



COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

DIRETORIA DE ENGENHARIA, TECNOLOGIA E QUALIDADE AMBIENTAL

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DO AR
DIVISÃO DE TECNOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR
SETOR DE METEOROLOGIA**

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DO SOLO,
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E RESÍDUOS SÓLIDOS
DIVISÃO DE QUALIDADE DO SOLO, ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E VEGETAÇÃO
SETOR DE ECOSISTEMAS TERRESTRES**

**ESTUDOS INVESTIGATIVOS
DA OCORRÊNCIA DE
OZÔNIO TROPOSFÉRICO
NA REGIÃO DE SOROCABA - SP**

SETEMBRO/2004

ÍNDICE GERAL

Índice de Figuras	III
Índice de Tabelas	V
Sumário Executivo	1
Introdução Geral	3
1. PRIMEIRA PARTE – Estudo de episódios de ultrapassagem do padrão de qualidade do ar para o ozônio em Sorocaba	5
1.1. Introdução.....	5
1.2. Episódios de ultrapassagens do padrão de qualidade do ar	7
1.3. Análises e Resultados	8
1.3.1. Aspectos Sazonais	8
1.3.2. Comportamento do ozônio	10
1.3.3. Comportamento do Vento	11
1.3.4. Rosas de Poluição	12
1.3.5. Temperatura e Umidade Relativa do Ar	13
1.3.6. Análise das Condições Meteorológicas	14
1.3.7. Comportamento do NO _x	23
1.3.8. AOT40	24
1.4. Conclusão.....	26
2. SEGUNDA PARTE - Mapeamento de ozônio na região urbana de Sorocaba	27
2.1. Introdução.....	27
2.2. Material e Métodos	27
2.2.1. Localização e caracterização da área de estudo	27
2.2.2. Cultivo e desenvolvimento	31
2.2.3. Critérios de avaliação do aparecimento de injúrias	31
2.3. Resultados e Discussão	31
2.4. Conclusões e Sugestões	43
3. TERCEIRA PARTE - Monitoramento do ozônio no eixo São Paulo-Sorocaba com a utilização do bioindicador - <i>nicotiana tabacum</i> bel w3	44
3.1. Introdução.....	44
3.2. Material e Método	44
3.2.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo	44
3.2.2. Cultivo, desenvolvimento e critérios de avaliação do aparecimento de injúrias.....	45
3.3. Resultados e Discussão	45
3.4. Conclusões	47
Conclusão Geral e Recomendações	48
Referências Bibliográficas	50



COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

Equipe Técnica.....	52
Colaboração	52
Agradecimentos.....	52
Anexo A	53
Anexo B	57
Anexo C	70

ÍNDICE DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE – Estudos de episódios de ultrapassagens do padrão de qualidade do Ar Para o Ozônio em Sorocaba – 2000/2002

Figura 1.1 - Localização das estações da Rede Automática de Qualidade do Ar da CETESB. ..5	5
Figura 1.2 – Vistas aéreas da estação da Rede Automática de Qualidade do Ar em Sorocaba, onde a) vista para oeste-sul e b) vista para este-sudeste.6	6
Figura 1.3 - Total mensal de dias de ultrapassagens do padrão em 2000/2002.8	8
Figura 1.4 - Duração dos episódios em Sorocaba - 2000/2002.8	8
Figura 1.5 - Total de dias de ultrapassagens do padrão por dia da semana - 2000/2002.9	9
Figura 1.6 - Horários de máxima concentração de ozônio.9	9
Figura 1.7 - Perfil da conc. horária de O ₃ nos dias de episódios somente em Sorocaba..... 10	10
Figura 1.8 - Perfil da conc. horária de O ₃ em Sorocaba nos dias de ocorrências na RMSP..... 10	10
Figura 1.9 - Rosa dos Ventos 24 horas..... 11	11
Figura 1.10 - Rosas dos Ventos em Sorocaba por período..... 12	12
Figura 1.11 - Rosas de Poluição, a) período de 24 horas; b) O ₃ >80µg/m ³ ; c) O ₃ >160µg/m ³ 13	13
Figura 1.12 - Dispersão diária de máxima concentração de ozônio e máxima temperatura..... 14	14
Figura 1.13 - Dispersão diária de máxima conc. de ozônio e mínima umidade relativa. 14	14
Figura 1.14 – Direções de vento horário nas estações da RMSP e Sorocaba no Episódio de 09/03/00 (horário de pico em Sorocaba às 15 horas)..... 17	17
Figura 1.15 – Direções de vento horário nas estações da RMSP e Sorocaba no Episódio de 28/10/01 (horário de pico em Sorocaba às 16 horas)..... 21	21
Figura 1.16 – Concentração Média Horária de NO, NO ₂ e O ₃ para o ano de 2002. 23	23
Figura 1.17 – Concentração horária de O ₃ , NO e NO ₂ e direção do vento para os episódios de 2002..... 24	24
Figura 1.18 - Valores trimestrais acumulados de concentração de ozônio acima de 80,0 µg/m ³ (AOT40) para as estações de Sorocaba e Ibirapuera (RMSP)..... 25	25

SEGUNDA PARTE - Mapeamento de Ozônio na Região Urbana de Sorocaba

Figura 2.1 - Localização da Área de Estudo. 28	28
Figura 2.2 - Localização das indústrias prioritárias e dos pontos de exposição de <i>Nicotiana Tabacum</i> Bel W3 em Sorocaba (SP). 30	30
Figura 2.3 - Contorno da ocorrência de injúrias visíveis significantes em <i>Nicotiana tabacum</i> Bel W3 na área urbanizada do município de Sorocaba, no período entre janeiro e fevereiro de 2002..... 36	36
Figura 2.4 - Contorno da ocorrência de injúrias visíveis significantes em <i>Nicotiana tabacum</i> Bel W3 na área urbanizada do município de Sorocaba, no período entre fevereiro e março de 2002..... 37	37
Figura 2.5 - Contorno da ocorrência de injúrias visíveis significantes em <i>Nicotiana tabacum</i> Bel W3 na área urbanizada do município de Sorocaba, no período entre julho e agosto de 2002..... 38	38

Figura 2.6 -Contorno da ocorrência de injúrias visíveis significantes em <i>Nicotiana tabacum</i> Bel W3 na área urbanizada do município de Sorocaba, no período de outubro de 2002.	39
Figura 2.7 - Médias de folhas mortas (95% do intervalo de mínima diferença significativa) nas quatro campanhas de exposição do tabaco.	40
Figura 2.8 - Dados de ocorrência de ozônio ao longo dos períodos de exposição, nas quatro campanhas.	42
TERCEIRA PARTE - Monitoramento do Ozônio no Eixo São Paulo-Sorocaba com a utilização do Bioindicador - <i>Nicotiana tabacum</i> Bel W3	
Figura 3.1 - Localização da Área de Estudo	45
Figura 3.2 - Diagrama ilustrativo das porcentagens de injúria foliar após 3 campanhas de exposição de <i>Nicotiana tabacum</i> Bel W3 em diversos pontos no eixo São Paulo – Sorocaba.	46
Figura 3.3 - Média das injúrias foliares >10% ocorridas em indivíduos de <i>Nicotiana tabacum</i> Bel W3 expostos em diversas campanhas no eixo São Paulo –Sorocaba.	47

ÍNDICE DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE – Estudos de episódios de ultrapassagens do padrão de qualidade do Ar Para o Ozônio em Sorocaba – 2000/2002

Tabela 1.1 - Dias de episódios de ultrapassagens do padrão de ozônio em Sorocaba.....7

Tabela 1.2 – Condições meteorológicas nos dias de episódios em Sorocaba.15

SEGUNDA PARTE - Mapeamento de Ozônio na Região Urbana de Sorocaba

Tabela 2.1 – Coordenadas e altitude dos pontos.....29

Tabela 2.2 – Número de ultrapassagens horárias das diferentes faixas de concentração de O₃ medidos na estação automática da qualidade do ar da CETESB / Sorocaba. ...32

Tabela 2.3 - Resumo dos Dados das Exposições de *Nicotiana Tabacum* Bel W3 ao ozônio, em Sorocaba.33

TERCEIRA PARTE - Monitoramento do Ozônio no Eixo São Paulo-Sorocaba com a utilização do Bioindicador - *Nicotiana tabacum* Bel W3

Tabela 3.1 - Resumo dos Dados das Exposições de *Nicotiana Tabacum* Bel W3 ao O₃, no eixo São Paulo – Sorocaba.46

SUMÁRIO EXECUTIVO

A CETESB, em função de sua atribuição de controle da poluição do ar no Estado de São Paulo, desenvolve estudos que visam o conhecimento ou a investigação das principais causas de ocorrência de poluentes atmosféricos, principalmente no caso de poluentes regulamentados por lei.

Neste contexto, em função do registro de ultrapassagens dos limites legais de ozônio, a Região Urbana de Sorocaba foi escolhida como a primeira área do interior a ser estudada de maneira abrangente, utilizando-se dados de monitoramento da qualidade do ar, meteorológicos e biomonitoramento, com o objetivo de entender o processo de formação e transporte deste poluente e de seus precursores na região.

Neste trabalho, utilizou-se duas metodologias distintas, apresentadas em três partes, que se complementam e que auxiliam um entendimento geral das principais razões de sua ocorrência deste poluente atmosférico.

