, agrícolas (ex: aragem do solo, estradas não pavimentadas) Construção e demolição Combustão de óleo e carvão incontrolados Aerossol marinho Fontes biológicas |
| TEMPO DE VIDA NA ATMOSFERA | Minutos a horas | Dias a semanas | Minutos a horas |
| PROCESSOS DE REMOÇÃO | Crescimentos dentro do modo acumulação Difusão em direção a gotas de chuva | Formação de gotas de chuva em nuvens e precipitação Deposição seca | Deposição seca Remoção por precipitação de gotas de chuva |
| DISTÂNCIAS POSSÍVEIS A SEREM PERCORRIDAS DURANTE O TEMPO DE RESIDÊNCIA NA ATMOSFERA | Menos que um a dezenas de km | Centenas a milhares de km | Menos que um até dezenas de km (partículas menores da fração grossa) e centenas a milhares de km para as partículas em tempestades de areia |

Fonte: Air Quality Criteria for Particulate Matter (Adaptado de Wilson and Suh, 1997)

1.2 Efeitos à Saúde

Nos grandes centros urbanos, as partículas inaláveis (MP_{10}), além de criarem problemas de visibilidade, estão fortemente associadas a problemas de saúde relacionados preferencialmente, aos sistemas respiratório e cardiovascular. Recentemente, as partículas finas ($MP_{2,5}$) têm merecido maior atenção devido ao seu grande potencial para causar efeitos adversos na saúde.

Ao serem inaladas, as partículas se depositarão em diferentes regiões do trato respiratório. A profundidade dessa deposição está inversamente associada ao tamanho das partículas. As partículas maiores se depositam na narina, de onde são eliminadas pelos espirros e pelo ato de assoar o nariz. Aquelas que se depositam na parte posterior da passagem nasal são “varridas” pela ação ciliar em direção à orofaringe e a partir deste ponto são engolidas e eliminadas pelo sistema digestório. Da fração inalável (MP_{10}), as partículas maiores se depositam na região extra torácica, com partículas menores se depositando ao longo da traquéia e dos brônquios principais. O aparelho mucociliar, a tosse e a fagocitose são os mecanismos responsáveis pela remoção das partículas que atingem este nível do trato respiratório. As partículas finas e ultrafinas atingem a região dos alvéolos e a corrente sangüínea.

Os efeitos adversos das partículas estão relacionados à sua ação diretamente no trato respiratório, através da indução de um processo de estresse oxidativo que, quando não controlado, desencadeia inflamação das vias aéreas levando à destruição dos mecanismos de defesa (lesão grave dos cílios e espessamento do muco), aumento da susceptibilidade já existente a alérgenos e ao aparecimento de novos quadros de susceptibilidade. Os efeitos desse processo inflamatório se manifestam a curto, médio e longo prazos. Agudamente, aumentos nas concentrações de $MP_{2,5}$ têm sido associados ao aumento dos casos de exacerbações de crises asmáticas e de sintomas respiratórios como tosse, coriza e espirros; aumento da procura de prontos-socorros e de internações hospitalares por quadros de rinite, sinusite, bronquite, asma e pneumonia-broncopneumonia. Esses aumentos na morbidade por doenças respiratórias associadas ao material particulado fino variam de 8% (entre os não portadores de doenças prévias) até 30% (entre crianças asmáticas e idosos com doença pulmonar obstrutiva crônica - DPOC) ⁽¹⁰⁾. A exposição de curto prazo também leva a aumentos na mortalidade por doenças respiratórias, principalmente por descompensações dos quadros de DPOC e por doenças infecciosas do trato respiratório inferior. A exposição crônica ao material particulado fino também está associada a aumento da mortalidade por doenças respiratórias.

Os efeitos adversos do $MP_{2,5}$ sobre o aparelho cardiovascular podem ocorrer através de duas vias: 1) indiretamente, como decorrência da inflamação pulmonar e da liberação de mediadores inflamatórios, resultando em desfechos sub-agudos e crônicos; e 2) diretamente, através da passagem das partículas para o sangue, levando a alterações agudas na coagulação do sangue (hipercoagulabilidade), na progressão da aterosclerose e aparecimento de placas instáveis, nos marcadores inflamatórios sistêmicos, no controle autonômico cardíaco e na sensibilidade miocárdica. Como resultados dessas alterações, têm sido observadas associações entre exposição ao $MP_{2,5}$ e alterações do ritmo cardíaco (arritmias), diminuição da variabilidade da frequência cardíaca, aumento da pressão arterial, aumento dos marcadores inflamatórios, trombose venosa e infarto agudo do miocárdio. Conforme Peters et al. ⁽¹¹⁾, estes efeitos podem se manifestar em apenas algumas horas após a exposição e podem perdurar

por até 24 horas⁽¹²⁾. Cronicamente, a mortalidade por doenças cardiovasculares está diretamente relacionada com a concentração média de $MP_{2,5}$ do local de moradia do indivíduo⁽¹³⁾. De acordo com os especialistas, os estudos mais recentes mostram a maior relevância dos efeitos adversos das partículas finas e ultrafinas ($<MP_{2,5}$) sobre a saúde quando comparadas ao observado para as partículas inaláveis na sua fração grossa ($MP_{2,5-10}$). A redução mesmo pequena nos níveis do $MP_{2,5}$ pode trazer benefícios substanciais à saúde da população. Por exemplo, nos Estados Unidos, em áreas metropolitanas de tamanho médio que conseguiram reduzir a concentração média anual de $15,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, estima-se uma redução de 25 a 50 mortes por ano⁽¹⁴⁾.

1.3 Padrões de Qualidade do Ar e Valores Orientadores da OMS para o Material Particulado Inalável Fino ($MP_{2,5}$)

Os primeiros padrões de qualidade do ar para o $MP_{2,5}$ foram estabelecidos em 1997, pela Agência Ambiental Americana -USEPA, nos Estados Unidos, e foram recentemente revisados, com adoção de novo padrão diário⁽¹⁵⁾. Em 2005, a Organização Mundial da Saúde – OMS, estabeleceu valores guias para esse parâmetro, bem como valores temporários⁽⁴⁾. Por não haver padrões de qualidade do ar na legislação brasileira para o $MP_{2,5}$, este estudo, para efeito comparativo, adotou os padrões dos EUA e os valores da OMS como referência. O padrão americano estabelece que a média anual de 3 anos consecutivos de medição não deve ultrapassar $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e o valor guia da OMS $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como média anual. A OMS estabeleceu ainda valores denominados temporários, menos restritivos, que podem ser adotados como metas a serem alcançadas. Ainda segundo a OMS, a adoção de padrões em cada região ou país pode variar de acordo com a abordagem adotada para balancear riscos à saúde, viabilidade tecnológica e custos de implementação. Na Tabela 2, são apresentados os referidos valores.

Tabela 2 - $MP_{2,5}$ – Padrões de Qualidade do Ar (USEPA); Valores-Guia e Objetivos Intermediários (OMS) - $\mu\text{g}/\text{m}^3$

| | 24 h | Anual | Observações |
|------------|---------------------|-------------------|--|
| EPA | 35 ⁽¹⁾ | 15 ⁽²⁾ | |
| OMS | 25 ⁽³⁾ | 10 ⁽⁴⁾ | Valores-Guia |
| | 37,5 ⁽³⁾ | 15 ⁽⁴⁾ | Objetivos Intermediários – nível de proteção 1 |
| | 50 ⁽³⁾ | 25 ⁽⁴⁾ | Objetivos Intermediários – nível de proteção 2 |
| | 75 ⁽³⁾ | 35 ⁽⁴⁾ | Objetivos Intermediários – nível de proteção 3 |

- (1) - média de 3 anos do percentil 98 das concentrações de 24h, de cada monitor localizado em função de um aglomerado populacional em uma área
- (2) - média de 3 anos das concentrações médias anuais ponderadas, obtidas em monitores únicos ou múltiplos
- (3) - 24 horas - percentil 99 da distribuição de todos valores diários ou o 4º maior valor do ano (n= 365)
- (4) - média aritmética anual

2. Objetivo do Estudo

Avaliar as concentrações e comportamento das partículas inaláveis finas ($MP_{2,5}$) do período 2000 a 2006, na atmosfera da RMSP. Comparar as concentrações de $MP_{2,5}$ com os valores internacionais estabelecidos.

3. Amostragem e Análise

3.1 Locais de Amostragem

As amostragens ocorreram em 3 locais da cidade de São Paulo e em São Caetano do Sul. Na tabela 3, são exibidos os endereços e coordenadas das estações de monitoramento.

Tabela 3 - Locais do Monitoramento

| NOME | ENDEREÇO | COORDENADA |
|-----------------------------|---|------------------------|
| Cerqueira César – São Paulo | Faculdade de Saúde Pública – USP Av. Dr. Arnaldo, 725 Cerqueira César - São Paulo | 23K 0329309 7394249 |
| Pinheiros – São Paulo | CETESB Av. Prof. Frederico Hermann Jr, 345 Alto de Pinheiros - São Paulo | 23K 0326324 7393337 |
| Ibirapuera – São Paulo | Parque do Ibirapuera, 1985 (Setor 25) próximo à Av. IV Centenário Ibirapuera – São Paulo | 23K 0330592 7390026 |
| São Caetano do Sul | Hospital Municipal de Emergências R. Aurélia s/n (em frente ao 144) Vila Paula – São Caetano do Sul | 23K 0341269 7387273 |

3.2 Escala de Representatividade

Para classificação das estações de monitoramento da qualidade do ar, a CETESB utiliza critérios adaptados da Agência de Proteção Ambiental dos EUA - EPA e da Organização Mundial da Saúde - OMS. A área de abrangência ou escala espacial de representatividade da estação caracteriza o entorno da estação onde os valores medidos podem ser considerados similares a outros locais de mesmas características. Essa escala é baseada nos objetivos do monitoramento da rede e de cada estação individualmente. As escalas para áreas urbanas utilizadas para a classificação são: micro, média, bairro, urbana e regional. Quanto ao uso do solo, a estação pode ser classificada como comercial, residencial, industrial e próxima a vias de tráfego.

