

**CETESB**

**COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL**

---

**DIRETORIA DE RECURSOS HÍDRICOS E  
ENGENHARIA AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO DE QUALIDADE AMBIENTAL**

**DIVISÃO DE QUALIDADE DO AR**

**SETOR DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE DO AR**

**SETOR DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS**

**SETOR DE METEOROLOGIA**

**CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL**  
**BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Nogueira Garcez**  
**Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Pinheiros**  
**05489-900 - SÃO PAULO - BRASIL**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DO  
OZÔNIO NA REGIÃO METROPOLITANA  
DE SÃO PAULO**

|        |   |
|--------|---|
| CLASS. |   |
| AUTOR. |   |
| TOMBO  | C |

B401  
L116e(RCET)  
005652

## DOCUMENTO

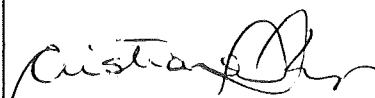
| Tipo      | Data     | Origem            | Nº Página/V. | Nº Mapas |
|-----------|----------|-------------------|--------------|----------|
| Relatório | 30.11.00 | EQQA/EQOI<br>EQQM | 63           |          |

## TÍTULO DO DOCUMENTO

Estudo do Comportamento do Ozônio na Região Metropolitana de São Paulo

## AUTOR RESPONSÁVEL

Assinatura/Carimbo/Data

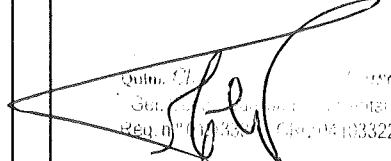
  
Cristiane F. Fernandes Lopes

## AUTORES/ENTIDADES OU UNIDADES A QUE PERTENCEM

Carlos Ibsen V. Lacava – EQOI  
Clarice Aico Muramoto – EQQM  
Cristiane F. Fernandes Lopes - EQQA

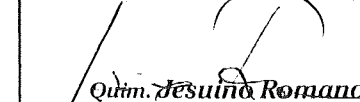
## DOCUMENTO AUTORIZADO POR

Assinatura/Carimbo/Data

  
Quim. J. S. Romano  
Ger. Div. Qualidade do Ar  
Reg. nº 01.2636/3 CRQ 003322

## DOCUMENTO REVISADO

Assinatura/Carimbo/Data

  
Quim. J. S. Romano  
Ger. Div. Qualidade do Ar  
Reg. 01.2636/3 CRQ 0018458

## CLASSIFICAÇÃO DE SEGURANÇA

☒ EXTERNA ☐ INTERNA  
☐ RESERVADA

## PALAVRAS CHAVES

Ozônio  
Oxidantes Fotoquímicos  
RMSP

## CÓDIGO E TÍTULO DO PROJETO

## DISTRIBUIÇÃO INTERNA

Áreas / Nº de cópias  
EQQA – EQQM – EQOI – EQQT – EQSE – EQQ – EQ – ET – E – C – P – BIBLIOTECA (2)

## USO DA BIBLIOTECA

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

## RESUMO

Este relatório apresenta um estudo investigativo do comportamento do ozônio na Região Metropolitana de São Paulo, visando o entendimento do processo de formação e transporte deste poluente na RMSP, de forma a auxiliar na implantação de programas e medidas de previsão e controle de altas concentrações. Para isso, foram utilizados dados de HCNM, NO<sub>x</sub> (NO e NO<sub>2</sub>), O<sub>3</sub> e parâmetros meteorológicos medidos nas estações da Rede Automática de Avaliação da Qualidade do Ar da CETESB (RAQAr) no período de maio de 1996 a dezembro de 1999.

## OBSERVAÇÕES

## USO DA BIBLIOTECA

|                                                                                                                                                                                                                                  |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Local                                                                                                                                                                                                                            | Editora |
| Idioma                                                                                                                                                                                                                           |         |
| Português <input type="checkbox"/> Inglês <input type="checkbox"/> Espanhol <input type="checkbox"/> Francês <input type="checkbox"/> Alemão <input type="checkbox"/> Italiano <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |         |
| Série                                                                                                                                                                                                                            |         |

## ÍNDICE GERAL

|                                                                                                                       | Pág.   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Índice de Figuras e Tabelas .....                                                                                     | ii     |
| Glossário de Símbolos e Abreviaturas .....                                                                            | iv     |
| Sumário Executivo .....                                                                                               | v      |
| 1. Introdução .....                                                                                                   | 1      |
| 2. O Ozônio na Troposfera .....                                                                                       | 2      |
| 2.1. Formação .....                                                                                                   | 2      |
| 2.2. Efeitos .....                                                                                                    | 4      |
| 3. Caracterização das Estações de Monitoramento .....                                                                 | 5      |
| 4. Influências Meteorológicas na Formação do Ozônio na RMSP .....                                                     | 13     |
| 5. Perfil de Ultrapassagens do Padrão de Ozônio .....                                                                 | 16     |
| 6. Aspectos Meteorológicos .....                                                                                      | 22     |
| 6.1. Direção e Velocidade do Vento .....                                                                              | 22     |
| 6.2. Temperatura e Umidade Relativa .....                                                                             | 28     |
| 6.3. Radiação Global .....                                                                                            | 32     |
| 7. Comportamento Médio do Ozônio .....                                                                                | 34     |
| 7.1. Óxidos de Nitrogênio .....                                                                                       | 34     |
| 7.2. Razão[NO <sub>2</sub> ]/[NO] .....                                                                               | 42     |
| 7.3. Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) .....                                                                        | 45     |
| 8. Conclusões .....                                                                                                   | 49     |
| 9. Considerações Finais .....                                                                                         | 51     |
| 10. Referências Bibliográficas .....                                                                                  | 52     |
| <br>Anexo 1 - Total de Dias de Ultrapassagens do PQAR/mês .....                                                       | <br>54 |
| Anexo 2 - Máximas Concentrações de Ozônio nos dias em que ocorreram episódios<br>em pelo menos uma das estações ..... | <br>57 |

## ÍNDICE DE FIGURAS E TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                         | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 1 – Perfil de concentração de espécies envolvidas no ciclo do ozônio obtido pela variação de intensidade da luz do dia, num sistema fechado .....                                                                                | 3    |
| Figura 2 – Localização das estações de Ozônio na RMSP .....                                                                                                                                                                             | 5    |
| Figura 3 – Total de dias de ultrapassagem do Padrão de Qualidade do Ar (PQAR) de ozônio por mês na RMSP de jan/97 a dez/99 .....                                                                                                        | 14   |
| Figura 4 – Total de dias de ultrapassagens do PQAR de ozônio por estação na RMSP de mai/96 a dez/99 .....                                                                                                                               | 16   |
| Figura 5 – Máximas diárias de 1 hora de ozônio (ppb) nas estações Ibirapuera e Mauá em 1997, 1998 e 1999 .....                                                                                                                          | 18   |
| Figura 6 – Horário em que ocorreram as máximas concentrações de O <sub>3</sub> nos dias de ultrapassagem do padrão, nas estações Mauá e Ibirapuera, de mai/96 a dez/99 ...                                                              | 19   |
| Figura 7 – Total de dias em função da duração em horas de ultrapassagem do padrão de ozônio (82 ppb), nas estações Ibirapuera e Mauá, de mai/96 a dez/99..                                                                              | 19   |
| Figura 8 – Total de ultrapassagens do padrão de ozônio (82 ppb) por dia da semana, na RMSP de mai/96 a dez/99 .....                                                                                                                     | 20   |
| Figura 9 – Distribuição do Índice de Qualidade do Ar por Ozônio na estação (a) Parque D. Pedro II e (b) Ibirapuera por dia da semana de mai/96 a dez/99 .....                                                                           | 21   |
| Figura 10 - Rosas de vento para o período de 1996 a 1998 .....                                                                                                                                                                          | 22   |
| Figura 11 - Rosas de Vento para os dias de episódios em cada estação no período de 1996 a 1998 .....                                                                                                                                    | 24   |
| Figura 12 - Rosas de vento nos dias de episódios na estação Ibirapuera no período de 1996 a 1998 .....                                                                                                                                  | 26   |
| Figura 13- Rosas de vento nos dias de episódios na estação Mauá no período de 1996 a 1998 .....                                                                                                                                         | 27   |
| Figura 14 - Dispersão de Máximos de O <sub>3</sub> (ppb) e Máximas de Temperatura (°C), nas estações: (a) Parque D. Pedro II, (b) Ibirapuera, (c) São Caetano do Sul, (d) Mauá .....                                                    | 28   |
| Figura 15 - Dispersão de Máximos Diários de O <sub>3</sub> (ppb) e Mínima Umidade Relativa Diária (%), nas estações: (a) Ibirapuera, (b) Mauá .....                                                                                     | 30   |
| Figura 16 - Temperatura e Umidade Relativa do Ar nos dias de ultrapassagens do padrão nas estações : a) Ibirapuera e b) Mauá .....                                                                                                      | 31   |
| Figura 17 - Dispersão de Máxima de Radiação Global (W/m <sup>2</sup> ) na estação Ibirapuera e Máxima concentração de O <sub>3</sub> (ppb) nas estações: (a) Parque D. Pedro II, (b) Ibirapuera, (c) São Caetano do Sul, (d) Mauá ..... | 32   |
| Figura 18 – Valores médios de concentração na estação Congonhas nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b) por ozônio .....                                                                                            | 35   |
| Figura 19 – Valores médios de concentração na estação Parque Dom Pedro II nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) por ozônio .....                                                                  | 36   |
| Figura 20 – Valores médios de concentração na estação Osasco nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) por ozônio .....                                                                               | 37   |

|                                                                                                                                                                                                             | Pág. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 21 – Valores médios de concentração na estação São Caetano do Sul nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) e má (d) por ozônio .....                              | 39   |
| Figura 22 – Valores médios de concentração na estação Ibirapuera nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) e má (d) por ozônio .....                                      | 40   |
| Figura 23 – Valores médios de concentração na estação Mauá nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) e má (d) por ozônio .....                                            | 41   |
| Figura 24 - Razão $[NO_2]/[NO]$ em função da hora do dia para as estações Congonhas (a), Parque D. Pedro II (b) e Osasco (c), para os dias com índice de qualidade do ar boa, regular e inadequada .....    | 43   |
| Figura 25 - Razão $[NO_2]/[NO]$ em função da hora do dia para as estações São Caetano do Sul (a), Ibirapuera (b) e Mauá (c), para os dias com índice de qualidade do ar boa, regular, inadequada e má ..... | 44   |
| Figura 26 – Valores médios de concentração nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) e má (d) por ozônio na estação Ibirapuera ....                                       | 46   |
| Figura 27 - Dispersão de Máximos de $O_3$ do Ibirapuera e HCNM (médias da 7 às 9 horas) do Parque D. Pedro II, para o ano de 1999 .....                                                                     | 47   |
| Figura 28 - Dispersão de HCNM e $NO_x$ do Parque D. Pedro II, no período das 7 às 9 horas, para o ano de 1999 .....                                                                                         | 47   |
| Figura 29 – Frequência de ocorrência de ultrapassagens do padrão na estação Ibirapuera em função da razão HCNM/ $NO_x$ (média das 7 às 9 horas) do Parque D. Pedro II e de S. Caetano do Sul, em 1999 ..... | 48   |
| Tabela 1 – Máximas diárias de Temperatura – Est. Parque D. Pedro II - 1997 a 1999 .....                                                                                                                     | 14   |
| Tabela 2 – Distribuição do número de dias em função do índice de qualidade do ar para ozônio no período de 1996 a 1998 .....                                                                                | 38   |

## GLOSSÁRIO DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

CH<sub>4</sub> - metano  
CO - monóxido de carbono  
CO<sub>2</sub> - dióxido de carbono  
COV - composto orgânico volátil  
DV - direção do vento  
E - direção leste  
EPA - Agência Ambiental dos EUA  
hv - energia (luz solar)  
HCNM - hidrocarbonetos não-metano  
HO<sub>2</sub> - peroxi-radical  
m/s - metros por segundo  
N - direção norte  
NE - direção nordeste  
NO - óxido de nitrogênio  
NO<sub>2</sub> - dióxido de nitrogênio  
NO<sub>x</sub> - óxidos de nitrogênio  
NW - direção noroeste  
O<sub>2</sub> - oxigênio  
O<sub>3</sub> - ozônio  
OH<sup>•</sup> - radical hidroxila  
P - pressão atmosférica  
PI - partícula inalável  
ppb/ppm - partes por bilhão/partes por milhão  
PQAR - Padrão Primário de Qualidade do Ar  
RAD - radiação solar  
RAQAr - Rede Automática de Avaliação da Qualidade do Ar da CETESB  
RMSP - Região Metropolitana de São Paulo  
RO<sup>•</sup>/RO<sub>2</sub><sup>•</sup> - radicais orgânicos  
S - direção sul  
SE - direção sudeste  
SO<sub>2</sub> - dióxido de enxofre  
SW - direção sudoeste  
T - temperatura do ar  
UR - umidade relativa do ar  
VV - velocidade do vento  
W - direção oeste  
W/m<sup>2</sup> - watts por metro quadrado  
°C - graus Celsius  
µg/m<sup>3</sup> - microgramas por metro cúbico

## SUMÁRIO EXECUTIVO

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), o ozônio ultrapassa freqüentemente o padrão de qualidade do ar de  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , estabelecido pela Lei Estadual 8.468, de 1976, e por diversas vezes supera o valor de  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (102 ppb), o que determina a qualidade do ar má, destacando-se, atualmente, como o poluente com maior número de ultrapassagens do padrão.

Este estudo faz parte do projeto "Estudo do Comportamento de Oxidantes Fotoquímicos no Ar da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)" e teve como objetivo apresentar um estudo investigativo do comportamento do ozônio, visando o entendimento de seus processos de formação e transporte, de forma a auxiliar na implantação de programas e medidas de previsão e controle de altas concentrações.

Foram utilizados dados de  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$ ), HCNM e  $\text{O}_3$ , além de parâmetros meteorológicos das estações da Rede Automática de Avaliação da Qualidade do Ar da CETESB (RAQAr) no período de maio de 1996 a dezembro de 1999.

Com relação ao comportamento do ozônio na RMSP, o perfil sazonal mostrou uma maior ocorrência de altas concentrações desde o final do inverno até início do verão. A maior freqüência não ocorre nos meses mais quentes e com maior incidência de radiação solar provavelmente pelo aumento da nebulosidade que ocorre nesses meses, o que reduz a quantidade de radiação solar que incide sobre a superfície, e conseqüentemente, diminui a formação do ozônio na baixa troposfera. A duração dos episódios, em geral, é curta, isto é, as ultrapassagens do padrão ocorrem com maior freqüência por uma ou duas horas no dia, entre 13 e 15 horas. Em relação à distribuição dos episódios durante os dias da semana, não observou-se diferenças significativas entre os dias úteis e finais de semana.

Através da análise dos perfis médios dos poluentes de cada uma das estações observou-se um comportamento diferenciado devido à distância da via, assim, as estações foram separadas em dois grupos: veiculares e não veiculares.

As estações não veiculares, como Ibirapuera e Mauá, foram as que apresentaram o maior número de ultrapassagens. Já as estações Congonhas, Osasco, Lapa e Parque D. Pedro II, apresentaram um menor número de ultrapassagens em função da proximidade da via.

Na análise do perfil das concentrações médias horárias de NO, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> observou-se que o valor máximo de NO ocorre normalmente no período da manhã, em todas as estações, por volta das 8 horas coincidindo com o pico de tráfego, e que ainda no período da manhã, a concentração de NO diminui, sendo acompanhada do aumento do NO<sub>2</sub>, cujo pico ocorre por volta das 10 horas.

Nas estações veiculares, o perfil médio de concentração de NO é elevado em função da forte emissão dos veículos que circulam próximos e a concentração de ozônio é baixa uma vez que é rapidamente consumido pelo NO.

Nas estações não veiculares a concentração média de NO no período da manhã é baixa quando comparada às estações veiculares. No horário de formação do ozônio a concentração de NO cai praticamente a zero e a concentração de NO<sub>2</sub> também diminui devido a fotólise do NO<sub>2</sub>. As estações Ibirapuera e Mauá apresentaram características distintas com relação aos perfil médio do ozônio, principalmente nos dias de qualidade do ar inadequada e má. Em Mauá, as altas concentrações de ozônio muitas vezes prolongam-se até o final da tarde (horário das 17/18 horas), enquanto que no Ibirapuera, neste mesmo horário, as concentrações de ozônio já são baixas.

As tendências de concentração de O<sub>3</sub> nas estações Ibirapuera e Mauá no período de 1996 a 1999, de maneira geral, foram semelhantes, não sendo observados muitos casos de ultrapassagens em dias consecutivos. No entanto, do total de dias de episódios que ocorreram nessas estações, nesse período somente 21% dos casos ocorreram nas duas estações. Isto provavelmente ocorre devido à diferente localização geográfica dessas estações na RMSP, sendo assim influenciadas por diferentes condições de transporte pelo vento.

Na estação Ibirapuera, observou-se que os dias de episódios ocorreram com temperatura máxima entre 25 e 30°C e umidade relativa média de 42%. Observou-se também uma circulação convergente para a região central do Município de São Paulo, onde esta estação está localizada.

No caso de Mauá observou-se que a maioria dos episódios ocorrem em dias quentes, com temperaturas acima de 28°C e umidade relativa média mais baixa (35%) devido a predominância de ventos quentes e secos de direção noroeste.

Quanto a razão  $[\text{NO}_2]/[\text{NO}]$ , observou-se que as estações veiculares apresentaram razão baixa e praticamente constante no período das 8 às 12h, o que indica que nesses estações o NO é alto devido a forte emissão veicular. No caso das estações não veiculares, as razões foram baixas no período das 8 às 10 horas, horário de maior emissão de NO, e aumentaram rapidamente depois desse horário.

Em relação aos HCNM observou-se, na estação Parque D. Pedro II, uma boa correlação com o  $\text{NO}_x$  indicando que estes poluentes devem estar sendo emitidos pelas mesmas fontes. A análise da razão NMHC/ $\text{NO}_x$  mostrou-se COV limitante, no entanto a representatividade dessa estação está restrita a microescala o que impede afirmar qual a situação atual da RMSP em relação ao balanço dos precursores.

Para um melhor entendimento do processo de formação do ozônio deverão ser realizados ainda estudos específicos nos dias de ultrapassagens do padrão, bem como, pesquisas para avaliação de modelos de formação e transporte de ozônio, dentro do projeto de Oxidantes Fotoquímicos.

CETESB - C. de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
BIBLIOTECA

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento dos níveis de ozônio ( $O_3$ ) nas regiões metropolitanas tem sido objeto de preocupação por parte das instituições ambientais em todo o mundo há vários anos, tanto pelas concentrações encontradas quanto pela dificuldade no controle de seus precursores.

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), o ozônio ultrapassa freqüentemente o padrão de qualidade do ar de  $160 \mu g/m^3$  (82 ppb), estabelecido pela Lei Estadual 8.468, de 1976, e por diversas vezes supera o valor de  $200 \mu g/m^3$  (102 ppb), o que determina a qualidade do ar má. O ozônio na RMSP destaca-se, atualmente, como o poluente com maior número de ultrapassagens do padrão.

Este relatório tem como objetivo apresentar um estudo investigativo do comportamento do ozônio na Região Metropolitana de São Paulo, visando o entendimento de seus processo de formação e transporte, de forma a auxiliar na implantação de programas e medidas de controle e de previsão. Para isso, foram utilizados dados de  $NO_x$  ( $NO$  e  $NO_2$ ),  $O_3$ , e hidrocarbonetos não metano (HCNM), além de parâmetros meteorológicos das estações da Rede Automática de Avaliação da Qualidade do Ar da CETESB (RAQAr) no período de maio de 1996 a dezembro de 1999, uma vez que a rede da CETESB foi renovada em 1996 e foram ampliados os locais de medição de ozônio.

O relatório apresenta, no capítulo 2, uma breve introdução sobre os mecanismos de formação do ozônio na troposfera. No capítulo 3 é feita uma caracterização das estações de monitoramento utilizados no presente estudo. São apresentados resumidamente, no capítulo 4, as condições meteorológicas que influenciam na formação do ozônio na RMSP. No capítulo 5 são apresentados os perfis de ultrapassagens anuais, horário e por dia da semana do padrão do ozônio. Os aspectos meteorológicos, capítulo 6, incluem um levantamento, anual e dos dias de episódios, de direção e velocidade de vento nas diferentes estações medidoras de  $O_3$  e mostra as relações entre  $O_3$  e temperatura, umidade relativa e radiação global. No capítulo 7 são apresentados as concentrações médias horárias de  $O_3$ ,  $NO$  e  $NO_2$  para as diferentes estações, separadas por índice de qualidade do ar por ozônio, assim como as razões  $[NO_2]/[NO]$  para as mesmas estações e algumas considerações sobre os compostos orgânicos voláteis (COVs). Finalizando, os capítulos 8 e 9 apresentam as conclusões e as considerações finais, respectivamente.

## 2. O OZÔNIO NA TROPOSFERA

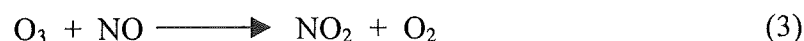
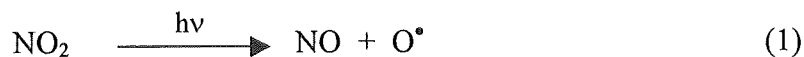
### 2.1 Formação

A literatura apresenta um grande número de estudos<sup>1-9</sup> visando auxiliar no desenvolvimento de programas de previsão e controle dos teores de ozônio, uma vez que este poluente, embora benéfico na estratosfera, onde forma uma camada protetora contra efeitos danosos da radiação ultravioleta, tem efeitos tóxicos nas camadas mais baixas da atmosfera.

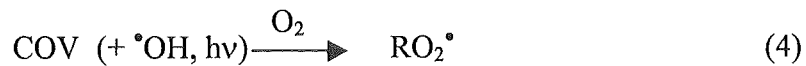
O ozônio não é um poluente emitido diretamente pelas fontes, mas formado na atmosfera através da reação entre os compostos orgânicos voláteis (COVs) e óxidos de nitrogênio (NOx) em presença de luz solar.

Os óxidos de nitrogênio, NO e NO<sub>2</sub>, são lançados na atmosfera através de processos de combustão (veicular e industrial). Já os compostos orgânicos voláteis são emitidos através de processos evaporativos, da queima incompleta de combustíveis automotivos e em processos industriais.

A formação do ozônio na troposfera inicia-se pela fotólise do NO<sub>2</sub>, o produto desta reação, NO, reage rapidamente com O<sub>3</sub> para regenerar o NO<sub>2</sub>.



Dessa maneira, o O<sub>3</sub> mantém-se num estado estacionário que depende da velocidade de fotólise do NO<sub>2</sub> e da razão [NO<sub>2</sub>]/[NO]. Assim, se nenhum outro processo convertesse NO em NO<sub>2</sub> a concentração de ozônio não aumentaria significativamente. No entanto, na presença dos compostos orgânicos voláteis, as concentrações de ozônio aumentam uma vez que NO é convertido a NO<sub>2</sub> via formação de radicais. A velocidade de formação do ozônio depende da quantidade e da reatividade de cada um desses compostos. Muitas são as reações químicas envolvendo os COVs presentes na atmosfera, sendo o mecanismo principal representado resumidamente pelas reações a seguir:



Os compostos orgânicos reagem com os radicais  $\cdot\text{OH}$  ou sofrem fotólise para formar peroxi radicais ( $\text{RO}_2\cdot$ ) que posteriormente reagem com  $\text{NO}$  formando  $\text{NO}_2$ .

Em estudo realizado em sistema fechado, pode-se verificar (Figura 1) a variação na concentração das principais espécies envolvidas no ciclo fotoquímico do ozônio em função da intensidade da luz do dia<sup>4</sup>.

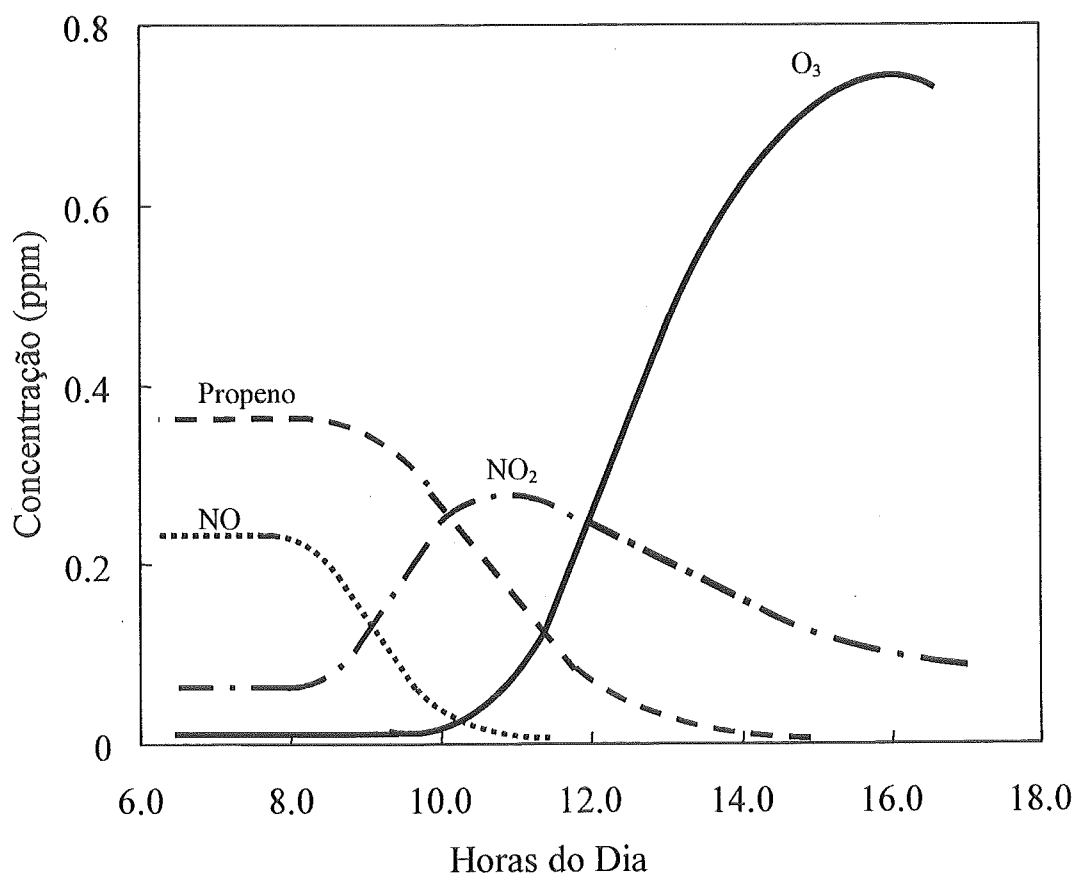
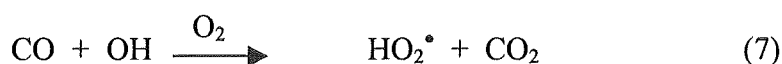


Figura 1 – Perfil de concentração de espécies envolvidas no ciclo do ozônio obtido pela variação de intensidade da luz do dia, num sistema fechado<sup>4</sup>.

Observa-se, na Figura 1, que o ciclo fotoquímico inicia-se com a conversão de NO a NO<sub>2</sub> pela reação com o propeno (COV), eq. (4) a (6). No decorrer do dia, conforme a intensidade da radiação solar aumenta, a fotólise do NO<sub>2</sub> e conseqüentemente a concentração de O<sub>3</sub> no sistema aumenta, (eq. (1) e (2)). A diminuição na concentração de NO<sub>2</sub> somente ocorre após todo NO ter sido consumido.

Além da complexidade do sistema de reações químicas, fatores meteorológicos e topográficos fazem com que os gases precursores emitidos sejam transportados a vários locais, às vezes distantes das fontes, resultando em níveis altos de ozônio em locais distintos da área onde ocorreram as emissões.

Segundo a literatura<sup>5-6</sup>, a formação de ozônio ocorre também, com menor velocidade de reação, devido à oxidação do monóxido de carbono, CO, na presença de óxidos de nitrogênio.



## 2.2 Efeitos

Com relação ao efeito do ozônio sobre a saúde, as ocorrências mais relatadas da exposição de seres humanos são irritação nos olhos, vias respiratórias e o agravamento de doenças respiratórias preexistentes, como a asma. Sabe-se que a exposição repetida ao ozônio pode tornar as pessoas mais suscetíveis a infecções respiratórias e inflamação nos pulmões. Adultos e crianças saudáveis também estão sujeitos aos efeitos danosos causados pelo ozônio se expostos a níveis elevados durante a prática de exercícios físicos.<sup>10</sup>

Além de danoso à saúde humana o ozônio é prejudicial à vegetação causando danos às colheitas e à vegetação natural. Os efeitos observados em plantas referem-se à diminuição na taxa de crescimento, aumento da vulnerabilidade a insetos e problemas de pigmentação, devido a alterações no processo de fotossíntese<sup>4</sup>.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO

A RAQAr possui 23 estações na RMSP, sendo que atualmente 11 medem as concentrações de ozônio, no entanto, neste estudo foram utilizadas 9 estações, conforme ilustrado na Figura 2, uma vez que as estações Santana e Diadema começaram a operar apenas em maio de 1999.



Figura 2 – Localização das estações de Ozônio na RMSP.

Os níveis de concentração de poluentes observados em uma determinada estação de amostragem ocorrem em função de uma série de fatores relativos a localização desta estação e das fontes de emissão que a influenciam.

Entre os fatores que influenciam os resultados do monitoramento, pode-se destacar a proximidade de vias de tráfego, o uso e a ocupação do solo nas áreas próximas (existência de fontes industriais etc.), condições de relevo, existência de anteparos etc.. Todos esses fatores determinam a escala de representatividade da estação, que deve ser escolhida conforme os objetivos do monitoramento.