Primeira Parte – “Estudo de Episódios de Ultrapassagens do Padrão de Qualidade do Ar para o Ozônio em Sorocaba”: foram utilizados os dados de monitoramento da qualidade do ar e parâmetros meteorológicos medidos pela Rede Automática de Avaliação da Qualidade do Ar da CETESB, no período de 2000 a 2002.

Segunda Parte – “Mapeamento de Ozônio na Região Urbana de Sorocaba”: utilizando-se uma variedade de tabaco (*Nicotiana tabacum* Bel W3) como instrumento de medição, foram feitas exposições, em quatro períodos, dos bioindicadores de ozônio em 19 pontos estabelecidos na área urbana de Sorocaba durante o ano de 2002.

Terceira Parte – “Monitoramento do ozônio no eixo São Paulo – Sorocaba”: com a utilização do mesmo bioindicador, *Nicotiana tabacum* Bel W3, em quatro períodos de exposição em 2002 e 2003, foram selecionados os municípios de Cotia, Vargem Grande, Ibiúna, São Roque, Mairinque e Alumínio.

No estudo dos episódios observou-se que as ocorrências de ultrapassagem do padrão de ozônio em Sorocaba concentraram-se nos meses de fevereiro a abril e de agosto a dezembro. A duração dos episódios, na maioria dos casos, é de 1 hora, porém, há ocorrências de episódios com duração de até 5 horas. Não é muito freqüente episódios em dias consecutivos, mas há ultrapassagens do padrão em qualquer dia da semana, com ocorrências de concentrações máximas no período da tarde, entre 13 e 17 horas.

Foi observado que, nos dias em que ocorreram episódios somente em Sorocaba, os valores de concentração de O_3 chegaram a ultrapassar o nível de atenção de $200\mu g/m^3$. Contudo, nos dias em que também ocorreram episódios na Região Metropolitana de São Paulo, os valores máximos observados em Sorocaba estavam próximos ao padrão de $160\mu g/m^3$.

Em relação ao vento, nos casos de episódios somente em Sorocaba, quando a predominância da direção do vento é do quadrante E-S, pode-se considerar que há um transporte do ozônio e de seus precursores oriundos de fontes localizadas a leste e sudeste de Sorocaba. Quando há também episódios na RMSP, em Sorocaba há contribuições de fontes locais e/ou localizadas a norte e a oeste da região. Há que se considerar que a região de Sorocaba apresenta uma frota veicular significativa, e também um número considerável de postos de gasolina.

Os resultados obtidos pela exposição de bioindicadores, nas quatro campanhas realizadas na área urbana de Sorocaba, mostraram que o mapeamento apresentou a maior ocorrência de injúrias e, portanto, indicando maior concentração de ozônio, na parte oeste e sudoeste da região estudada. Na terceira exposição soma-se ainda a ocorrência de injúrias na parte leste e, na quarta, ocorre uma generalização.

Os valores de AOT aumentaram ao longo do ano, atingindo valores maiores nas épocas mais propícias para a ocorrência de ozônio, ou seja, nos meses de primavera e verão, portanto, na

quarta exposição observou-se a ocorrência deste poluente de forma mais generalizada, afetando tanto em número de pontos de amostragem quanto em quantidade de injúrias.

No monitoramento do ozônio ao longo do eixo São Paulo – Sorocaba, os locais que apresentaram maior média e mediana de porcentagem de injúrias nas folhas foram o município de São Roque, seguidos por Alumínio, Cotia, Ibiúna e Mairinque. O município de Vargem Grande apresentou a menor porcentagem de injúrias.

É importante ressaltar que para maior entendimento da formação do ozônio é necessário associar ao estudo os dados de inventário de fontes de emissão de precursores. Dessa forma, recomenda-se realizar estudos que quantifiquem as emissões de precursores na região.

Recomenda-se também realizar o monitoramento da qualidade do ar em áreas mais ao norte da cidade de Sorocaba, em conjunto com novas exposições do biomonitoramento.

INTRODUÇÃO GERAL

O município de Sorocaba, com uma área de 443km², está localizado a 90 km a oeste da cidade de São Paulo e a 85 km a sudoeste de Campinas. Devido a sua localização, com fácil acesso rodoviário, ferroviário e aeroviário, possui um perfil industrial bastante diversificado, sendo que atualmente conta com cerca de 1.400 estabelecimentos industriais, dos quais 150 são de médio a grande porte, e 18 considerados prioritários para controle da poluição atmosférica, em função de sua atividade e potencial de emissão (CETESB, 2003).

Segundo a Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE), em 2000, possuía uma população de cerca de 500.000 habitantes e uma taxa de urbanização de 98,53%. A frota é composta por cerca de 200 mil veículos, sendo 156 mil veículos leves, 12,5 mil pesados e 30,5 mil motocicletas cadastrados, em junho de 2003, pela PRODESP.

Geograficamente, o município situa-se na chamada Depressão Periférica e possui um relevo pouco acidentado, caracterizado como uma planície, com altitudes na região urbanizada variando entre 574m a 642m. Com relação ao clima, a cidade apresenta uma temperatura média das máximas em torno de 30°C no verão e médias das temperaturas mínimas de 12°C no inverno.

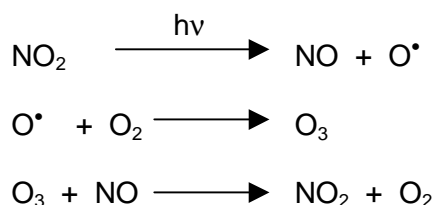
A CETESB, em função de sua atribuição de controle da poluição do ar no Estado de São Paulo, desenvolve estudos que visam o conhecimento ou a investigação das principais causas de ocorrência de poluentes atmosféricos, principalmente no caso de poluentes regulamentados por lei.

Neste contexto, em função do registro de ultrapassagens dos limites legais de ozônio, a Região Urbana de Sorocaba foi escolhida como a primeira área do interior a ser estudada de maneira abrangente.

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. Embora benéfico na estratosfera, onde forma uma camada protetora contra efeitos danosos da radiação ultravioleta, tem efeitos tóxicos nas camadas mais baixas da atmosfera, por atingir diretamente os seres vivos.

Os óxidos de nitrogênio, NO e NO₂, 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 NO₂, o produto desta reação, NO, reage rapidamente com O₃ para regenerar o NO₂.



Dessa maneira, o O₃ mantém-se num estado estacionário que depende da velocidade de fotólise do NO₂ e da razão [NO₂]/[NO]. Assim, se nenhum outro processo convertesse NO em NO₂ 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 NO₂ via formação de radicais livres. A velocidade de formação do ozônio depende da quantidade e da reatividade de cada um desses compostos.

Além da complexidade do sistema de reações químicas, fatores meteorológicos e topográficos fazem com que os gases precursores emitidos sejam transportados a diversos locais, resultando em níveis altos de ozônio em locais distantes das fontes dos precursores, muitas vezes ocorrendo até mesmo em regiões sem fontes significativas de poluição.

O monitoramento e o mapeamento da ocorrência do ozônio é de grande importância por diversas razões, dentre as quais destacam-se:

- auxiliar na identificação das principais fontes de precursores;
- prevenir riscos a saúde humana;
- calcular danos causados à vegetação, obras de arte, etc.;
- checar a efetividade de programas de controle da poluição atmosférica;
- estudar as variações temporais e espaciais e sua dinâmica.

Neste trabalho, utilizou-se duas metodologias distintas, apresentadas em três partes, que se complementam e que auxiliam um entendimento geral das principais razões de sua ocorrência, a saber:

Primeira Parte - Estudo de Episódios de Ultrapassagens do Padrão de Qualidade do Ar para o Ozônio em Sorocaba, onde são feitas as análises dos episódios, com ênfase nos aspectos meteorológicos, e relacionando com as ocorrências na RMSP.

Segunda Parte - Mapeamento de Ozônio na Região Urbana de Sorocaba, utilizando-se o tabaco como instrumento de medição, com o objetivo de quantificar tanto o número de injúrias nas folhas quanto as áreas impactadas por este poluente.

Terceira Parte - Monitoramento do ozônio no eixo São Paulo – Sorocaba, com a utilização do bioindicador *Nicotiana tabacum* Bel W3, visando identificar a trajetória do transporte do ozônio na RMSP.

1. PRIMEIRA PARTE – ESTUDO DE EPISÓDIOS DE ULTRAPASSAGEM DO PADRÃO DE QUALIDADE DO AR PARA O OZÔNIO EM SOROCABA

1.1. Introdução

Em Sorocaba, no período de 25/01/00 a 31/12/02, ocorreram 25 dias com episódios de ultrapassagens do padrão primário de qualidade do ar (PQAR) para o ozônio de $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ em 1 hora, padrão este estabelecido pela Resolução CONAMA nº 03/90 e Decreto Estadual nº 8.468/76.

Um padrão de qualidade do ar define legalmente o limite máximo para a concentração de um componente atmosférico que garanta a proteção da saúde e do bem estar das pessoas. Os padrões de qualidade do ar são baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada. Em relação aos critérios para episódios agudos, no Estado de São Paulo, a legislação estadual é mais restritiva para o ozônio, estabelecendo o nível de atenção para $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ em 1 hora.

Neste estudo serão analisados os dias de episódios de ultrapassagens do padrão, utilizando-se os dados de concentração e meteorológicos medidos nas estações da Rede Automática de Qualidade do Ar da CETESB, localizadas em Sorocaba e na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). As análises serão baseadas na metodologia aplicada no estudo do comportamento do ozônio na RMSP (CETESB,2000a), porém com ênfase nos aspectos meteorológicos. A seguir, na figura 1.1, estão localizadas as estações que medem as concentrações de ozônio, representadas através de seus respectivos números.