Na tabela 4 são apresentadas as escalas de representatividade, principais tipos de fontes do material particulado e uso/ocupação do solo predominante de cada estação.

Tabela 4 - Escala de Representatividade e Uso do Solo

| NOME | ESCALA DE REPRESENTATIVIDADE | PRINCIPAL FONTE | USO DO SOLO |
|--------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| Cerqueira César | Micro | Veículos | Comercial/Residencial, |
| Pinheiros | Micro | Veículos | Residencial/Comercial |
| Ibirapuera | Urbana | Veículos | Residencial/Lazer/Comercial |
| São Caetano do Sul | Média | Veículos/Indústrias | Comercial/ Residencial/Industrial |

3.3 Período e Duração da Amostragem

Os dados de monitoramento são relativos ao período de 2000 a 2006, com as amostragens realizadas a cada 6 dias, por períodos contínuos de 24 horas. Na tabela 5, estão indicados, para cada local, os anos em que as amostragens atenderam ao critério de representatividade anual. Para tanto, considerou-se o mesmo critério da rede manual, ou seja, a metade das médias diárias válidas para os quadrimestres de janeiro-abril, maio-agosto e setembro-dezembro.

Tabela 5 - Períodos das Amostragens

| LOCAL | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Cerqueira César | x | x | x | x | x | x | x |
| Pinheiros | | x | x | x | | | x |
| Ibirapuera | | | | x | x | | x |
| São Caetano do Sul | | x | x | x | x | x | x |

3.4 Métodos de Amostragem e Análise

Para coleta das amostras, em filtros de teflon, foram utilizados amostradores dicotômicos, marca Sierra Andersen, Modelo SA241, com cabeça separadora marca General Metal Works. O amostrador dicotômico é um impactador virtual que separa as partículas em duas frações de tamanho, a saber: 0 a 2,5 µm, denominadas partículas inaláveis finas (MP_{2,5}), e de 2,5 µm a 10 µm, denominadas partículas inaláveis grossas (MP_{2,5-10}).

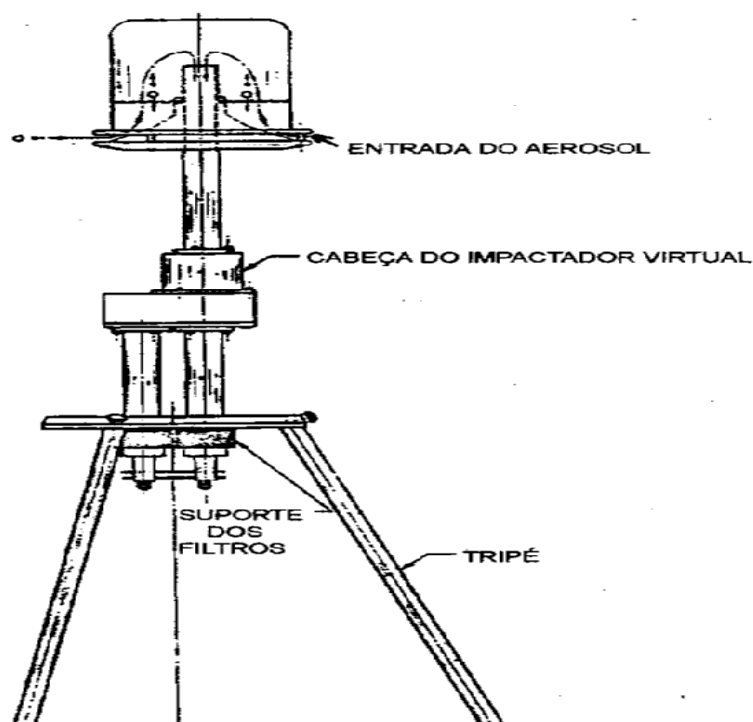


Figura 1 - Amostrador dicotômico

As massas das partículas coletadas nos filtros foram determinadas por pesagem em micro-balança Metler, Modelo M3. Os filtros utilizados foram condicionados para pesagem, antes e depois da amostragem, em câmara com umidade relativa controlada (cerca de 40%) e temperatura controlada (entre 18 e 23°C), evitando-se assim alterações de umidade que pudessem interferir nas massas a serem determinadas. As cargas eletrostáticas dos filtros, outra possível fonte de interferência na operação de pesagem, são neutralizadas pela presença da fonte radioativa de Amerício (Am-241). O mínimo detectável pela balança é 1 µg. Como controle da operação, após a pesagem de cada lote de filtros, novamente é pesado um filtro. Caso a variação de peso seja maior que 10 µg, todo o lote é repesado. Como controle adicional, um filtro não exposto foi utilizado como referência para verificar a variabilidade da operação de pesagem.

3.5 Validação dos Dados

Os dados das duas frações $MP_{2,5}$ e $MP_{2,5-10}$ foram submetidos a um processo de validação. A verificação da consistência interna baseou-se nas diretrizes de uma publicação da EPA⁽¹⁴⁾, com a adaptação dos números ao conjunto de dados. A relação utilizada para a elaboração do critério foi :

$$\text{Consistência} = \frac{MP_{2,5-10}}{MP_{2,5}}$$

O cálculo da consistência foi aplicado a todas as amostras.

Os resultados que se encontravam entre (média aritmética da relação $MP_{2,5} / MP_{2,5-10} \pm 1,965s$) foram aceitos. Valores que estivessem entre (média aritmética $\pm 1,965s$ e média aritmética $\pm 3,095s$) foram rigorosamente revisados, desde as anotações da folha de campo (hora inicial, tempo de coleta, controle de vazão), pesagem e observações dos filtros. No caso da revisão aprovada, todos os cálculos foram refeitos.

4. Resultados e Discussão

4.1 Apresentação dos dados

Um resumo dos dados anuais referentes às concentrações do material particulado $MP_{2,5}$; $MP_{2,5-10}$ e MP_{10} (soma de $MP_{2,5}$ e $MP_{2,5-10}$), é apresentado nas tabelas 1, 2, 3 e 4 do anexo. Os dados de Ibirapuera, relativos a 1987, foram levados em conta em algumas análises, visto que os tipos de fontes emissoras no entorno do parque se mantiveram os mesmos, diferentemente de São Caetano do Sul, que teve a estação transferida em 1991 para outro lugar do município, cujo entorno possui características muito diferentes do local anterior em relação ao tipo de fontes emissoras e, portanto, não teve seus dados considerados neste estudo.

4.2 Representação gráfica dos dados de concentrações (mediana, máxima, mínima e percentis 25% e 75%)

A ferramenta “box plot” é um eficiente método para visualização gráfica resumida de 5 tipos de dados obtidos de uma distribuição. São eles: mediana, percentil 25% e 75%, mínima e máxima. A figura 2 ilustra o modelo gráfico do “box plot”. Ele é construído de modo que a mediana seja representada pela linha no centro do retângulo, os percentis 25 e 75 representados pelas bordas superior e inferior do retângulo e os valores máximos e mínimos representados nos extremos superior e inferior, por um traço (-). Pontos representados pelo símbolo * significam valores duvidosos e que merecem ser revistos.

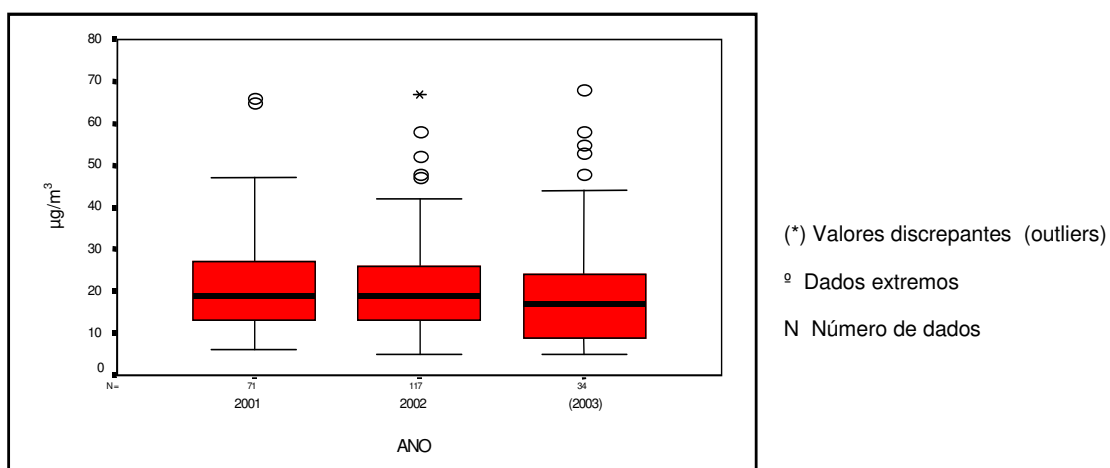
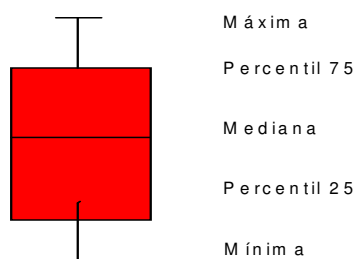
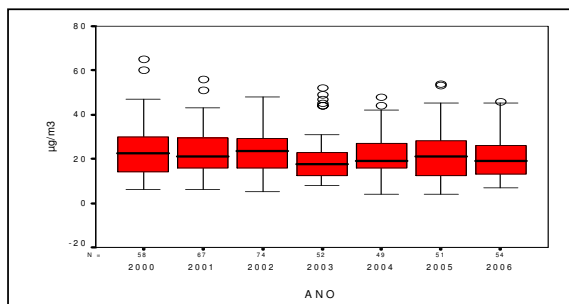
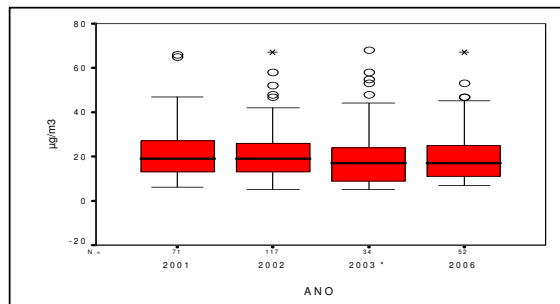