A escala espacial de representatividade<sup>11</sup> define a área de abrangência em que os níveis de concentração e os valores medidos pela estação podem ser considerados similares. As escalas espaciais de maior interesse, conforme o objetivo a que se destinam, são:

- **Microescala** - concentrações abrangendo áreas de dimensão de poucos metros até 100 metros;
- **Média-escala** - concentrações para áreas urbanas (poucos bairros com características semelhantes) com dimensões entre 100 e 500 metros;
- **Escala de bairro** - concentrações para áreas da cidade (bairros), com atividade uniforme, com dimensões de 500 a 4.000 metros;
- **Escala urbana** - concentrações de cidade ou regiões metropolitanas, da ordem de 4 a 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;

No caso das estações de monitoramento de O<sub>3</sub>, estas não devem estar localizadas muito próximas de vias de tráfego e de árvores, pois estes tendem a reduzir a concentração medida. Segundo a agência ambiental dos EUA<sup>12</sup> (EPA), uma estação que mede O<sub>3</sub> deve estar distante pelo menos 30 metros de vias de tráfego (acima de 20.000 veículos por dia) e a 20 metros de árvores.

Como forma de auxiliar no entendimento das concentrações observadas nas estações utilizadas neste estudo, fez-se uma caracterização simplificada das condições de cada uma delas, juntamente com a rosa de vento obtida para o período de 1996 a 1998, apresentadas a seguir.

CETESSB - COM. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

## Estação Parque D. Pedro II

Endereço: Parque D. Pedro II, 319 - Centro - São Paulo

Topografia da região: Plana

Uso do solo: Comercial

Condições locais: Localizada a uns 5 metros da via, com grande movimento de veículos leves e pesados.

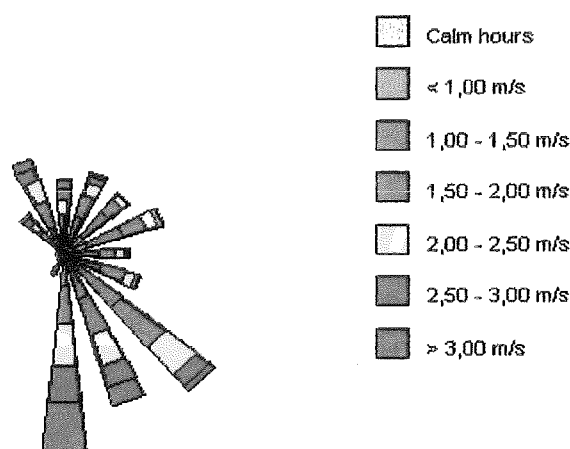
Tipo(s) principal(is) de fonte(s): Veículos leves e pesados.

Principal escala de representatividade : Micro.

Poluentes medidos: PI, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, HCNM.

Parâmetros meteorológicos medidos: UR, T, VV, DV

Rosa de vento :



## Estação Moóca

Endereço: Administração Regional da Moóca. Rua Bresser, 2341 - Moóca.

Topografia da região: Plana.

Uso do solo: Residencial, comercial e industrial.

Condições locais: Localizada a uns 50 metros da via mais próxima. Há pouca atividade industrial próxima.

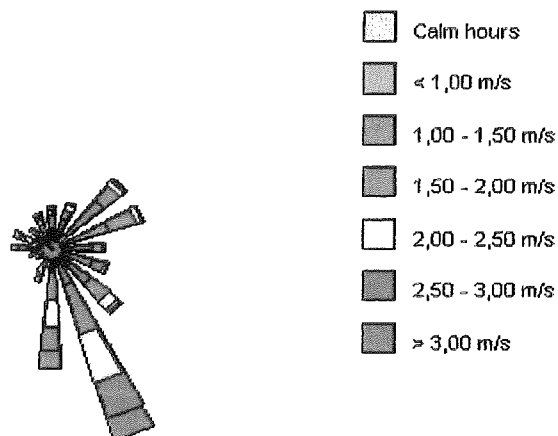
Tipo(s) principal(is) de fonte(s): Veículos e indústrias.

Principal escala de representatividade: Bairro.

Poluentes medidos: PI, O<sub>3</sub>.

Parâmetros meteorológicos medidos: VV, DV.

Rosa de vento:



### Estação Ibirapuera

Endereço: Parque Ibirapuera, 1985 - Ibirapuera.

Topografia da região: Plana.

Uso do solo: Residencial

Condições locais: Região de área verde circundada por áreas urbanizadas. Está afastada de fontes veiculares e industriais de influência direta.

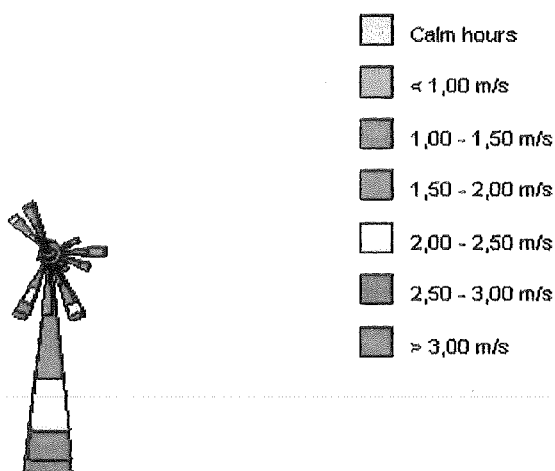
Tipo(s) principal(is) de fonte(s): Veículos.

Principal escala de representatividade: Urbana (exceto feriados e fins de semana).

Poluentes medidos: PI, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>.

Parâmetros meteorológicos medidos: UR, T, VV, DV, P, RAD.

Rosa de vento:



### São Caetano do Sul

Endereço: Rua Aurélia s/n - Bairro da Fundação - São Caetano do Sul.

Topografia da região: Razoavelmente plana.

Uso do solo: Residencial e industrial.

Condições locais: Localizada em área verde, fica a uns 4 metros da via mais próxima, de movimento médio. Há indústrias no bairro.

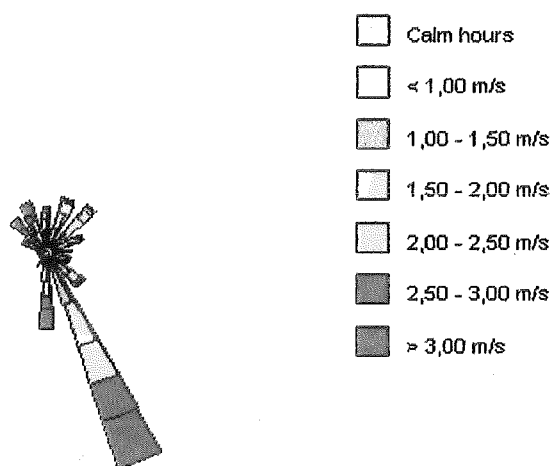
Tipo(s) principal(is) de fonte(s): Indústrias e veículos(principalmente leves).

Principal escala de representatividade: Média.

Poluentes medidos: PI, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, HCNM.

Parâmetros meteorológicos medidos: UR, T, VV, DV, P.

Rosa de vento:



### Estação Congonhas

Endereço: Al. dos Tupiniquins, 1571 - Congonhas

Topografia da região: Razoavelmente plana.

Uso do solo: Comercial e residencial.

Condições locais: Localizada em um cruzamento, fica a cerca de 3 metros da Av. dos Bandeirantes, via altamente movimentada.

Tipo(s) principal(is) de fonte(s): Veículos leves e pesados (caminhões e ônibus).

Principal escala de representatividade: Micro

Poluentes medidos: PI, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> (medido até 30/06/99)

Parâmetros meteorológicos medidos: Nenhum.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

## Estação Lapa

Endereço: Unid. Depós. e Oficina AR-LA. Av. Emb. Macedo Soares, 7995 - Lapa.

Topografia da região: Plana.

Uso do solo: Comercial, residencial e industrial.

Condições locais: Localizada a aproximadamente 5 metros da Marginal Tietê. Está bem próxima também de indústrias.

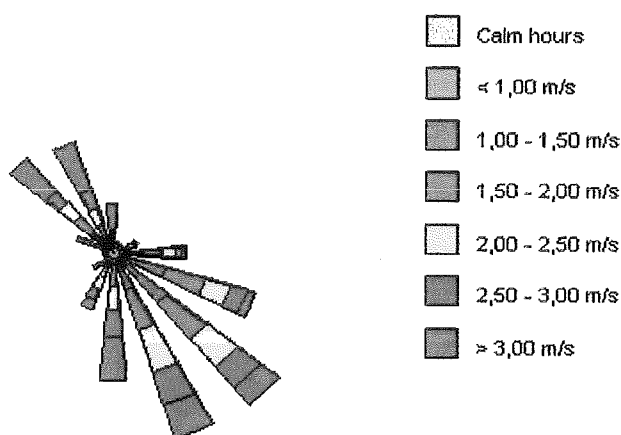
Tipo(s) principal(is) de fonte(s): Veículos (leves e pesados) e indústrias.

Principal escala de representatividade: Micro.

Poluentes medidos: PI, CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>.

Parâmetros meteorológicos medidos: VV, DV.

Rosa de vento:



## Estação Osasco

Endereço: Praça 31 de março, 104 - Osasco.

Topografia da região: Irregular.

Uso do solo: Residencial, industrial e comercial.

Condições locais: Fica a uns 5 metros de via com trânsito médio, porém também próxima da Av. dos Autonomistas, de grande movimento.

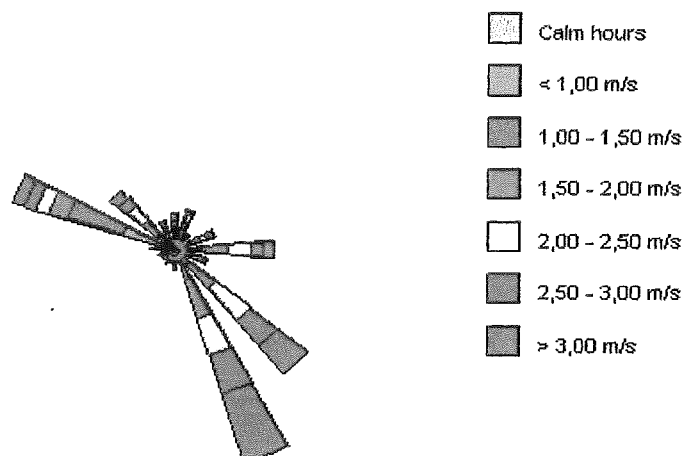
Tipo(s) principal(is) de fonte(s): Veículos (todos os tipos) e indústrias.

Principal escala de representatividade: Micro.

Poluentes medidos: PI, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>.

Parâmetros meteorológicos medidos: VV, DV.

Rosa de vento:



### Estação São Miguel Paulista

Endereço: Rua Diego Calado, 166 - S. Miguel Paulista.

Topografia da região: Irregular.

Uso do solo: Residencial, industrial e comercial.

Condições locais: Localizada longe de vias de tráfego intenso, cercada parcialmente por árvores. Não há indústrias muito próximas.

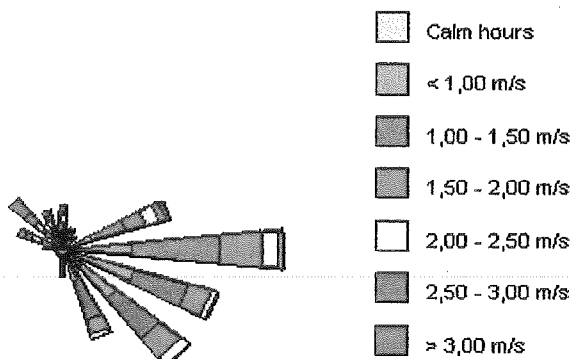
Tipo(s) principal(is) de fonte(s): Indústrias e veículos.

Principal escala de representatividade: Bairro.

Poluentes medidos: PI, O<sub>3</sub>.

Parâmetros meteorológicos medidos: UR, T, VV, DV.

Rosa de vento:



### **Estação Mauá**

Endereço: Rua Vitorino Del'Antonia, 150 - Mauá.

Topografia da região: Irregular.

Uso do solo: Residencial, industrial e comercial.

Condições locais: Localizada a cerca de 10 metros de via de pouco movimento que passa a cerca de 10 metros abaixo. Há indústrias na região.

Tipo(s) principal(is) de fonte(s): Indústrias.

Principal escala de representatividade: Bairro

Poluentes medidos: PI, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>.

Parâmetros meteorológicos medidos: Nenhum.

De forma resumida, pode-se considerar com forte influência dos veículos que circulam próximos (escala de representatividade Micro e Média), as estações Congonhas, Parque D. Pedro II, Lapa, Osasco e São Caetano do Sul, que neste estudo consideraremos como estações veiculares. Em condições distintas, ou seja, relativamente distantes de fontes veiculares diretas (escala de representatividade Bairro e Urbana) estão Ibirapuera, Mauá, São Miguel Paulista e Moóca.

Assim, nas estações veiculares, espera-se uma maior concentração de poluentes que são emitidos diretamente pelos veículos, tais como o CO e o NO<sub>x</sub>, e concentrações mais baixas de O<sub>3</sub> devido ao seu consumo pelo NO, conforme mecanismo discutido no capítulo anterior. De forma inversa, nas estações distantes das vias de tráfego, espera-se concentrações mais baixas de CO e NO e maiores condições para a ocorrência de picos de O<sub>3</sub>.

CEIESB - COM. DE RECURSOS DE SAM. AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

#### 4. INFLUÊNCIAS METEOROLÓGICAS NA FORMAÇÃO DO OZÔNIO NA RMSP

As concentrações de ozônio, assim como a dos demais poluentes atmosféricos, são altamente influenciadas pelas condições meteorológicas, que determinam as concentrações do ozônio tanto para um determinado episódio (condição meteorológica do dia), quanto para as concentrações médias associadas às variações meteorológicas sazonais (condições climáticas). Assim, a identificação dos principais fatores que afetam o tempo e o clima na RMSP são essenciais para o entendimento do comportamento do ozônio.

Em termos de clima, a RMSP pode ser dividida em duas estações predominantes: uma estação chuvosa que compreende, normalmente, o período de outubro a abril, e outra mais seca que vai de maio a setembro. A estação chuvosa está centrada nos meses de verão, onde ocorre uma elevação das temperaturas médias e uma maior ventilação. Neste período, o aquecimento continental, associado à convecção tropical, sistemas extratropicais (frentes frias) e áreas de instabilidade continental, favorecem o aumento da nebulosidade e da precipitação.

Na estação seca o clima é determinado pela presença de anticiclones (sistemas de alta pressão) e pela passagem rápida de frentes frias provenientes do sul do continente, sendo esta estação caracterizada não só pela diminuição da precipitação, mas também pela queda das temperaturas e ocorrência de calmarias e períodos de grande estabilidade atmosférica, proporcionando com isso condições mais desfavoráveis à dispersão de poluentes na atmosfera. Outra característica do período seco é a baixa umidade relativa em alguns dias, que chega a atingir valores de 15%.

A literatura<sup>13</sup> mostra ainda que o desenvolvimento urbano acelerado da região a partir dos anos 50, ocasionou o processo de formação do efeito “ilha de calor”. Este maior aquecimento da área urbana em relação ao seu entorno provoca uma convergência do ar próximo à superfície sobre a área mais urbanizada.

O número de dias de ultrapassagem do Padrão Primário de Qualidade do Ar (PQAR) para ozônio, por mês, na RMSP de 1997 a 1999 é apresentado na Figura 3, onde se observa uma significativa redução do número de ultrapassagens nos meses mais frios. O período observado predominante para ocorrência de episódios foi desde o final do inverno até início do verão.

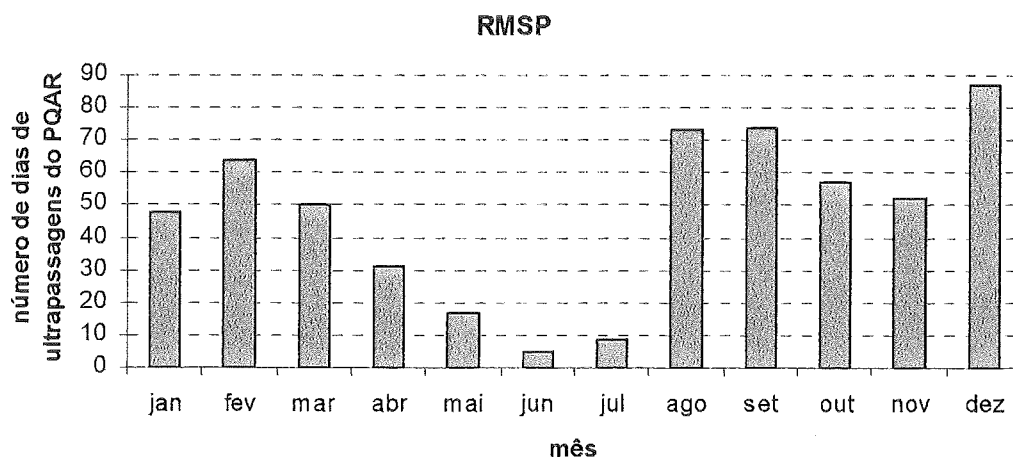


Figura 3 – Total de dias de ultrapassagem do Padrão de Qualidade do Ar (PQAR) de ozônio por mês na RMSP de jan/97 a dez/99.

As distribuições mensais para cada uma das estações na RMSP estão apresentadas no Anexo 1, onde se observa que a redução no período de inverno ocorreu em todas as estações que apresentaram um número significativo de episódios.

Conforme estudos<sup>14-15</sup>, o aumento da temperatura e da radiação solar incidente favorecem a formação do ozônio na atmosfera, o que explica a mínima ocorrência de episódios nos meses mais frios do ano. A Tabela 1 apresenta as médias, mínimas e máximas mensais, baseadas nas máximas diárias de temperatura no período de 1997 a 1999 na estação Parque D. Pedro II, onde observa-se que os valores mais baixo e mais alto ocorreram nos meses de junho e fevereiro, respectivamente.

Ressalta-se que nos anos de 1997<sup>16</sup> e 1999<sup>17</sup> ocorreram períodos prolongados de estiagem nos meses de agosto e setembro e consequentemente dias quentes e secos, que favoreceram a formação de ozônio.

Tabela 1 – Máximas diárias de Temperatura – Est. Parque D. Pedro II - 1997 a 1999

|               | jan            | fev            | mar            | abr            | mai            | jun            | jul            | ago            | set            | out            | nov            | dez            |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Média</b>  | 28,7           | 29,1           | 27,8           | 25,9           | 22,7           | 21,2           | 22,7           | 24,8           | 24,9           | 24,3           | 25,9           | 28,7           |
| <b>Máxima</b> | 35,0<br>(1999) | 33,6<br>(1998) | 33,6<br>(1998) | 32,4<br>(1998) | 29,7<br>(1997) | 27,7<br>(1997) | 28,7<br>(1998) | 32,4<br>(1999) | 35,1<br>(1997) | 35,5<br>(1997) | 35,5<br>(1997) | 34,6<br>(1997) |
| <b>Mínima</b> | 19,5<br>(1998) | 24,2<br>(1998) | 20,8<br>(1999) | 19,9<br>(1998) | 13,7<br>(1999) | 14,9<br>(1999) | 13,7<br>(1999) | 10,0<br>(1999) | 15,7<br>(1999) | 13,1<br>(1999) | 13,2<br>(1999) | 21,0<br>(1998) |

Em termos de radiação solar, na RMSP a máxima incidência no topo da atmosfera ocorre nos mês de janeiro e a mínima no mês de junho, numa redução em torno de 35%<sup>18</sup>.

No entanto, na comparação do número de episódios de ozônio por mês do ano, conforme Figura 3, observa-se que a maior frequência não ocorre necessariamente nos meses mais quentes<sup>19</sup> e com maior incidência de radiação solar no topo da atmosfera. Este fenômeno provavelmente está associado ao aumento da nebulosidade que ocorre nos meses mais quentes, o que reduz a quantidade de radiação solar que incide sobre a superfície, e conseqüentemente, diminui a formação do ozônio na baixa troposfera.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

## 5. PERFIL DE ULTRAPASSAGENS DO PADRÃO DE OZÔNIO

A Figura 4 mostra o número total de ultrapassagens do padrão de  $O_3$  (82 ppb) observadas em cada uma das estações da RAQAr de 1996 a 1999. Pode-se observar que as estações Ibirapuera e Mauá foram as que apresentaram o maior número de ultrapassagens, porém um grande número de eventos foram também observados nas estações Moóca, São Caetano do Sul e São Miguel Paulista. As demais estações apresentaram um menor número de ultrapassagens em função da proximidade de fontes veiculares, uma vez que o NO emitido consome o ozônio formado, conforme reação (3) no item 2.

No Anexo 2 são apresentadas as máximas concentrações horárias de ozônio para as estações medidoras deste poluente na RMSP nos dias em que ocorreram episódios em pelo menos uma dessas estações.

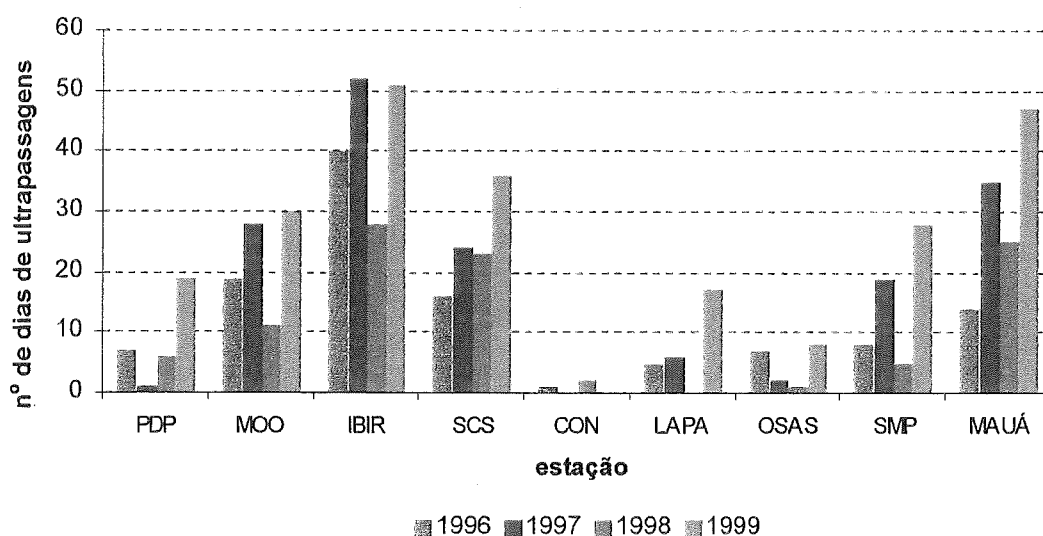


Figura 4 – Total de dias de ultrapassagens do PQAR de ozônio por estação na RMSP de mai/96 a dez/99.

Ainda na Figura 4 pode-se observar que 1997 e 1999 foram anos com maior número de ocorrências de episódios de alta concentração de  $O_3$  em relação a 1998.

Devido a renovação da rede automática, não houve monitoramento nos primeiros meses de 1996, o que impede uma comparação mais precisa com os demais anos utilizados no estudo. Não houve monitoramento na estação Congonhas a partir de 1999, uma vez que, nos últimos 3 anos, não foram observadas ultrapassagens do padrão

de  $O_3$ , devido a grande influência da via. Assim, o monitor de ozônio desta estação foi realocado para uma estação melhor localizada.

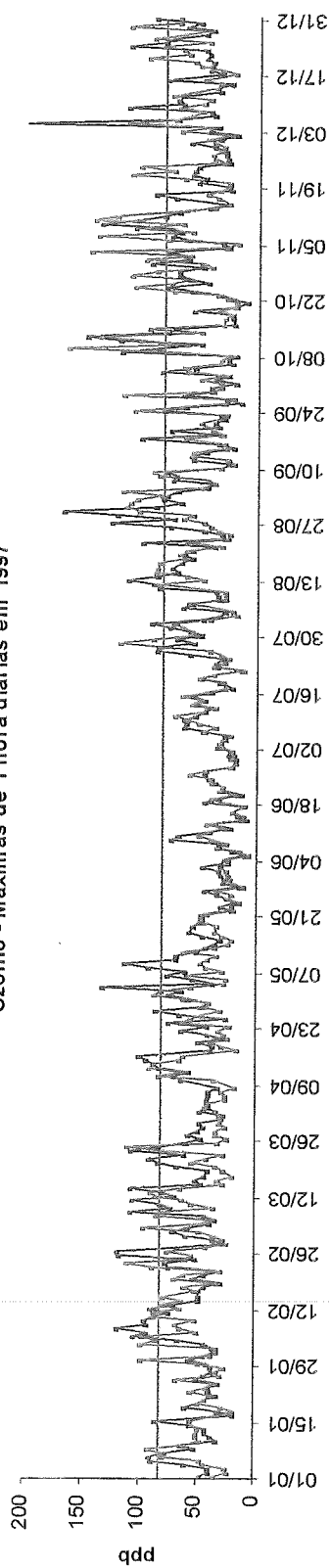
Na Figura 5 estão apresentadas as máximas diárias de 1 hora de ozônio para as estações Ibirapuera e Mauá para os anos de 1997, 1998 e 1999. Observa-se variações muito grandes nas máximas concentrações de ozônio de um dia para outro, não sendo observados muitos casos de ultrapassagens em dias consecutivos. Como as emissões na RMSP variam pouco de um dia para outro, essas grandes variações de concentração de ozônio devem ser causadas principalmente pela variação das condições meteorológicas favoráveis ou não à formação de  $O_3$ .

Pode-se observar ainda, na Figura 5, que as tendências de aumento e/ou diminuição na concentração de  $O_3$ , de maneira geral, são semelhantes nas duas estações, ou seja, quando há aumento e/ou diminuição da concentração de  $O_3$  em uma das estações, o mesmo ocorre na outra. No entanto, do total de dias de episódios que ocorreram nessas estações, neste período, somente 21% dos casos ocorreram nas duas estações. Isto provavelmente ocorre devido à diferente localização geográfica dessas estações na RMSP, sendo assim influenciadas por diferentes condições de transporte. Enquanto a estação Ibirapuera fica localizada em um parque na região central da área urbana, a estação Mauá está localizada a sudeste da região central.

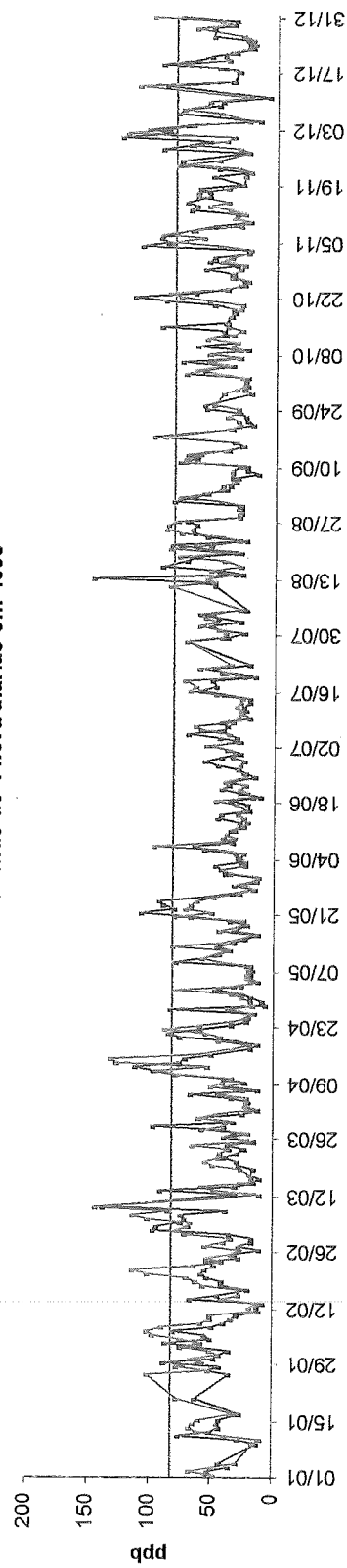
Na Figura 5, pode-se observar também a tendência sazonal já comentada no capítulo anterior, em que há uma menor ocorrência no período de inverno.

A Figura 6 mostra o horário em que ocorreram as máximas concentrações de  $O_3$ , nas estações Mauá e Ibirapuera, nos dias em que houve ultrapassagem do padrão. Observa-se, nesta figura, que a maioria dos episódios ocorre entre 13 e 15 horas, com maior incidência de máximas concentrações às 14 horas. Nesta análise considerou-se sempre o horário oficial, que não inclui as mudanças relativas ao horário de verão.