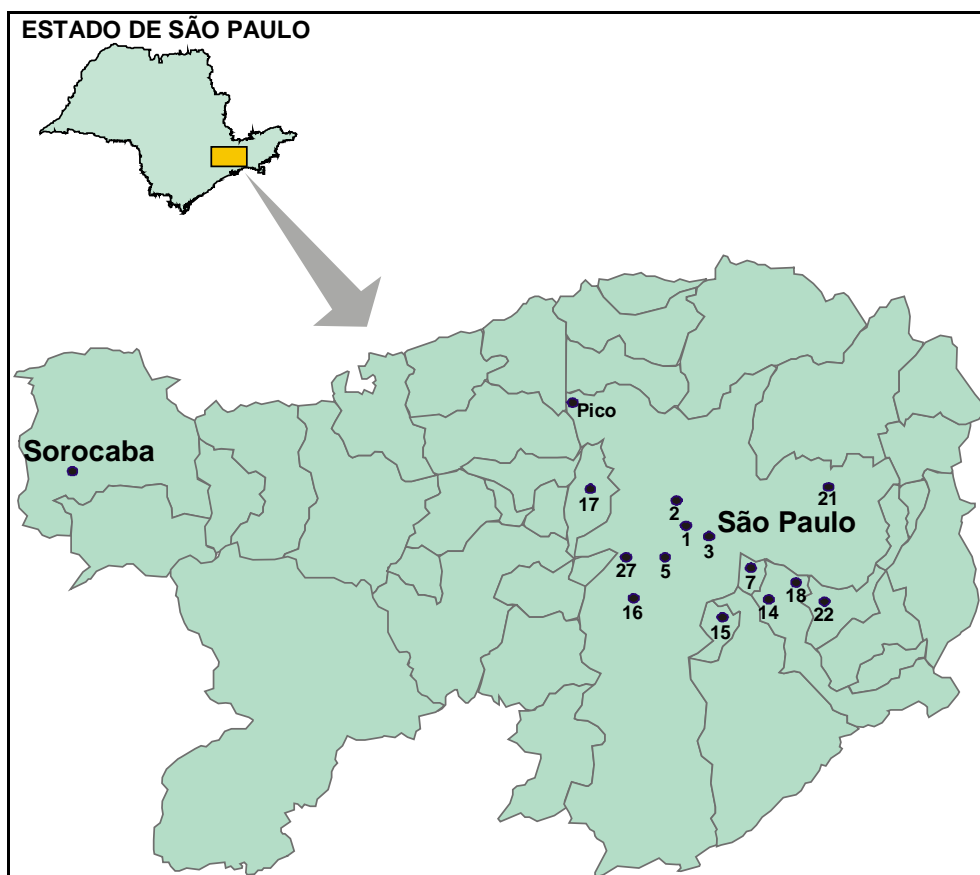


FIGURA 1.1 - Localização das estações da Rede Automática de Qualidade do Ar da CETESB.

Os números das estações, apresentadas na figura 1.1, têm a seguinte correspondência: (1) Parque D. Pedro, (2) Santana, (3) Moóca, (5) Ibirapuera, (16) Santo Amaro, (21) São Miguel Paulista, (27) Pinheiros, (7) São Caetano do Sul, (14) Santo André-Centro, (15) Diadema, (17) Osasco; (18) Santo André-Capuava, (22) Mauá e (Pico) Parque Estadual do Jaraguá,

Na figura 1.2 estão apresentadas a vista aérea da cidade de Sorocaba e a localização da estação automática de monitoramento da qualidade do ar da CETESB (círculo vermelho). Esta estação está localizada a uma altitude de 631m acima do nível médio do mar, numa região residencial e distante cerca de 3 km da área urbana central, que situa-se a este-sudeste da estação, como pode ser observado nas fotos.



a)



b)

FIGURA 1.2 – Vistas aéreas da estação da Rede Automática de Qualidade do Ar em Sorocaba, onde a) vista para oeste-sul e b) vista para este-sudeste.

1.2. Episódios de ultrapassagens do padrão de qualidade do ar

Na Tabela 1-1 estão apresentadas os dias em que ocorreram os episódios de ultrapassagem do padrão de ozônio em Sorocaba e nas estações da RMSP. Em 14 dias ocorreram episódios somente em Sorocaba, sem nenhuma ocorrência em outras estações da rede de monitoramento localizadas na RMSP, sendo que em três destes dias ocorreram ultrapassagens do nível de atenção de 200µg/m³. Em outros 11 dias foram observadas ultrapassagens do PQAR em Sorocaba, e também em várias estações da RMSP, onde muitas delas apresentaram concentrações acima do nível de atenção. Observa-se também que não é freqüente a ultrapassagem do padrão em dias consecutivos em Sorocaba.

TABELA 1.1 - Dias de episódios de ultrapassagens do padrão de ozônio em Sorocaba

Dias de Episódios	Máxima de O₃ (µg/m³)	Ocorrências nas estações da RMSP
25/02/00	174	Santana, Ibirapuera e Pinheiros
09/03/00*	161	
30/08/00*	171	
01/11/00	161	Ibirapuera
07/12/00*	206	
11/12/00	184	Santana
08/02/01*	186	
23/02/01	197	Parque D.Pedro, Santana, Moóca, Ibirapuera, São Caetano do Sul, Diadema, Osasco, Santo André-Capuava e Mauá
17/04/01*	166	
18/04/01*	201	
29/04/01*	161	
02/08/01*	173	Pico do Jaraguá
21/09/01*	171	
16/10/01*	178	Pico do Jaraguá
27/10/01	161	Parque D.Pedro, Santana, Moóca, Ibirapuera, S. Caetano do Sul, Diadema, S. Miguel Paulista, Pinheiros e Pico do Jaraguá; e Jundiá
28/10/01	171	Parque D.Pedro, Santana, Moóca, Ibirapuera, São Caetano do Sul, Diadema, Santo André-Capuava, São Miguel Paulista, Mauá e Pico do Jaraguá
30/10/01	164	Santana, Moóca, Ibirapuera, São Caetano do Sul, Diadema, Santo André-Capuava, São Miguel Paulista e Pico do Jaraguá; e Jundiá,
26/11/01*	189	Pico do Jaraguá
28/11/01	161	Parque D.Pedro, Santana, Moóca, Ibirapuera, São Caetano do Sul, Diadema, São Miguel, Mauá, Pinheiros, Pico do Jaraguá
05/04/02*	165	
19/04/02*	189	
04/09/02*	220	
11/10/02	166	Santana, Moóca, Ibirapuera, São Caetano do Sul, Diadema, Santo Amaro, Santo André-Capuava, Mauá
12/10/02	162	Parque D.Pedro, Santana, Moóca, Ibirapuera, São Caetano do Sul, Diadema, Santo Amaro, Santo André-Capuava, São Miguel Paulista, Mauá, Pinheiros, São José dos Campos
14/10/02	161	Ibirapuera, Santo Amaro, São José dos Campos

* Episódios somente em Sorocaba

Ressalta-se que uma estação móvel foi instalada temporariamente no Parque Estadual do Jaraguá, para monitorar o comportamento do ozônio em altitude, a cerca de 1100m acima do nível do mar e 300m acima do nível médio do município de São Paulo, durante o período de agosto de 2001 a fevereiro de 2002. Neste período ocorreram 38 ultrapassagens do padrão no Pico do Jaraguá e em apenas 3 dias observou-se ultrapassagens somente em Sorocaba e em outros 4

dias ocorreram ultrapassagens em Sorocaba e na RMSP. Considerando que foi um período curto de amostragem, estes três dias, 02/08/01, 16/10/01 e 26/11/01, foram agrupados e analisados como episódios com ocorrência somente em Sorocaba e os outros 4 dias (27/10/01, 28/10/01, 30/10/01 e 28/11/01), como episódios com ocorrência na RMSP.

1.3. Análises e Resultados

1.3.1. Aspectos Sazonais

A figura 1.3 mostra os totais mensais de dias com ultrapassagens do padrão em Sorocaba, onde se observa que as maiores frequências ocorreram em outubro e em abril. Vale ressaltar que nos meses de verão, apesar de serem os meses mais quentes, geralmente se observa um aumento de nebulosidade no período da tarde, devido à convecção atmosférica por aquecimento, que dificulta a formação do ozônio.

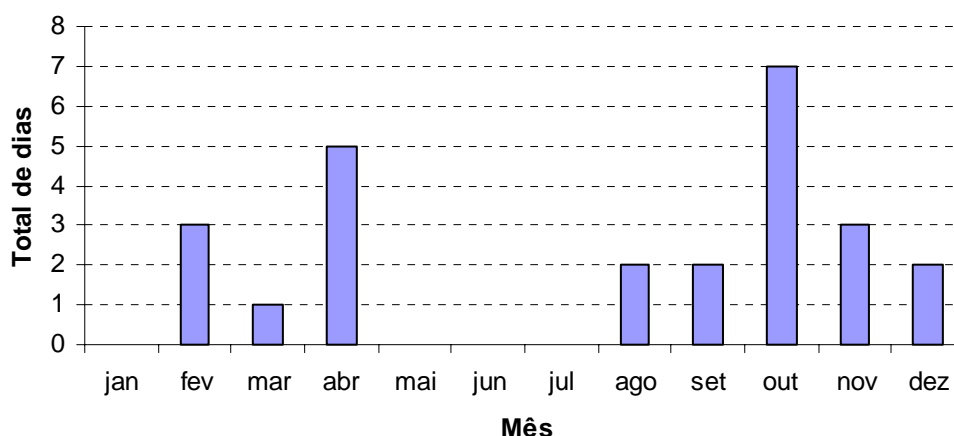


FIGURA 1.3 - Total mensal de dias de ultrapassagens do padrão em 2000/2002.