Figura 2 - Ilustração de aplicação da ferramenta box plot

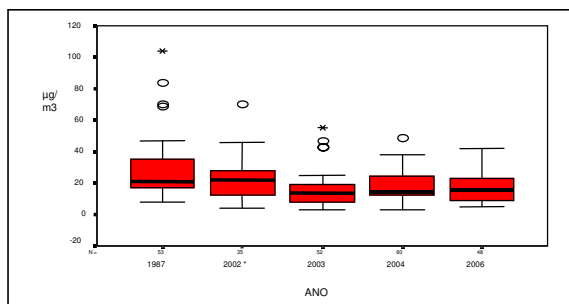
Os resultados da aplicação do “box plot” sobre a série de dados de cada estação de monitoramento são exibidos nas figuras 3, 4 e 5.



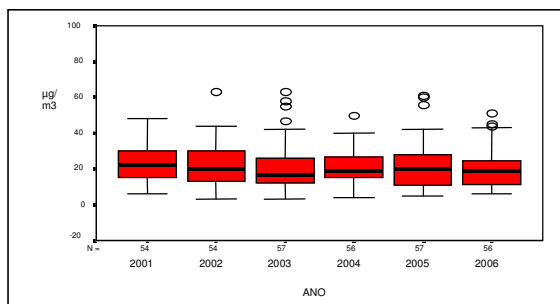
CERQUEIRA CESAR



PINHEIROS



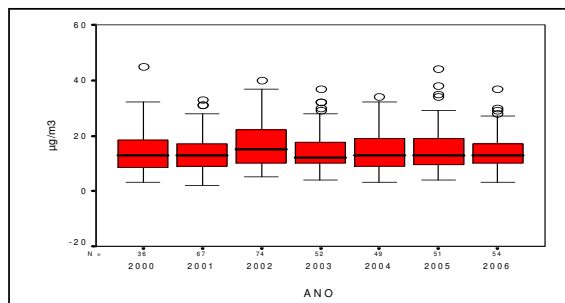
IBIRAPUERA



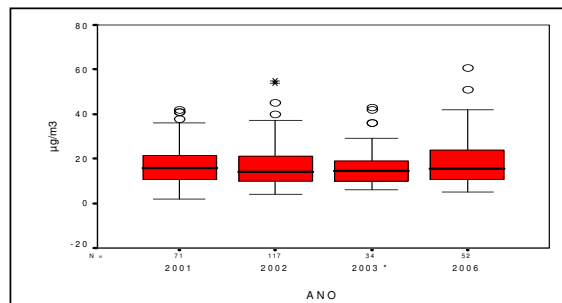
SÃO CAETANO DO SUL

- Ibirapuera em 2002 e Pinheiros em 2003 não atenderam ao critério de representatividade

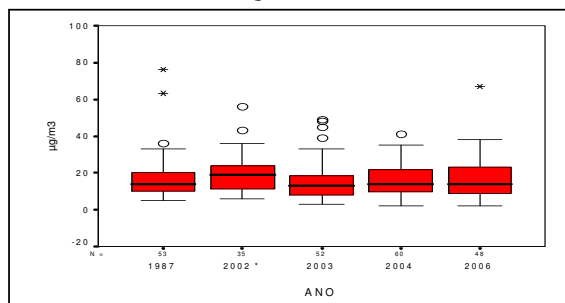
Figura 3 - MP_{2,5} - Partículas Inaláveis Finas



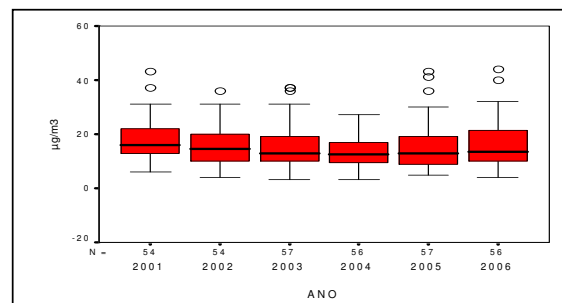
CERQUEIRA CESAR



PINHEIROS



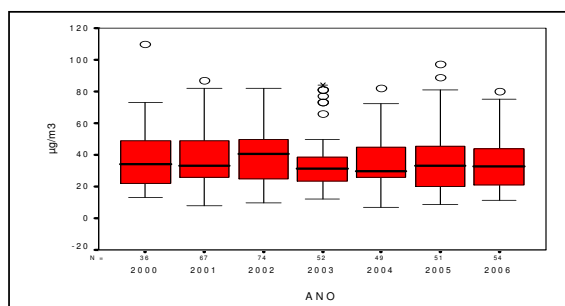
IBIRAPUERA



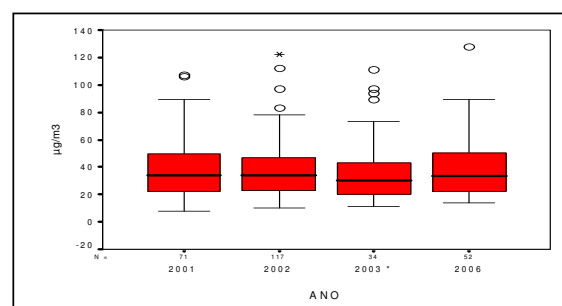
SÃO CAETANO DO SUL

- Ibirapuera em 2002 e Pinheiros em 2003, não atenderam ao critério de representatividade

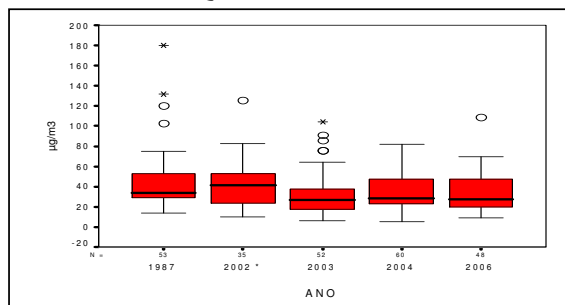
Figura 4 - $MP_{2,5-10}$ - Partículas Inaláveis Grossas



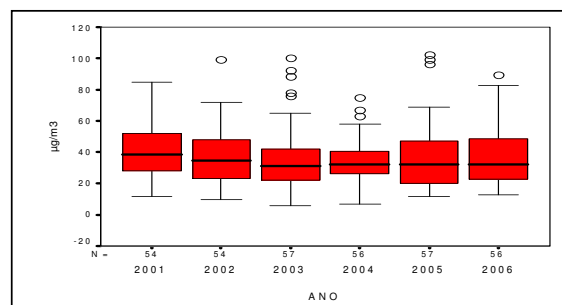
CERQUEIRA CESAR



PINHEIROS



IBIRAPUERA



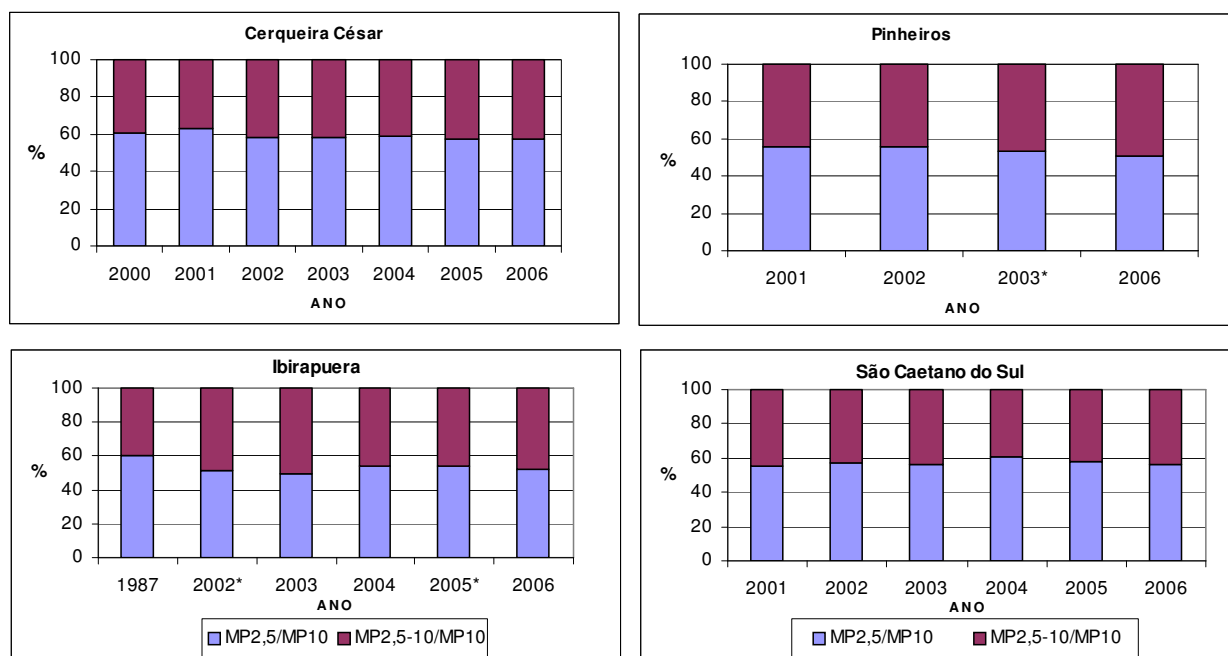
SÃO CAETANO DO SUL

- Ibirapuera em 2002 e Pinheiros em 2003, não atenderam ao critério de representatividade