Ozônio - Máximas de 1 hora diárias em 1997



Ozônio - Máximas de 1 hora diárias em 1998



Ozônio - Máximas de 1 hora diárias em 1999

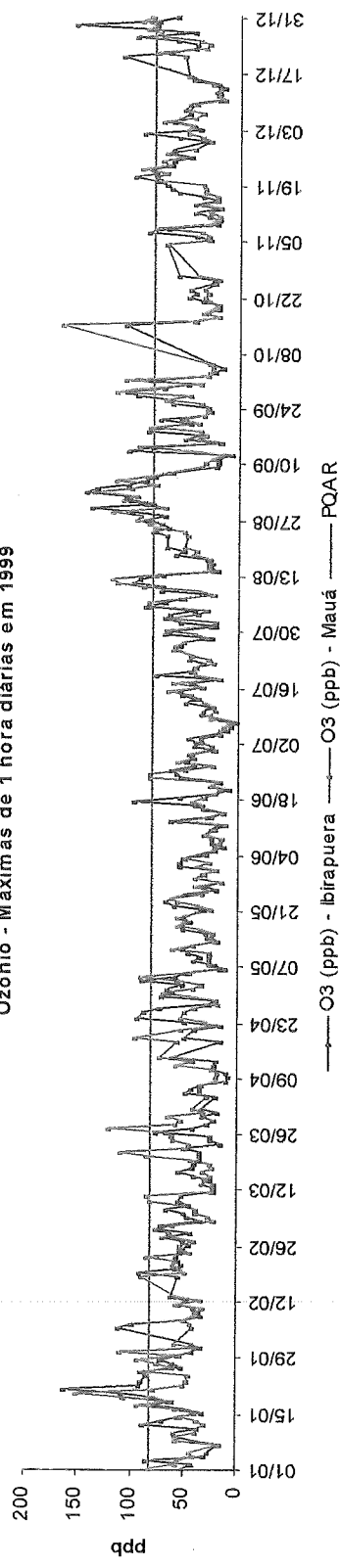


Figura 5 – Máximas diárias de 1 hora de ozônio (ppb) nas estações Ibirapuera e Mauá em 1997, 1998 e 1999

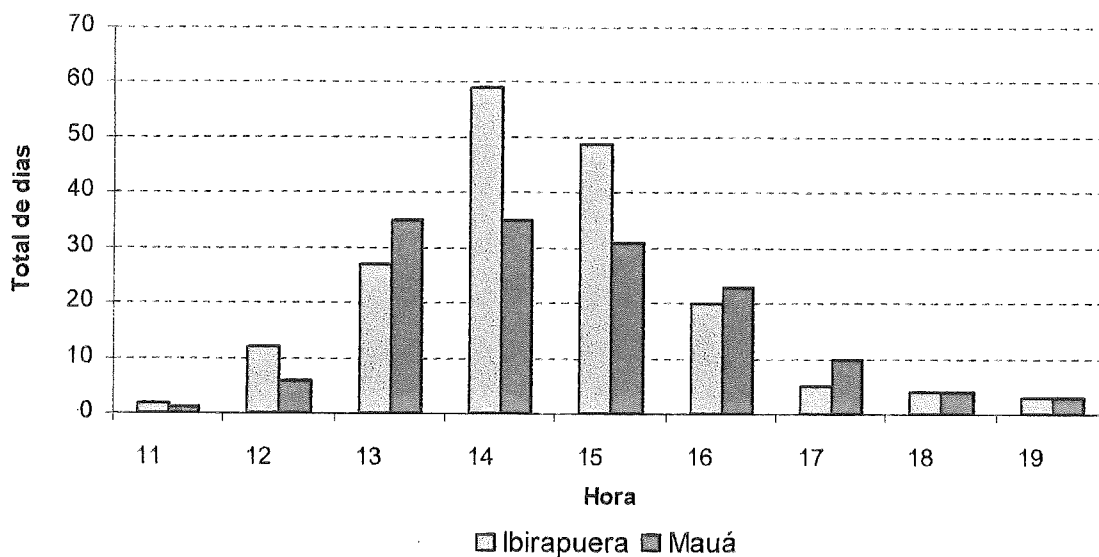


Figura 6 – Horário em que ocorreram as máximas concentrações de  $O_3$  nos dias de ultrapassagem do padrão, nas estações Mauá e Ibirapuera, de mai/96 a dez/99.

O número de dias em função da duração em horas de ultrapassagem do padrão nas estações Mauá e Ibirapuera está apresentado na Figura 7. A duração dos episódios é curta, na maioria dos casos entre 1 e 2 horas, em ambas as estações, embora em Mauá tenham sido observados episódios com duração de até 7 a 8 horas de ultrapassagens consecutivas do padrão.

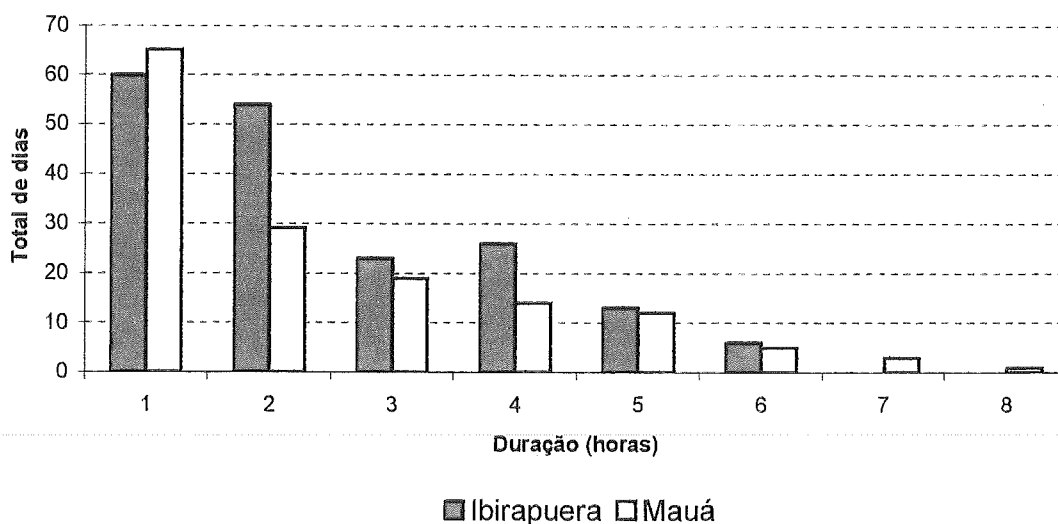


Figura 7 – Total de dias em função da duração em horas de ultrapassagem do padrão de ozônio (82 ppb), nas estações Ibirapuera e Mauá, de mai/96 a dez/99.

Com relação a distribuição dos episódios durante os dias da semana, pode-se observar, na análise da Figura 8, que não há diferenças significativas entre os dias úteis e finais de semana, ou seja, mesmo aos sábados e domingos, quando ocorre uma redução no tráfego urbano, e conseqüentemente na emissão de precursores, observou-se ainda um grande número de eventos.

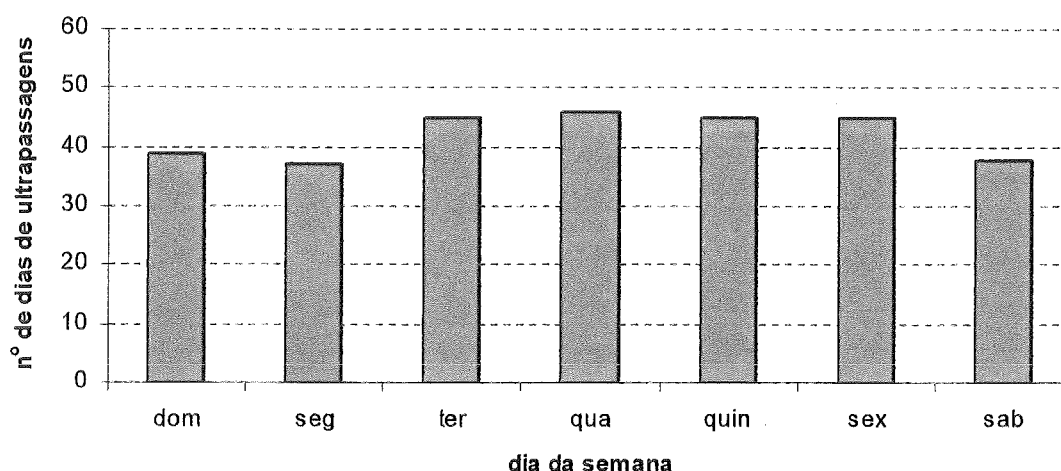


Figura 8 – Total de ultrapassagens do padrão de ozônio (82 ppb) por dia da semana, na RMSP de mai/96 a dez/99.

O grande número de episódios nos dias de menor tráfego não é um fenômeno de simples interpretação pois envolve uma série de variáveis, porém fatores importantes devem ser considerados. A presença de precursores, mesmo nos finais de semana, talvez seja suficiente para a formação do  $O_3$ , e sua formação está sendo determinada principalmente pelas condições meteorológicas reinantes. Outro fator que deve ser considerado é que a redução do tráfego próximo à determinadas estações medidoras, e conseqüentemente dos níveis de  $NO$ , permite uma maior ocorrência de episódios nestas estações nos sábados, domingos e feriados.

A Figura 9 mostra a distribuição por dia da semana das máximas diárias de  $O_3$  para as estações (a) Parque D. Pedro II e (b) Ibirapuera. Pode-se observar que no Parque D. Pedro II o menor número de dias de qualidade boa ocorre justamente aos domingos, seguido pelos sábados. Já na estação Ibirapuera, observa-se uma distribuição mais uniforme entre os dias com índice de qualidade boa e regular durante a semana. Para esta análise considerou-se todos os dias, independentemente dos feriados.

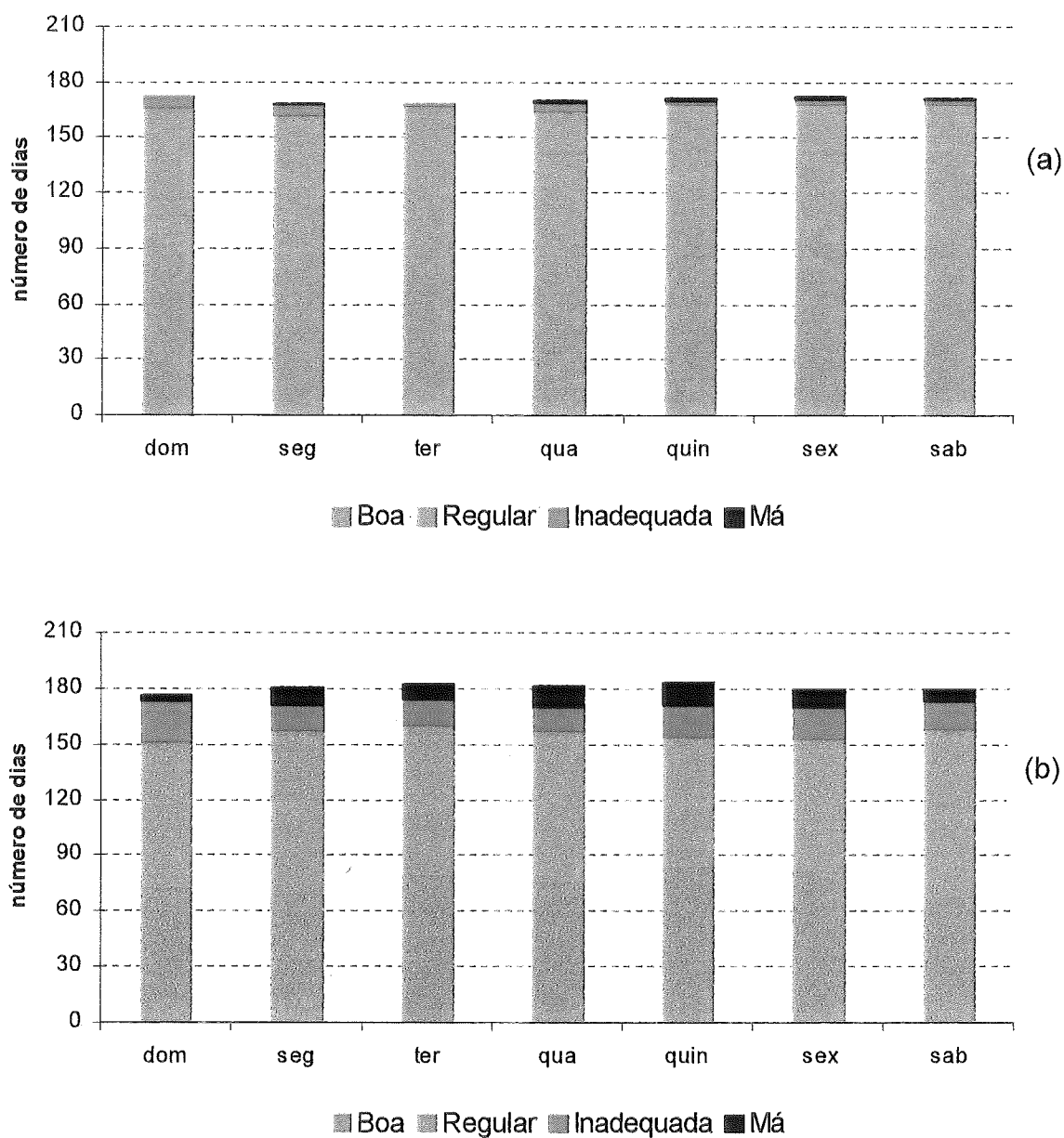


Figura 9 – Distribuição do Índice de Qualidade do Ar por Ozônio na estação (a) Parque D. Pedro II e (b) Ibirapuera por dia da semana de mai/96 a dez/99.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

## 6. ASPECTOS METEOROLÓGICOS

### 6.1 Direção e Velocidade do Vento

A ocorrência de altas concentrações de  $O_3$  está relacionada com as trajetórias das massas de ar que circulam sobre uma região e que transportam tanto os precursores como o ozônio formado na atmosfera através das reações fotoquímicas. Desse modo, é importante conhecer a direção e a velocidade do vento que predominam sobre a região.

Na Figura 10 é mostrado o mapa da RMSP com as rosas de vento em cada uma das 12 estações medidoras de direção e velocidade do vento da RAQAr para o período de 1996 a 1998. Pode-se observar que a maior frequência do vento ocorre de direção sul/sudeste, seguida pela direção noroeste. Na estação Mauá não há medidor de vento.

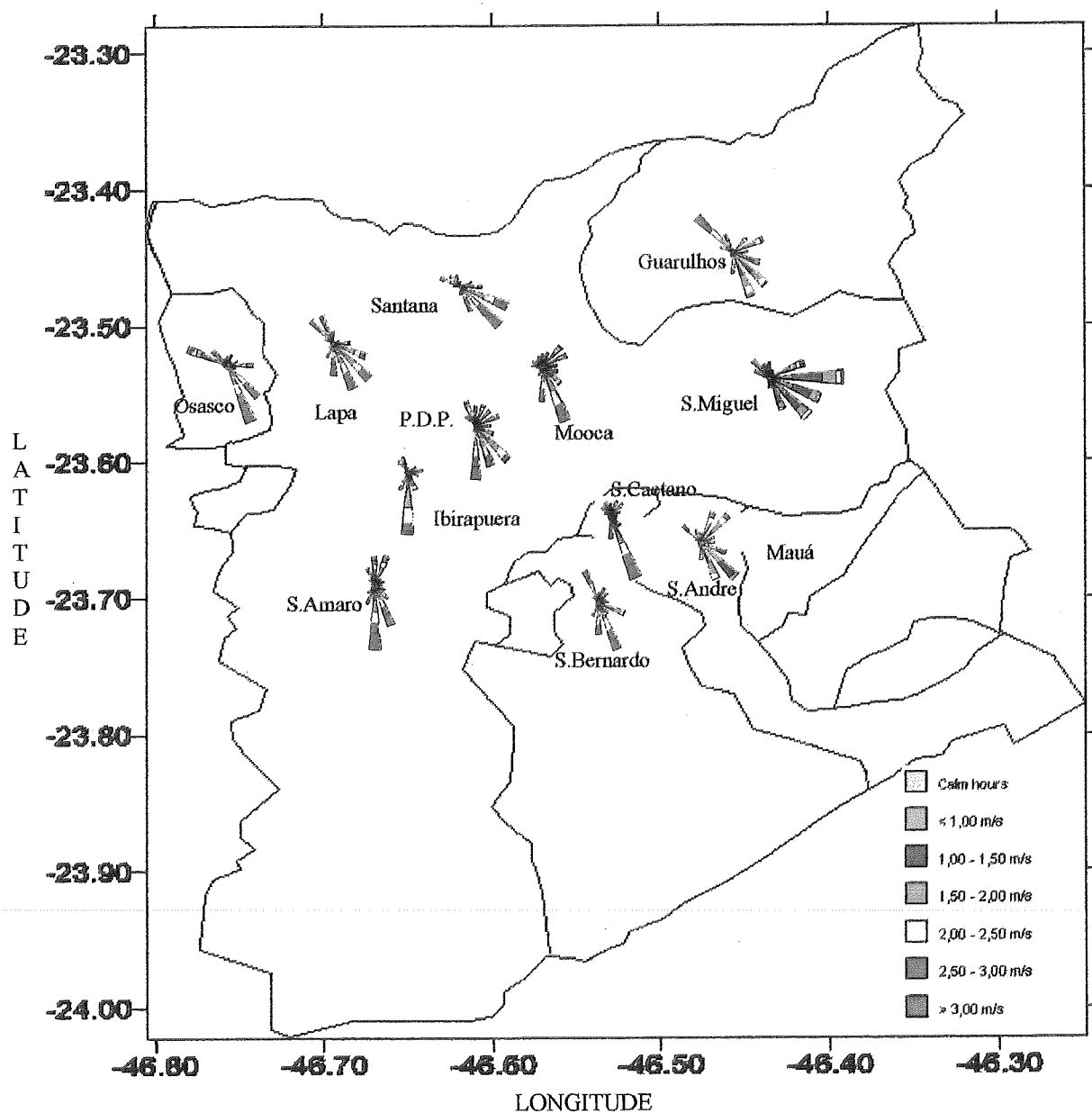


Figura 10 - Rosas de vento para o período de 1996 a 1998.

Para este período de estudo, foram utilizados os dados horários de direção e velocidade do vento, excluindo-se as horas de calmaria e ventos variáveis. É considerada calmaria, quando a velocidade do vento é igual ou menor do que 0,44m/s; ventos variáveis, quando o vento é muito fraco, menor do que 1m/s, e não há predominância de direção em 70% das amostras medidas num intervalo de tempo de 1 hora. Geralmente, os ventos que auxiliam a dispersão ou transporte de poluentes atmosféricos na RMSP possuem velocidade acima de 1,5m/s, e quando maior que 2m/s são considerados de moderados a fortes. Os ventos de direção noroeste, normalmente, possuem rajadas acima de 3m/s.

A predominância de ventos de sudeste sobre a RMSP está associada à circulação de massas de ar de origem marítima, que é, na maioria dos casos, provocada por um anticiclone polar marítimo (sistema de alta pressão), após a passagem de um sistema frontal. Os ventos de sudeste também estão associados à atuação da brisa marítima durante o dia, devido a diferença de temperatura entre as superfícies terrestre e marítima, ocasionada pelo aquecimento continental, em função da incidência de radiação solar.

Por outro lado, os ventos de direção noroeste precedem a entrada de sistemas frontais que atingem a RMSP, oriundos do sul do continente, e que estão sempre associados a sistemas de baixa pressão, em que os ventos seguem um padrão de giro no sentido anti-horário, por exemplo, quando um sistema de baixa pressão se aproxima da região, a direção do vento tende a girar para norte, passando em seguida para noroeste e oeste; após a passagem do sistema frontal, a direção do vento passa a ser de sudoeste.

Na Figura 11 são mostradas as rosas de vento para os dias de episódios de ozônio nas estações Parque D. Pedro II, Moóca, Ibirapuera, São Caetano do Sul e São Miguel Paulista, no período de 1996 a 1998. Foram utilizados dados horários de direção e velocidade do vento no período das 11 às 15 horas em cada estação, excluindo-se as horas de calmaria e os ventos variáveis. Este período, das 11 às 15 horas, foi selecionado por ser mais propício à formação de O<sub>3</sub>, quando há maior incidência de radiação solar e temperaturas mais altas, que favorecem o aumento da turbulência em superfície, facilitando também o transporte e/ou diluição dos poluentes na atmosfera.

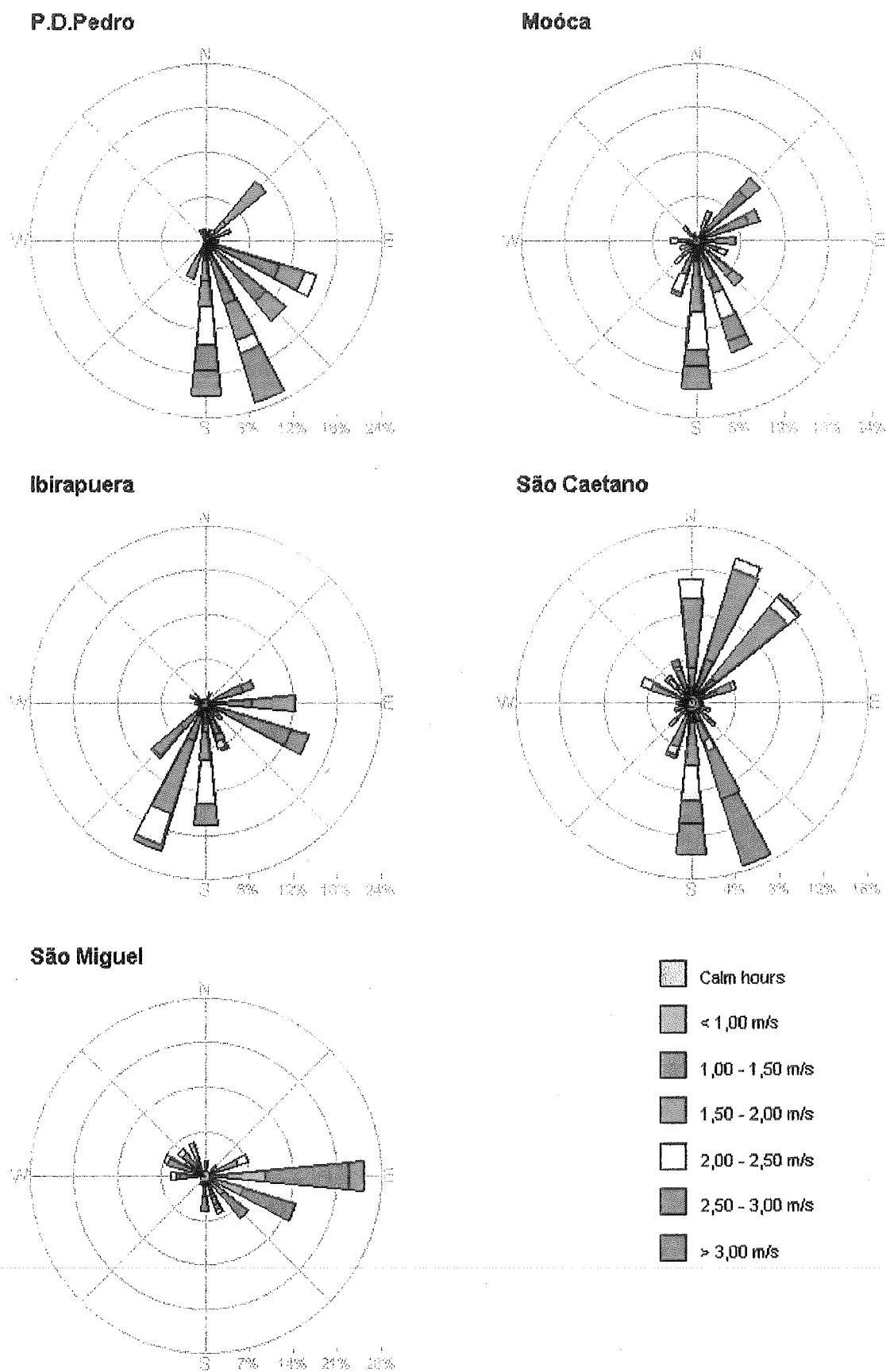


Figura 11 - Rosas de Vento para os dias de episódios em cada estação no período de 1996 a 1998.

Observa-se que nas estações Parque D. Pedro II e Moóca os ventos são predominantemente de direção sul/sul-sudeste. Na estação São Caetano do Sul predominam ventos mais intensos de sul/sudeste e ventos mais fracos de norte/nordeste. Na maioria dos episódios ocorridos nesta estação, observou-se que os ventos mais fracos ocorrem às 11 horas (valor médio 1,5 m/s) enquanto que os ventos mais intensos de sul/sudeste ocorrem às 15 horas (valor médio 2,5 m/s), possivelmente devido a atuação da brisa marítima. No Ibirapuera há predominância do vento de sul/sudoeste e muitas horas de calmaria. Na estação São Miguel Paulista os ventos são fracos de direção leste.

Na Figura 12 são mostradas as rosas de vento, em cada estação, nos dias de episódios na estação Ibirapuera, no período das 11 às 15 horas. Observa-se que a circulação dos ventos predominantes sobre a RMSP apresenta uma certa convergência para a região central do Município de São Paulo.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

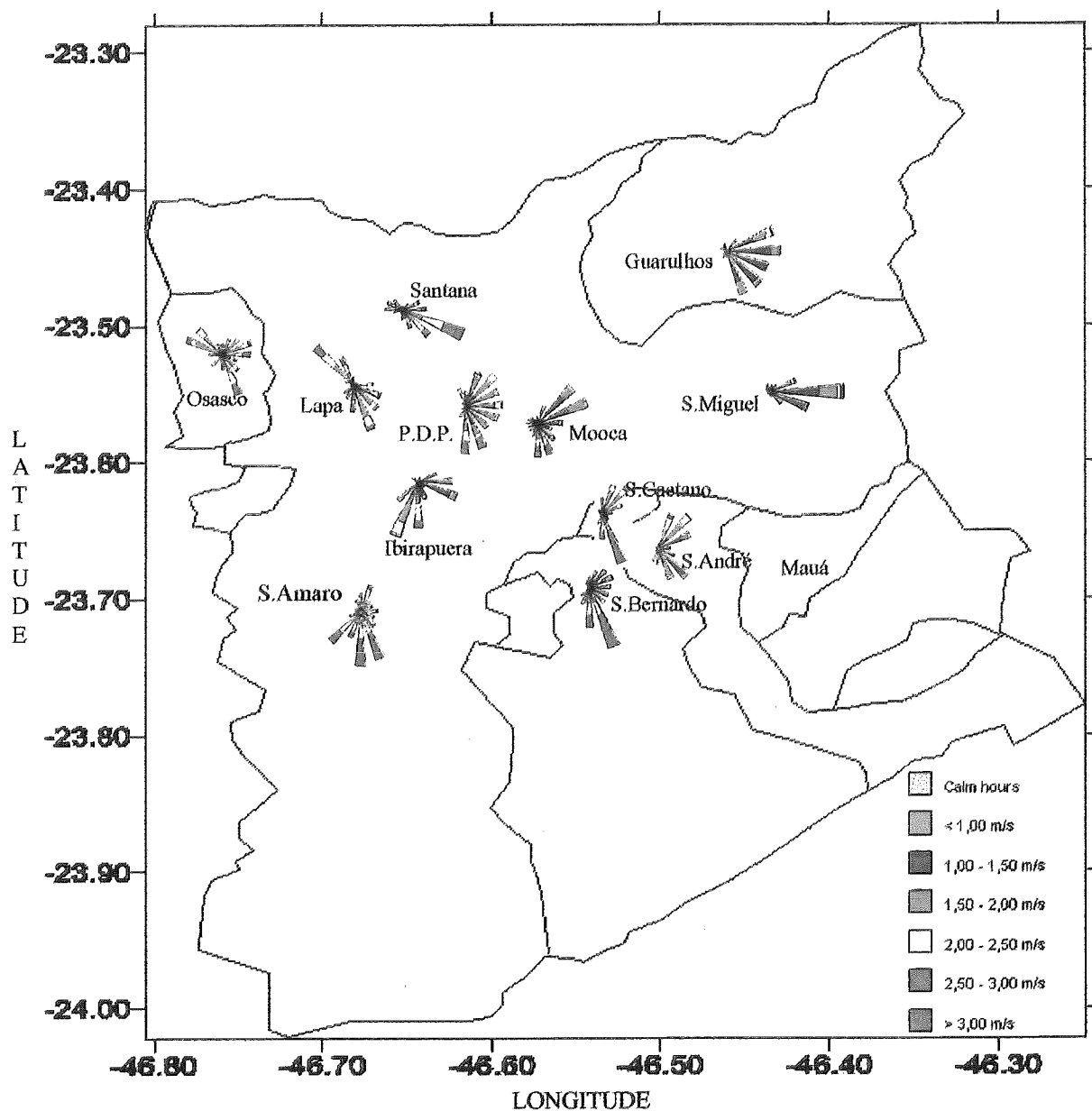


Figura 12 - Rosas de vento nos dias de episódios na estação Ibirapuera no período de 1996 a 1998.

Na Figura 13 são mostradas as rosas de vento de cada estação, das 11 às 15 horas, nos dias de episódios na estação Mauá no período de 1996 a 1998. Observa-se que há uma predominância de ventos de direção norte, variando entre NE e NW. É observado também que a maior intensidade da velocidade do vento ocorre na direção NW. Esta direção de vento, geralmente, precede a entrada de sistemas de baixa pressão (frentes frias) sobre a região, como comentado anteriormente. A aproximação de sistemas frontais para a região, geralmente, provoca o aumento da temperatura do ar em superfície, devido ao transporte horizontal do ar quente continental pelos ventos de direção de N/NW. Este aquecimento favorece a formação de ozônio sobre a RMSP.

Ressalta-se que dos 255 dias de episódios nas estações Mauá e/ou Ibirapuera no período de 1996 a 1999 em apenas 21% dos casos ocorreram episódios nas duas estações no mesmo dia.