A figura 1.4 apresenta o tempo de duração dos episódios, onde pode-se observar que o número de horas de ultrapassagem do padrão de ozônio em Sorocaba na maioria dos casos é de 1 hora. Porém, há ocorrências de episódios com duração de até 5 horas.

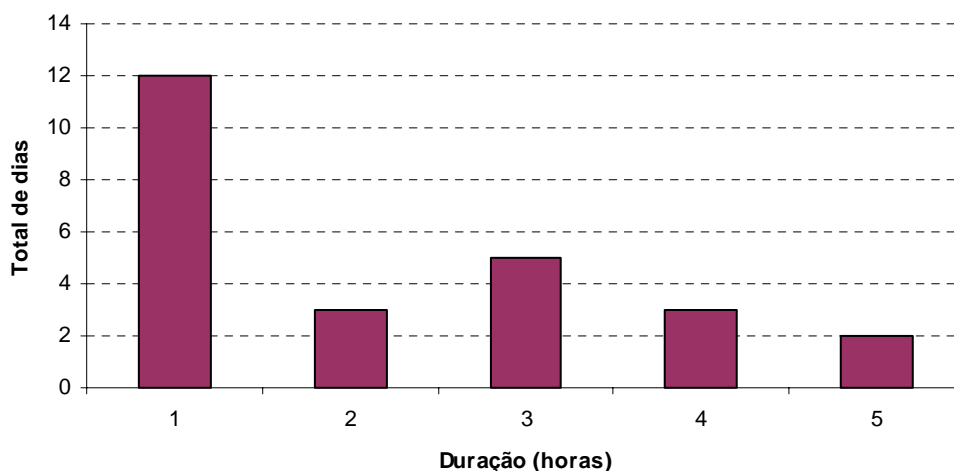


FIGURA 1.4 - Duração dos episódios em Sorocaba - 2000/2002.

A figura 1.5 mostra a distribuição dos episódios por dia da semana, onde se observa que em Sorocaba há ultrapassagens do padrão em qualquer dia da semana, mas com menor ocorrência nos finais de semana. Apesar de visualmente o gráfico apresentar uma tendência de aumento de ultrapassagens com o dia da semana, vale lembrar que não há muitas ocorrências em dias consecutivos.

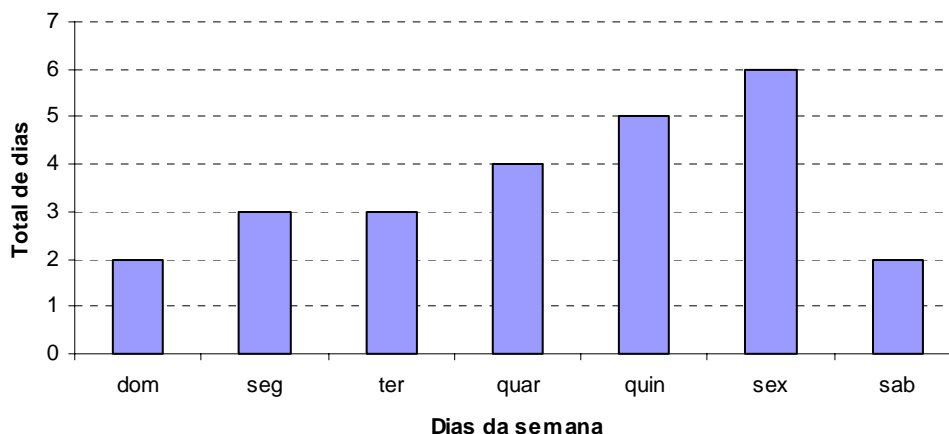


FIGURA 1.5 - Total de dias de ultrapassagens do padrão por dia da semana - 2000/2002.

A figura 1.6 mostra os horários da máxima concentração de ozônio nos dias de episódios, onde se pode observar que as ultrapassagens do padrão ocorrem no período da tarde, com maior incidência das máximas concentração às 16 horas. Ressalta-se que, nos dias em que também ocorreram episódios na RMSP, em Sorocaba observou-se máximas tanto mais cedo (13 horas) quanto mais tarde (16 horas), vide gráficos do Anexo A. Neste estudo foi desconsiderada a mudança para o horário de verão.

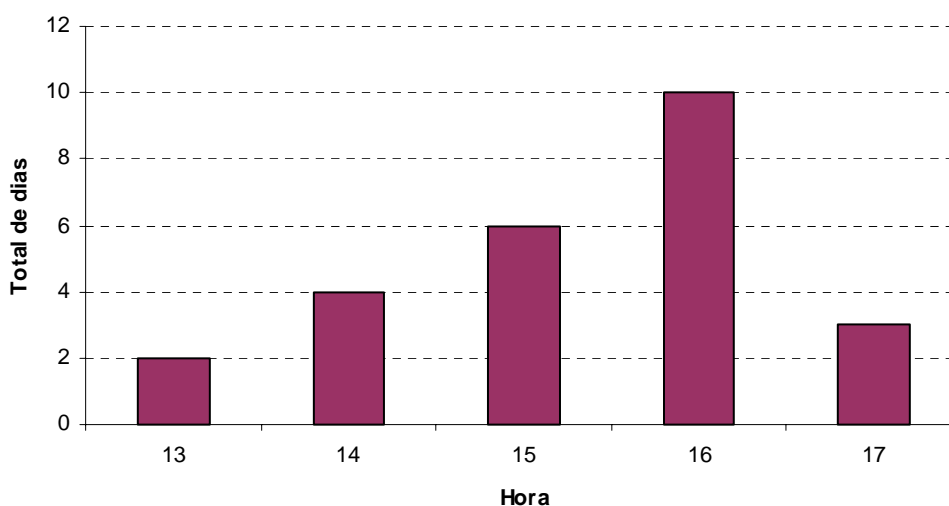


FIGURA 1.6 - Horários de máxima concentração de ozônio.

1.3.2. Comportamento do ozônio

A figura 1.7 apresenta o perfil da concentração horária de ozônio nos dias de episódios somente em Sorocaba e a figura 1.8 mostra nos dias em que também ocorreram na RMSP. Observa-se que nos dias em que também ocorrem episódios na RMSP, os valores máximos de concentração de ozônio em Sorocaba estão próximos ao padrão, enquanto que nos dias em que ocorre só em Sorocaba os valores chegam a ultrapassar o nível de atenção ($200\mu\text{g}/\text{m}^3$). Observa-se também que os episódios ocorridos somente em Sorocaba têm maior duração, ou seja, as concentrações permaneceram mais tempo acima do padrão.

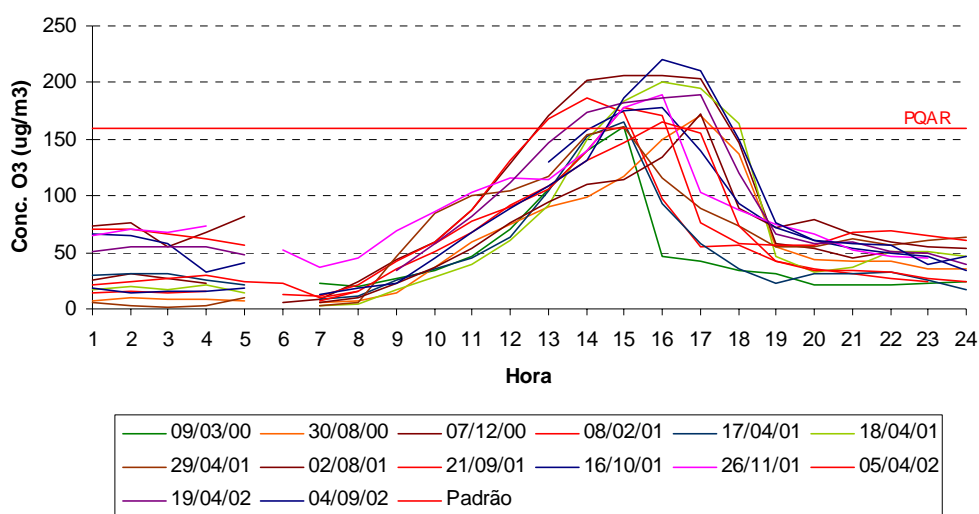


FIGURA 1.7 - Perfil da concentração horária de O₃ nos dias de episódios somente em Sorocaba.