Figura 5 - MP_{10} - Partículas Inaláveis

Observa-se para todas as estações que os valores das medianas se mantêm dentro de uma faixa de variação muito pequena, sem uma tendência definida. Quanto aos percentis, apenas os dados da $MP_{2,5}$ de 1987 do Ibirapuera se destacam pelos percentis mais altos. As diferenças entre os percentis 25% e 75% são menores no Ibirapuera, o que indica uma dispersão menor dos valores. Pelos dados do anexo, verifica-se uma queda acentuada das concentrações no Ibirapuera após 1987, com destaque para $MP_{2,5}$ e MP_{10} .

As tabelas 9,10,11 e 12 do anexo contém as porcentagens das partículas inaláveis finas e grossas que compõem as partículas inaláveis para as estações Cerqueira César, Pinheiros, Ibirapuera, e São Caetano do Sul e são representadas pela figura 6.



* Não atende o critério de representatividade

Figura 6 - Porcentagens de $MP_{2,5}$ e $MP_{2,5-10}$ em relação à MP_{10}

Nota-se uma leve tendência de diminuição da relação $MP_{2,5}/MP_{10}$ em Cerqueira César e Pinheiros. Nos outros 2 locais, os valores desta década oscilam muito pouco no período do estudo. Quanto à participação do $MP_{2,5}$ no MP_{10} , observa-se que a relação percentual, em geral, situa-se entre 50 e 60% com maior variabilidade no Ibirapuera, o que pode ser atribuído ao número não representativo de amostras em 2002 e 2005. Em relação a 1987, no Ibirapuera, observa-se uma queda do percentual de $MP_{2,5}$ no MP_{10} , com redução da ordem de 10%.

4.3. Comparação com Padrões de Qualidade do Ar dos EUA e Valores da OMS

Como as amostragens foram efetuadas a cada 6 dias, a comparação do número de dias por ano que excedeu aos valores dos EUA e OMS é comprometida, embora pela grandeza dos valores máximos diários dos quatro locais, pode-se afirmar que tanto o valor guia da OMS ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), quanto da EPA ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$), são ultrapassados.

As médias anuais apresentadas na tabela 6 mostram que o valor-guia da OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) é ultrapassado em todas as estações. As médias anuais são próximas ao dobro do valor da OMS, ou seja, as concentrações médias anuais excedem o valor guia em mais que 100%. Quanto à comparação com os objetivos intermediários da OMS, as médias anuais situam-se entre $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (respectivamente nível de proteção 1 e o nível de proteção 2)

Mesmo a comparação com o padrão dos EUA ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - média de 3 anos das concentrações médias anuais), menos restritivo que o valor-guia da OMS, indica que este valor seria excedido em Cerqueira César e São Caetano do Sul. A ausência de amostragem em alguns anos na estação Ibirapuera e Pinheiros não permite a comparação com o padrão norte-americano, porém pode-se inferir que a média de 3 anos consecutivos seria superior a esse padrão. No caso de Cerqueira Cesar e São Caetano do Sul, locais que não apresentaram interrupção na amostragem, as médias dos percentuais da diferença entre cada média anual e o padrão americano ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$), é da ordem de 48% e 43% respectivamente.

Tabela 6- $\text{MP}_{2,5}$ - Concentração Média Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| Local | Ano | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
| C. Cesar | 24 | 23 | 23 | 21 | 22 | 22 | 21 |
| Pinheiros | | 21 | 21 | 21 | | | 21 |
| Ibirapuera | | | | 16 | 19 | | 17 |
| S.C.Sul | | 23 | 22 | 21 | 21 | 21 | 21 |

4.4 Partículas Inaláveis Finas – Estudo de Tendência

Como o enfoque principal deste relatório é o estudo do $\text{MP}_{2,5}$, é importante a análise de tendência dos níveis deste parâmetro na atmosfera, visto que algumas ações de controle, como a fiscalização das emissões de fumaça preta por veículos a diesel, têm sido realizadas pela CETESB ao longo dos anos. Com base nos dados representativos de pelo menos 3 anos contínuos, analisaram-se os resultados. Somente Cerqueira César e São Caetano do Sul atenderam a estes critérios de representatividade. A figura 7 ilustra os resultados.

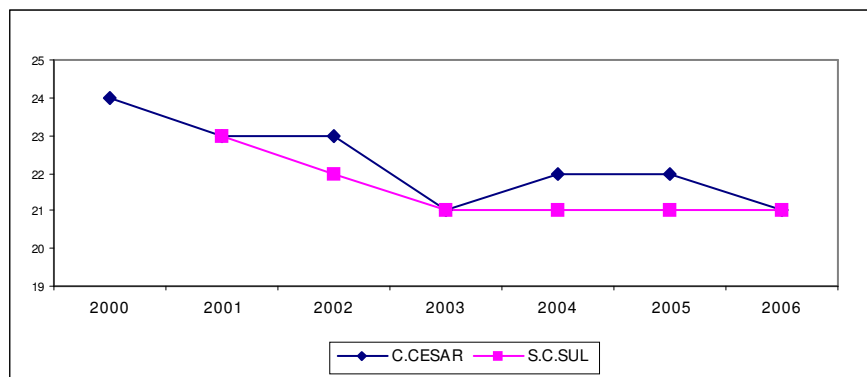


Figura 7- $\text{MP}_{2,5}$ - Médias aritméticas anuais

Pela figura, observa-se que houve alguma redução das concentrações médias anuais de 2000 a 2003 tanto em Cerqueira César quanto em São Caetano do Sul. Entretanto, verifica-se que nos anos mais recentes (2003-2006), não se observa indicativo de redução em ambos os locais.

4.5 Comportamento Sazonal

Um dos aspectos considerados na análise de qualquer poluente atmosférico com dados de vários anos é a verificação de seu comportamento ao longo dos meses, uma vez que as concentrações dos poluentes atmosféricos são fortemente influenciadas pelas condições meteorológicas, que variam ciclicamente ao longo do ano. Os relatórios da CETESB têm mostrado que durante o inverno ocorre um aumento das concentrações do material particulado inalável na RMSP, como consequência das condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão^(1, 16).

4.5.1 Concentrações - Médias Mensais

A figura 8 ilustra as concentrações médias de $MP_{2,5}$ e $MP_{2,5-10}$ por mês nos 4 locais de monitoramento durante os anos de amostragem. Observa-se um aumento das médias de $MP_{2,5}$ e $MP_{2,5-10}$ nos meses de inverno, conforme já caracterizado também para os outros poluentes^(2,11). De maneira geral, há predominância do $MP_{2,5}$, o que mostra uma maior contribuição desta fração no MP_{10} .

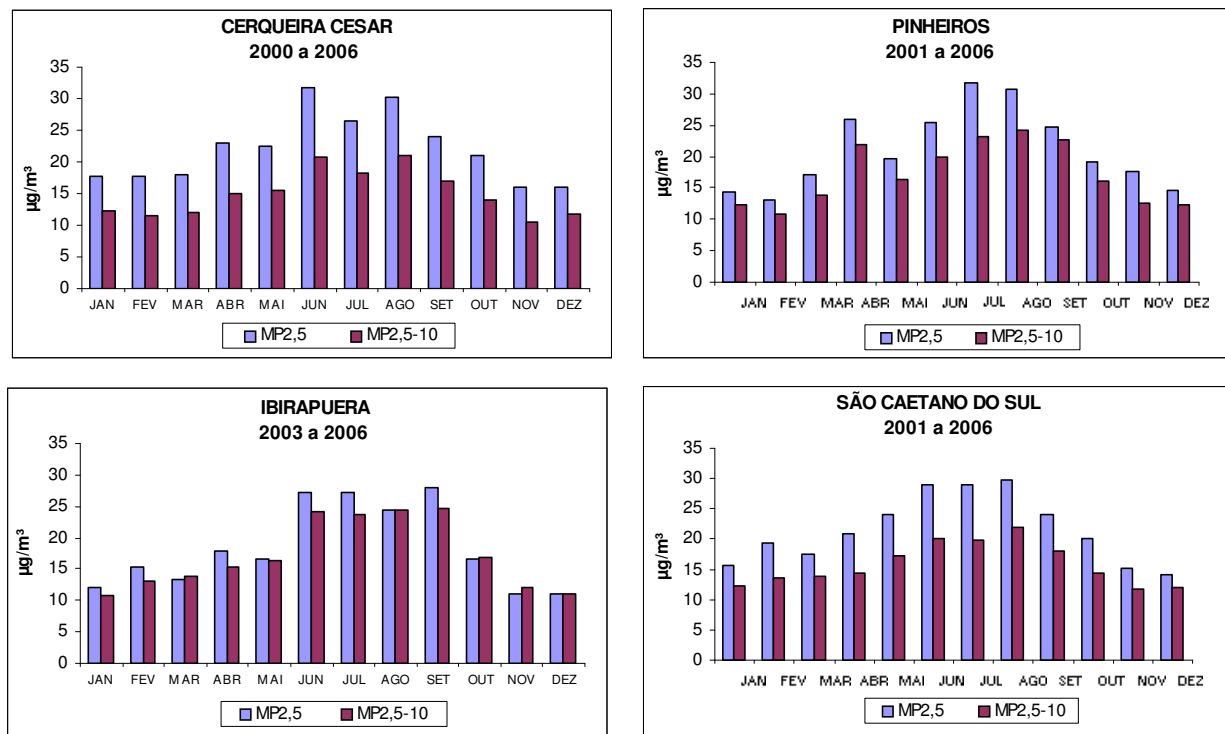


Figura 8 - Concentrações médias mensais de $MP_{2,5}$ e $MP_{2,5-10}$ em cada local

Com o intuito de verificar o grau de variação da $MP_{2,5}$ em relação à $MP_{2,5-10}$, calculou-se a diferença das médias mensais entre a $MP_{2,5}$ e a $MP_{2,5-10}$. A Fig. 9 ilustra os resultados dos 4 locais.