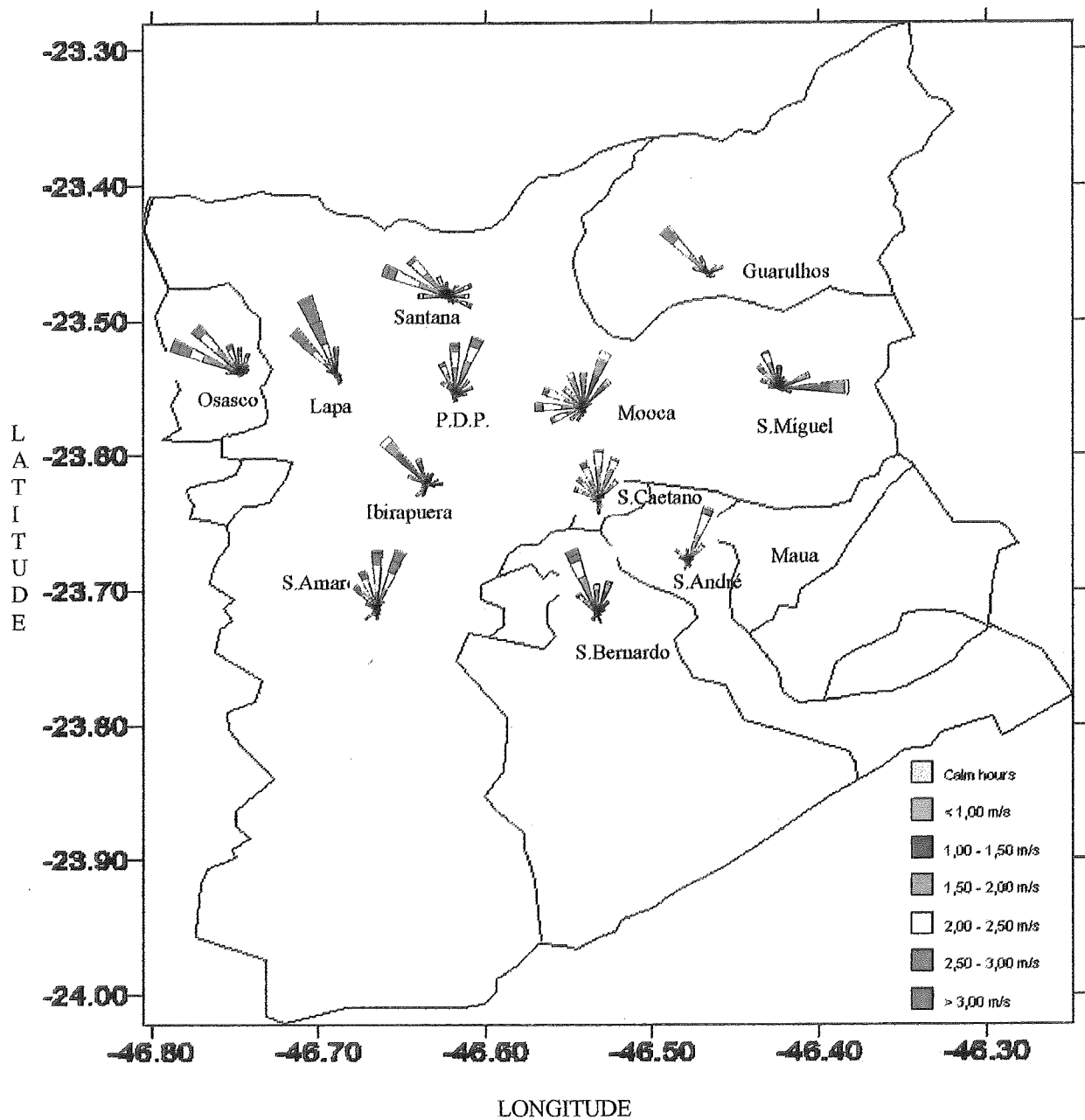


Figura 13- Rosas de vento nos dias de episódios na estação Mauá no período de 1996 a 1998.

## 6.2 Temperatura e Umidade Relativa

A temperatura ambiente é um fator que influencia na reação fotoquímica de formação do ozônio na atmosfera. Na Figura 14 estão apresentados os gráficos de dispersão da máxima concentração de  $O_3$  em função da máxima temperatura<sup>4</sup> no período de 1996 a 1999, nas estações Parque D. Pedro II, Ibirapuera, São Caetano do Sul e Mauá. Os valores de temperatura são apresentados em graus Celsius e as concentrações de  $O_3$  em ppb. A linha vermelha significa o valor do Padrão de Qualidade do Ar - PQAr para o ozônio (82 ppb).

Ressalta-se que, como na estação Mauá não há medidor de temperatura nem de umidade relativa, foram utilizados os dados da estação São Caetano do Sul, por ser a estação mais próxima.

Observa-se que a maioria dos episódios de ozônio ocorreram na faixa de temperatura máxima acima de  $25^{\circ}C$ , com exceção de Mauá, que ocorreram em temperaturas mais altas, acima de  $28^{\circ}C$ .

Na estação Parque D. Pedro II, o aumento da temperatura não reflete no aumento das concentrações de ozônio, o que pode ser explicado por ser esta uma estação de via, onde o ozônio formado é rapidamente consumido.

Nota-se que, apesar de ocorrerem dias com altas temperaturas não há, necessariamente, a ocorrência de altas concentrações de ozônio, uma vez que também outros fatores meteorológicos influenciam no processo das reações fotoquímicas.

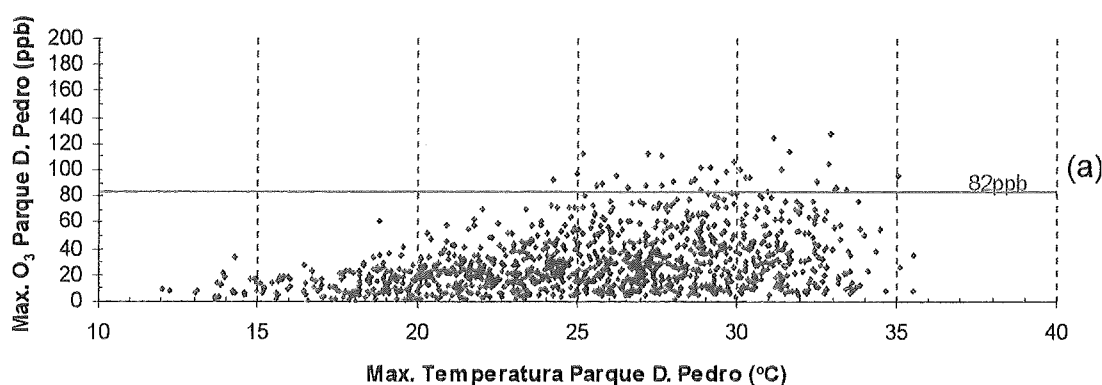


Figura 14 - Dispersão de Máximos de  $O_3$  (ppb) e Máximas de Temperatura ( $^{\circ}C$ ), nas estações: (a) Parque D. Pedro II, (b) Ibirapuera, (c) São Caetano do Sul, (d) Mauá. (continua)

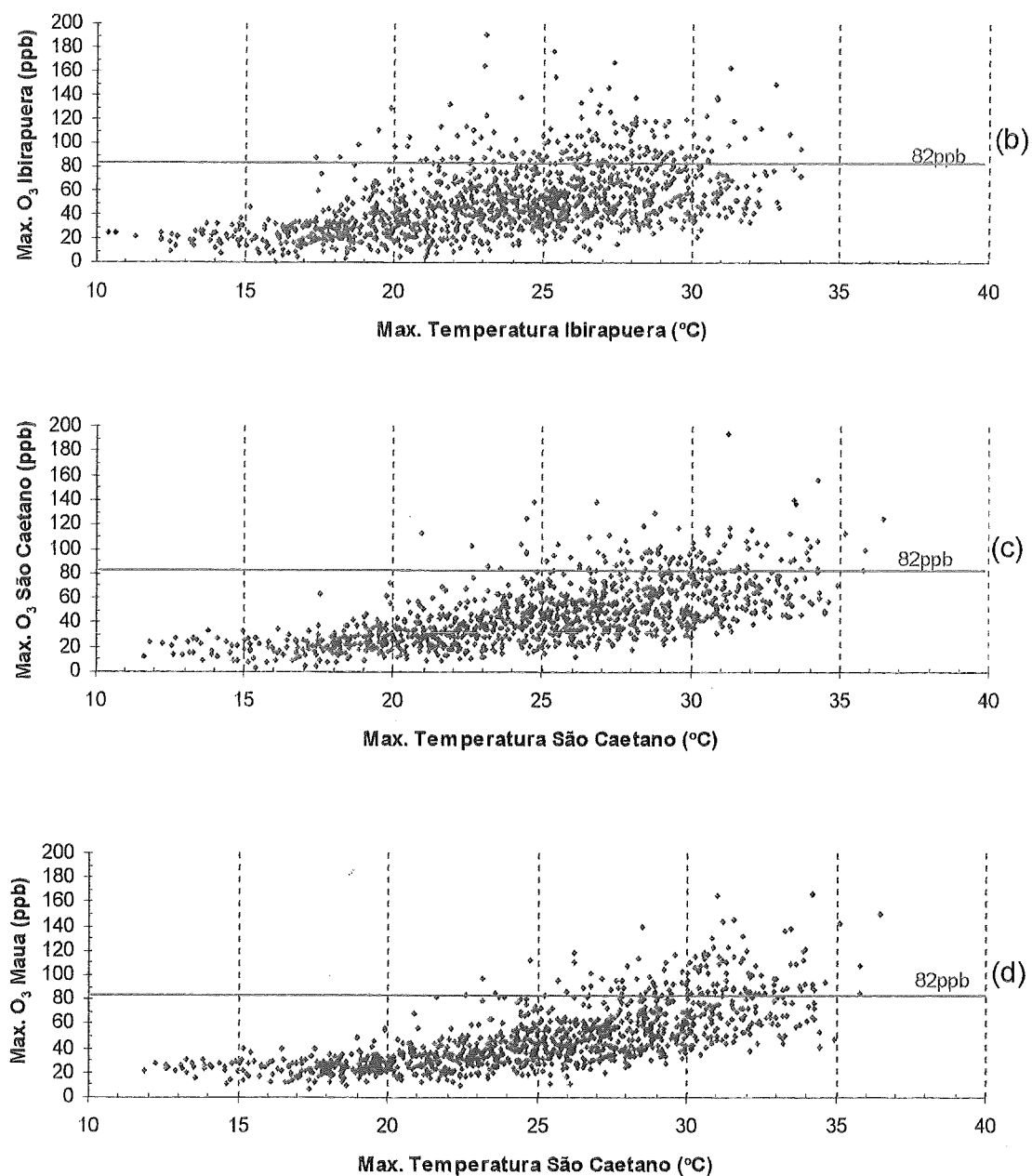


Figura 14 - Conclusão.

Na Figura 15 são apresentados os gráficos de dispersão da máxima diária de concentração de ozônio em função da mínima diária de umidade relativa nas estações Ibirapuera e Mauá, no período de 1996 a 1999.

Observa-se que as ultrapassagens do padrão de O<sub>3</sub> ocorrem com a umidade relativa variando entre 20 a 60% no Ibirapuera e entre 15 e 50% em Mauá.

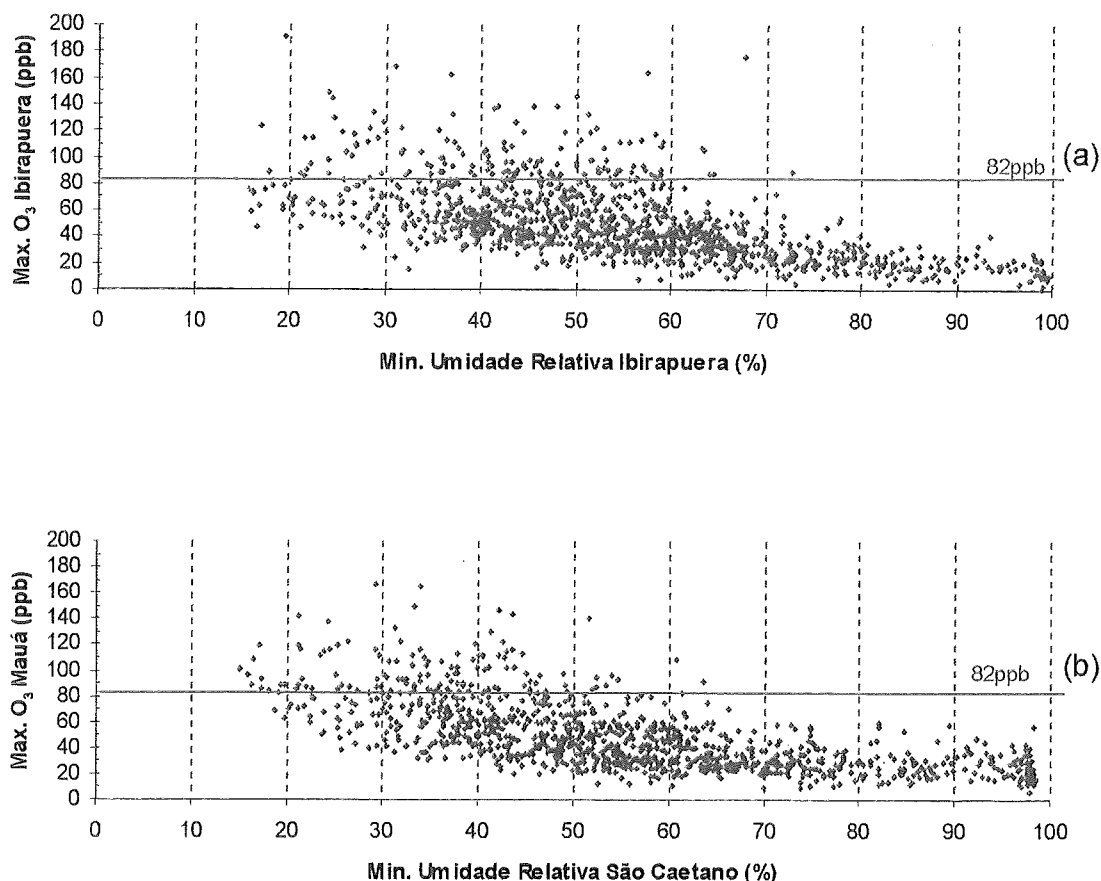


Figura 15 - Dispersão de Máximos Diários de O<sub>3</sub> (ppb) e Mínima Umidade Relativa Diária (%), nas estações: (a) Ibirapuera, (b) Mauá.

Na Figura 16 são mostrados os valores de máxima temperatura (°C) e mínima umidade relativa (%) do ar registrados nas estações Ibirapuera e Mauá, nos horários de máxima concentração de O<sub>3</sub>, em dias em que ocorreram a ultrapassagens do padrão, no período de 1996 a 1999. Nota-se que as temperaturas na estação Mauá são maiores do que na estação Ibirapuera, sendo observadas temperaturas médias de 27°C e 30°C, respectivamente, no Ibirapuera e em Mauá.

Pode-se ressaltar que a maioria dos episódios ocorrem em dias quentes, no entanto, principalmente para o Ibirapuera, ocorreram episódios em dias com temperaturas abaixo de 25°C.

Em Mauá, temperaturas mais altas e umidade relativa mais baixa ocorrem devido a predominância de ventos quentes e secos de direção noroeste, como já foi citado na análise das rosas de vento. Em Mauá a porcentagem de umidade relativa média é mais baixa, 35%, contra 42% no Ibirapuera. Além disso no Ibirapuera ocorreram episódios com umidade acima de 70%.

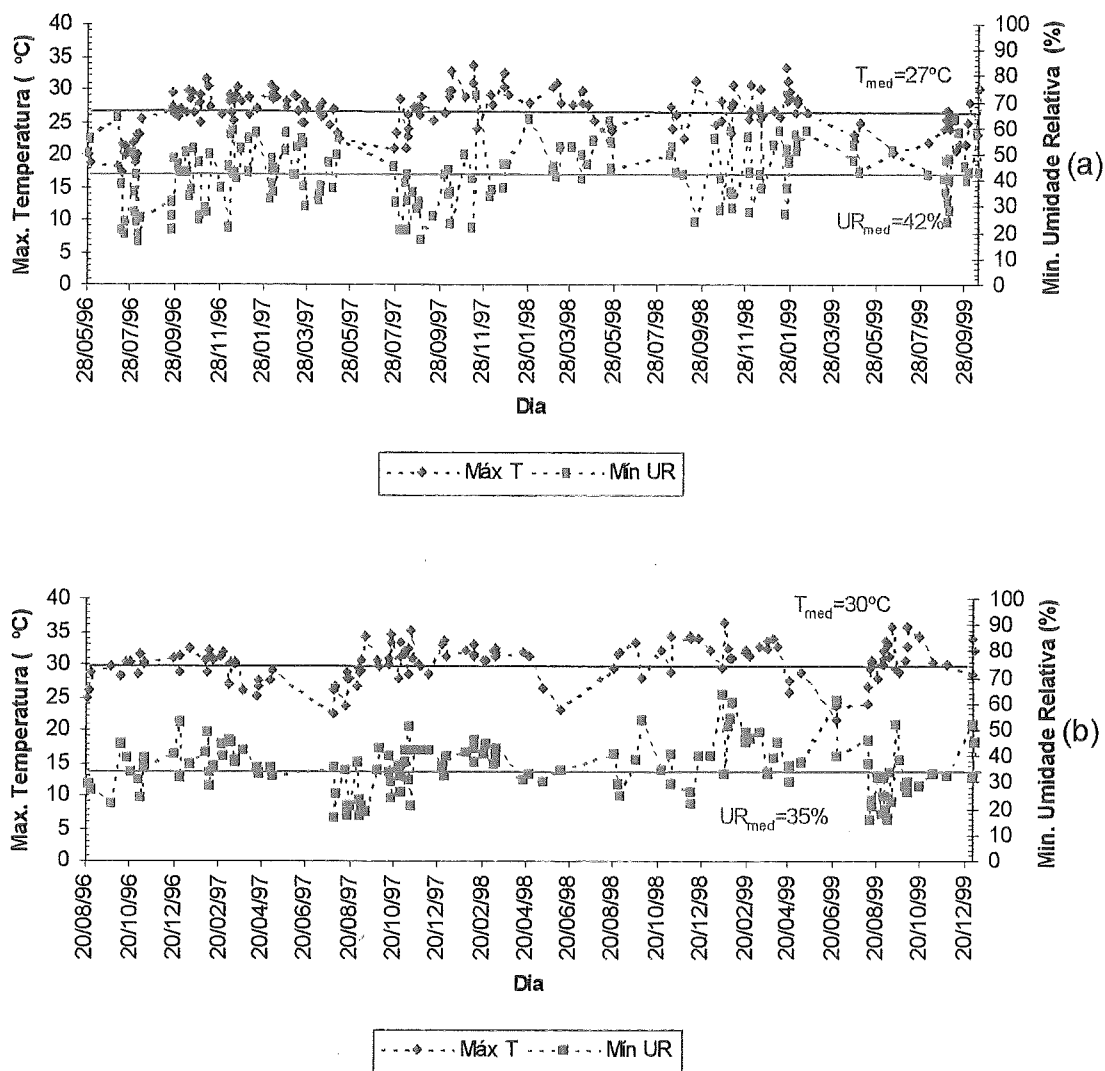


Figura 16 - Temperatura e Umidade Relativa do Ar nos dias de ultrapassagens do padrão nas estações : a) Ibirapuera e b) Mauá.

### 6.3 Radiação Global

A Figura 17 mostra os gráficos de dispersão da máxima concentração de  $O_3$  nas estações: (a) Parque D. Pedro II, (b) Ibirapuera, (c) São Caetano do Sul e (d) Mauá em função da máxima radiação solar global na estação Ibirapuera no período de agosto de 1996 a dezembro de 1997. A linha vermelha indica o PQAr para o ozônio.

Observa-se que na estação Parque D. Pedro II, mesmo altos valores de radiação não refletem altas concentrações de ozônio, devido a proximidade da via. No entanto, nas demais estações, quando houve ultrapassagens do padrão, estas ocorreram em dias com valores de radiação global normalmente acima de  $700 \text{ W/m}^2$ .

Deve ser lembrado que a radiação solar global, geralmente, não é utilizada para os estudos de reações fotoquímicas, mas somente sua fração no espectro ultravioleta. Contudo para este período de estudo não há registros horários deste parâmetro que permita tal análise.

Deve ser também considerado que, numa análise geral, outras condições meteorológicas que influenciam no processo fotoquímico podem estar associadas, e devido a isso, em alguns dias com altas radiações globais não foram observadas altas concentrações de ozônio.

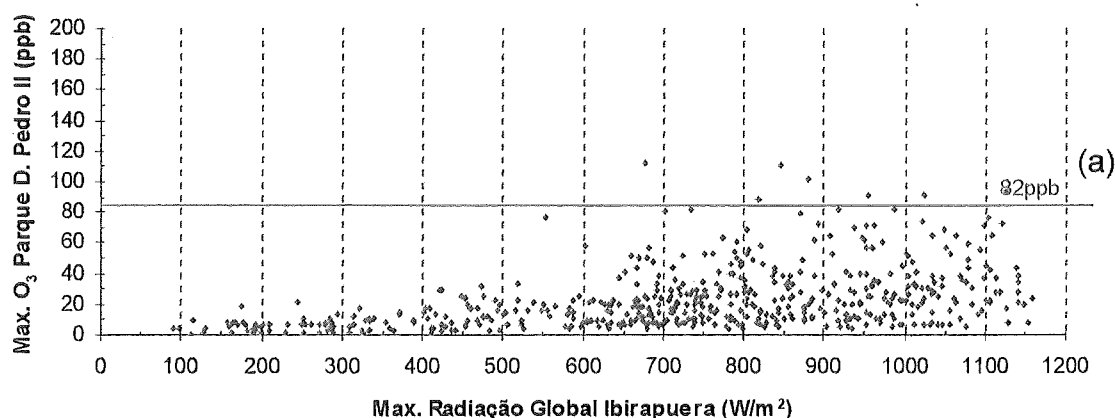


Figura 17 - Dispersão de Máxima de Radiação Global ( $\text{W/m}^2$ ) na estação Ibirapuera e Máxima concentração de  $O_3$  (ppb) nas estações: (a) Parque D. Pedro II, (b) Ibirapuera, (c) São Caetano do Sul, (d) Mauá. (continua).

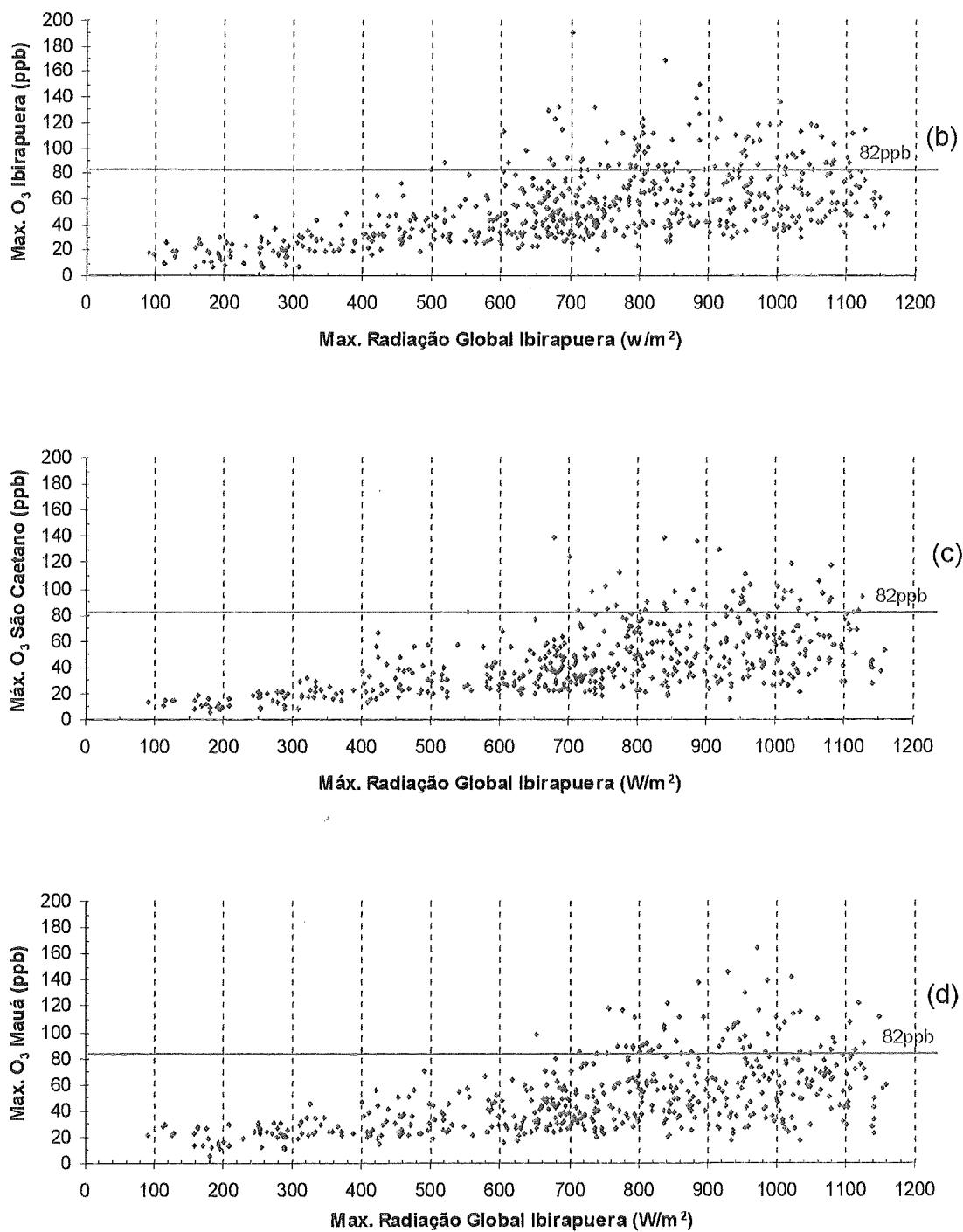


Figura 17 - Conclusão.

## 7. COMPORTAMENTO MÉDIO DO OZÔNIO

### 7.1. Óxidos de Nitrogênio

Para obter um perfil médio da variação da concentração das estações, no período de 24 horas, foram feitas curvas com as concentrações médias horárias de NO, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> nos dias com índice de qualidade do ar boa, regular, inadequada e má para ozônio no período de maio de 1996 a dezembro de 1998.

Neste trabalho, as concentrações de ozônio, NO e NO<sub>2</sub> são apresentadas em ppb para melhor visualização da estequiometria das reações envolvidas no ciclo fotoquímico do ozônio.

Observa-se, nas Figuras 18 a 23, que o valor máximo de NO no período da manhã normalmente ocorre por volta das 8 horas coincidindo com o pico de tráfego, e que ainda no período da manhã a concentração de NO diminui, sendo acompanhada do aumento do NO<sub>2</sub>, cujo pico ocorre por volta das 10 horas. A máxima concentração de ozônio ocorre por volta das 14 horas. Perfil semelhante foi observado no sistema fechado apresentado na Figura 1.

Através da análise dos perfis médios dos poluentes de cada uma das estações observou-se um comportamento diferenciado devido à distância da via. Assim, para facilitar as análises, as estações foram separadas em dois grupos: veiculares e não veiculares.

Nas estações Congonhas (Fig. 18), Parque D. Pedro II (Fig. 19) e Osasco (Fig. 20), estações veiculares, foram poucos os dias em que a concentração de ozônio ultrapassou o padrão (82 ppb). Nestas estações o perfil médio de concentração de NO é elevado em função da forte emissão dos veículos que circulam próximos às mesmas. O ozônio formado próximo a estas estações é rapidamente consumido pelo NO, segundo a reação (3), por isso, a concentração de NO diminui no horário de formação do ozônio e a concentração de NO<sub>2</sub>, produto da reação (3), mantém-se alta, diferindo do perfil de concentração do modelo apresentado na Figura 1.

Nos dias em que o índice de qualidade do ar esteve regular para ozônio, tanto na estação Congonhas como Parque D. Pedro II (Figuras 18b e 19b), a concentração média de NO no período da manhã foi menor que nos dias de qualidade do ar boa (Figuras 18a e 19a). Desses dias de qualidade regular, cerca de 40% ocorreram nos sábados, domingos ou feriados, onde o trânsito diminui consideravelmente, diminuindo também a emissão de NO.

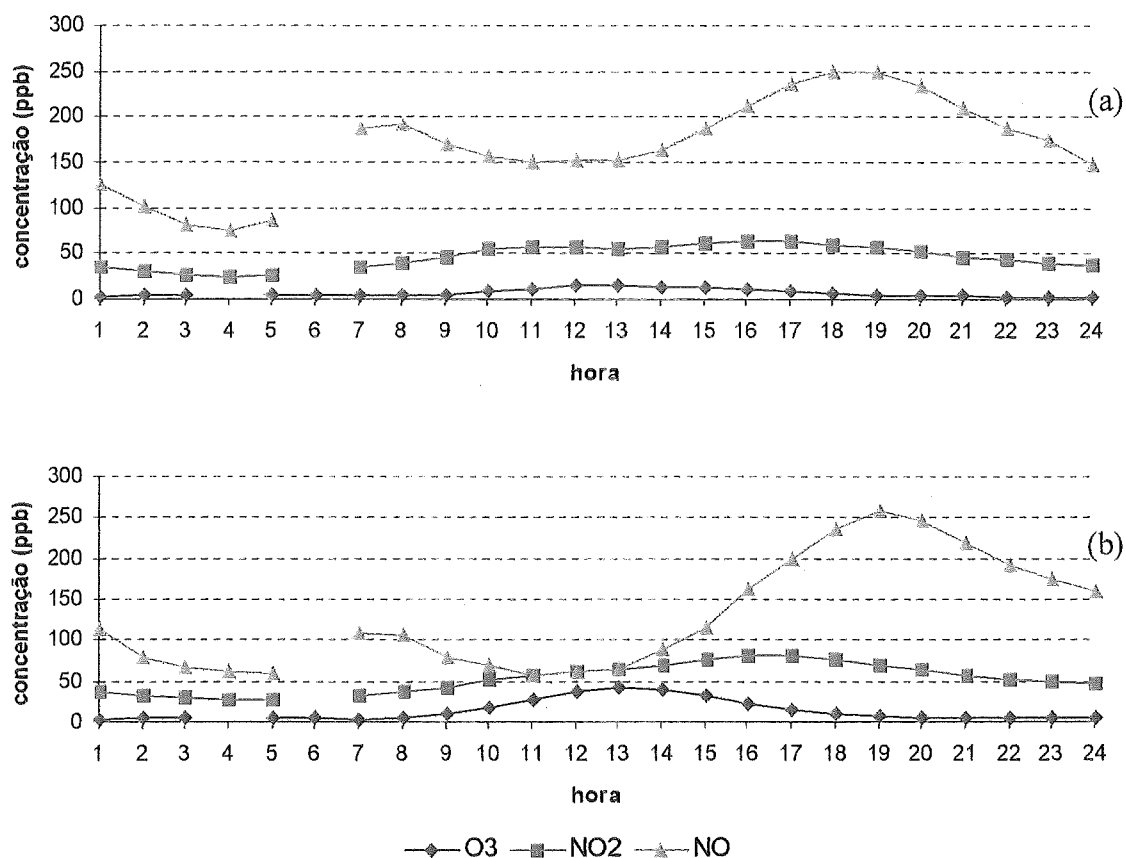


Figura 18 – Valores médios de concentração na estação Congonhas nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b) por ozônio.