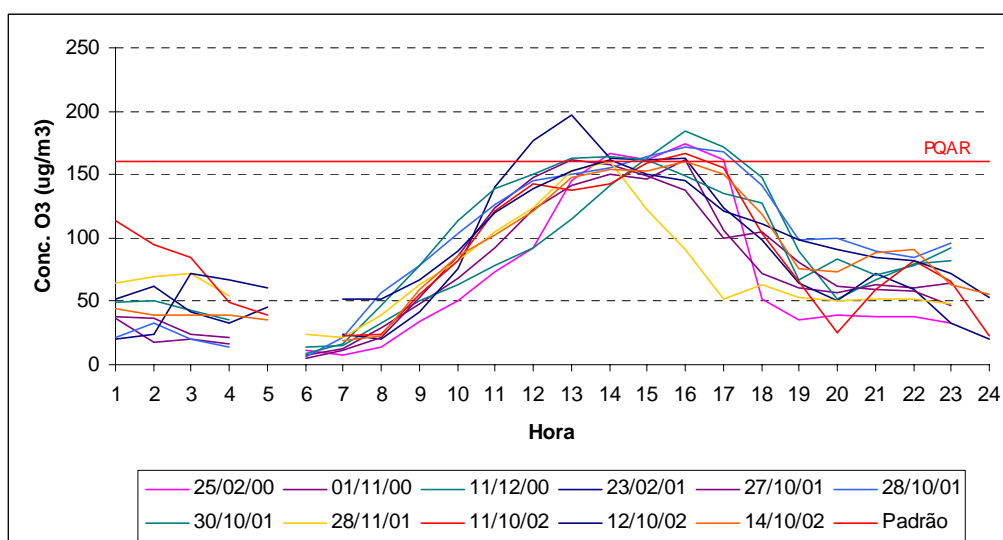


FIGURA 1.8 - Perfil da concentração horária de O₃ em Sorocaba nos dias de ocorrências na RMSP.

No Anexo A encontram-se os gráficos de comportamento do ozônio nas estações da rede de monitoramento, em cada dia de episódio em Sorocaba. Nos dias em que ocorreram ultrapassagens do padrão em várias estações da RMSP, observou-se que na maioria destas

estações as concentrações ficaram acima do nível de atenção, chegando a atingir o valor de 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na estação Ibirapuera (28/11/01), enquanto que em Sorocaba a concentração ficou próxima do padrão de qualidade do ar. As ultrapassagens do nível de atenção em Sorocaba foram observadas nos dias em que não houve episódios na RMSP.

1.3.3. Comportamento do Vento

A seguir, na figura 1.9, é apresentada a rosa dos ventos para Sorocaba, durante as 24 horas, no período de 3 anos, onde o vento predominante observado foi de direção ESE. O local da estação possui uma boa ventilação, apresentando 7,8% de calmaria (velocidade do vento horário menor do que 0,44m/s) em todo o período.

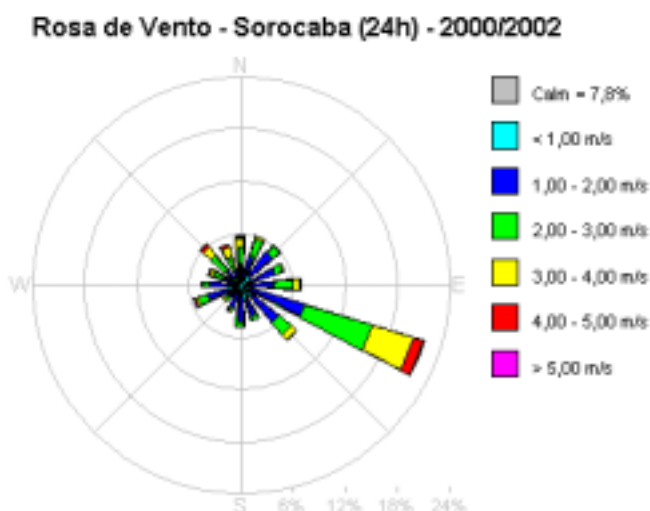


FIGURA 1.9 - Rosa dos Ventos 24 horas.

Apesar da predominância do vento de direção ESE, há variações da direção do vento durante os períodos do dia. Na figura 1.10 são apresentadas as rosas dos ventos para Sorocaba, para os seguintes períodos: 1-6h, 7-12h, 13-18h e 19-24h. Observa-se que durante a noite e madrugada há predominância do vento de direção ESE, porém no período da manhã há contribuições também de direções no quadrante N-E, com intensidade do vento de fraco a moderado (1-3m/s) e à tarde há grande contribuição do quadrante N-W, com maior intensidade na velocidade do vento, de moderado a forte (>3m/s).

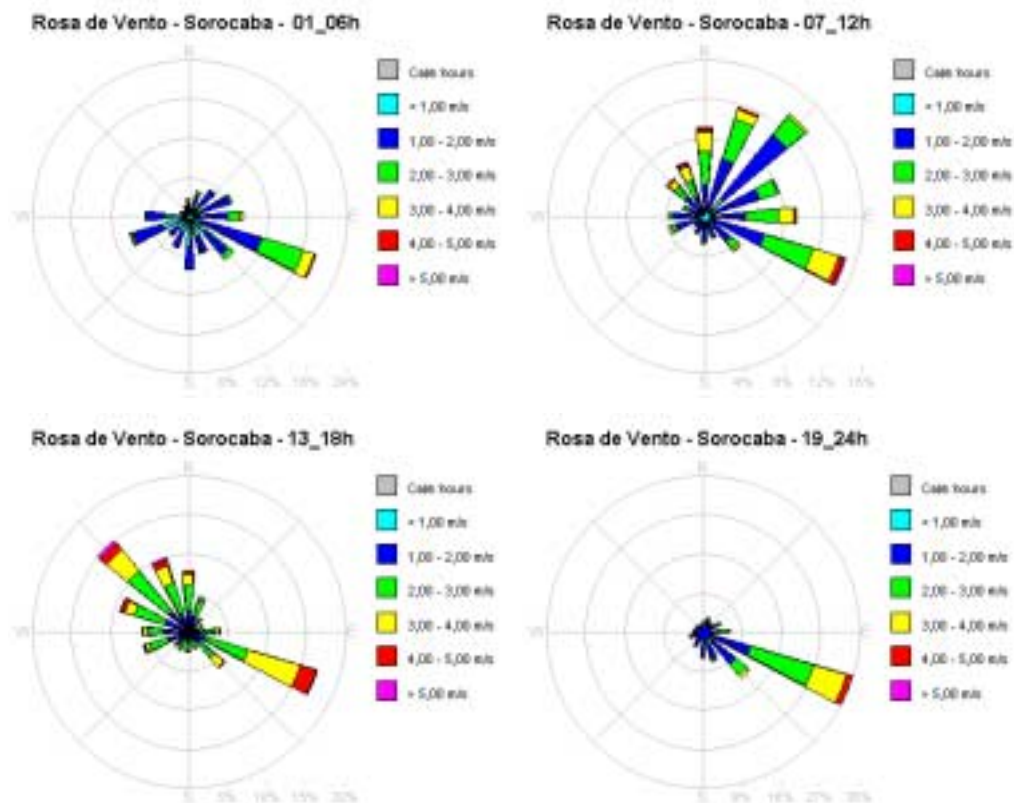


FIGURA 1.10 - Rosas dos Ventos em Sorocaba por período.

1.3.4. Rosas de Poluição

A seguir estão apresentadas as rosas de poluição que mostram a contribuição do vento para a concentração de ozônio em Sorocaba. As rosas de poluição foram elaboradas utilizando-se dados de concentração de ozônio e direção do vento agrupados hora a hora. A figura 1.11a mostra a contribuição durante às 24 horas do dia no período de 3 anos (2000 a 2002), onde predominam as contribuições oriundas das direções ESE e SE, mas observa-se também contribuições menores em todas as direções. Já nos horários em que houve a ultrapassagem do padrão nos dias de episódios, mostrado na figura 1.11c, observou-se a predominância das direções E e ESE, apesar de também ocorrerem pequenas contribuições de direções dos quadrantes N-W e N-E. A figura 1.11b mostra as concentrações maiores do que $80\mu\text{g}/\text{m}^3$, que podem ocasionar injúrias na vegetação. Observa-se que há uma maior contribuição oriundas das direções do quadrante N-W, seguida pelo quadrante E-S.