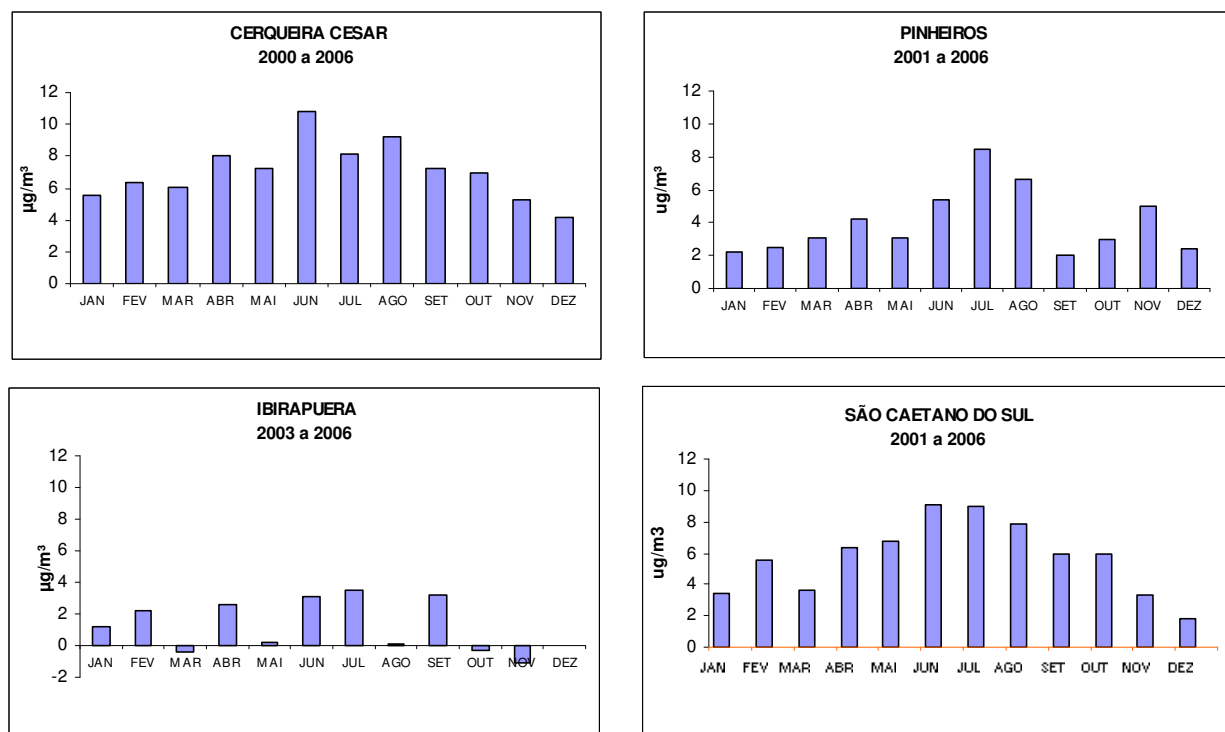


Figura 9- Diferença das médias mensais entre $MP_{2,5}$ e $MP_{2,5-10}$ em cada local

Observa-se que tanto em Cerqueira César e Pinheiros, quanto em São Caetano do Sul, a diferença das concentrações entre a $MP_{2,5}$ e $MP_{2,5-10}$ aumenta acentuadamente durante junho-julho-agosto. No caso do Ibirapuera, destacam-se os valores negativos para a diferença, ou seja, concentrações de $MP_{2,5-10}$ maiores que as de $MP_{2,5}$, sem destaque para os meses de inverno.

4.5.2 Variação Diária

Embora as concentrações da fração fina tenham decrescido em relação a 1987, da análise da relação $MP_{2,5}:MP_{10}$ observa-se que as concentrações da fração fina permanecem altas. Esta relação situa-se, em média, entre 50 e 60% ou seja, a mesma faixa percentual registrada anteriormente pela CETESB³. As relações médias $MP_{2,5}:MP_{10}$ nas amostras mais concentradas de poeira inalável em São Caetano do Sul, chegam a alcançar o valor de 0,8 ou seja, uma indicação de que no inverno, a poeira inalável chega a ser constituída em 80% pelo $MP_{2,5}$.

Durante o inverno, conforme item 4.5.1, há um incremento das concentrações das duas frações, sendo significativamente maior o $MP_{2,5}$ em relação ao $MP_{2,5-10}$. O aumento maior das concentrações do $MP_{2,5}$ em relação ao $MP_{2,5-10}$, em alguns dias de altas concentrações no

inverno pode ser explicado pelo fato de que na RMSP, nesse período, ocorrem dias seguidos em que as condições meteorológicas são desfavoráveis à dispersão dos poluentes. Como a emissão dos poluentes de maneira geral não cresce no inverno, ou seja, se mantém relativamente constante, uma das possíveis explicações para o aumento seria o maior tempo de permanência das partículas finas na atmosfera (na ordem de dias a semanas) em relação às partículas grossas (minutos a horas de permanência). Com o decorrer dos dias seguidos com condições desfavoráveis à dispersão, pode haver uma acumulação dessas partículas na atmosfera. Outros fatores que podem contribuir para este aumento são os processos de formação das partículas finas com a transformação de gases e vapores em partículas, processos estes que dependem, em grande parte, das concentrações dos poluentes. Assim, concentrações como de SO_2 e NO_2 , por exemplo, são importantes na formação do material particulado fino. No inverno, as concentrações não só do SO_2 e do NO_2 aumentam como em geral as concentrações dos outros poluentes. Portanto, existem as condições propícias para a formação de material particulado fino em quantidades maiores.

Em estudos realizados nas décadas de 80 e 90 na RMSP^(2, 17), em amostras de $\text{MP}_{2,5}$, com utilização do Modelo Receptor - Balanço Químico de Massa, a CETESB estimou as contribuições das diversas fontes na formação do $\text{MP}_{2,5}$. Nesses estudos, destacam-se as contribuições de sulfato secundário e carbono secundário na ordem de 20% e 30%, respectivamente, do total das fontes contribuintes. Pelos dados de literatura e das fontes emissoras estima-se que os veículos automotores, quer diretamente quer indiretamente, são os principais emissores do sulfato e carbono presentes na atmosfera da RMSP. Ainda em outro estudo publicado em 1988 pela CETESB⁽¹⁸⁾, a porcentagem média de carbono total, ou seja, a soma de carbono orgânico e elementar no Ibirapuera, foi de 42,5% da massa de $\text{MP}_{2,5}$, enquanto que nas outras estações a média ficou em 54,5%. Estudos recentes da CETESB⁽¹⁹⁾, em fase de publicação, sobre amostras de $\text{MP}_{2,5}$ coletadas em 2003, 2004 e 2005 no Ibirapuera, mostram que muito embora as concentrações de carbono total tenham decrescido a partir da última década, as porcentagens de carbono continuam elevadas ou seja, acima de 40% da massa do $\text{MP}_{2,5}$.

Estudos da CETESB a respeito da variação dos poluentes em cada dia da semana mostram que ocorrem também alterações das concentrações ao longo dos dias da semana, motivadas pela variação das emissões, nos finais de semana, principalmente aos domingos. Nesses dias a frota veicular circulante na RMSP diminui acentuadamente. A figura 10 ilustra a variação das concentrações médias de cada dia da semana da $\text{MP}_{2,5}$ e da $\text{MP}_{2,5-10}$ de todo o período de amostragem. Observa-se que em todos os locais, exceto Ibirapuera, as concentrações de $\text{MP}_{2,5}$ e $\text{MP}_{2,5-10}$ crescem durante a semana e caem no sábado e domingo. No caso do Ibirapuera, aos sábados a relação $\text{MP}_{2,5}:\text{MP}_{2,5-10}$ se altera em relação aos dias úteis da semana, e aos domingos os níveis de $\text{MP}_{2,5-10}$ crescem acentuadamente em relação ao $\text{MP}_{2,5}$.