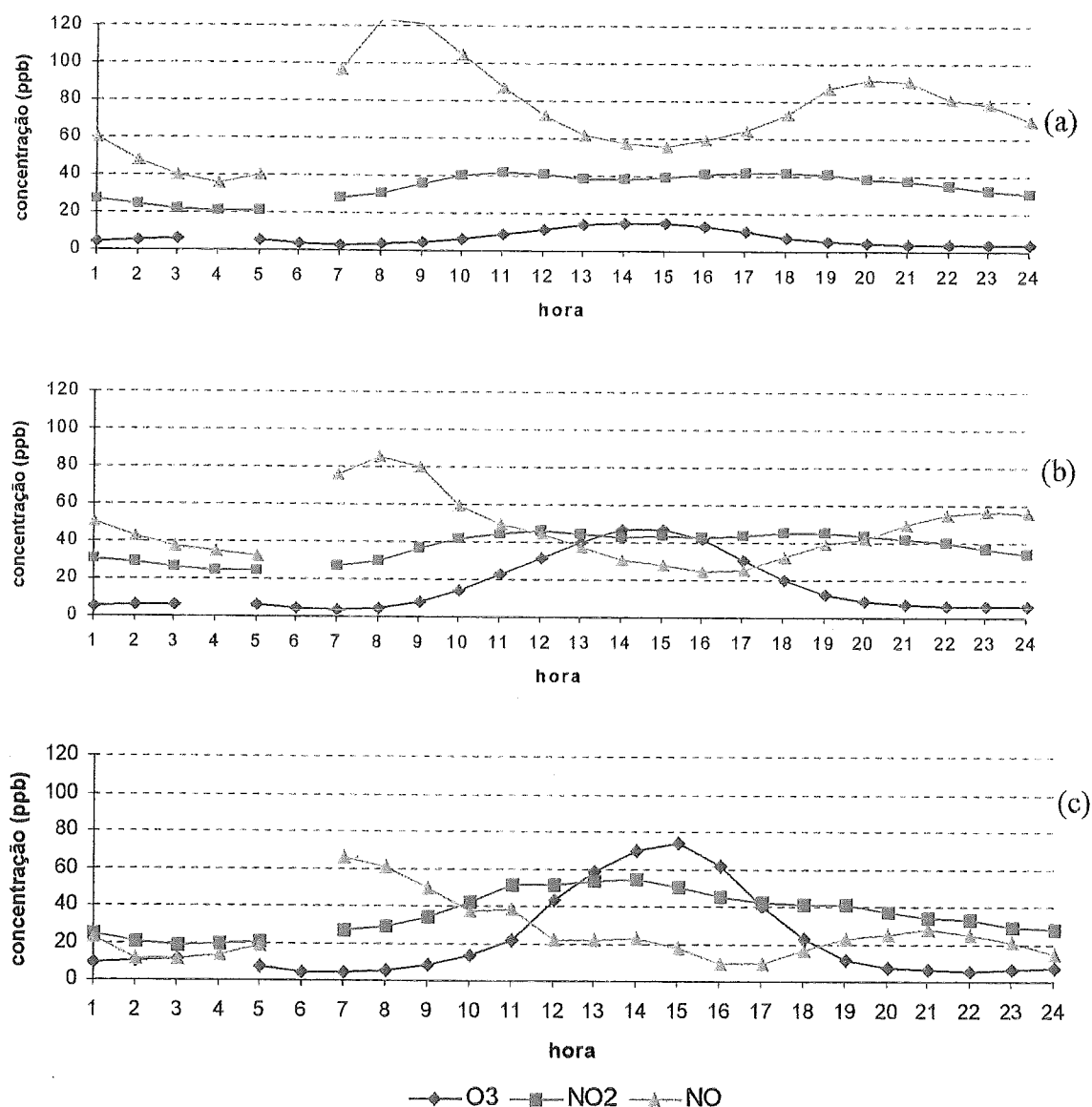


Figura 19 – Valores médios de concentração na estação Parque Dom Pedro II nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) por ozônio.

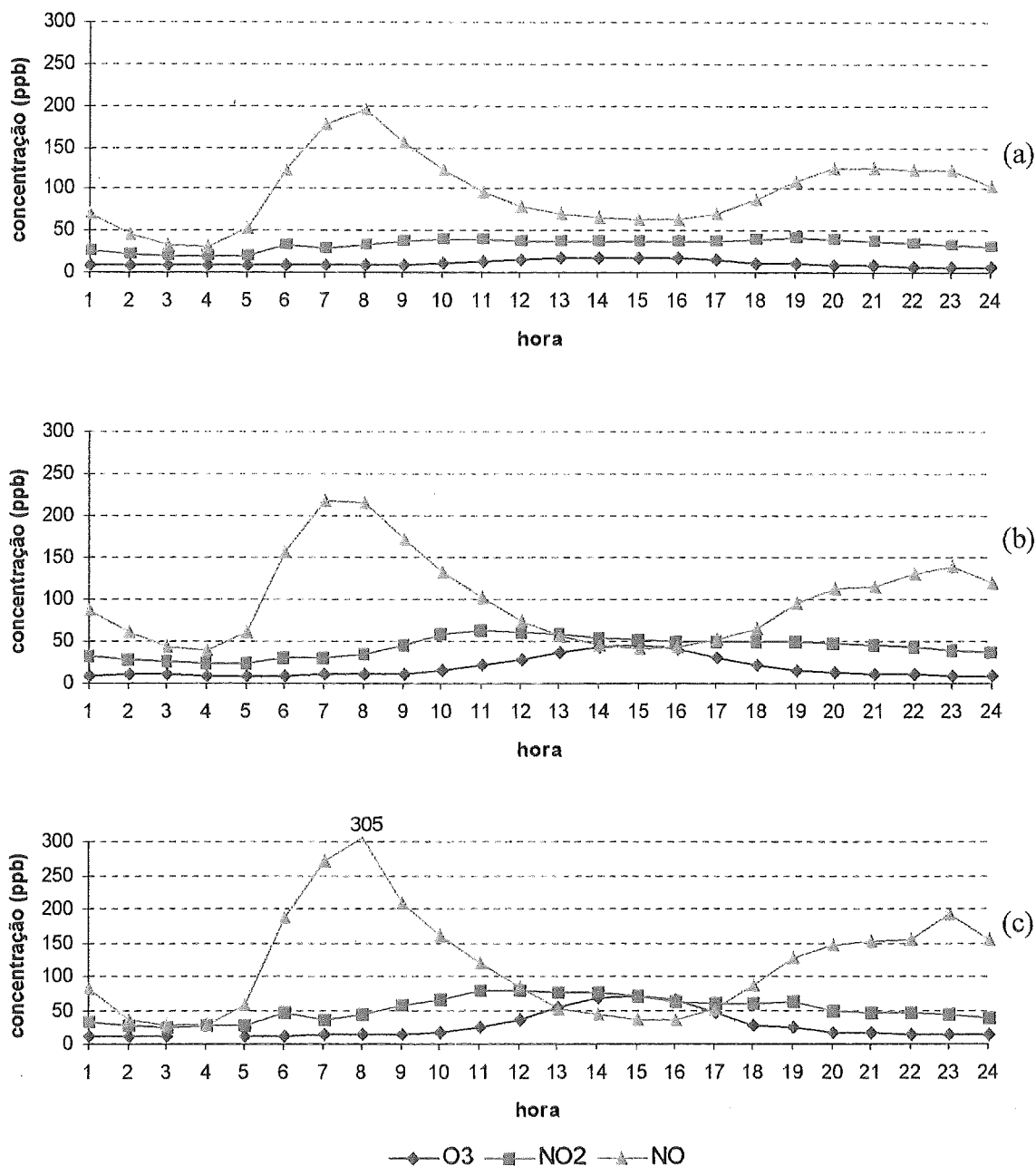


Figura 20 – Valores médios de concentração na estação Osasco nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) por ozônio.

Não estão apresentadas as concentrações médias obtidas no Parque D. Pedro II para os dias de qualidade inadequada e má e Congonhas e Osasco para os dias de qualidade má por ozônio uma vez que ocorreram número muito pequeno de episódios, conforme pode-se observar na Tabela 2.

Tabela 2 – Distribuição do número de dias em função do índice de qualidade do ar para ozônio no período de 1996 a 1998.

| Qualidade do Ar   | Estações veiculares |                |                |                | Estações não veiculares |                |
|-------------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|----------------|
|                   | CONG                | PDP            | OSAS           | SCS            | IBI                     | MAUA           |
| <b>Boa</b>        | 768<br>(85,1%)      | 724<br>(82,3%) | 771<br>(83,3%) | 423<br>(50,5%) | 404<br>(42,6%)          | 410<br>(48,1%) |
| <b>Regular</b>    | 132<br>(14,6%)      | 138<br>(15,7%) | 142<br>(15,3%) | 335<br>(40,0%) | 414<br>(43,6%)          | 341<br>(40,0%) |
| <b>Inadequada</b> | 1<br>(0,1%)         | 16<br>(1,8%)   | 10<br>(1,1%)   | 59<br>(7,0%)   | 81<br>(8,5%)            | 61<br>(7,2%)   |
| <b>Má</b>         | 2<br>(0,2%)         | 2<br>(0,2%)    | 3<br>(0,3%)    | 21<br>(2,5%)   | 50<br>(5,3%)            | 40<br>(4,7%)   |

Nas estações não veiculares, como Ibirapuera (Figura 22) e Mauá (Figura 23) foram muitos os dias em que a concentração de ozônio ultrapassou o padrão. Nestas estações a concentração média de NO no período da manhã é baixa quando comparada à estações veiculares. No horário de formação do ozônio a concentração de NO cai praticamente a zero, devido a reação (3), a concentração de NO<sub>2</sub> também diminui neste horário devido a fotólise do NO<sub>2</sub> (reação (1)).

Apesar de não possuírem fontes veiculares próximas, as estações Ibirapuera (Figura 22) e Mauá (Figura 23) apresentam características distintas com relação aos perfis médios dos poluentes. No caso do Ibirapuera, as concentrações de NO no período da manhã pouco variam em função da qualidade do ar por O<sub>3</sub>, enquanto que a concentração em Mauá aumenta nos dias em que o ozônio apresenta concentrações mais elevadas. Observa-se, ainda, que em Mauá a concentração de NO diminui rapidamente, sendo praticamente zero por volta das 10 horas, já no Ibirapuera isto acontece somente próximo do meio dia. No período noturno as concentrações de NO aumentam no Ibirapuera provavelmente devido ao aumento da estabilidade atmosférica, das horas de calmaria e do abaixamento da camada de mistura. Em Mauá este fato não é observado, talvez porque esta estação esteja localizada numa região mais afastada das emissões na área central.

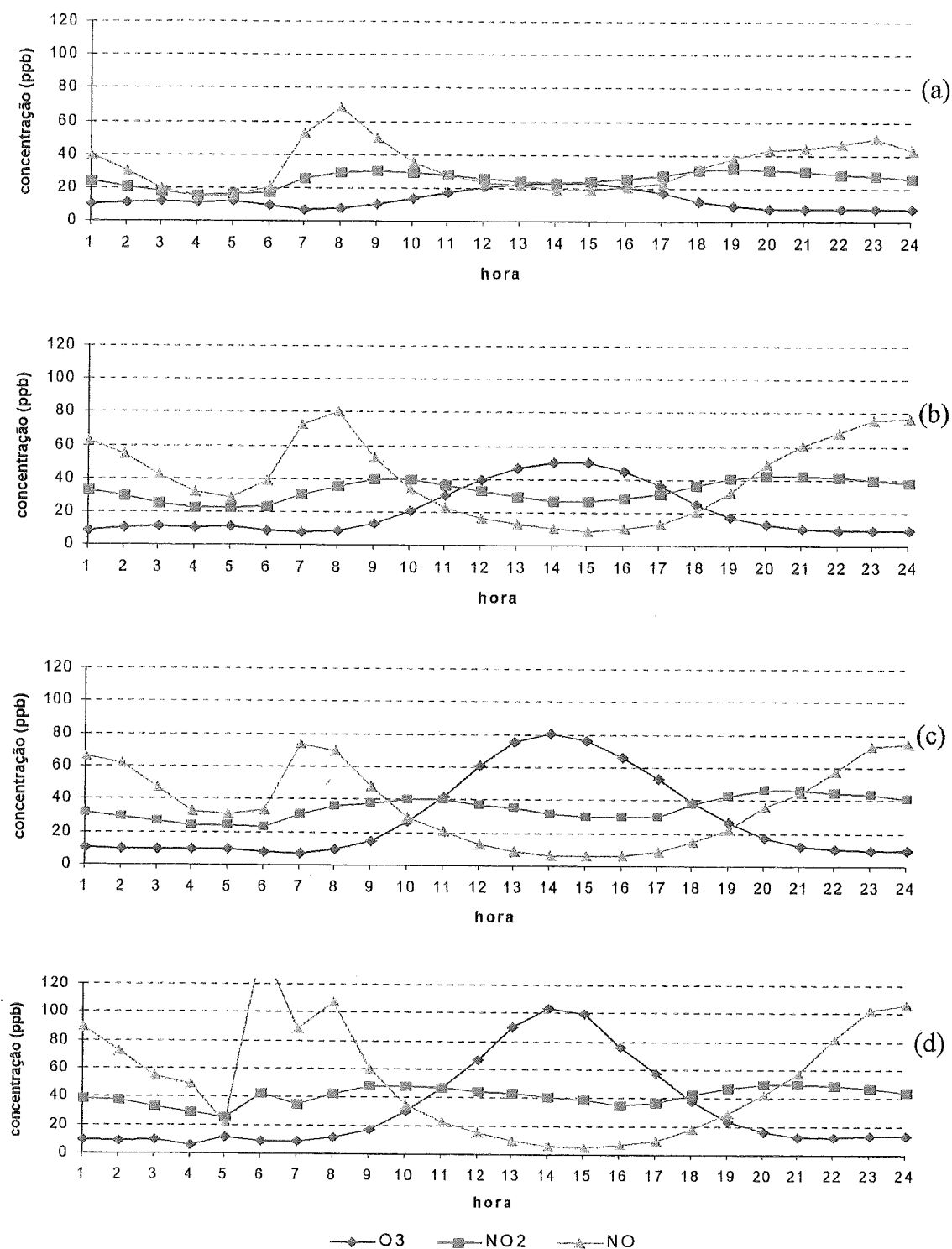


Figura 21 - Valores médios de concentração na estação São Caetano do Sul nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) e má (d) por ozônio.

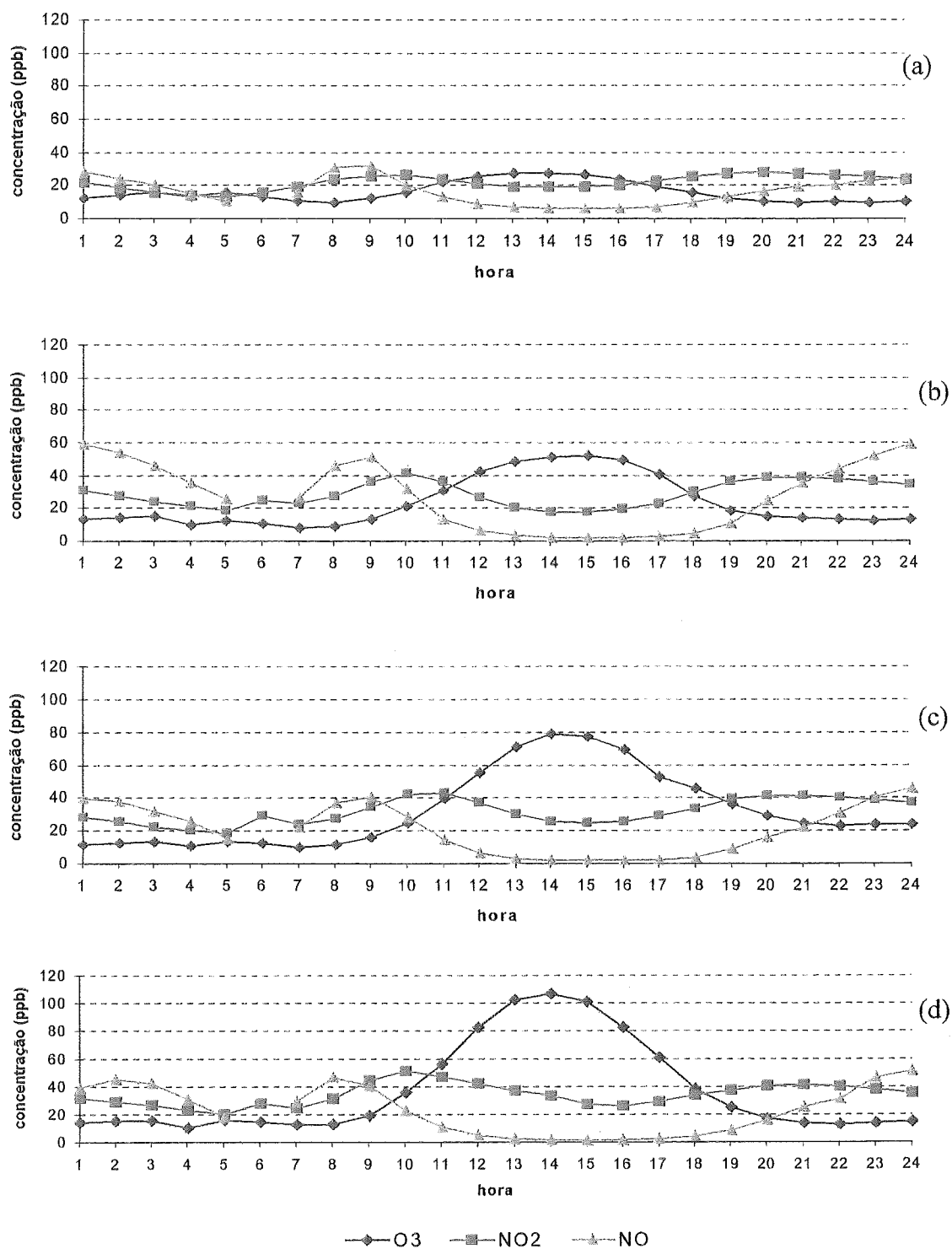


Figura 22 – Valores médios de concentração na estação Ibirapuera nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) e má (d) por ozônio.

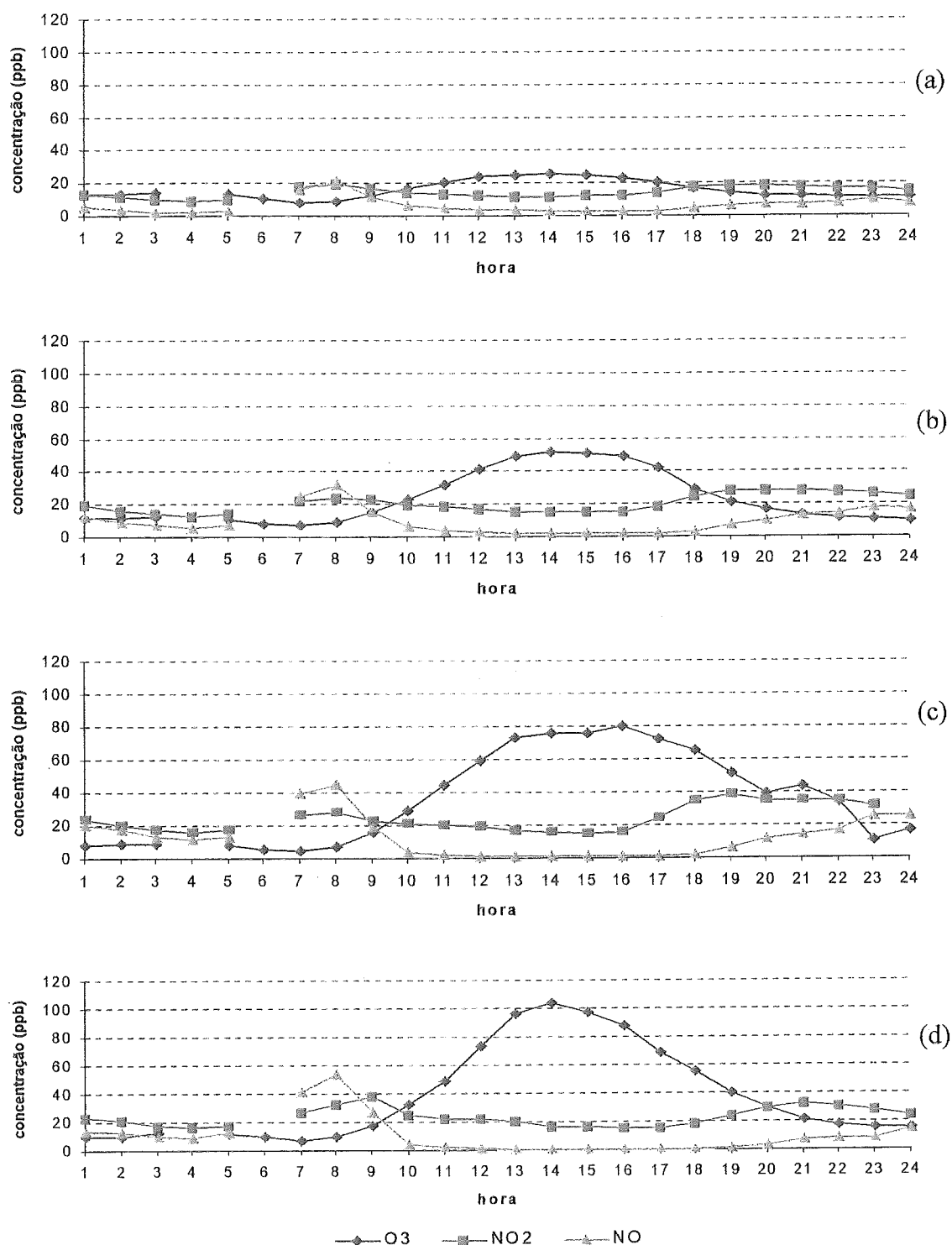


Figura 23 – Valores médios de concentração na estação Mauá nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) e má (d) por ozônio.

Com relação ao  $\text{NO}_2$ , observa-se uma pequena variação tanto em Mauá quanto no Ibirapuera, no período da manhã, em função da variação da qualidade do ar por ozônio.

Quanto ao ozônio formado nestas estações, o perfil médio apresenta características diferentes, principalmente nos dias de qualidade do ar inadequada e má. Observa-se, em Mauá, (Figuras 23 c, d) que as altas concentrações de ozônio prolongam-se até o final da tarde (horário das 17/18 horas) enquanto que no Ibirapuera (Figuras 22 c, d), neste mesmo horário, as concentrações de ozônio já são baixas. Como os episódios de Mauá ocorrem com ventos de noroeste (conforme ficou caracterizado no item 6), o ozônio formado na cidade de São Paulo por volta das 15 horas pode, neste caso, estar sendo transportado para Mauá fazendo com que as concentrações de ozônio mantenham-se altas até mais tarde.

Na estação São Caetano do Sul (Figura 21), como o tráfego próximo não é muito intenso, as concentrações médias de NO não são tão altas como nas demais estações veiculares, o que faz com que a ocorrência de episódios de ozônio seja mais freqüente nesta estação.

As estações Moóca e São Miguel Paulista apesar de serem estações não veiculares apresentaram um menor número de episódios de ozônio que Mauá e Ibirapuera. No caso de São Miguel Paulista os ventos são predominantemente de leste, fazendo com que essa estação sofra pouca influência dos poluentes emitidos na região central. Já a estação Moóca talvez sofra uma maior influência das vias ao redor que as demais estações não veiculares.

## 7.2 Razão $[\text{NO}_2]/[\text{NO}]$

Como a formação do ozônio depende da razão  $[\text{NO}_2]/[\text{NO}]$ , uma vez que ambos estão envolvidos no ciclo fotoquímico do ozônio (reações (1) a (3)), foram feitas as curvas de  $[\text{NO}_2]/[\text{NO}]$  (ppb) em função da hora do dia para os dias de qualidade do ar boa, regular, inadequada e má por ozônio. Para o cálculo das razões utilizou-se somente os horários das 8 às 12 horas por ser nesses horários que o NO é emitido e convertido a  $\text{NO}_2$ . Nas estações veiculares como Parque D. Pedro II, Congonhas e Osasco (Figura 24) não foram calculadas as razões para os dias com índice de qualidade má por ozônio, pois esses dias estão baseados em um número muito pequeno de episódios (Tabela 2).

Observa-se, na Figura 24, que as estações Congonhas, Parque D. Pedro II e Osasco apresentaram uma razão  $[\text{NO}_2]/[\text{NO}]$  baixa e praticamente constante no período

das 8 as 12h, o que indica que nessas estações o NO é alto devido a forte influência da emissão veicular, sendo o ozônio presente próximo à estação rapidamente consumido pelo NO, segundo reação (3). Altas concentrações de ozônio quase não são observadas nestas estações, conforme visto anteriormente.

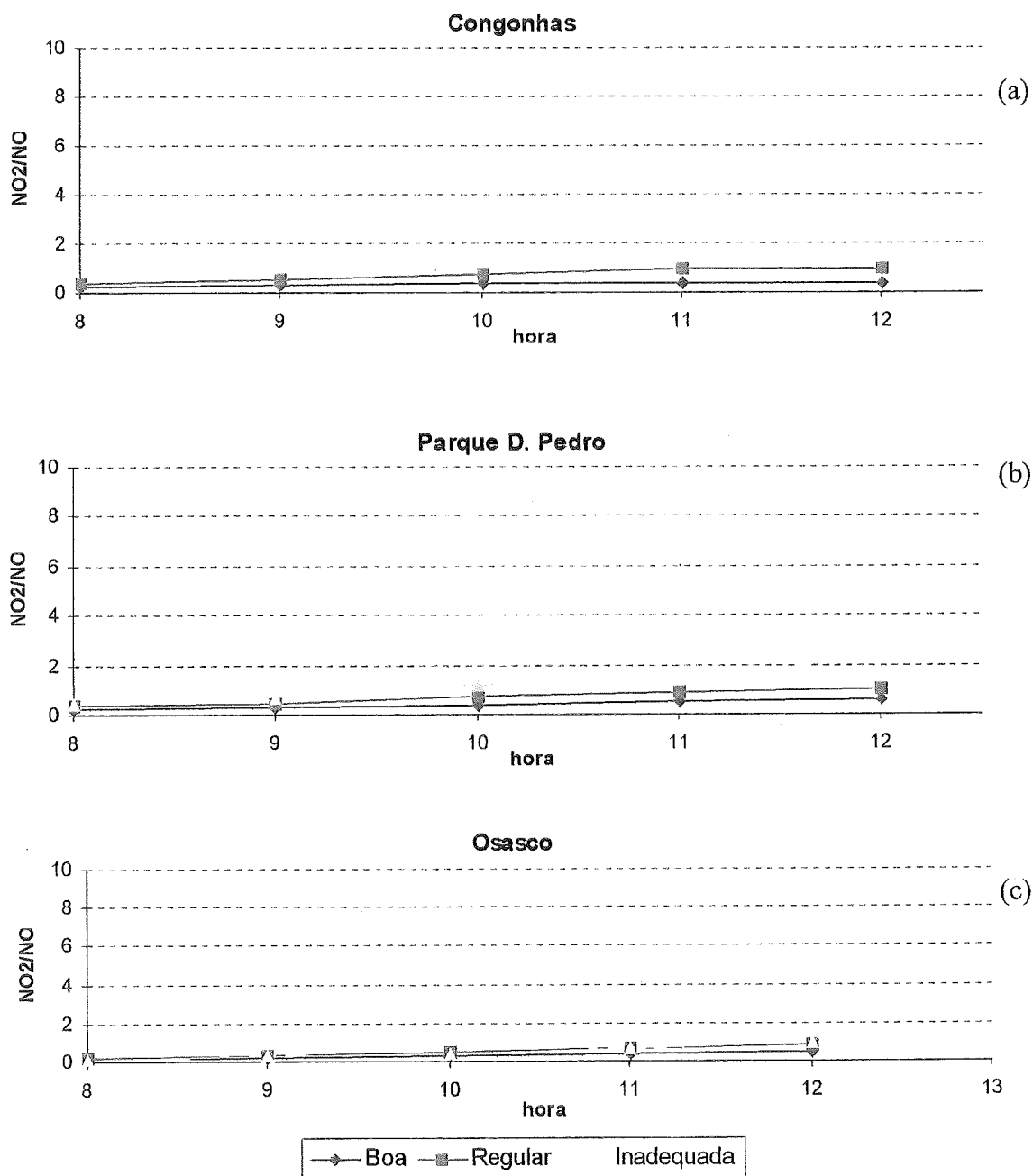


Figura 24 - Razão  $[NO_2]/[NO]$  em função da hora do dia para as estações Congonhas (a), Parque D. Pedro II (b) e Osasco (c), para os dias com índice de qualidade do ar boa, regular e inadequada.