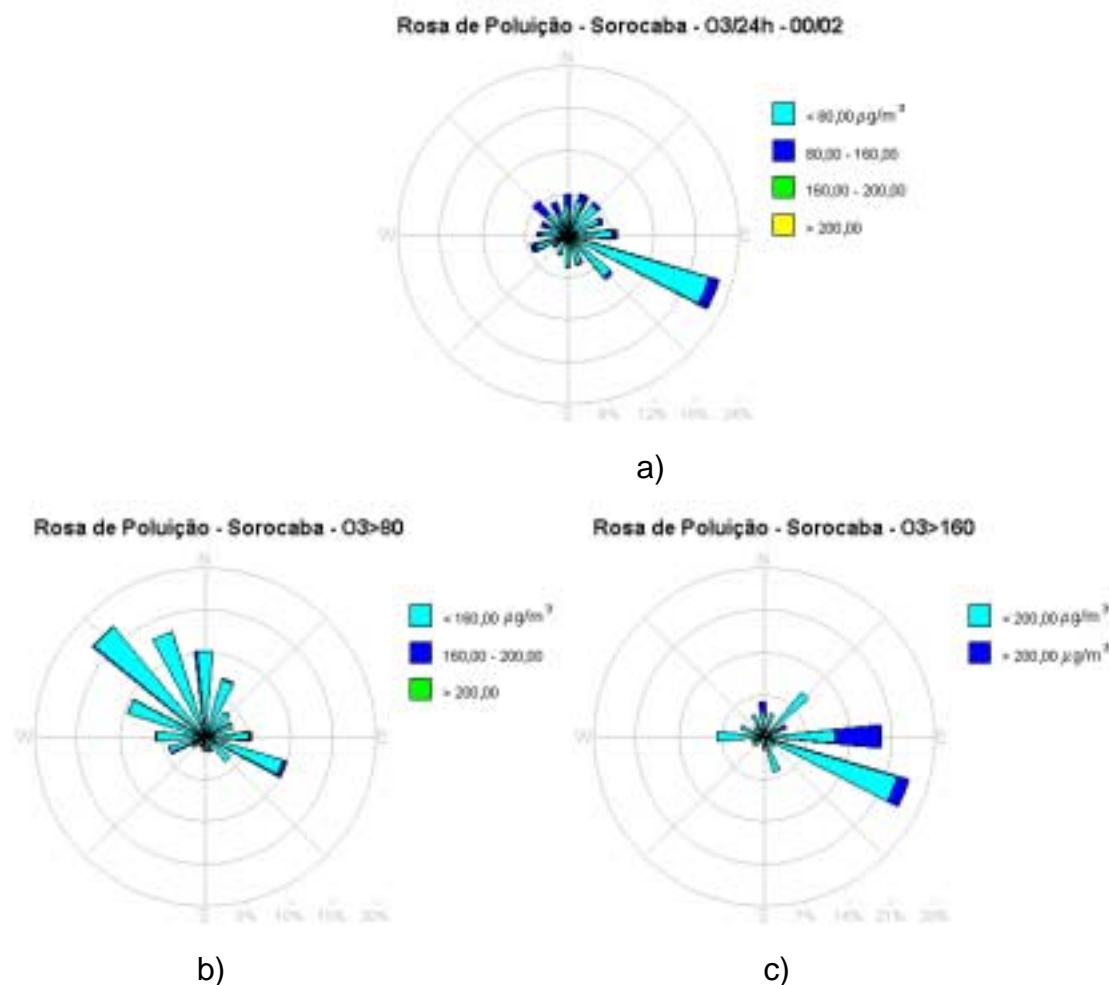


FIGURA 1.11 - Rosas de Poluição, a) período de 24 horas; b) $O_3 > 80 \mu g/m^3$; c) $O_3 > 160 \mu g/m^3$.

Apesar da ocorrência da maioria dos episódios com ventos das direções do quadrante E-S, para o efeito na vegetação devem ser consideradas as contribuições maiores do que $80 \mu g/m^3/h$, conforme a figura 1.11b, que mostra uma grande contribuição do quadrante N-W, seguida pelo quadrante E-S. O efeito na vegetação será abordado no item 1.3.8 e na Segunda Parte.

No Anexo B, estão apresentadas as rosas de poluição e de vento para Sorocaba em cada episódio, bem como gráficos de concentração de ozônio e direção de vento.

1.3.5. Temperatura e Umidade Relativa do Ar

Na figura 1.12 é apresentado o gráfico de dispersão da máxima concentração diária de 1 hora de ozônio em função da máxima temperatura do dia para o período 2000/2002. Observa-se que a maioria das ultrapassagens do padrão de ozônio ocorre em dias com temperatura máxima na faixa entre 25 e 32°C.

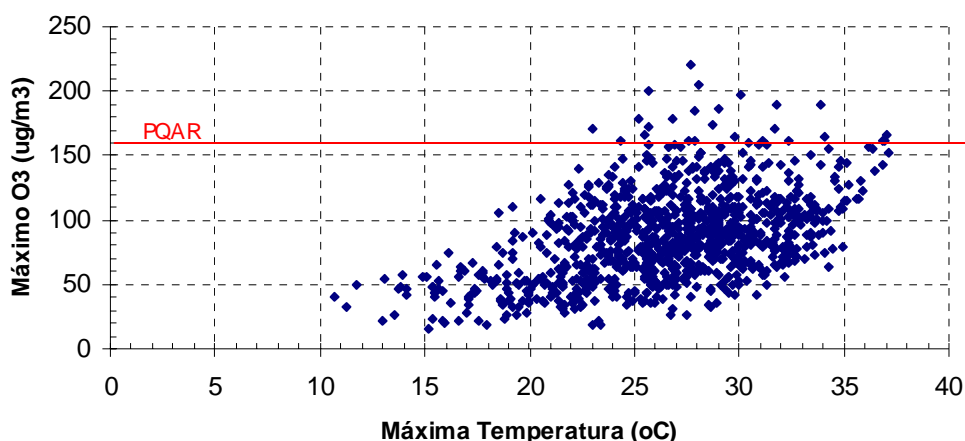


FIGURA 1.12 - Dispersão diária de máxima concentração de ozônio e máxima temperatura.

Nota-se que, no período 2000/2002, apesar de ocorrerem muitos dias com altas temperaturas não há, necessariamente, ocorrência de altas concentrações de ozônio, uma vez que também outros fatores meteorológicos influenciam no processo das reações fotoquímicas.

A figura 1.13 mostra o gráfico de dispersão da máxima concentração de ozônio em função da mínima umidade relativa do ar do dia. Pode-se observar que os episódios ocorrem com valores de umidade abaixo de 50%.

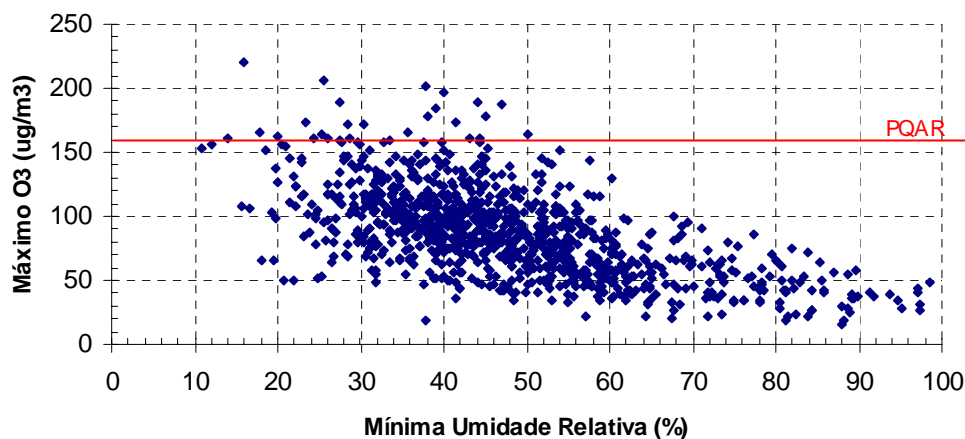


FIGURA 1.13 - Dispersão diária de máxima concentração de ozônio e mínima umidade relativa.

1.3.6. Análise das Condições Meteorológicas

Na Tabela 1-2 estão apresentadas as condições meteorológicas predominantes nos dias de episódios em Sorocaba.

Os dados apresentados na tabela foram baseados na análise de nebulosidade feita através das imagens de satélite GOES das 12 e 15 horas (Anexo C); nas análises dos sistemas meteorológicos predominantes no Estado de São Paulo (cartas sinóticas de superfície das 9 horas, elaboradas pela CETESB); análise das

rosas de poluição e de vento para cada episódio e gráficos de concentração horária de ozônio e direção horária do vento (Anexo B).

TABELA 1.2 – Condições meteorológicas nos dias de episódios em Sorocaba.

Dias de Episódios em Sorocaba	Sistema Meteorológico atuando sobre o Estado de São Paulo	Nebulosidade	Dir. Ven. no horário de episódio
	Ocorrências somente em Sorocaba		
09/03/00	Anticiclone Polar Marítimo	Céu claro	SSE
30/08/00	Anticiclone Polar Marítimo	Céu claro	E
07/12/00	Anticiclone Polar Marítimo	Céu claro	E/ESE
08/02/01	Área de instabilidade associada a frente fria no norte de SP	Céu claro	E/ESE
17/04/01	Anticiclone Polar Marítimo		ESE
18/04/01	Anticiclone polar em transição para subtropical		NE
29/04/01	Anticiclone subtropical com atuação da brisa marítima à tarde	Céu claro	ESE
02/08/01	Anticiclone subtropical com atuação da brisa marítima à tarde	Céu claro	ESE
21/09/01	Área de instabilidade continental	parcial	ESE
16/10/01	Área de instabilidade continental	Céu claro	SSE
26/11/01	Área de instabilidade continental	Céu claro	E/ESE
05/04/02	Anticiclone Polar Marítimo	Céu claro	ESE
19/04/02	Área de instabilidade continental	Céu claro	NE/ENE
04/09/02	Área de instabilidade continental	pouca	E
	Com ocorrências nas estações da RMSP		
25/02/00	Área de instabilidade associada a frente fria no RJ	Céu claro	ESE/SE/SSE
01/11/00	Área de instabilidade continental	Céu claro	E
11/12/00	Área de instabilidade continental.	pouca	N/NNE
23/02/01	Área de instabilidade continental	pouca	SW/S/SE
27/10/01	Anticiclone subtropical.	Céu claro	NW
28/10/01	Anticiclone subtropical.	Céu claro	W
30/10/01	Área de instabilidade associada a uma frente fria no RS/SC	Céu claro	W/WNW
28/11/01	Área de instabilidade associada a uma frente fria no sul de SP	parcial	N/NNE
11/10/02	Anticiclone subtropical	Céu claro	NNW
12/10/02	Anticiclone subtropical	Céu claro	Variável
14/10/02	Área de instabilidade continental	pouca	WNW

Na maioria dos episódios foram observados condições de céu claro ou com poucas nuvens e sem ocorrência de chuvas.