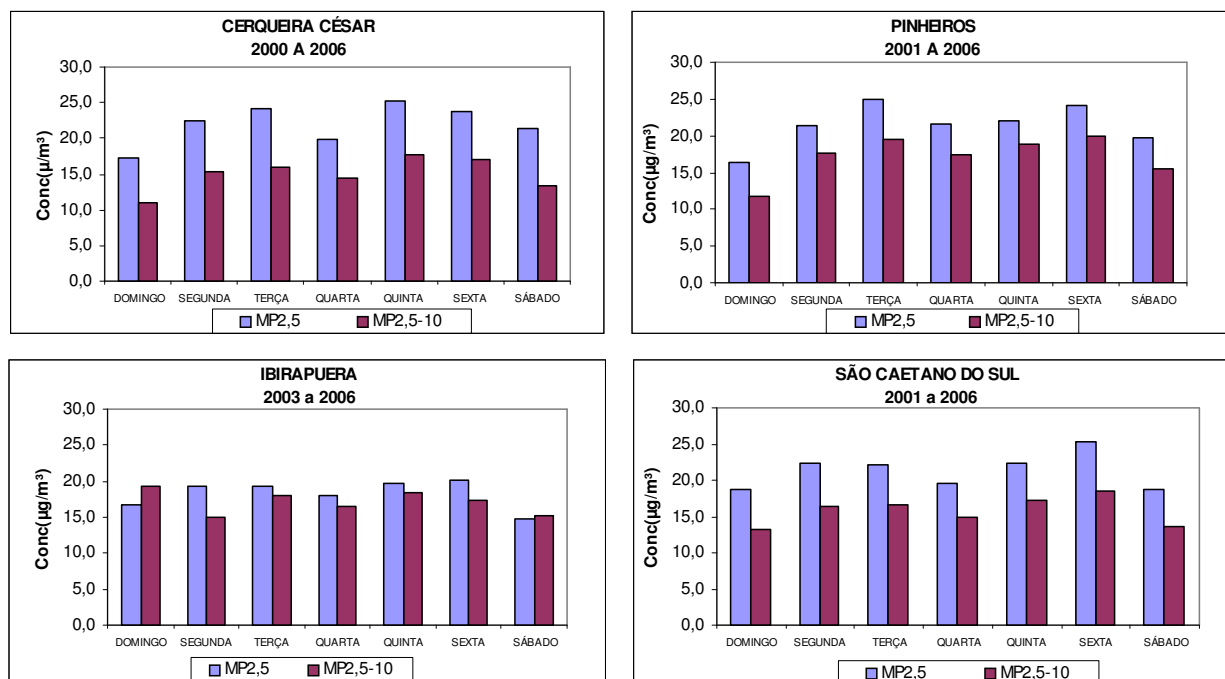


Figura 10-Concentrações médias de MP_{2,5} e MP_{2,5-10} dos dias da semana

Com o objetivo de conhecer melhor a variação das concentrações do MP nos diferentes dias da semana, foram calculadas as diferenças de concentração entre as médias diárias de MP_{2,5} e MP_{2,5-10} de São Caetano do Sul e Ibirapuera, estações com características do entorno bem diferentes. A figura 11 ilustra os resultados obtidos.

Em São Caetano do Sul, no inverno, a diferença cresce a partir da 4ª feira e atinge o máximo no sábado, com queda visível no domingo, enquanto que no Ibirapuera, a variação é muito grande tanto no inverno quanto nos outros meses. Aos sábados e domingos, por conta da grande fluência de frequentadores do parque do Ibirapuera, bem como o aumento das atividades físicas próximo da estação, há aumento considerável na ressuspensão da poeira do solo, constituída em boa parte por MP_{2,5-10}.

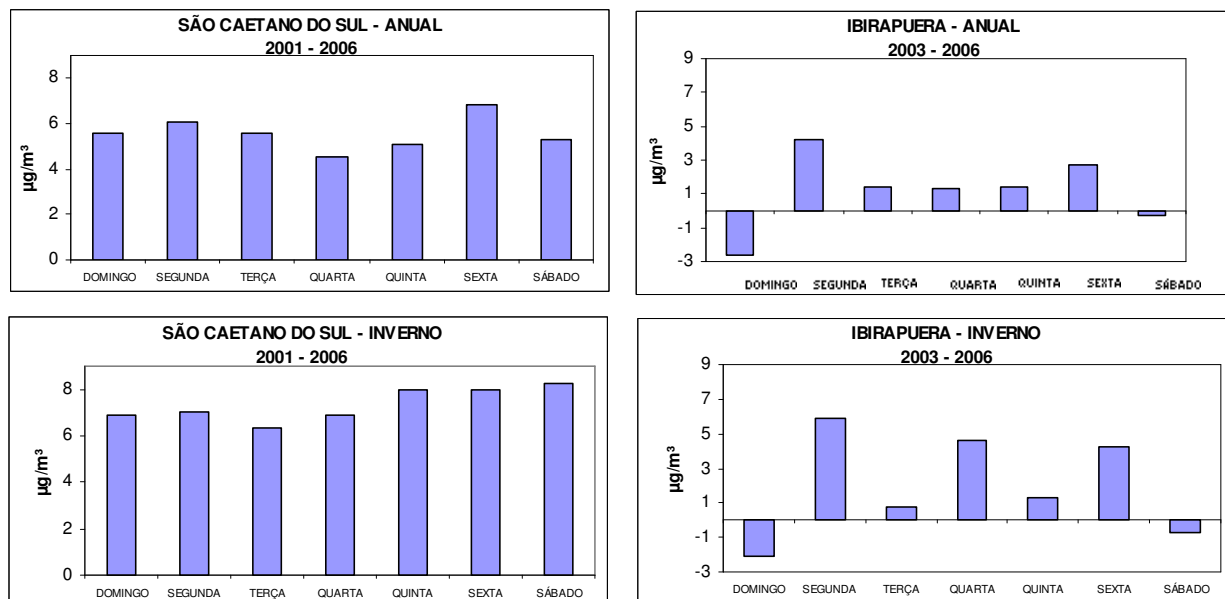


Figura 11 - Diferença entre médias diárias de $MP_{2,5}$ e $MP_{2,5-10}$ por dia da semana - Anual e Inverno

5. Conclusões e Recomendações

Observa-se que:

- dos locais monitorados, não há indicação de tendência de redução dos níveis de $MP_{2,5}$, visto que desde 2003, ou seja, nos últimos 4 anos, as concentrações médias permaneceram praticamente as mesmas;
- as concentrações médias anuais de $MP_{2,5}$ são bastante elevadas se comparadas aos padrões de qualidade do ar dos Estados Unidos ou ao valor guia da Organização Mundial da Saúde. As sobredoses alcançam valores elevados e chegam a até 48% do padrão anual americano e a 100% do valor guia anual proposto pela OMS.
- a comparação dos valores médios anuais com os “objetivos temporários da OMS”, indicam que as médias anuais situam-se entre o do nível de proteção 1 ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e o de proteção 2 ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$);
- no Ibirapuera, diferentemente dos outros locais estudados, em finais de semana a relação de $MP_{2,5}:MP_{10}$ é totalmente diferente dos dias úteis e que em média, as concentrações de $MP_{2,5}$ são inferiores às de $MP_{2,5-10}$ e tal fato pode ser justificado devido à maior ressuspensão de $MP_{2,5-10}$ nos sábados e domingos, em decorrência de um fluxo muito maior de frequentadores do parque nesses dias, aliado ao exercício de práticas esportivas nos arredores da estação, em solo descoberto de vegetação rasteira (grama);

Recomenda-se:

- a realização de estudos multidisciplinares para definição e adoção dos padrões de qualidade do ar para o material particulado inalável fino ($MP_{2,5}$) uma vez que a Organização Mundial da Saúde considera esse parâmetro um melhor indicador de risco à saúde da população e, segundo a própria OMS⁽⁴⁾, o MP_{10} não representa a melhor relação entre concentração de MP e danos à saúde. Ainda segundo a OMS, o $MP_{2,5}$ é considerado um indicador de risco à saúde, para o caso de material particulado antropogênico, melhor que o MP_{10} ;
- no caso de adoção do padrão de qualidade do ar para o $MP_{2,5}$, enquanto não houver monitoramento automático deste parâmetro, propõe-se a realização de estudo para avaliar a possibilidade da divulgação em tempo real de estimativa da qualidade do ar para este poluente com base na relação $MP_{2,5}/MP_{10}$.
- além dos programas de redução de emissão dos poluentes atmosféricos, desenvolvidos rotineiramente, recomenda-se estimular a implementação de programas na RMSF que promovam, a médio e longo prazo, a transferência do transporte individual para um transporte público de qualidade, acompanhado por avaliações dos possíveis ganhos ambientais como a redução do $MP_{2,5}$ na atmosfera.