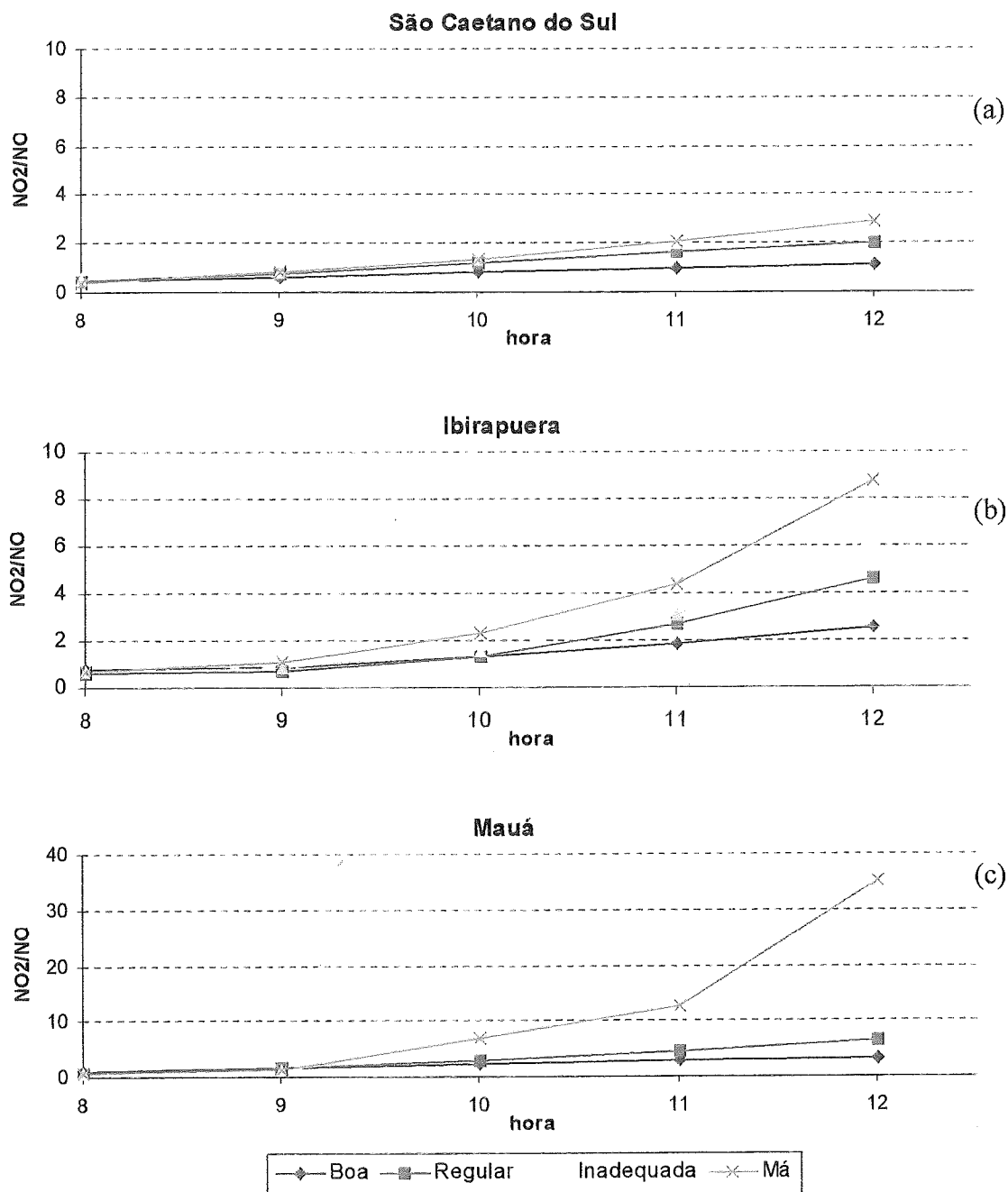


Figura 25 - Razão  $[\text{NO}_2]/[\text{NO}]$  em função da hora do dia para as estações São Caetano do Sul (a), Ibirapuera (b) e Mauá (c), para os dias com índice de qualidade do ar boa, regular, inadequada e má.

No caso das estações Ibirapuera e Mauá (Figura 25 b e c), as razões  $[\text{NO}_2]/[\text{NO}]$  foram baixas no período das 8 às 10 horas, horário de maior emissão de NO, e aumentaram rapidamente depois desse horário. Observou-se um significativo aumento da razão com o índice de qualidade do ar sendo que nos dias de má a razão foi cerca de

9 no Ibirapuera e 35 em Mauá às 12 horas. Altas razões  $[\text{NO}_2]/[\text{NO}]$  indicam que estas estações apresentam condições favoráveis a não destruição do ozônio uma vez que não estão sujeitas a emissões veiculares próximas.

### 7.3 Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)

Para análise dos COVs foram utilizados os dados de hidrocarbonetos não-metanos (HCNM) da RAQAr da CETESB, disponíveis apenas nas estações Parque D. Pedro II e S. Caetano do Sul a partir de 1999.

A Figura 26 apresenta as concentrações médias horárias de HCNM do Parque D. Pedro II e  $\text{O}_3$  do Ibirapuera, separados pelos índices de qualidade do ar boa, regular, inadequada e má por ozônio. Observa-se que o valor máximo de HCNM no período da manhã ocorre por volta das 8 horas, coincidindo com o pico de tráfego. A medida que se inicia a formação de ozônio a concentração de HCNM diminui, devido à reação destes no ciclo fotoquímico, (eq. (4) a (6)). Observa-se ainda que as concentrações de HCNM aumentam gradualmente em função da qualidade do ar para ozônio, tanto no período diurno quanto no noturno. Esse aumento noturno deve-se às emissões do tráfego no final da tarde e noite (horário de pico) e, provavelmente, à estabilidade atmosférica, conforme descrito anteriormente (item 7.1).

A Figura 27 apresenta o gráfico de dispersão da máxima concentração de  $\text{O}_3$  do Ibirapuera em função do HCNM (médias das 7 às 9 horas) do Parque D. Pedro II, para o ano de 1999. Neste caso, não foi observada nenhuma correlação entre os parâmetros, o que é esperado devido à complexidade dos processos que envolvem a formação de  $\text{O}_3$ .

Já a Figura 28 apresenta o gráfico de dispersão de HCNM em função do  $\text{NO}_x$ , ambos médias das 7 às 9 horas, do Parque D. Pedro II, para o ano de 1999. Foi observada uma boa correlação entre os parâmetros, indicando que os HCNM, assim como o  $\text{NO}$ , devem estar sendo emitidos pelas mesmas fontes, sendo que neste local predominam as emissões veiculares.

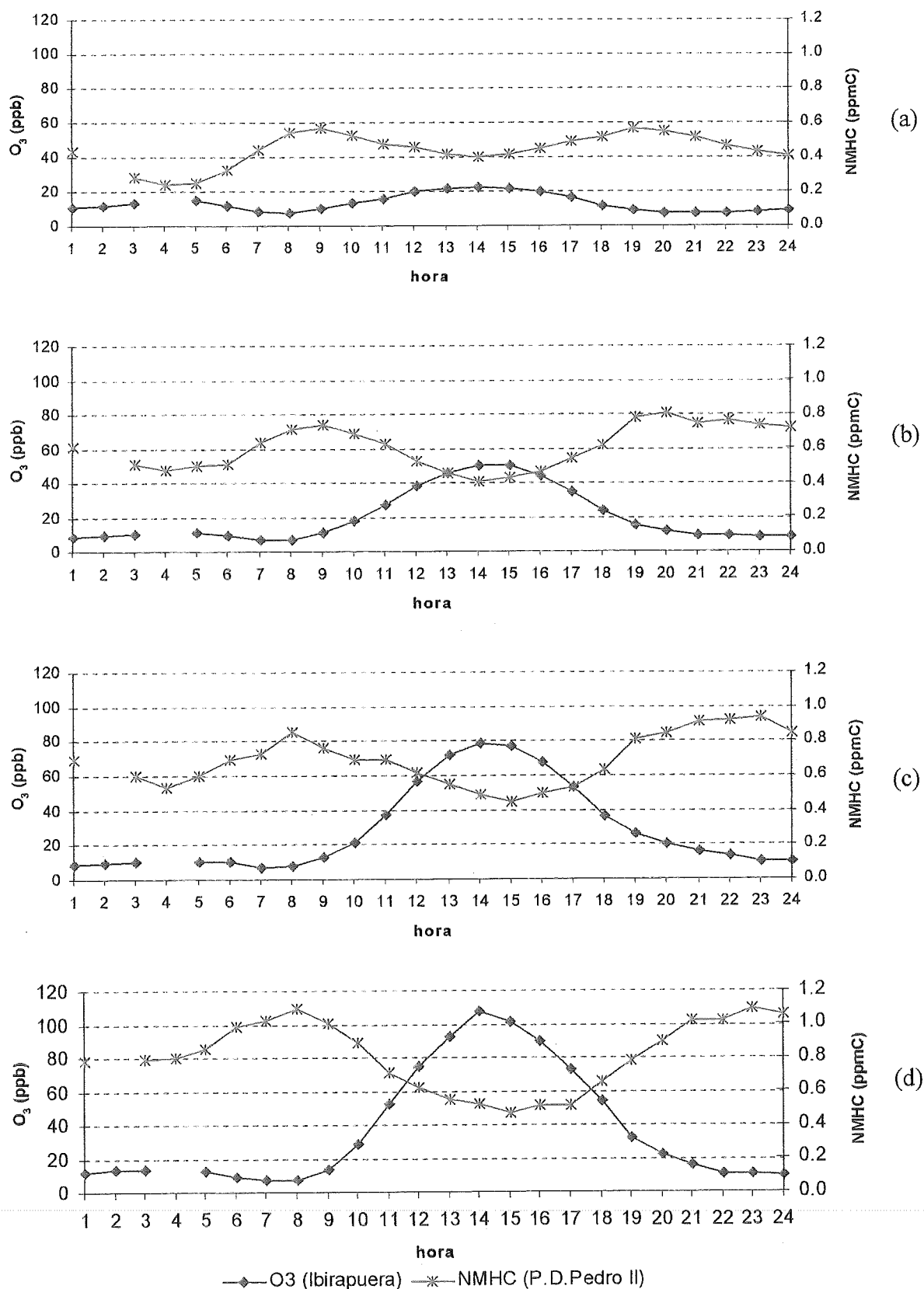


Figura 26 – Valores médios de concentração nos dias com índice de qualidade do ar boa (a), regular (b), inadequada (c) e má (d) por ozônio na estação Ibirapuera.

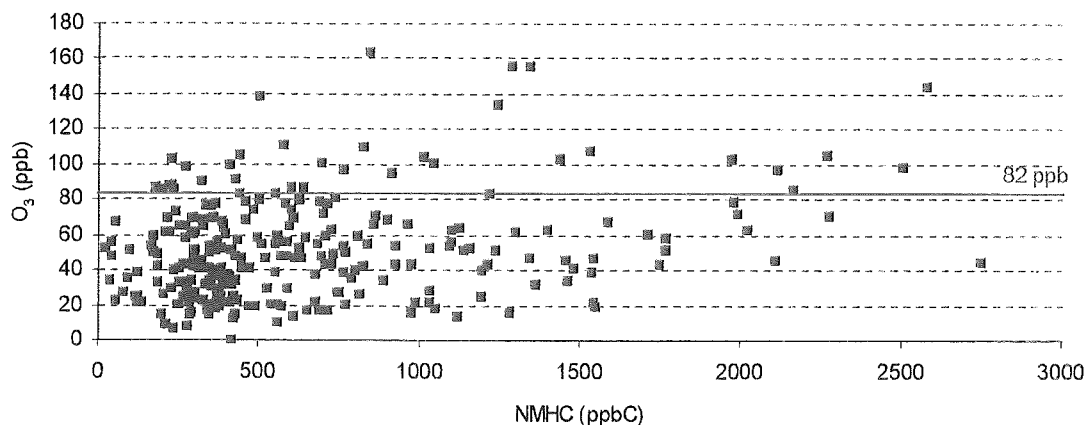


Figura 27 - Dispersão de Máximos de O<sub>3</sub> do Ibirapuera e HCNM (médias da 7 às 9 horas) do Parque D. Pedro II, para o ano de 1999.

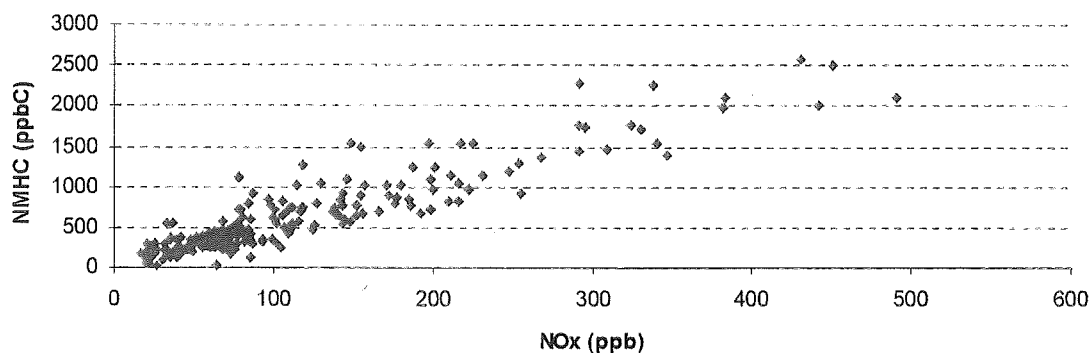


Figura 28 - Dispersão de HCNM e NOx do Parque D. Pedro II, no período das 7 às 9 horas, para o ano de 1999.

De maneira geral, a formação de ozônio é limitada pelas concentrações de COVs e/ou NOx presentes na atmosfera de uma dada região. A literatura<sup>1,4,9,20</sup> descreve a razão COV/NOx como um balanço entre os precursores importante na definição de estratégias a serem adotadas para reduzir as máximas concentrações de ozônio. Em atmosferas com altas concentrações de NOx, em comparação aos COVs (razão baixa), a diminuição na formação do ozônio torna-se mais eficiente se forem controlados os COVs, neste caso o local é considerado COV-limitante. Já atmosferas com altas concentrações de COVs, em relação ao NOx (razão alta), são considerados NOx-limitante, isto é, para um controle mais efetivo do ozônio deve-se diminuir o NOx.

Diversos estudos<sup>20</sup> definem sistemas COV-limitante como aqueles onde a razão HCNM/NOx é menor que 8. No entanto a literatura cita ainda valores de 4 ou 5 como

limite<sup>21</sup>. Razões de 8 a 15, são considerados locais intermediários onde tanto o controle de COV quanto NOx são efetivos na diminuição do O<sub>3</sub><sup>21</sup>. Locais com razões acima de 15 são NOx -limitante.

A Figura 29 apresenta o gráfico de frequência de ocorrência de ultrapassagens do padrão de O<sub>3</sub> na estação Ibirapuera em função da razão HCNM/NOx (média das 7 às 9 horas) do Parque D. Pedro II e de S. Caetano do Sul, em 1999.

O maior número de dias de ultrapassagens na estação Parque D. Pedro II ocorreu na razão 4 a 6 seguida da 6 a 8, podendo este local ser considerado COV limitante. No caso da estação S. Caetano do Sul o maior número de dias de ultrapassagens ocorreu na razão 8 a 10, seguida de 6 a 8. Deve-se ressaltar que esta estação está localizada próxima ao setor de pintura de uma grande montadora de automóveis. Como o processo de pintura é considerado uma fonte significativa de HCNM, pode estar influenciando no aumento da razão na estação.

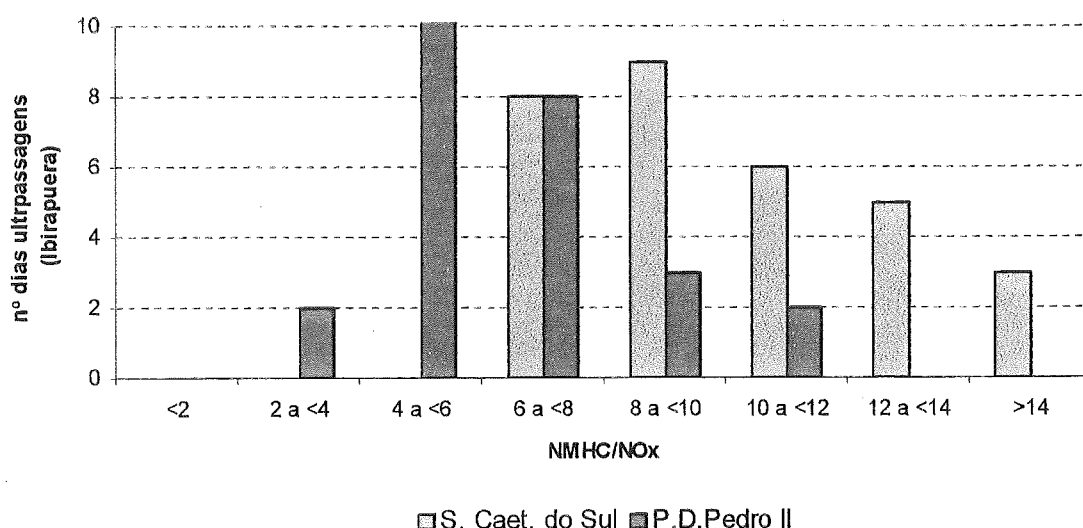


Figura 29 – Frequência de ocorrência de ultrapassagens do padrão na estação Ibirapuera em função da razão HCNM/NOx (média das 7 às 9 horas) do Parque D. Pedro II e de S. Caetano do Sul, em 1999.

Apesar da literatura<sup>9</sup> mostrar que a maior parte das grandes cidades americanas é COV limitante, a representatividade dessas estações está restrita a microescala (Parque D. Pedro II) e média escala (S. Caetano do Sul) o que impede afirmar qual a situação atual da RMSP em relação ao balanço dos precursores.

## 8. CONCLUSÕES

Com relação ao comportamento do ozônio na RMSP, o perfil sazonal mostrou uma maior ocorrência de altas concentrações desde o final do inverno até início do verão. A maior frequência não ocorre nos meses mais quentes e com maior incidência de radiação solar provavelmente pelo aumento da nebulosidade que ocorre nesses meses, o que reduz a quantidade de radiação solar que incide sobre a superfície, e conseqüentemente, diminui a formação do ozônio na baixa troposfera. A duração dos episódios, em geral, é curta, isto é, as ultrapassagens do padrão ocorrem com maior frequência por uma ou duas horas no dia, entre 13 e 15 horas. Em relação à distribuição dos episódios durante os dias da semana, não observou-se diferenças significativas entre os dias úteis e finais de semana.

As tendências de concentração de  $O_3$  nas estações Ibirapuera e Mauá no período de 1996 a 1999, de maneira geral, foram semelhantes, não sendo observados muitos casos de ultrapassagens em dias consecutivos. No entanto, do total de dias de episódios que ocorreram nessas estações, nesse período, somente 21% dos casos ocorreram nas duas estações. Isto provavelmente ocorre devido à diferente localização geográfica dessas estações na RMSP, sendo assim influenciadas por diferentes condições de transporte.

Na análise do comportamento do vento nos dias de episódios nas estações Mauá e Ibirapuera, observou-se em Mauá uma predominância de ventos de direção norte, variando entre NE e NW, com maior intensidade da velocidade do vento ocorrendo na direção NW. No caso do Ibirapuera, observou-se uma circulação convergente para a região central do Município de São Paulo, onde esta estação está localizada.

Com relação à temperatura observou-se que a maioria dos episódios ocorrem em dias quentes. No Ibirapuera observou-se temperatura máxima entre 25 e 30°C e umidade relativa entre 30 e 70%. Em Mauá temperaturas mais altas ( $>28^\circ\text{C}$ ) e umidade relativa mais baixa ocorrem devido a predominância de ventos quentes e secos de direção noroeste.

Em relação à radiação solar global observou-se que as ultrapassagens do padrão ocorreram geralmente em dias com valores acima de  $700 \text{ W/m}^2$ .

Na análise do perfil das concentrações médias horárias de  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  e  $\text{O}_3$  observou-se que o valor máximo de  $\text{NO}$  no período da manhã, em todas as estações, normalmente ocorre por volta das 8 horas coincidindo com o pico de tráfego, e que

ainda no período da manhã a concentração de NO diminui sendo acompanhada do aumento do NO<sub>2</sub>, cujo pico ocorre por volta das 10 horas.

Através da análise dos perfis médios dos poluentes de cada uma das estações observou-se um comportamento diferenciado devido à distância da via, assim, as estações foram separadas em dois grupos: veiculares e não veiculares.

As estações não veiculares, como Ibirapuera e Mauá, foram as que apresentaram o maior número de ultrapassagens. Já as estações Congonhas, Osasco, Lapa e Parque D. Pedro II, apresentaram um menor número de ultrapassagens em função da proximidade da via.

Nas estações veiculares o perfil médio de concentração de NO é elevado em função da forte emissão dos veículos que circulam próximos e a concentração de ozônio é baixa uma vez que é rapidamente consumido pelo NO.

Nas estações não veiculares a concentração média de NO no período da manhã é baixa quando comparada às estações veiculares. No horário de formação do ozônio a concentração de NO cai praticamente a zero e a concentração de NO<sub>2</sub> também diminui devido a fotólise do NO<sub>2</sub>. As estações Ibirapuera e Mauá apresentaram características distintas com relação aos perfis médios do ozônio, principalmente nos dias de qualidade do ar inadequada e má. Em Mauá as altas concentrações de ozônio prolongam-se até o final da tarde (horário das 17/18 horas) enquanto que no Ibirapuera, neste mesmo horário, as concentrações de ozônio já são baixas.

Quanto à razão [NO<sub>2</sub>]/[NO], observou-se que as estações veiculares apresentaram razão baixa e praticamente constante no período das 8 às 12h, o que indica que nessas estações o NO é alto devido à forte emissão veicular. No caso das estações não veiculares, as razões foram baixas no período das 8 às 10 horas, horário de maior emissão de NO, e aumentaram rapidamente depois desse horário.

Em relação aos HCNM observou-se, na estação Parque D. Pedro II, uma boa correlação com o NO<sub>x</sub> indicando que estes poluentes devem estar sendo emitidos pelas mesmas fontes. A análise da razão NMHC/NO<sub>x</sub> mostrou-se COV limitante, no entanto a representatividade dessa estação está restrita a microescala o que impede afirmar qual a situação atual da RMSP em relação ao balanço dos precursores.

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo faz parte do projeto “Estudo do Comportamento de Oxidantes Fotoquímicos no Ar da Região Metropolitana de São Paulo” e teve como objetivo apresentar o perfil do ozônio na RMSP. Ainda como parte desse projeto, para um melhor entendimento do processo de formação do ozônio, serão realizados estudos específicos nos dias de ultrapassagem do padrão. Paralelamente também serão feitas pesquisas para avaliação de modelos de formação e transporte de  $O_3$ .

É importante ressaltar que diversos países vem estudando, há vários anos, os processos de formação do  $O_3$  na troposfera sem, no entanto, obter um padrão definitivo de ocorrência de altas concentrações deste poluente.

Dessa maneira pode-se considerar que o conhecimento do processo de formação e transporte do ozônio na RMSP ainda demandará tempo, sendo que para obter resultados factíveis é necessário uma boa base de dados de qualidade e de emissão.

Em função, ainda, dos resultados obtidos em Mauá sugere-se estudos que quantifiquem as emissões de precursores na região.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CARTER, William P.L.. Development of Ozone Reactivity Scales for Volatile Organic Compounds. *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, v. 44, p. 881-899, 1994.
2. DERWENT, R.G., DAVIES, T.J., Modelling the Impact of NO<sub>x</sub> or Hydrocarbon Control on Photochemical Ozone in Europe. *Environmental Pollution*, v. 28, p. 2039-2052, 1994.
3. BURROWS, W.R., BENJAMIM, M., BEAUCHAMP, E.R., *et al.* CART Decision-Tree Statistical Analysis and Prediction of Summer Season Maximum Surface Ozone for the Vancouver, Montreal, and Atlantic Regions of Canada. *J. of Applied Meteorology*, v. 34 (8), p. 1848-1862, 1995.
4. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Air Quality Criteria for Ozone and Related Photochemical Oxidants. 3 v., July 1996. EPA/600/p-93/004aF
5. KLEY, D., KLEINMANN, M., SANDERMAN, H., *et al.* Photochemical oxidants: state of the science. *Environmental Pollution*, v. 100, p. 19-42, 1999.
6. FOWLER, D., CAPE, J.N., COYLE, M., *et al.* Modeling photochemical oxidant formation, transport, deposition and exposure of terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, v. 100, p. 43-55, 1999.
7. GUARDANI, Roberto, NASCIMENTO, Claudio A.O., GUARDANI, Maria Lúcia G., *et al.* Study of Atmospheric Ozone Formation by Means of a Neural Network-Based Model. *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, v. 49, p. 316-323, 1999.
8. DRAXLER, Roland R., Meteorological Factors of Ozone Predictability at Houston, Texas. *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, v. 50, p. 259-271, 2000.
9. U.S. Congress, Office of Technology Assessment. Catching Our Breath: Next Steps for Reducing Urban Ozone, Washington, DC: U.S. Government Printing Office, July 1989.
10. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Environmental Health Criteria 7: Photochemical Oxidants, Geneva, 1979.
11. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). 40 Code Federal Register, Ch 1, Pt 58, App. D., 7-1-1996.
12. Idem, *ibidem*, App. E.
13. LOMBARDO, Magda Adelaide. *Ilha de Calor nas Metrópoles: O Exemplo de São Paulo*, São Paulo: HUCITEC, 1985.

14. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Guideline for Developing an Ozone Forecasting Program, July 1999, EPA-454/R-99-009.
15. COMRIE, Andrew C., YARNAL, Brent. Relationships Between Synoptic-Scale Atmospheric Circulation and Ozone Concentrations in Metropolitan Pittsburgh, Pennsylvania. *Atmospheric Environment*, v. 26B, p.301-312, 1992.
16. [www.cptec.inpe.br/products/climanalise](http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise)
17. CETESB. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo, 1999. São Paulo, 2000.
18. WALLACE, J.M., HOBBS, P.V., *Atmospheric Science*. New York: Academic Press, 1977.
19. INMET. Normais Climatológicas (1961 – 1990). 1992
20. THE NATIONAL ACADEMY PRESS. Ozone-forming Potential of Reformulated Gasoline, 1999.
21. [www.epa.gov/airprogn/oar/oaqps/pams/analysis/noy/ozone.html](http://www.epa.gov/airprogn/oar/oaqps/pams/analysis/noy/ozone.html)

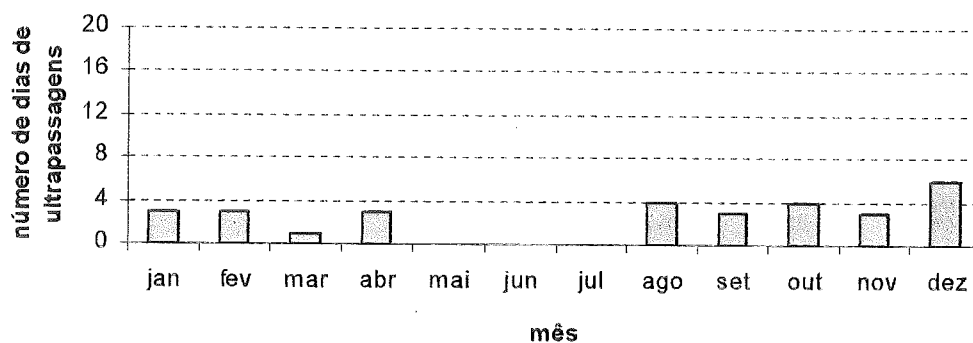
**Equipe Técnica:** EQQA  
EQQI  
EQQM  
EQQT