Nos episódios somente em Sorocaba observou-se as atuações dos seguintes sistemas meteorológicos: anticiclone polar marítimo, anticiclone subtropical com atuação da brisa marítima à tarde e áreas de instabilidade associadas às frentes frias localizadas no norte de SP ou no RJ, que geraram as condições de céu claro sobre a região e ventos de direções do quadrante E-S. Ressalta-se que, ventos do quadrante E-S sobre a RMSP geralmente possibilitam o aumento de nebulosidade, devido ao transporte horizontal de umidade de origem marítima, que inibe a formação do ozônio localmente, no entanto, os precursores gerados na RMSP podem ser transportados pelo vento para outras regiões.

Nos episódios em que há também ocorrência na RMSP, observou-se a atuação do anticiclone subtropical que gerou os ventos predominantes do quadrante N-W, com dias muito quentes e céu claro. Geralmente, em dias com ventos do quadrante N-W, na RMSP as ultrapassagens do padrão se concentraram nas estações localizadas ao sul e sudeste da região, como observado no

estudo do comportamento do ozônio na RMSP (CETESB,2000a). Porém, em dias em que predominaram um fraco gradiente de pressão sobre o leste do Estado de São Paulo, ocorreram ventos fracos e/ou períodos de calmaria durante o dia, o que facilitou a formação do ozônio localmente, tanto em Sorocaba como na RMSP, dificultando a dispersão atmosférica. Nestes dias, na RMSP, as concentrações de ozônio atingiram valores acima do nível de atenção e em Sorocaba os valores ficaram próximos ao padrão. Pode-se ressaltar que em Sorocaba, provavelmente, os precursores se originaram de fontes localizadas na região ou nas proximidade da mesma.

Com a atuação de áreas de instabilidade continental geralmente são dias quentes com ventos variando em todos os quadrantes, pouca nebulosidade ou céu claro. Estas condições são favoráveis à formação de ozônio localmente, tanto em Sorocaba quanto sobre a RMSP. Na RMSP foram observados ventos mais fracos e/ou calmarias, o que dificulta o transporte de precursores e/ou do ozônio formado para outras regiões, como Sorocaba.

Vale salientar que em relação aos sistemas meteorológicos predominantes sobre a região leste do Estado de São Paulo, numa análise de 921 dias no período de 2000 a 2002, observou-se a ocorrência de episódios em 25 dias em Sorocaba, no entanto, ocorreram 168 dias com episódios na RMSP, sendo observada a maior porcentagem de dias com a atuação de uma área de instabilidade continental (35%) seguido pelo predomínio do anticiclone subtropical (26%).

Na figura 1.14 estão apresentadas os mapas das direções de ventos horários medidos nas estações da RMSP e Sorocaba para exemplificar um dia de episódio somente em Sorocaba (09/03/00), quando houve atuação de um anticiclone polar marítimo sobre o Estado de São Paulo. Na figura 1.15 está exemplificado um dia em que houve episódios em Sorocaba e na RMSP (28/10/01), quando predominou a atuação de um anticiclone subtropical.

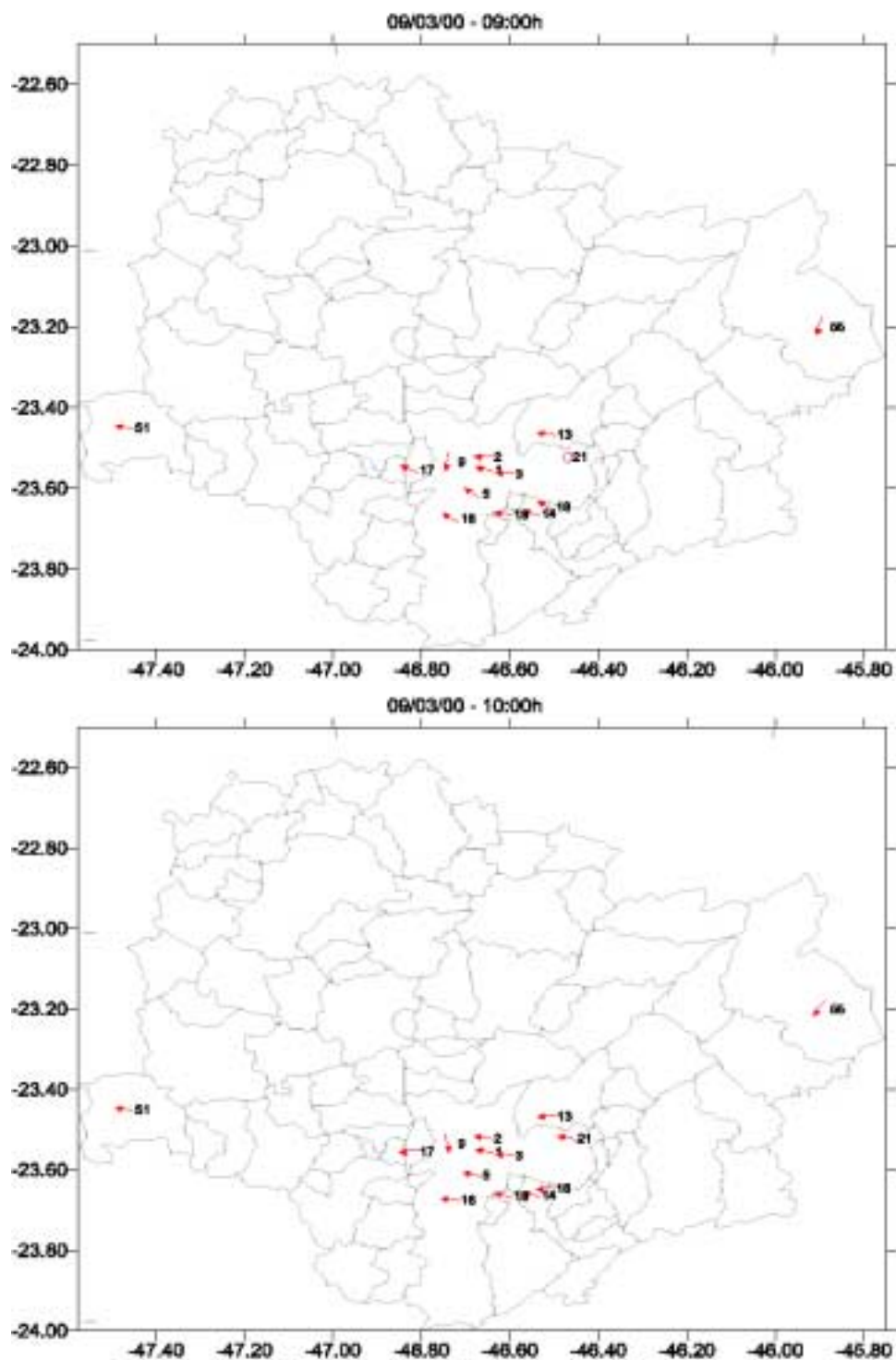


FIGURA 1.14 – Direções de vento horário nas estações da RMSP e Sorocaba no Episódio de 09/03/00 (horário de pico em Sorocaba às 15 horas).

(continua)

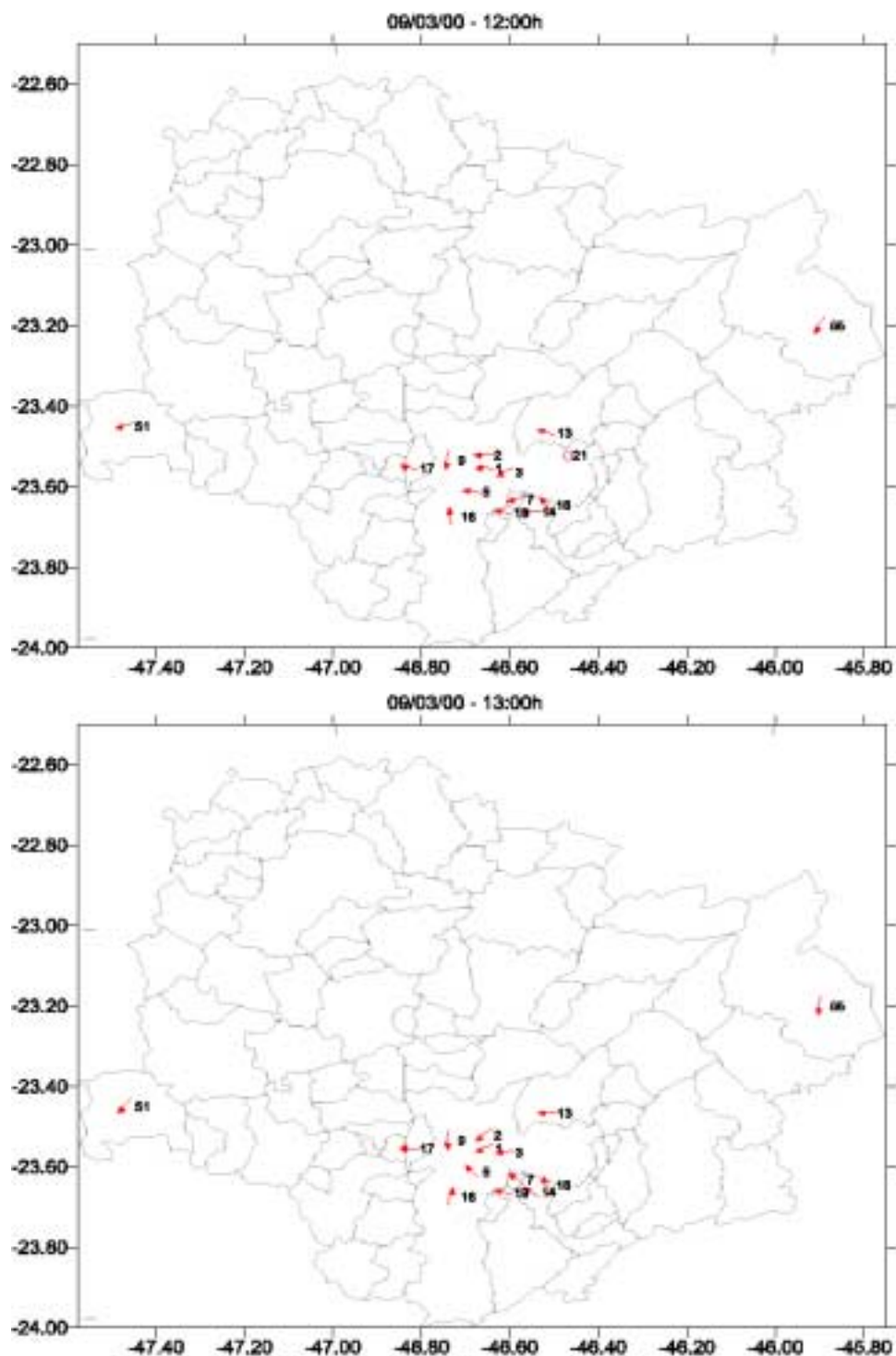


FIGURA 1.14 – Direções de vento horário nas estações da RMSP e Sorocaba no Episódio de 09/03/00 (horário de pico em Sorocaba às 15 horas).