7. Referências Bibliográficas

1. CETESB. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2006. São Paulo 2007
2. CETESB. Estudo de Caracterização dos Aerossóis da Grande São Paulo – Modelo Receptor ECA/GSP Nº 3. São Paulo, 1989
2. CETESB. Teores de Material Particulado Fino, Grosso, Inalável e Total na Atmosfera da Grande São Paulo ECA/GSP Nº 1. São Paulo, 1988
4. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Air Quality Guidelines – Global Update 2005
5. Miranda, R.M. Caracterização físico-química e propriedades ópticas do aerossol urbano na Região Metropolitana de São Paulo–2001– Tese Doutorado – Universidade de São Paulo – IAG
6. U.S. Environmental Protection Agency – Ambient air quality standards for particulate matter. Federal Register, 1987 52:126
7. U.S. Environmental Protection Agency – National air quality standards for particulate matter. Federal Register, 1997 62:138
8. São Paulo (Estado). Leis, decretos. Decreto nº 8468 de 08/09/76 e Regulamento da Lei 997 de 31/05;76
9. Resolução CONAMA Nº 003/90 de 28 de junho de 1990 – Padrões de Qualidade do Ar
10. Bernstein J.A, Alexis N. Barnes C, Bernstein I.L., Nel A, Peden A.D., Diaz Sanches D., Tarlo S.M., Williams P.B. Health effects of air pollution. J. Allergy Clin Immunol. 2004 Nov;114(5):1116-23, Review
11. Peters A, Dockery D.W, Muller J.E., Mittleman M.A. Increased particulate air pollution and the triggering of myocardial infarction. Circulation. 2001 Jun 12;103(23):2810-5
12. Pope C.A 3rd, Burnett R.T., Thurston G.D., Thun M.J., Calle E.E., Krewski D, Godeleski J.J. Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. Circulation 2004 Jan. 6;109(1):71-77
13. Watson, J.G.; Chow, J.C. & Shah, J.J. Analysis of Inhalable and Fine Particulate Matter Measurements. North Carolina, EPA, 1981 –EPA 450/4-81-035
14. U.S. Environmental Protection Agency – Clean Air Fine Implementation Rule, Final Rule April 25, 2007- 40CFR Part 51
15. U.S. Environmental Protection Agency – National air quality standards for particulate matter. Federal Register, October 17, 2006 (Vol. 71, number 200)
16. CETESB. Comportamento sazonal da poluição do ar em São Paulo – análise de 14 anos de dados da RMSP e Cubatão – 1981 a 1994. São Paulo, 1996
17. CETESB. Modelo Receptor – Estudo de Caracterização de Aerossóis na Região da Grande São Paulo-Cerqueira Cesar. 2003

18. CETESB. Teores de Material Particulado Carbonáceo na Atmosfera da Grande São Paulo ECA/GSP Nº 2. São Paulo, 1988
19. CETESB. Material Carbonáceo – Carbono Orgânico, Elementar e Total nas Amostras de Material Particulado do Parque Ibirapuera – São Paulo, SP

8. Equipe de Trabalho

Carlos Barbosa Pinto
Carlos Roberto Sachi
Giacommo de Camillo G. Cuoco
João Batista Terra Filho
Maria Helena R. B. Martins
Nelson Álamo Filho
Yoshio Yanagi

Agradecimento ao Dr. Alfezio Braga – Laboratório Experimental de Poluição do Ar da Faculdade de Medicina da USP, pela revisão do texto referente ao item 1.2

Relatório elaborado por :

Jesuino Romano, Maria Helena R. B. Martins e Daniele Patrícia R. de Carvalho

9. Anexos

Tabela 1 – Concentrações de Material Particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Cerqueira César

| ANO | Partículas Inaláveis Finas (MP _{2,5}) | | | | | Partículas Inaláveis Grossas (MP _{2,5-10}) | | | | | Partículas Inaláveis (MP ₁₀) | | | | |
|------|--|-------|---------|--------------|----|---|-------|---------|--------------|----|---|-------|---------|--------------|----|
| | N | Média | Mediana | MÁXIMAS(24h) | | N | Média | Mediana | MÁXIMAS(24h) | | N | Média | Mediana | MÁXIMAS(24h) | |
| | | | | 1ª | 2ª | | | | 1ª | 2ª | | | | 1ª | 2ª |
| 2000 | 58 | 24 | 23 | 65 | 60 | 36 | 15* | 13* | 45 | 32 | 36 | 38* | 34* | 110 | 73 |
| 2001 | 67 | 23 | 21 | 56 | 51 | 67 | 14 | 13 | 33 | 31 | 67 | 37 | 33 | 87 | 82 |
| 2002 | 74 | 23 | 24 | 48 | 41 | 74 | 16 | 15 | 40 | 37 | 74 | 39 | 41 | 82 | 81 |
| 2003 | 52 | 21 | 18 | 52 | 49 | 52 | 15 | 12 | 37 | 32 | 52 | 35 | 31 | 84 | 81 |
| 2004 | 49 | 22 | 19 | 48 | 44 | 49 | 15 | 13 | 34 | 32 | 49 | 37 | 30 | 82 | 72 |
| 2005 | 51 | 22 | 21 | 54 | 53 | 51 | 15 | 13 | 44 | 38 | 51 | 37 | 33 | 97 | 89 |
| 2006 | 54 | 21 | 19 | 46 | 45 | 54 | 15 | 13 | 37 | 30 | 51 | 36 | 32 | 80 | 75 |

N = número de amostras

* Não atendeu ao critério de representatividade

Tabela 2 – Concentrações de Material Particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Pinheiros

| ANO | Partículas Inaláveis Finas (MP _{2,5}) | | | | | Partículas Inaláveis Grossas (MP _{2,5-10}) | | | | | Partículas Inaláveis (MP ₁₀) | | | | |
|------|--|-------|---------|--------------|----|---|-------|---------|--------------|----|---|-------|---------|--------------|-----|
| | N | Média | Mediana | MÁXIMAS(24h) | | N | Média | Mediana | MÁXIMAS(24h) | | N | Média | Mediana | MÁXIMAS(24h) | |
| | | | | 1ª | 2ª | | | | 1ª | 2ª | | | | 1ª | 2ª |
| 2001 | 71 | 22 | 19 | 66 | 65 | 71 | 17 | 16 | 42 | 41 | 71 | 39 | 34 | 107 | 106 |
| 2002 | 117 | 21 | 19 | 67 | 58 | 117 | 17 | 14 | 55 | 54 | 117 | 38 | 34 | 122 | 112 |
| 2003 | 34 | 22* | 17* | 68 | 58 | 34 | 17* | 15* | 43 | 42 | 34 | 39* | 30* | 111 | 97 |
| 2006 | 52 | 21 | 17 | 67 | 53 | 52 | 20 | 19 | 61 | 51 | 52 | 41 | 33 | 128 | 89 |

N = número de amostras

* Não atendeu ao critério de representatividade

Tabela 3 – Concentrações de Material Particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Ibirapuera

| ANO | Partículas Inaláveis Finas (MP _{2,5}) | | | | | Partículas Inaláveis Grossas (MP _{2,5-10}) | | | | | Partículas Inaláveis (MP ₁₀) | | | | |
|------|--|-------|---------|--------------|----|---|-------|---------|--------------|----|---|-------|---------|--------------|-----|
| | N | Média | Mediana | MÁXIMAS(24h) | | N | Média | Mediana | MÁXIMAS(24h) | | N | Média | Mediana | MÁXIMAS(24h) | |
| | | | | 1ª | 2ª | | | | 1ª | 2ª | | | | 1ª | 2ª |
| 1987 | 53 | 28 | 21 | 104 | 84 | 53 | 18 | 14 | 76 | 63 | 53 | 45 | 34 | 250 | 132 |
| 2002 | 35 | 22* | 22* | 70 | 46 | 35 | 20* | 19* | 56 | 43 | 35 | 42* | 41* | 126 | 83 |
| 2003 | 52 | 16 | 14 | 55 | 47 | 52 | 16 | 13 | 49 | 48 | 52 | 32 | 27 | 104 | 91 |
| 2004 | 60 | 19 | 14 | 49 | 38 | 60 | 16 | 14 | 41 | 35 | 60 | 35 | 28 | 82 | 72 |
| 2005 | 10 | 18* | 20* | 32 | 23 | 10 | 15* | 12* | 32 | 25 | 10 | 33* | 31* | 55 | 44 |
| 2006 | 48 | 17 | 17 | 67 | 42 | 48 | 17 | 14 | 67 | 37 | 48 | 34 | 28 | 109 | 70 |

N = número de amostras

* Não atendeu ao critério de representatividade

Tabela 4 – Concentrações de Material Particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – São Caetano do Sul

| ANO | Partículas Inaláveis Finas (MP _{2,5}) | | | | | Partículas Inaláveis Grossas (MP _{2,5-10}) | | | | | Partículas Inaláveis (MP ₁₀) | | | | |
|------|--|-------|---------|--------------|----|---|-------|---------|--------------|----|---|-------|---------|--------------|----|
| | N | Média | Mediana | MÁXIMAS(24h) | | N | Média | Mediana | MÁXIMAS(24h) | | N | Média | Mediana | MÁXIMAS(24h) | |
| | | | | 1ª | 2ª | | | | 1ª | 2ª | | | | 1ª | 2ª |
| 2001 | 54 | 23 | 22 | 48 | 42 | 54 | 18 | 16 | 43 | 37 | 54 | 41 | 39 | 85 | 70 |
| 2002 | 54 | 22 | 20 | 63 | 44 | 54 | 16 | 15 | 36 | 31 | 54 | 38 | 35 | 99 | 72 |
| 2003 | 57 | 21 | 17 | 63 | 58 | 57 | 16 | 13 | 37 | 36 | 57 | 36 | 31 | 100 | 92 |
| 2004 | 56 | 21 | 19 | 50 | 40 | 56 | 13 | 13 | 27 | 25 | 56 | 34 | 32 | 75 | 67 |
| 2005 | 57 | 21 | 20 | 61 | 60 | 57 | 16 | 13 | 43 | 41 | 57 | 37 | 32 | 102 | 96 |
| 2006 | 56 | 21 | 19 | 51 | 45 | 56 | 16 | 14 | 44 | 40 | 56 | 37 | 32 | 89 | 83 |