**Relatório elaborado por:** Carlos Ibsen V. Lacava  
Clarice Aico Muramoto  
Cristiane F. Fernandes Lopes

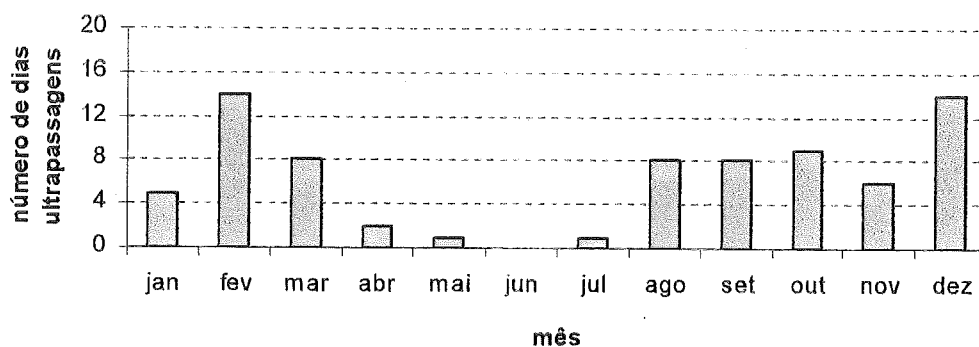
## ANEXO 1

**Total de dias de ultrapassagens do PQAR por mês para cada estação na RMSP de jan/97 a dez/99.**

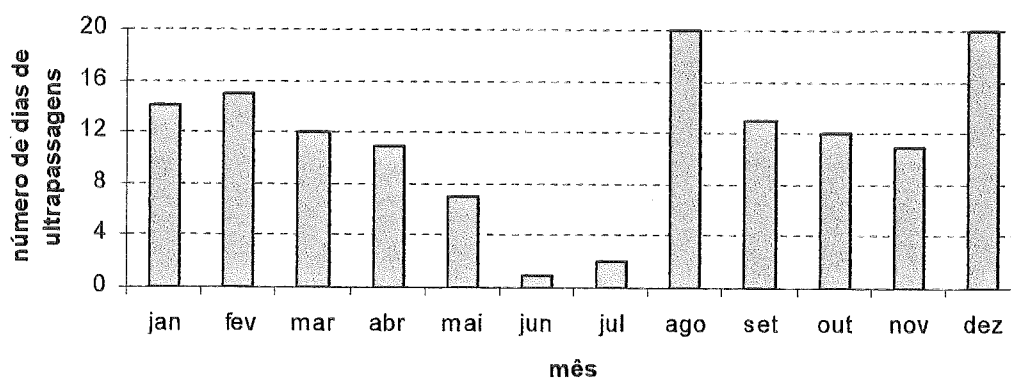
**Parque D. Pedro II**



**Moóca**

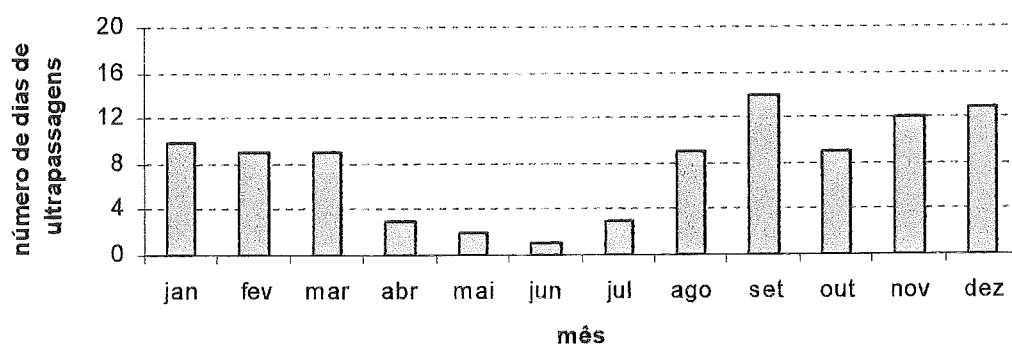


**Ibirapuera**

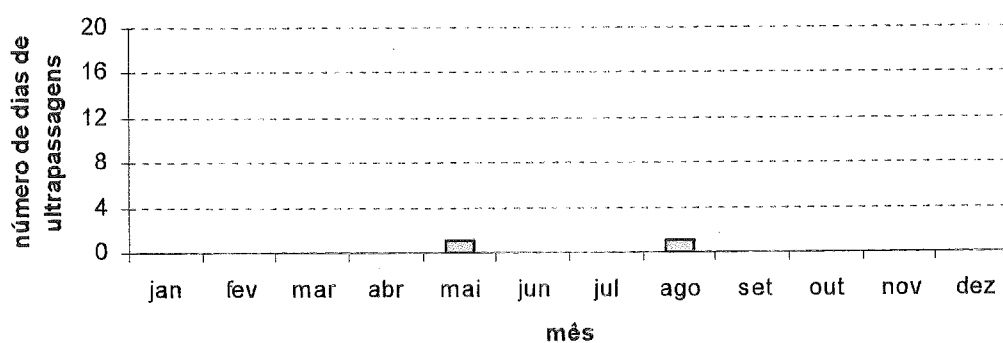


DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

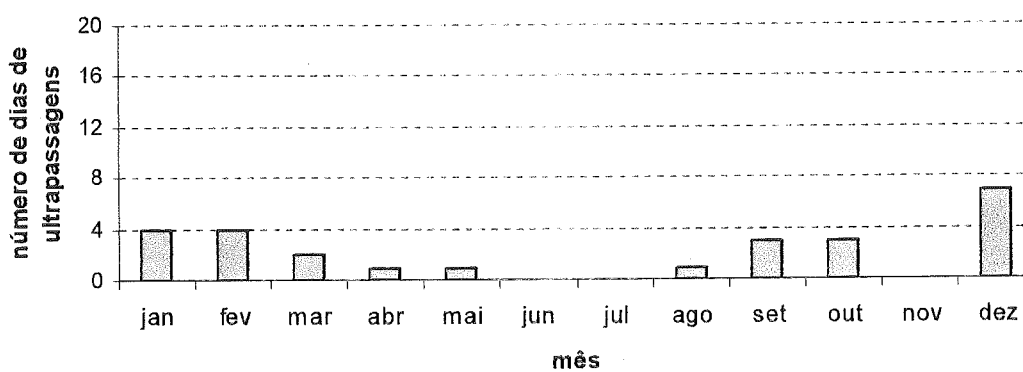
### São Caetano do Sul



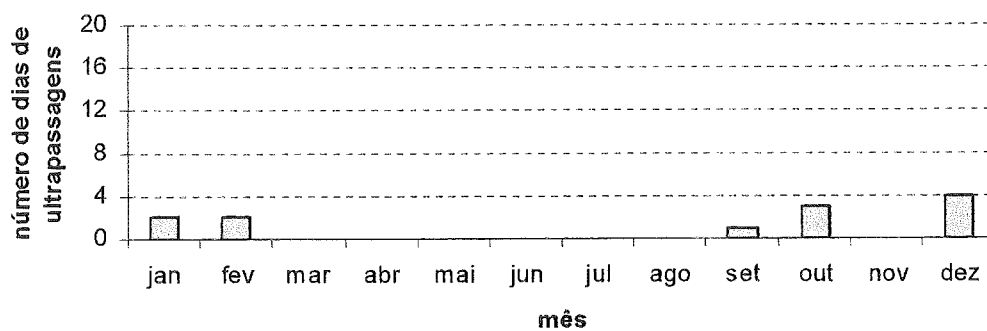
### Congonhas



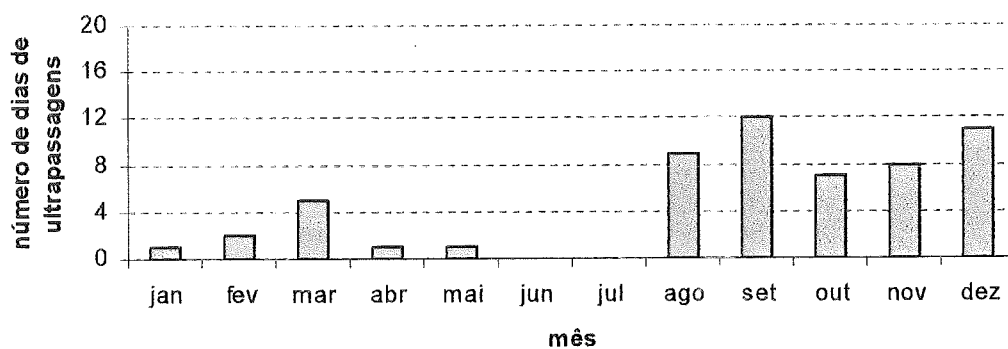
### Lapa



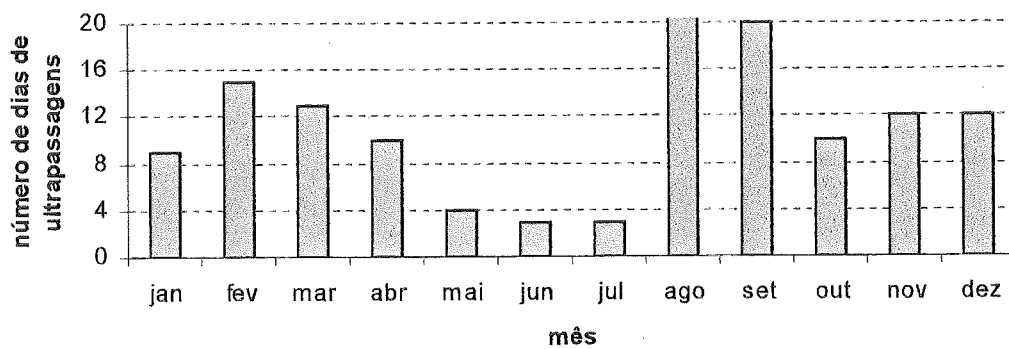
### Osasco



### São Miguel Paulista



### Mauá



## ANEXO 2

### Máximas concentrações de ozônio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nos dias em que ocorreram episódios em pelo menos uma das estações.

| Estação  | P.D.Pedro II |      | Moóca |      | Ibirapuera |      | S.C.do Sul |      | Congonhas |      | Lapa  |      | Osasco |      | S.M.Paulista |      | Mauá  |      |
|----------|--------------|------|-------|------|------------|------|------------|------|-----------|------|-------|------|--------|------|--------------|------|-------|------|
| Dia      | Conc.        | Hora | Conc. | Hora | Conc.      | Hora | Conc.      | Hora | Conc.     | Hora | Conc. | Hora | Conc.  | Hora | Conc.        | Hora | Conc. | Hora |
| 28/05/96 | 49           | 12   | 82    | 16   | 172        | 15   | -          | -    | 69        | 12   | -     | -    | -      | -    | -            | -    | -     | -    |
| 29/05/96 | -            | -    | 29    | 3    | 161        | 15   | -          | -    | 76        | 13   | -     | -    | -      | -    | -            | -    | -     | -    |
| 11/06/96 | -            | -    | 68    | 15   | 137        | 16   | -          | -    | 204       | 11   | -     | -    | -      | -    | -            | -    | -     | -    |
| 18/06/96 | -            | -    | 44    | 13   | 121        | 24   | -          | -    | 30        | 11   | -     | -    | 179    | 19   | -            | -    | -     | -    |
| 06/07/96 | -            | -    | 109   | 14   | 172        | 14   | -          | -    | 53        | 13   | -     | -    | 88     | 14   | -            | -    | -     | -    |
| 12/07/96 | 45           | 15   | -     | -    | 173        | 15   | -          | -    | 108       | 13   | -     | -    | 47     | 14   | -            | -    | -     | -    |
| 13/07/96 | 93           | 14   | -     | -    | 224        | 14   | -          | -    | 121       | 14   | -     | -    | 62     | 15   | -            | -    | -     | -    |
| 18/07/96 | 63           | 15   | -     | -    | 254        | 14   | -          | -    | 48        | 16   | -     | -    | 81     | 14   | -            | -    | -     | -    |
| 19/07/96 | 49           | 20   | -     | -    | 162        | 11   | -          | -    | 53        | 21   | -     | -    | 73     | 16   | -            | -    | -     | -    |
| 28/07/96 | 112          | 15   | 160   | 15   | 260        | 15   | -          | -    | 92        | 12   | -     | -    | 128    | 14   | -            | -    | -     | -    |
| 01/08/96 | 123          | 15   | 194   | 15   | 218        | 14   | 221        | 15   | 109       | 13   | -     | -    | 130    | 14   | -            | -    | -     | -    |
| 02/08/96 | 93           | 14   | 106   | 14   | 193        | 13   | 90         | 13   | 85        | 13   | -     | -    | 105    | 14   | -            | -    | -     | -    |
| 03/08/96 | 108          | 16   | 120   | 16   | 189        | 15   | 118        | 15   | 95        | 14   | -     | -    | 104    | 15   | -            | -    | -     | -    |
| 04/08/96 | 107          | 14   | -     | -    | 172        | 15   | 141        | 16   | 94        | 16   | -     | -    | 95     | 16   | -            | -    | -     | -    |
| 05/08/96 | 103          | 15   | -     | -    | 204        | 14   | 133        | 14   | 52        | 13   | -     | -    | 109    | 13   | -            | -    | 7     | 23   |
| 06/08/96 | 158          | 14   | -     | -    | 374        | 14   | 245        | 14   | 128       | 12   | -     | -    | 141    | 15   | -            | -    | 137   | 13   |
| 07/08/96 | 220          | 14   | 302   | 14   | 241        | 15   | 273        | 13   | 84        | 13   | -     | -    | 143    | 15   | -            | -    | 134   | 13   |
| 08/08/96 | 100          | 15   | 127   | 16   | 162        | 13   | 107        | 14   | 121       | 14   | -     | -    | 87     | 15   | -            | -    | 147   | 14   |
| 20/08/96 | 87           | 16   | 141   | 17   | 169        | 15   | 132        | 17   | 133       | 14   | 139   | 17   | 123    | 16   | 94           | 15   | 219   | 15   |
| 22/08/96 | 119          | 16   | 166   | 16   | 209        | 15   | 108        | 14   | -         | -    | 73    | 15   | 142    | 16   | 119          | 16   | 170   | 16   |
| 26/08/96 | 61           | 15   | 89    | 15   | 127        | 15   | 136        | 16   | 71        | 14   | 13    | 19   | 73     | 15   | 121          | 16   | 165   | 15   |
| 20/09/96 | 139          | 15   | 205   | 15   | 204        | 15   | 202        | 14   | 121       | 14   | 155   | 17   | 73     | 17   | 171          | 15   | 142   | 14   |
| 21/09/96 | 177          | 15   | 253   | 15   | 215        | 15   | 217        | 14   | 103       | 12   | 224   | 16   | 164    | 15   | 206          | 15   | 150   | 14   |
| 22/09/96 | 124          | 12   | 166   | 14   | 169        | 14   | 175        | 14   | 116       | 12   | 88    | 11   | 126    | 11   | 190          | 15   | 184   | 13   |
| 23/09/96 | 217          | 13   | 273   | 13   | 209        | 13   | 133        | 14   | 38        | 13   | 245   | 14   | 192    | 13   | 207          | 12   | 118   | 17   |
| 29/09/96 | 140          | 14   | 198   | 14   | 192        | 14   | 183        | 13   | 86        | 13   | 153   | 14   | 139    | 13   | 205          | 14   | 122   | 13   |
| 02/10/96 | 102          | 14   | 136   | 14   | 168        | 14   | 111        | 13   | 79        | 13   | 99    | 15   | 113    | 14   | 146          | 15   | 90    | 13   |
| 06/10/96 | 79           | 11   | 103   | 11   | 133        | 11   | 160        | 10   | 57        | 10   | 39    | 13   | 75     | 12   | 160          | 11   | 191   | 11   |
| 10/10/96 | 78           | 16   | 124   | 15   | 163        | 15   | 109        | 15   | 115       | 17   | 76    | 14   | 86     | 14   | 126          | 16   | 119   | 15   |
| 12/10/96 | 102          | 17   | 143   | 11   | 163        | 12   | 182        | 13   | 88        | 11   | 83    | 11   | 98     | 12   | 129          | 13   | 211   | 14   |
| 17/10/96 | 79           | 14   | 141   | 13   | 185        | 14   | 191        | 15   | 92        | 13   | 115   | 18   | 87     | 18   | 127          | 15   | 154   | 15   |
| 18/10/96 | 54           | 16   | 115   | 12   | 163        | 13   | 163        | 14   | 80        | 12   | 28    | 11   | 72     | 15   | 126          | 14   | 202   | 16   |
| 20/10/96 | 149          | 14   | 208   | 13   | 155        | 14   | 160        | 14   | 40        | 14   | 151   | 14   | 110    | 14   | 125          | 16   | 111   | 14   |
| 22/10/96 | 67           | 16   | 115   | 15   | 174        | 17   | 125        | 16   | 73        | 14   | 66    | 18   | 100    | 15   | 103          | 13   | 99    | 16   |
| 28/10/96 | 125          | 16   | 177   | 15   | 167        | 15   | -          | -    | 44        | 15   | 144   | 15   | 175    | 15   | 144          | 17   | 94    | 15   |
| 29/10/96 | 103          | 16   | 179   | 15   | 230        | 16   | -          | -    | 109       | 14   | 133   | 17   | 145    | 16   | 123          | 16   | 168   | 17   |
| 30/10/96 | 135          | 16   | 206   | 15   | 232        | 16   | 158        | 15   | 138       | 15   | 120   | 18   | 189    | 17   | 185          | 17   | 165   | 15   |
| 31/10/96 | 68           | 18   | 143   | 17   | 154        | 18   | 176        | 18   | 94        | 13   | 76    | 19   | 90     | 14   | 156          | 18   | 227   | 13   |
| 07/11/96 | 143          | 17   | 195   | 16   | 232        | 17   | 206        | 15   | 100       | 13   | 68    | 16   | 111    | 18   | 127          | 15   | 174   | 15   |
| 08/11/96 | 137          | 16   | 79    | 12   | 240        | 17   | 193        | 16   | 59        | 14   | 113   | 17   | 89     | 17   | 170          | 16   | 209   | 13   |
| 10/11/96 | 83           | 16   | -     | -    | 125        | 15   | 148        | 19   | 75        | 11   | 48    | 24   | 81     | 13   | 106          | 14   | 179   | 19   |
| 12/11/96 | 122          | 16   | -     | -    | 189        | 14   | 145        | 15   | 113       | 14   | 174   | 17   | 167    | 17   | 139          | 16   | 111   | 15   |
| 24/11/96 | 143          | 14   | 170   | 15   | 160        | 13   | 164        | 14   | 81        | 14   | 145   | 14   | 132    | 14   | 215          | 15   | 149   | 16   |
| 29/11/96 | 110          | 16   | 147   | 16   | 163        | 16   | 116        | 15   | 97        | 15   | 137   | 17   | 107    | 16   | 121          | 15   | 121   | 16   |

| Estação  | P.D.Pedro II |      | Moóca |      | Ibirapuera |      | S.C.do Sul |      | Congonhas |      | Lapa  |      | Osasco |      | S.M.Paulista |      | Mauá  |      |
|----------|--------------|------|-------|------|------------|------|------------|------|-----------|------|-------|------|--------|------|--------------|------|-------|------|
| Dia      | Conc.        | Hora | Conc. | Hora | Conc.      | Hora | Conc.      | Hora | Conc.     | Hora | Conc. | Hora | Conc.  | Hora | Conc.        | Hora | Conc. | Hora |
| 08/05/97 | 75           | 14   | 130   | 14   | 182        | 14   | 114        | 14   | -         | -    | 74    | 14   | 87     | 14   | 116          | 15   | 85    | 13   |
| 09/05/97 | 113          | 14   | 151   | 14   | 222        | 14   | 131        | 13   | -         | -    | 129   | 14   | 101    | 14   | 100          | 14   | 94    | 13   |
| 09/07/97 | 36           | 14   | 88    | 15   | 122        | 14   | 191        | 17   | 98        | 14   | 23    | 13   | 58     | 13   | 85           | 15   | 117   | 16   |
| 26/07/97 | 48           | 16   | 156   | 15   | 170        | 15   | 112        | 14   | 61        | 14   | 52    | 16   | 115    | 16   | 98           | 15   | 79    | 14   |
| 27/07/97 | 49           | 16   | 164   | 17   | 167        | 16   | 200        | 16   | 114       | 16   | 38    | 17   | 67     | 16   | 141          | 17   | 165   | 15   |
| 28/07/97 | 21           | 14   | 106   | 13   | 108        | 16   | 166        | 14   | 61        | 15   | 15    | 18   | 48     | 15   | 146          | 15   | 232   | 16   |
| 29/07/97 | 19           | 16   | 93    | 13   | 134        | 16   | 124        | 13   | 63        | 16   | 16    | 18   | 53     | 16   | 98           | 14   | 174   | 14   |
| 02/08/97 | 21           | 17   | 132   | 16   | 178        | 16   | 144        | 14   | 83        | 13   | 21    | 17   | 158    | 15   | 106          | 14   | 143   | 15   |
| 11/08/97 | 27           | 16   | 145   | 16   | 167        | 16   | 143        | 15   | 60        | 15   | 47    | 16   | 87     | 15   | -            | -    | 108   | 15   |
| 12/08/97 | 33           | 15   | 149   | 16   | 175        | 14   | 165        | 15   | 45        | 12   | 20    | 17   | 66     | 16   | 172          | 16   | 165   | 14   |
| 13/08/97 | 38           | 15   | 143   | 14   | 218        | 12   | 129        | 13   | 85        | 11   | 47    | 15   | 81     | 15   | 131          | 14   | 91    | 12   |
| 14/08/97 | 37           | 14   | 128   | 14   | 171        | 14   | 98         | 15   | 79        | 14   | 57    | 16   | 84     | 16   | 98           | 15   | 118   | 15   |
| 15/08/97 | 24           | 19   | 85    | 13   | 135        | 12   | 116        | 14   | -         | -    | 15    | 22   | 55     | 13   | 116          | 16   | 174   | 14   |
| 16/08/97 | 28           | 21   | 99    | 12   | 144        | 15   | -          | -    | 66        | 16   | 14    | 20   | 45     | 15   | 98           | 16   | 169   | 13   |
| 17/08/97 | 16           | 16   | 141   | 12   | 130        | 13   | -          | -    | 64        | 13   | 11    | 19   | 59     | 15   | 89           | 16   | 167   | 13   |
| 22/08/97 | 15           | 14   | 128   | 14   | 193        | 14   | -          | -    | 68        | 16   | 10    | 13   | 61     | 14   | 153          | 15   | 118   | 14   |
| 27/08/97 | 24           | 16   | 136   | 15   | 247        | 15   | 129        | 14   | 104       | 14   | 16    | 13   | 61     | 16   | 92           | 16   | 90    | 15   |
| 29/08/97 | 46           | 16   | 206   | 15   | 239        | 12   | 161        | 15   | 56        | 11   | 71    | 15   | 158    | 13   | 140          | 14   | 108   | 12   |
| 30/08/97 | 84           | 16   | 293   | 15   | 330        | 15   | 272        | 15   | 98        | 14   | 100   | 16   | 154    | 17   | 183          | 15   | 199   | 14   |
| 31/08/97 | 36           | 14   | 165   | 14   | 173        | 13   | 191        | 14   | 83        | 13   | 52    | 17   | 83     | 12   | 218          | 16   | 223   | 18   |
| 01/09/97 | 46           | 11   | 131   | 12   | 130        | 15   | 133        | 14   | 34        | 12   | 20    | 17   | 60     | 15   | 163          | 15   | 217   | 15   |
| 02/09/97 | 43           | 15   | 160   | 15   | 159        | 16   | 175        | 15   | 27        | 11   | 47    | 17   | 64     | 17   | 198          | 15   | 205   | 14   |
| 03/09/97 | 21           | 15   | 115   | 14   | 153        | 15   | 159        | 15   | 51        | 13   | 12    | 9    | 66     | 15   | 127          | 16   | 163   | 14   |
| 04/09/97 | 23           | 17   | 121   | 14   | 135        | 14   | 154        | 12   | 31        | 13   | 8     | 16   | 53     | 13   | 133          | 16   | 229   | 13   |
| 08/09/97 | 41           | 19   | 107   | 13   | 138        | 15   | 143        | 15   | 28        | 14   | 12    | 19   | 54     | 16   | 137          | 15   | 165   | 16   |
| 09/09/97 | 57           | 24   | 129   | 13   | 153        | 14   | 159        | 13   | 27        | 12   | 18    | 17   | 63     | 13   | 137          | 13   | 174   | 13   |
| 17/09/97 | 52           | 14   | 204   | 14   | 197        | 15   | 177        | 14   | 17        | 11   | 62    | 16   | 83     | 14   | 214          | 15   | 121   | 15   |
| 24/09/97 | 43           | 17   | 120   | 14   | 159        | 14   | 153        | 15   | 45        | 11   | 13    | 18   | 53     | 15   | 128          | 17   | 210   | 14   |
| 28/09/97 | 35           | 17   | 137   | 13   | 125        | 13   | 147        | 14   | 29        | 13   | 15    | 19   | 30     | 16   | 44           | 11   | 228   | 14   |
| 04/10/97 | 39           | 16   | 154   | 16   | 164        | 15   | 113        | 15   | 49        | 15   | 45    | 16   | 87     | 16   | 105          | 15   | 121   | 14   |
| 09/10/97 | 22           | 15   | 165   | 16   | 233        | 16   | 53         | 17   | 73        | 15   | 21    | 17   | 38     | 16   | 117          | 16   | 152   | 15   |
| 10/10/97 | 22           | 24   | 193   | 14   | 170        | 14   | 159        | 15   | 37        | 14   | 23    | 24   | 59     | 15   | 254          | 15   | 323   | 16   |
| 12/10/97 | 61           | 15   | 216   | 14   | 235        | 13   | 199        | 15   | 60        | 12   | 81    | 15   | 128    | 14   | 223          | 16   | 200   | 14   |
| 13/10/97 | 74           | 16   | 303   | 16   | 293        | 14   | 267        | 15   | 81        | 13   | 57    | 17   | 76     | 16   | 233          | 18   | 270   | 14   |
| 15/10/97 | 14           | 17   | 114   | 16   | 142        | 16   | 113        | 16   | 42        | 12   | 23    | 17   | 47     | 15   | 115          | 17   | 185   | 14   |
| 25/10/97 | 13           | 15   | 121   | 13   | 156        | 13   | 130        | 14   | 31        | 13   | 7     | 14   | 48     | 16   | 112          | 15   | 210   | 14   |
| 28/10/97 | 12           | 16   | 125   | 16   | 134        | 14   | 127        | 15   | 32        | 15   | 17    | 18   | 44     | 15   | 117          | 18   | 217   | 13   |
| 29/10/97 | 12           | 15   | 111   | 13   | 136        | 13   | 118        | 13   | 26        | 16   | 16    | 18   | 41     | 15   | 139          | 16   | 172   | 14   |
| 31/10/97 | 14           | 15   | 139   | 16   | 181        | 15   | 131        | 15   | 55        | 15   | 20    | 17   | 48     | 15   | 138          | 16   | 98    | 15   |
| 01/11/97 | 22           | 17   | 127   | 14   | 120        | 14   | 125        | 14   | 16        | 15   | 19    | 17   | 43     | 16   | 108          | 16   | 192   | 14   |
| 03/11/97 | 14           | 5    | 151   | 16   | 154        | 13   | 169        | 14   | 26        | 13   | 10    | 21   | 32     | 13   | 191          | 14   | 286   | 16   |
| 07/11/97 | 10           | 16   | 105   | 13   | 148        | 15   | 137        | 13   | 28        | 14   | 10    | 17   | 37     | 14   | 116          | 15   | 274   | 13   |
| 08/11/97 | 47           | 16   | 175   | 15   | 133        | 15   | 127        | 16   | 13        | 14   | 63    | 16   | 57     | 14   | 187          | 16   | 114   | 15   |
| 09/11/97 | 45           | 15   | 158   | 14   | 151        | 14   | 136        | 16   | 38        | 12   | 44    | 14   | 63     | 13   | 195          | 16   | 211   | 13   |
| 10/11/97 | 100          | 15   | 268   | 15   | 268        | 14   | 168        | 15   | 60        | 11   | 86    | 14   | 119    | 15   | 161          | 15   | 129   | 15   |
| 11/11/97 | 67           | 17   | 253   | 17   | 205        | 18   | 221        | 17   | 53        | 12   | 51    | 17   | 49     | 16   | 234          | 16   | 279   | 13   |
| 12/11/97 | 17           | 3    | 144   | 15   | 160        | 14   | 165        | 16   | 30        | 12   | 14    | 5    | 41     | 14   | 144          | 17   | 240   | 16   |
| 17/11/97 | -            | -    | -     | -    | 175        | 17   | 111        | 15   | 11        | 16   | 22    | 16   | 49     | 18   | 80           | 14   | 89    | 16   |