N = número de amostras

Tabela 5 – Relação $MP_{2,5-10} / MP_{2,5}$ – Cerqueira César

| ANO | $MP_{2,5-10} / MP_{2,5}$ | | | | |
|------|--------------------------|---------|------|--------|--------|
| | média | mediana | s | máxima | mínima |
| 2000 | 0,68 | 0,64 | 0,29 | 1,67 | 0,19 |
| 2001 | 0,61 | 0,59 | 0,20 | 1,29 | 0,13 |
| 2002 | 0,74 | 0,69 | 0,25 | 1,83 | 0,35 |
| 2003 | 0,74 | 0,71 | 0,23 | 1,75 | 0,47 |
| 2004 | 0,71 | 0,71 | 0,22 | 1,60 | 0,33 |
| 2005 | 0,78 | 0,68 | 0,32 | 2,20 | 0,40 |

s – desvio padrão

Tabela 6 – Relação $MP_{2,5-10} / MP_{2,5}$ – Pinheiros

| ANO | $MP_{2,5-10} / MP_{2,5}$ | | | | |
|------|--------------------------|---------|------|--------|--------|
| | média | mediana | s | máxima | mínima |
| 2001 | 0,82 | 0,77 | 0,26 | 1,56 | 0,33 |
| 2002 | 0,82 | 0,75 | 0,26 | 1,80 | 0,44 |
| 2003 | 0,92 | 0,81 | 0,34 | 2,00 | 0,52 |

s – desvio padrão

Tabela 7 – Relação $MP_{2,5-10} / MP_{2,5}$ – Ibirapuera

| ANO | $MP_{2,5-10} / MP_{2,5}$ | | | | |
|------|--------------------------|---------|------|--------|--------|
| | média | mediana | s | máxima | mínima |
| 1987 | 0,66 | 0,60 | 0,20 | 1,30 | 0,30 |
| 2002 | 1,17 | 1,13 | 0,58 | 3,30 | 0,26 |
| 2003 | 1,05 | 1,02 | 0,36 | 2,11 | 0,42 |
| 2004 | 1,25 | 1,21 | 0,41 | 2,33 | 0,50 |
| 2005 | 1,29 | 1,18 | 0,56 | 2,33 | 0,72 |

s – desvio padrão

Tabela 8 – Relação $MP_{2,5-10} / MP_{2,5}$ – São Caetano do Sul

| ANO | $MP_{2,5-10} / MP_{2,5}$ | | | | |
|------|--------------------------|---------|------|--------|--------|
| | média | mediana | s | máxima | mínima |
| 1987 | 0,92 | 0,83 | 0,37 | 2,8 | 0,24 |
| 2001 | 0,82 | 0,79 | 0,19 | 1,33 | 0,50 |
| 2002 | 0,81 | 0,74 | 0,37 | 2,50 | 0,36 |
| 2003 | 0,81 | 0,80 | 0,22 | 1,54 | 0,41 |
| 2004 | 0,68 | 0,64 | 0,24 | 1,54 | 0,17 |
| 2005 | 0,78 | 0,71 | 0,32 | 1,86 | 0,38 |

s – desvio padrão

Tabela 9 – Relação $MP_{2,5}/MP_{10}$ e $MP_{2,5-10}/MP_{10}$ (%) – Cerqueira César

| ANO | $MP_{2,5}/MP_{10}$ (%) | | | | | | $MP_{2,5-10}/MP_{10}$ (%) | | | | | |
|------|------------------------|-------|---------|-----|--------|--------|---------------------------|-------|---------|-----|--------|--------|
| | n | média | Mediana | s | Máximo | mínimo | n | média | mediana | s | máximo | mínimo |
| 2000 | 58 | 61,0 | 60,9 | 9,2 | 84,0 | 37,5 | 36 | 39,0 | 39,1 | 9,2 | 62,5 | 16,0 |
| 2001 | 67 | 63,1 | 62,7 | 8,0 | 88,2 | 43,8 | 67 | 36,9 | 37,3 | 8,0 | 56,3 | 11,8 |
| 2002 | 74 | 58,5 | 59,0 | 7,3 | 74,1 | 35,3 | 74 | 41,5 | 41,0 | 7,3 | 64,7 | 25,9 |
| 2003 | 52 | 58,1 | 58,5 | 6,3 | 68,2 | 36,4 | 52 | 41,9 | 41,5 | 6,3 | 63,6 | 31,8 |
| 2004 | 49 | 59,3 | 58,6 | 6,8 | 75,0 | 38,5 | 49 | 40,7 | 41,4 | 6,8 | 61,5 | 25,0 |
| 2005 | 51 | 57,6 | 59,5 | 8,4 | 71,4 | 31,3 | 51 | 42,4 | 40,5 | 8,4 | 68,8 | 28,6 |
| 2006 | 57 | 57,6 | 58,6 | 7,5 | 77,6 | 41,2 | 54 | 42,4 | 41,4 | 7,5 | 58,8 | 22,4 |

n - número de amostras

s - desvio padrão

Tabela 10 – Relação $MP_{2,5}/MP_{10}$ e $MP_{2,5-10}/MP_{10}$ (%) – Pinheiros

| ANO | $MP_{2,5}/MP_{10}$ (%) | | | | | | $MP_{2,5-10}/MP_{10}$ (%) | | | | | |
|------|------------------------|-------|---------|-----|--------|--------|---------------------------|-------|---------|-----|--------|--------|
| | n | média | Mediana | s | Máximo | mínimo | n | média | mediana | s | máximo | mínimo |
| 2001 | 71 | 55,9 | 56,5 | 7,5 | 75,0 | 39,1 | 71 | 44,1 | 43,5 | 7,5 | 60,9 | 25,0 |
| 2002 | 117 | 55,8 | 57,1 | 6,9 | 69,2 | 35,7 | 117 | 44,2 | 42,9 | 6,9 | 64,3 | 30,8 |
| 2003 | 34 | 53,5* | 55,3* | 8,1 | 65,8 | 33,3 | 34 | 46,5* | 44,7* | 8,1 | 66,7 | 34,2 |
| 2006 | 52 | 52,1 | 52,3 | 7,4 | 66,7 | 36,4 | 52 | 47,9 | 47,7 | 7,4 | 63,6 | 33, |

n - número de amostras

s - desvio padrão

* Não atendeu ao critério de representatividade

Tabela 11 – Relação $MP_{2,5}/MP_{10}$ e $MP_{2,5-10}/MP_{10}$ (%) – Ibirapuera

| ANO | $MP_{2,5}/MP_{10}$ (%) | | | | | | $MP_{2,5-10}/MP_{10}$ (%) | | | | | |
|------|------------------------|-------|---------|------|--------|--------|---------------------------|-------|---------|------|--------|--------|
| | n | média | Mediana | s | Máximo | mínimo | n | média | mediana | s | máximo | mínimo |
| 1987 | 53 | 61,0 | 61,8 | 7,3 | 78,3 | 42,9 | 53 | 39,0 | 38,2 | 7,3 | 57,1 | 21,7 |
| 2002 | 35 | 51,2 | 53,1 | 10,6 | 76,7 | 20,8 | 35 | 48,8 | 46,9 | 10,6 | 79,2 | 23,3 |
| 2003 | 52 | 49,8 | 50,5 | 8,7 | 67,9 | 29,7 | 52 | 50,2 | 49,5 | 8,7 | 70,3 | 32,1 |
| 2004 | 60 | 54,1 | 54,8 | 8,2 | 70,0 | 33,3 | 60 | 45,9 | 45,2 | 8,2 | 66,7 | 30,0 |
| 2005 | 10 | 54,1* | 53,8* | 10,2 | 70,0 | 41,8 | 10 | 45,9* | 46,3* | 10,2 | 58,2 | 30,0 |
| 2006 | 48 | 50,6 | 50,0 | 10,9 | 77,8 | 24,3 | 48 | 49,4 | 50,0 | 10,9 | 75,7 | 22,2 |

n - número de amostras

s - desvio padrão

* Não atendeu ao critério de representatividade

Tabela 12 – Relação $MP_{2,5}/MP_{10}$ e $MP_{2,5-10}/MP_{10}$ (%) – São Caetano do Sul

| ANO | $MP_{2,5}/MP_{10}$ (%) | | | | | | $MP_{2,5-10}/MP_{10}$ (%) | | | | | |
|------|------------------------|-------|---------|-----|--------|--------|---------------------------|-------|---------|-----|--------|--------|
| | n | média | Mediana | s | Máximo | mínimo | n | média | mediana | s | máximo | mínimo |
| 1987 | 58 | 54,0 | 55,0 | 8,0 | 81,0 | 26,0 | 58 | 46,0 | 45,0 | 8,0 | 74,0 | 19,0 |
| 2001 | 54 | 55,7 | 55,9 | 5,5 | 66,7 | 42,9 | 54 | 44,3 | 44,1 | 5,5 | 57,1 | 33,3 |
| 2002 | 54 | 56,7 | 57,4 | 8,3 | 73,3 | 28,6 | 54 | 43,3 | 42,6 | 8,3 | 71,4 | 26,7 |
| 2003 | 57 | 55,9 | 55,6 | 6,3 | 7,1 | 39,4 | 57 | 44,1 | 44,4 | 6,3 | 60,6 | 28,9 |
| 2004 | 56 | 60,5 | 61,1 | 8,0 | 85,4 | 39,4 | 56 | 39,5 | 38,9 | 8,0 | 60,6 | 14,6 |
| 2005 | 57 | 57,6 | 58,6 | 8,1 | 72,4 | 35,0 | 57 | 42,4 | 41,4 | 8,1 | 65,0 | 27,6 |
| 2006 | 56 | 55,9 | 57,1 | 6,9 | 69,2 | 40,0 | 56 | 44,2 | 43,3 | 7,0 | 60,0 | 30,8 |

n - número de amostras

s - desvio padrão