| Estação  | P.D.Pedro II |      | Moóca |      | Ibirapuera |      | S.C.do Sul |      | Congonhas |      | Lapa  |      | Osasco |      | S.M.Paulista |      | Mauá  |      |
|----------|--------------|------|-------|------|------------|------|------------|------|-----------|------|-------|------|--------|------|--------------|------|-------|------|
| Dia      | Conc.        | Hora | Conc. | Hora | Conc.      | Hora | Conc.      | Hora | Conc.     | Hora | Conc. | Hora | Conc.  | Hora | Conc.        | Hora | Conc. | Hora |
| 22/11/97 | 30           | 15   | 117   | 14   | 113        | 14   | 152        | 13   | 50        | 14   | 15    | 19   | 32     | 17   | 100          | 17   | 216   | 13   |
| 24/11/97 | 18           | 13   | 78    | 13   | 103        | 12   | 123        | 12   | 24        | 13   | 6     | 24   | 32     | 13   | 111          | 13   | 201   | 12   |
| 05/12/97 | 178          | 16   | 208   | 17   | 403        | 15   | 233        | 15   | 109       | 13   | 117   | 15   | 108    | 14   | 230          | 16   | 224   | 15   |
| 09/12/97 | 74           | 15   | 212   | 14   | 222        | 14   | 117        | 13   | 72        | 13   | 87    | 15   | 119    | 15   | 138          | 15   | 135   | 16   |
| 21/12/97 | 26           | 19   | 93    | 17   | 91         | 15   | -          | -    | 38        | 16   | 7     | 20   | 37     | 15   | 90           | 16   | 187   | 18   |
| 24/12/97 | 127          | 14   | 312   | 14   | 219        | 14   | -          | -    | 31        | 14   | 26    | 16   | 74     | 13   | 208          | 13   | 162   | 14   |
| 25/12/97 | 88           | 15   | 145   | 15   | 161        | 15   | -          | -    | 31        | 16   | 40    | 17   | 59     | 13   | 97           | 16   | 83    | 14   |
| 26/12/97 | 46           | 18   | 108   | 17   | 146        | 14   | -          | -    | 26        | 15   | 24    | 19   | 46     | 17   | 102          | 14   | 178   | 16   |
| 29/12/97 | 38           | 15   | 129   | 15   | 123        | 17   | -          | -    | 27        | 18   | 8     | 19   | 39     | 15   | 100          | 15   | 219   | 16   |
| 31/12/97 | 86           | 15   | 188   | 13   | 175        | 14   | -          | -    | 23        | 14   | 31    | 15   | 61     | 13   | 227          | 14   | 136   | 14   |
| 14/01/98 | 19           | 15   | 76    | 15   | 87         | 17   | 187        | 16   | 23        | 17   | 8     | 18   | 35     | 17   | 83           | 17   | 124   | 16   |
| 15/01/98 | 16           | 17   | 68    | 17   | 83         | 16   | 162        | 13   | 27        | 16   | 12    | 18   | 36     | 16   | 97           | 15   | 116   | 14   |
| 21/01/98 | 59           | 18   | 159   | 17   | 146        | 17   | 163        | 17   | 25        | 18   | 36    | 19   | 50     | 18   | 109          | 17   | -     | -    |
| 23/01/98 | 42           | 17   | 122   | 17   | 116        | 16   | 170        | 16   | 14        | 16   | -     | -    | 46     | 16   | 115          | 17   | -     | -    |
| 26/01/98 | 13           | 21   | 72    | 21   | 68         | 15   | 77         | 12   | 17        | 16   | -     | -    | 33     | 17   | 59           | 13   | 199   | 18   |
| 29/01/98 | 80           | 15   | 185   | 14   | 171        | 14   | 177        | 13   | 18        | 12   | -     | -    | 83     | 15   | -            | -    | 109   | 14   |
| 03/02/98 | 83           | 15   | 177   | 15   | 168        | 19   | 137        | 16   | 17        | 17   | -     | -    | 75     | 15   | -            | -    | 113   | 16   |
| 05/02/98 | -            | -    | 86    | 14   | 107        | 13   | 152        | 13   | 20        | 18   | -     | -    | 35     | 19   | 126          | 16   | 191   | 13   |
| 06/02/98 | -            | -    | 179   | 13   | 156        | 13   | 219        | 13   | 17        | 12   | -     | -    | 39     | 12   | 71           | 17   | 200   | 13   |
| 07/02/98 | -            | -    | 89    | 13   | 94         | 12   | 136        | 13   | 17        | 15   | -     | -    | 33     | 15   | 98           | 15   | 177   | 13   |
| 20/02/98 | -            | -    | 88    | 16   | 114        | 14   | 109        | 16   | 18        | 16   | -     | -    | 19     | 15   | 87           | 13   | 199   | 14   |
| 21/02/98 | -            | -    | 101   | 16   | 106        | 14   | 147        | 16   | 18        | 18   | -     | -    | 20     | 14   | 105          | 17   | 222   | 16   |
| 03/03/98 | 109          | 14   | 208   | 15   | 191        | 15   | 181        | 14   | 54        | 12   | 16    | 12   | 34     | 13   | 122          | 15   | 151   | 13   |
| 04/03/98 | 84           | 14   | 225   | 15   | 184        | 13   | 161        | 13   | 74        | 12   | 28    | 12   | 33     | 14   | 148          | 15   | 133   | 15   |
| 06/03/98 | 77           | 16   | 61    | 16   | 141        | 16   | 140        | 12   | 47        | 12   | 28    | 17   | 25     | 14   | 88           | 14   | 199   | 13   |
| 07/03/98 | 113          | 17   | 78    | 17   | 145        | 12   | 197        | 16   | 44        | 15   | 28    | 18   | 27     | 18   | 139          | 17   | 221   | 15   |
| 08/03/98 | 68           | 16   | 47    | 16   | 74         | 16   | 115        | 15   | 37        | 10   | 18    | 17   | 23     | 16   | 114          | 15   | 167   | 15   |
| 09/03/98 | 170          | 13   | 86    | 14   | 271        | 13   | 381        | 15   | 125       | 13   | 37    | 17   | 38     | 15   | 193          | 16   | 282   | 13   |
| 13/03/98 | 131          | 14   | 64    | 14   | 177        | 14   | 132        | 14   | 61        | 14   | 51    | 15   | 44     | 14   | 114          | 14   | 93    | 13   |
| 29/03/98 | 158          | 13   | 69    | 13   | 191        | 13   | 185        | 12   | -         | -    | 49    | 15   | 33     | 13   | 104          | 13   | 78    | 14   |
| 12/04/98 | 195          | 17   | 100   | 17   | 189        | 16   | -          | -    | -         | -    | 65    | 17   | 32     | 17   | 122          | 17   | 183   | 15   |
| 13/04/98 | 195          | 15   | 85    | 16   | 221        | 14   | -          | -    | -         | -    | 132   | 16   | 64     | 16   | 139          | 16   | 103   | 15   |
| 14/04/98 | 74           | 13   | 40    | 15   | 150        | 14   | -          | -    | 53        | 12   | 11    | 18   | 20     | 17   | 120          | 17   | 249   | 14   |
| 15/04/98 | 115          | 12   | 44    | 13   | 140        | 12   | -          | -    | 50        | 11   | 11    | 8    | 21     | 12   | 137          | 14   | 259   | 16   |
| 21/04/98 | 114          | 15   | 59    | 15   | 166        | 15   | 155        | 15   | 80        | 14   | 80    | 13   | 20     | 13   | 95           | 16   | 107   | 14   |
| 22/04/98 | 44           | 15   | 36    | 16   | 115        | 16   | 115        | 15   | 55        | 12   | 19    | 11   | 15     | 15   | 84           | 15   | 171   | 15   |
| 27/04/98 | 71           | 15   | 112   | 15   | 163        | 15   | 119        | 15   | 64        | 13   | 75    | 16   | 20     | 15   | 87           | 16   | 70    | 14   |
| 13/05/98 | 36           | 15   | 78    | 15   | 89         | 14   | 114        | 15   | 66        | 15   | 10    | 15   | 15     | 19   | 97           | 14   | 162   | 14   |
| 21/05/98 | 144          | 16   | 154   | 16   | 209        | 14   | 149        | 15   | 55        | 14   | 71    | 16   | 131    | 15   | 117          | 16   | 99    | 15   |
| 23/05/98 | 133          | 16   | 129   | 16   | 176        | 15   | 141        | 15   | 185       | 15   | 61    | 15   | 106    | 15   | 91           | 16   | 131   | 15   |
| 24/05/98 | 120          | 14   | 145   | 15   | 181        | 14   | 184        | 14   | 116       | 14   | 98    | 16   | 124    | 15   | 105          | 15   | 121   | 15   |
| 07/06/98 | 141          | 14   | 150   | 15   | 125        | 13   | 169        | 15   | 84        | 16   | 34    | 12   | 57     | 15   | 125          | 17   | 189   | 16   |
| 11/08/98 | 55           | 15   | 85    | 14   | 95         | 16   | 106        | 15   | 36        | 12   | 11    | 7    | 47     | 15   | 110          | 16   | 167   | 19   |
| 13/08/98 | 192          | 12   | 226   | 12   | 287        | 13   | 183        | 13   | 214       | 14   | 49    | 13   | 72     | 13   | 116          | 15   | 108   | 13   |
| 16/08/98 | 176          | 14   | 187   | 14   | 178        | 13   | 106        | 12   | 53        | 12   | 126   | 14   | 105    | 14   | 93           | 14   | -     | -    |
| 20/08/98 | 79           | 16   | 112   | 16   | 113        | 17   | 131        | 14   | 41        | 13   | 75    | 17   | 63     | 16   | 164          | 15   | 165   | 14   |
| 21/08/98 | 118          | 14   | 147   | 14   | 162        | 14   | 133        | 13   | 84        | 13   | 125   | 15   | 100    | 14   | 127          | 14   | 102   | 13   |
| 25/08/98 | 83           | 15   | 116   | 14   | 130        | 14   | 151        | 15   | 60        | 15   | 19    | 15   | 63     | 14   | 134          | 16   | 171   | 16   |

| Estação  | P.D.Pedro II |      | Moóca |      | Ibirapuera |      | S.C.do Sul |      | Congonhas |      | Lapa  |      | Osasco |      | S.M.Paulista |      | Mauá  |      |
|----------|--------------|------|-------|------|------------|------|------------|------|-----------|------|-------|------|--------|------|--------------|------|-------|------|
| Dia      | Conc.        | Hora | Conc. | Hora | Conc.      | Hora | Conc.      | Hora | Conc.     | Hora | Conc. | Hora | Conc.  | Hora | Conc.        | Hora | Conc. | Hora |
| 26/08/98 | 74           | 15   | 116   | 15   | 124        | 15   | 148        | 15   | 89        | 14   | 20    | 19   | 77     | 15   | 129          | 15   | 168   | 13   |
| 01/09/98 | 136          | 15   | 153   | 15   | 161        | 15   | 80         | 16   | 74        | 14   | 145   | 16   | 104    | 16   | 116          | 15   | 86    | 16   |
| 17/09/98 | 93           | 14   | 141   | 15   | 193        | 14   | 177        | 15   | 152       | 14   | 38    | 12   | 100    | 15   | 115          | 15   | 174   | 15   |
| 26/09/98 | 115          | 13   | 166   | 15   | 33         | 2    | 191        | 14   | 90        | 13   | 105   | 16   | 92     | 13   | 148          | 15   | 188   | 13   |
| 15/10/98 | 188          | 15   | 186   | 15   | 181        | 15   | 146        | 14   | 62        | 14   | 178   | 16   | 199    | 16   | 142          | 15   | 77    | 14   |
| 21/10/98 | 146          | 16   | 154   | 16   | 176        | 16   | 138        | 15   | 109       | 15   | 113   | 17   | 134    | 16   | 116          | 16   | 106   | 16   |
| 22/10/98 | 131          | 14   | 151   | 14   | 225        | 14   | 185        | 14   | 153       | 14   | 71    | 13   | 99     | 17   | 148          | 16   | 152   | 15   |
| 23/10/98 | 78           | 16   | 94    | 14   | 129        | 16   | 138        | 16   | 79        | 15   | 22    | 14   | 76     | 16   | 114          | 13   | 169   | 13   |
| 04/11/98 | 191          | 16   | 239   | 16   | 213        | 16   | 203        | 16   | 87        | 15   | 111   | 15   | 107    | 16   | 250          | 16   | 91    | 16   |
| 05/11/98 | 118          | 13   | 142   | 14   | 173        | 15   | 201        | 14   | 113       | 12   | 124   | 18   | 108    | 17   | 182          | 16   | 164   | 13   |
| 06/11/98 | 144          | 15   | 159   | 15   | 183        | 15   | 142        | 13   | 133       | 13   | 158   | 16   | 135    | 15   | 150          | 15   | 115   | 15   |
| 07/11/98 | 105          | 16   | 122   | 16   | 170        | 12   | 165        | 15   | 134       | 12   | -     | -    | 94     | 18   | 142          | 17   | 181   | 14   |
| 28/11/98 | 172          | 15   | 171   | 15   | 182        | 15   | 89         | 14   | 106       | 15   | 145   | 15   | 143    | 15   | 94           | 15   | 59    | 15   |
| 01/12/98 | 166          | 15   | 184   | 14   | 246        | 14   | 164        | 14   | 98        | 13   | 171   | 17   | 163    | 15   | 158          | 15   | 69    | 15   |
| 02/12/98 | 123          | 15   | 164   | 15   | 165        | 15   | 199        | 16   | 88        | 12   | 88    | 20   | 114    | 16   | 217          | 16   | 238   | 16   |
| 03/12/98 | 149          | 16   | 163   | 14   | 206        | 16   | 166        | 15   | 114       | 12   | 179   | 16   | 154    | 16   | 130          | 14   | 171   | 15   |
| 04/12/98 | 85           | 12   | 108   | 12   | 142        | 12   | 161        | 13   | 104       | 12   | 47    | 16   | 68     | 13   | 100          | 13   | 132   | 13   |
| 08/12/98 | 135          | 16   | 119   | 15   | 150        | 15   | 161        | 13   | 89        | 12   | 129   | 18   | 84     | 15   | 111          | 16   | 148   | 13   |
| 14/12/98 | 130          | 17   | 170   | 17   | 176        | 12   | 212        | 16   | 108       | 12   | 58    | 18   | 92     | 18   | 126          | 16   | 219   | 16   |
| 16/12/98 | 98           | 18   | 106   | 17   | 346        | 15   | 137        | 16   | 44        | 3    | 69    | 18   | 91     | 16   | 180          | 17   | 114   | 16   |
| 19/12/98 | 134          | 16   | -     | -    | 183        | 14   | 208        | 14   | 115       | 11   | 97    | 17   | 90     | 14   | 149          | 16   | 156   | 14   |
| 31/12/98 | 148          | 16   | 149   | 16   | 152        | 13   | 207        | 14   | 94        | 14   | 93    | 17   | 75     | 11   | 183          | 15   | 197   | 13   |
| 03/01/99 | 171          | 13   | 150   | 13   | 165        | 12   | 155        | 13   | 101       | 12   | 153   | 13   | 143    | 15   | 85           | 15   | 107   | 13   |
| 12/01/99 | 117          | 14   | 137   | 14   | 172        | 14   | 113        | 14   | 92        | 13   | 100   | 15   | 133    | 15   | 93           | 14   | 60    | 14   |
| 17/01/99 | 154          | 19   | 152   | 18   | 180        | 19   | 173        | 14   | 97        | 16   | 103   | 20   | 96     | 14   | 98           | 16   | 181   | 15   |
| 19/01/99 | 143          | 19   | 171   | 19   | 188        | 19   | -          | -    | 91        | 11   | 19    | 17   | 82     | 18   | 137          | 19   | 207   | 17   |
| 20/01/99 | 188          | 17   | 229   | 17   | 214        | 18   | 245        | 13   | 82        | 11   | 58    | 18   | 100    | 17   | 228          | 16   | 293   | 14   |
| 21/01/99 | 203          | 13   | 222   | 14   | 318        | 14   | 210        | 13   | 130       | 14   | 162   | 14   | 130    | 15   | 140          | 14   | 152   | 15   |
| 22/01/99 | 154          | 12   | 157   | 15   | 180        | 14   | 139        | 14   | 52        | 14   | 166   | 13   | 179    | 14   | 96           | 13   | 98    | 14   |
| 23/01/99 | 129          | 13   | 138   | 14   | 175        | 14   | 125        | 13   | 89        | 13   | 135   | 15   | 132    | 15   | 108          | 15   | 92    | 14   |
| 24/01/99 | 155          | 15   | 147   | 15   | 164        | 15   | 135        | 15   | 99        | 13   | 163   | 16   | 162    | 15   | 107          | 15   | 88    | 15   |
| 25/01/99 | 147          | 14   | 150   | 15   | 175        | 14   | 187        | 15   | 119       | 14   | 110   | 19   | 84     | 14   | 120          | 16   | 168   | 15   |
| 28/01/99 | 86           | 14   | 108   | 14   | 138        | 14   | 159        | 14   | 58        | 14   | 38    | 17   | 72     | 15   | 104          | 14   | 181   | 14   |
| 30/01/99 | 71           | 14   | 83    | 14   | 81         | 14   | 107        | 14   | 44        | 14   | 16    | 14   | 51     | 13   | 68           | 14   | 213   | 14   |
| 03/02/99 | 177          | 14   | 119   | 15   | 177        | 13   | 156        | 13   | 38        | 13   | 155   | 14   | 129    | 14   | 104          | 15   | 55    | 11   |
| 04/02/99 | 122          | 16   | 188   | 16   | 217        | 16   | 159        | 14   | 113       | 13   | 85    | 17   | 99     | 14   | 118          | 15   | 70    | 18   |
| 05/02/99 | 141          | 14   | 180   | 14   | 218        | 14   | 130        | 14   | 118       | 12   | 110   | 15   | 146    | 15   | 114          | 15   | 81    | 15   |
| 06/02/99 | 145          | 15   | 144   | 15   | 191        | 15   | 144        | 15   | 111       | 15   | 74    | 13   | 116    | 15   | 95           | 14   | 87    | 19   |
| 15/02/99 | 168          | 16   | 168   | 16   | -          | -    | -          | -    | 55        | 11   | 164   | 17   | 134    | 16   | 94           | 14   | 117   | 14   |
| 17/02/99 | 102          | 17   | 123   | 17   | -          | -    | -          | -    | 67        | 17   | 23    | 16   | 66     | 16   | 96           | 18   | 161   | 17   |
| 18/02/99 | 157          | 15   | 188   | 15   | 106        | 16   | -          | -    | 45        | 12   | 98    | 16   | 89     | 15   | 159          | 15   | 174   | 12   |
| 19/02/99 | 146          | 14   | 149   | 14   | 177        | 14   | -          | -    | 51        | 14   | 133   | 15   | 123    | 15   | 111          | 15   | 93    | 14   |
| 23/02/99 | 85           | 16   | 98    | 17   | 109        | 14   | 115        | 16   | 53        | 12   | 36    | 17   | 66     | 16   | 112          | 15   | 164   | 13   |
| 10/03/99 | 77           | 14   | 85    | 13   | 102        | 13   | 111        | 13   | 23        | 12   | 41    | 17   | 68     | 16   | 162          | 17   | 166   | 16   |
| 20/03/99 | 99           | 15   | 121   | 16   | 69         | 12   | 147        | 16   | 122       | 12   | 62    | 19   | 70     | 15   | 101          | 13   | 166   | 15   |
| 21/03/99 | 134          | 17   | 145   | 17   | 68         | 17   | 165        | 16   | 70        | 11   | 93    | 18   | 90     | 16   | 180          | 17   | 215   | 16   |
| 22/03/99 | 128          | 14   | 161   | 14   | 98         | 14   | 108        | 14   | 124       | 13   | 115   | 14   | 105    | 13   | 119          | 14   | 93    | 12   |
| 26/03/99 | 151          | 14   | 158   | 15   | 148        | 12   | 143        | 12   | 82        | 12   | 174   | 15   | 74     | 16   | 133          | 15   | 128   | 15   |

| Estação  | P.D.Pedro II |      | Moóca |      | Ibirapuera |      | S.C.do Sul |      | Congonhas |      | Lapa  |      | Osasco |      | S.M.Paulista |      | Mauá  |      |
|----------|--------------|------|-------|------|------------|------|------------|------|-----------|------|-------|------|--------|------|--------------|------|-------|------|
| Dia      | Conc.        | Hora | Conc. | Hora | Conc.      | Hora | Conc.      | Hora | Conc.     | Hora | Conc. | Hora | Conc.  | Hora | Conc.        | Hora | Conc. | Hora |
| 27/03/99 | 122          | 12   | 130   | 13   | 81         | 14   | 191        | 13   | 85        | 12   | 65    | 18   | 80     | 14   | 135          | 13   | 236   | 14   |
| 30/03/99 | 112          | 13   | 118   | 14   | 64         | 12   | 145        | 12   | 22        | 14   | 77    | 13   | 67     | 14   | 178          | 13   | 133   | 11   |
| 02/04/99 | 104          | 15   | 110   | 18   | -          | -    | 154        | 16   | 70        | 15   | 43    | 19   | 62     | 17   | 103          | 15   | 180   | 13   |
| 06/04/99 | 151          | 14   | 163   | 14   | 84         | 15   | 115        | 14   | 32        | 10   | 177   | 15   | 133    | 14   | 127          | 15   | 69    | 14   |
| 19/04/99 | 98           | 14   | 150   | 14   | 99         | 14   | 157        | 14   | 83        | 12   | 49    | 12   | 71     | 13   | 153          | 15   | 188   | 15   |
| 20/04/99 | 94           | 13   | 116   | 13   | 34         | 13   | 175        | 14   | 82        | 12   | 80    | 17   | 82     | 13   | 151          | 14   | 187   | 14   |
| 24/04/99 | 139          | 16   | 150   | 15   | 186        | 15   | 142        | 14   | 62        | 15   | 137   | 17   | 141    | 15   | 133          | 16   | 103   | 13   |
| 25/04/99 | 181          | 14   | 187   | 14   | 171        | 13   | 137        | 14   | 90        | 12   | 149   | 14   | 135    | 15   | 128          | 14   | 98    | 15   |
| 03/05/99 | 119          | 16   | 146   | 16   | 174        | 16   | 155        | 15   | 110       | 15   | 62    | 17   | 54     | 16   | 109          | 16   | 112   | 15   |
| 04/05/99 | 71           | 16   | 104   | 18   | 112        | 16   | 137        | 17   | 51        | 12   | 24    | 11   | 60     | 16   | 137          | 18   | 178   | 17   |
| 17/06/99 | 136          | 14   | 135   | 13   | 191        | 13   | 114        | 13   | 48        | 12   | 131   | 14   | 46     | 13   | 91           | 14   | 83    | 13   |
| 23/06/99 | 79           | 14   | 109   | 15   | 102        | 15   | 135        | 16   | 44        | 16   | 23    | 14   | 55     | 14   | 117          | 14   | 161   | 15   |
| 24/06/99 | 74           | 14   | 129   | 15   | 114        | 15   | 122        | 16   | 40        | 13   | 37    | 14   | 47     | 17   | 108          | 16   | 162   | 15   |
| 05/08/99 | 90           | 16   | 147   | 16   | 173        | 16   | 123        | 16   | -         | -    | 99    | 17   | 49     | 17   | 122          | 16   | 161   | 15   |
| 06/08/99 | 62           | 14   | 110   | 15   | 136        | 14   | 131        | 15   | -         | -    | 40    | 15   | 56     | 15   | 109          | 16   | 164   | 16   |
| 10/08/99 | 64           | 15   | 129   | 14   | 140        | 16   | 129        | 15   | -         | -    | 47    | 13   | 64     | 15   | 147          | 16   | 174   | 15   |
| 11/08/99 | 81           | 14   | 131   | 13   | 194        | 15   | 166        | 15   | -         | -    | 55    | 18   | 86     | 14   | 182          | 14   | 225   | 15   |
| 12/08/99 | -            | -    | 156   | 15   | 182        | 14   | 175        | 16   | -         | -    | 64    | 13   | 89     | 14   | 181          | 17   | 233   | 16   |
| 21/08/99 | 85           | 14   | 115   | 14   | -          | -    | 151        | 15   | -         | -    | 62    | 13   | 56     | 14   | 125          | 16   | 161   | 16   |
| 22/08/99 | 147          | 16   | 180   | 16   | -          | -    | 156        | 16   | -         | -    | 92    | 15   | 82     | 17   | 179          | 17   | 153   | 15   |
| 26/08/99 | 76           | 15   | 122   | 15   | 142        | 16   | 156        | 15   | -         | -    | 20    | 8    | 68     | 13   | 147          | 16   | 165   | 17   |
| 27/08/99 | 75           | 14   | 127   | 15   | 171        | 16   | 142        | 15   | -         | -    | 27    | 12   | 84     | 15   | 145          | 14   | 187   | 14   |
| 28/08/99 | 85           | 13   | 120   | 13   | 136        | 13   | 134        | 13   | -         | -    | 55    | 12   | 65     | 14   | 130          | 14   | 182   | 14   |
| 29/08/99 | 163          | 16   | 193   | 16   | 198        | 15   | 226        | 15   | -         | -    | 117   | 16   | 121    | 16   | 222          | 16   | 233   | 13   |
| 30/08/99 | 199          | 15   | 235   | 15   | 272        | 14   | 168        | 14   | -         | -    | 187   | 15   | 123    | 14   | 181          | 15   | 137   | 13   |
| 31/08/99 | 73           | 13   | 126   | 13   | 160        | 13   | 151        | 14   | -         | -    | 34    | 12   | 71     | 15   | 137          | 15   | 173   | 14   |
| 01/09/99 | 100          | 15   | 174   | 16   | 201        | 16   | 179        | 16   | -         | -    | 38    | 16   | 114    | 16   | 171          | 16   | 214   | 17   |
| 02/09/99 | 105          | 15   | 149   | 15   | 207        | 16   | 181        | 16   | -         | -    | 23    | 15   | 103    | 15   | 164          | 15   | 189   | 17   |
| 03/09/99 | 178          | 16   | 240   | 16   | 282        | 15   | 220        | 15   | -         | -    | 101   | 17   | 157    | 17   | 222          | 14   | 266   | 12   |
| 04/09/99 | 222          | 15   | 232   | 15   | 263        | 15   | 204        | 14   | -         | -    | 224   | 16   | 164    | 16   | 197          | 15   | 196   | 13   |
| 05/09/99 | 181          | 14   | 192   | 15   | 203        | 14   | 184        | 13   | -         | -    | 179   | 15   | 151    | 14   | 195          | 15   | 153   | 12   |
| 06/09/99 | 113          | 14   | 192   | 15   | 171        | 16   | 203        | 16   | -         | -    | 58    | 13   | 109    | 15   | 231          | 16   | 226   | 16   |
| 07/09/99 | 106          | 16   | 138   | 16   | 155        | 16   | 161        | 13   | -         | -    | 38    | 15   | 96     | 15   | 140          | 14   | 167   | 13   |
| 13/09/99 | 117          | 15   | 138   | 14   | 205        | 14   | 121        | 14   | -         | -    | 134   | 15   | 96     | 15   | 120          | 15   | 93    | 16   |
| 14/09/99 | 97           | 15   | 153   | 15   | 158        | 14   | 181        | 13   | -         | -    | 41    | 14   | 71     | 13   | 185          | 16   | 185   | 13   |
| 18/09/99 | 120          | 14   | 134   | 14   | 169        | 14   | 106        | 13   | -         | -    | 93    | 14   | 100    | 15   | 114          | 14   | 70    | 13   |
| 19/09/99 | 130          | 13   | 153   | 14   | 150        | 14   | 198        | 14   | -         | -    | 70    | 15   | 86     | 14   | 171          | 15   | 165   | 13   |
| 27/09/99 | 140          | 13   | 150   | 13   | 188        | 12   | 146        | 12   | -         | -    | 162   | 13   | 100    | 13   | 114          | 13   | 95    | 11   |
| 28/09/99 | 132          | 15   | 184   | 16   | 207        | 15   | 220        | 16   | -         | -    | 89    | 14   | 117    | 14   | 187          | 15   | 228   | 15   |
| 29/09/99 | 87           | 12   | 123   | 13   | 140        | 13   | 148        | 12   | -         | -    | 43    | 15   | 88     | 13   | 149          | 13   | 169   | 12   |
| 01/10/99 | 98           | 16   | 145   | 13   | 164        | 13   | 193        | 13   | -         | -    | 31    | 11   | 96     | 15   | 164          | 16   | 210   | 13   |
| 13/10/99 | 185          | 15   | 215   | 15   | 130        | 17   | 231        | 15   | -         | -    | 108   | 17   | 111    | 15   | 247          | 16   | -     | -    |
| 14/10/99 | 249          | 15   | 321   | 15   | 322        | 15   | 275        | 15   | -         | -    | 264   | 16   | 187    | 16   | 261          | 16   | -     | -    |
| 15/10/99 | 132          | 14   | 181   | 14   | 211        | 14   | 306        | 14   | -         | -    | 57    | 13   | 102    | 14   | 231          | 15   | 326   | 15   |
| 22/10/99 | 73           | 13   | 88    | 13   | 93         | 15   | 172        | 13   | -         | -    | 106   | 13   | 56     | 16   | 71           | 12   | 64    | 15   |
| 29/10/99 | 218          | 14   | 242   | 14   | 46         | 22   | 217        | 14   | -         | -    | 245   | 15   | 171    | 14   | 157          | 15   | 112   | 14   |
| 02/11/99 | 145          | 17   | 154   | 17   | -          | -    | 162        | 16   | -         | -    | 138   | 18   | 121    | 15   | 113          | 14   | 139   | 16   |
| 03/11/99 | 91           | 14   | 115   | 15   | -          | -    | 180        | 14   | -         | -    | 103   | 18   | 76     | 14   | -            | -    | 205   | 14   |

| Estação  | P.D.Pedro II |      | Moóca |      | Ibirapuera |      | S.C.do Sul |      | Congonhas |      | Lapa  |      | Osasco |      | S.M.Paulista |      | Mauá  |      |
|----------|--------------|------|-------|------|------------|------|------------|------|-----------|------|-------|------|--------|------|--------------|------|-------|------|
| Dia      | Conc.        | Hora | Conc. | Hora | Conc.      | Hora | Conc.      | Hora | Conc.     | Hora | Conc. | Hora | Conc.  | Hora | Conc.        | Hora | Conc. | Hora |
| 07/11/99 | 131          | 15   | 143   | 16   | 169        | 15   | 123        | 15   | -         | -    | -     | -    | 113    | 14   | 116          | 14   | 72    | 16   |
| 21/11/99 | 161          | 18   | 185   | 18   | 201        | 18   | 188        | 17   | -         | -    | -     | -    | 97     | 18   | 158          | 19   | 157   | 16   |
| 22/11/99 | 116          | 13   | 150   | 13   | 155        | 14   | 188        | 13   | -         | -    | 25    | 18   | 104    | 13   | 216          | 14   | 135   | 13   |
| 23/11/99 | 95           | 14   | 102   | 13   | 163        | 14   | 168        | 14   | -         | -    | -     | -    | 94     | 16   | 141          | 17   | 181   | 13   |
| 02/12/99 | 102          | 15   | 148   | 16   | 180        | 15   | 131        | 15   | -         | -    | 126   | 17   | 157    | 16   | 134          | 15   | 98    | 15   |
| 17/12/99 | 207          | 13   | 256   | 13   | 198        | 12   | 152        | 14   | -         | -    | 192   | 13   | 195    | 13   | 186          | 14   | -     | -    |
| 18/12/99 | 152          | 13   | 183   | 13   | 146        | 14   | 117        | 15   | -         | -    | 173   | 14   | 124    | 14   | -            | -    | -     | -    |
| 19/12/99 | 122          | 14   | 147   | 14   | 165        | 13   | 160        | 14   | -         | -    | 87    | 16   | 121    | 13   | 183          | 15   | -     | -    |
| 20/12/99 | 166          | 13   | 206   | 12   | 203        | 12   | 153        | 11   | -         | -    | 174   | 14   | 150    | 13   | 123          | 15   | 76    | 16   |
| 21/12/99 | 149          | 15   | 161   | 15   | 217        | 13   | 145        | 13   | -         | -    | 174   | 16   | 176    | 15   | 119          | 15   | 105   | 14   |
| 26/12/99 | 168          | 15   | 91    | 12   | 192        | 15   | 192        | 15   | -         | -    | 122   | 14   | 116    | 14   | 119          | 15   | 143   | 14   |
| 28/12/99 | 111          | 15   | 152   | 15   | 168        | 14   | 176        | 13   | -         | -    | 68    | 16   | 87     | 15   | 197          | 15   | 171   | 14   |
| 29/12/99 | 243          | 16   | 257   | 15   | 305        | 14   | 231        | 13   | -         | -    | 223   | 16   | 196    | 15   | 204          | 16   | 155   | 15   |
| 30/12/99 | 148          | 18   | 199   | 19   | 191        | 18   | 188        | 19   | -         | -    | 118   | 18   | 89     | 15   | 246          | 19   | 187   | 19   |
| 31/12/99 | 78           | 18   | 113   | 18   | 120        | 18   | 142        | 18   | -         | -    | 49    | 19   | 68     | 16   | 110          | 18   | 166   | 17   |

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
 BIBLIOTECA

|               |                            |
|---------------|----------------------------|
| Data Aquis.:  | 12/02/01                   |
| Indic.:       | Memo 036/00                |
|               | <del>001</del> de 20/12/00 |
| Livraria:     |                            |
| Preço:        | R\$                        |
| Data entrega: | 12/02/01                   |

177  
7/12/00 12/02/01