(continua)

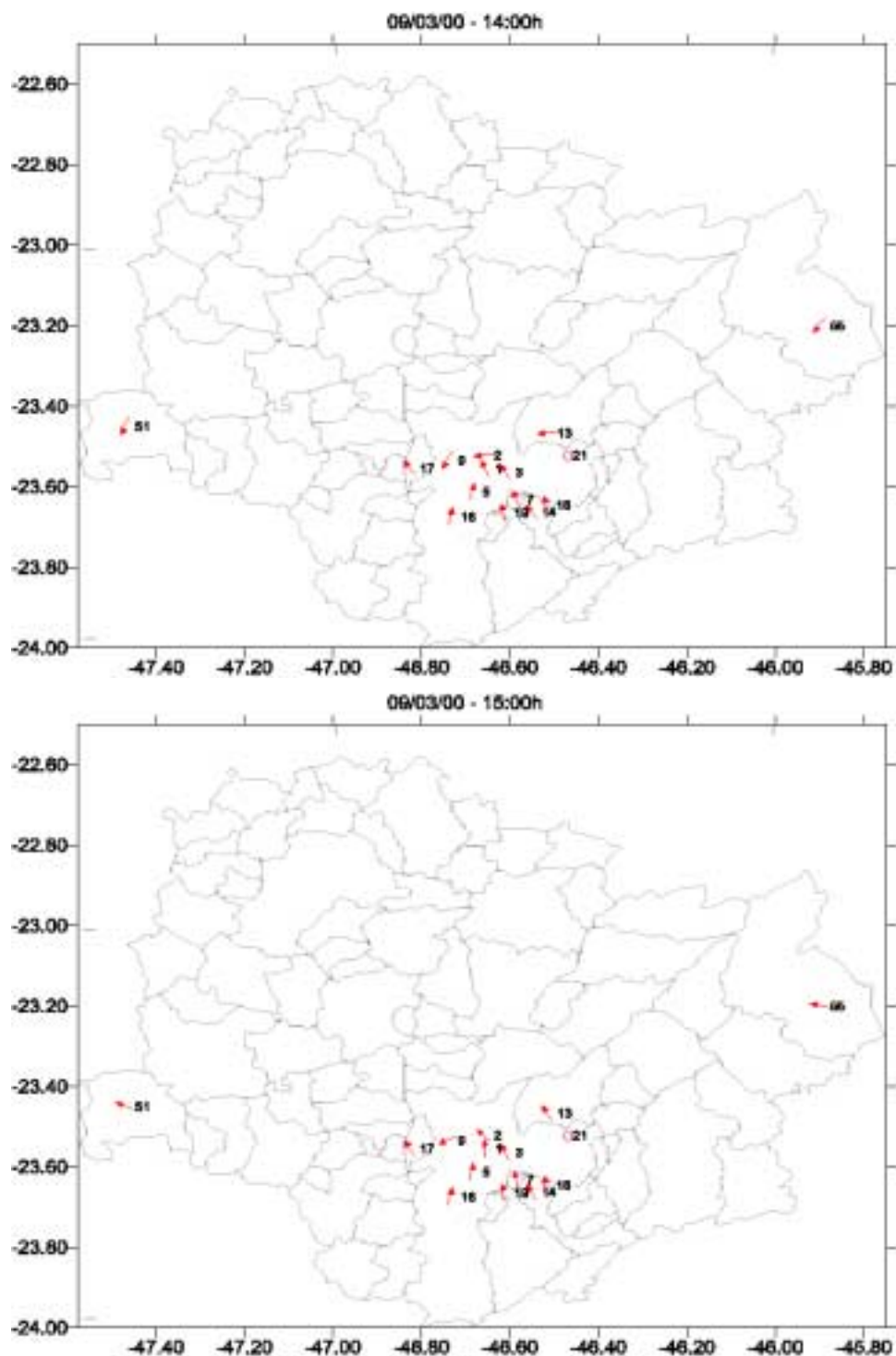


FIGURA 1.14 – Direções de vento horário nas estações da RMSP e Sorocaba no Episódio de 09/03/00 (horário de pico em Sorocaba às 15 horas).

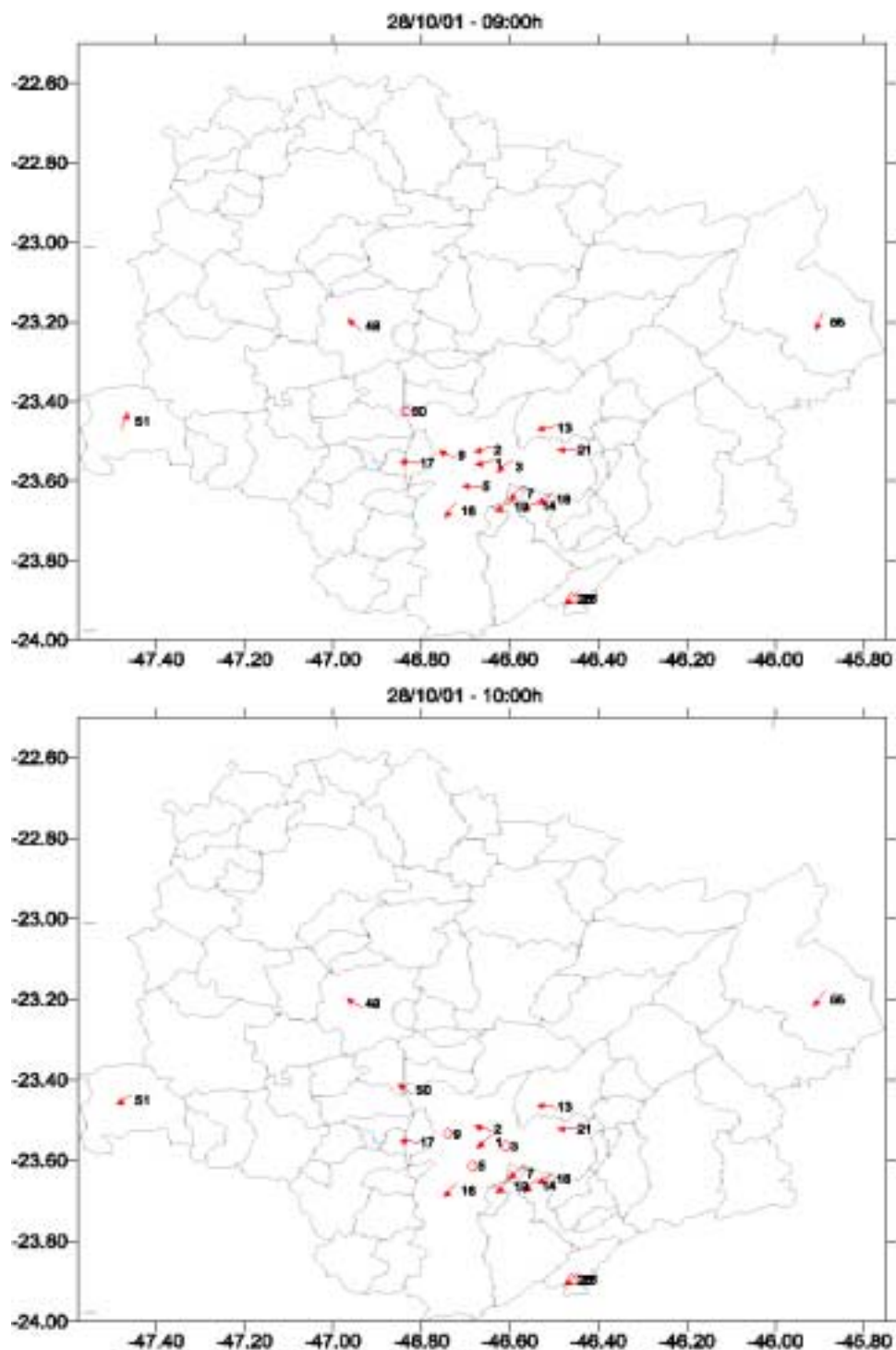


FIGURA 1.15 – Direções de vento horário nas estações da RMSP e Sorocaba no Episódio de 28/10/01 (horário de pico em Sorocaba às 16 horas).

(continua)

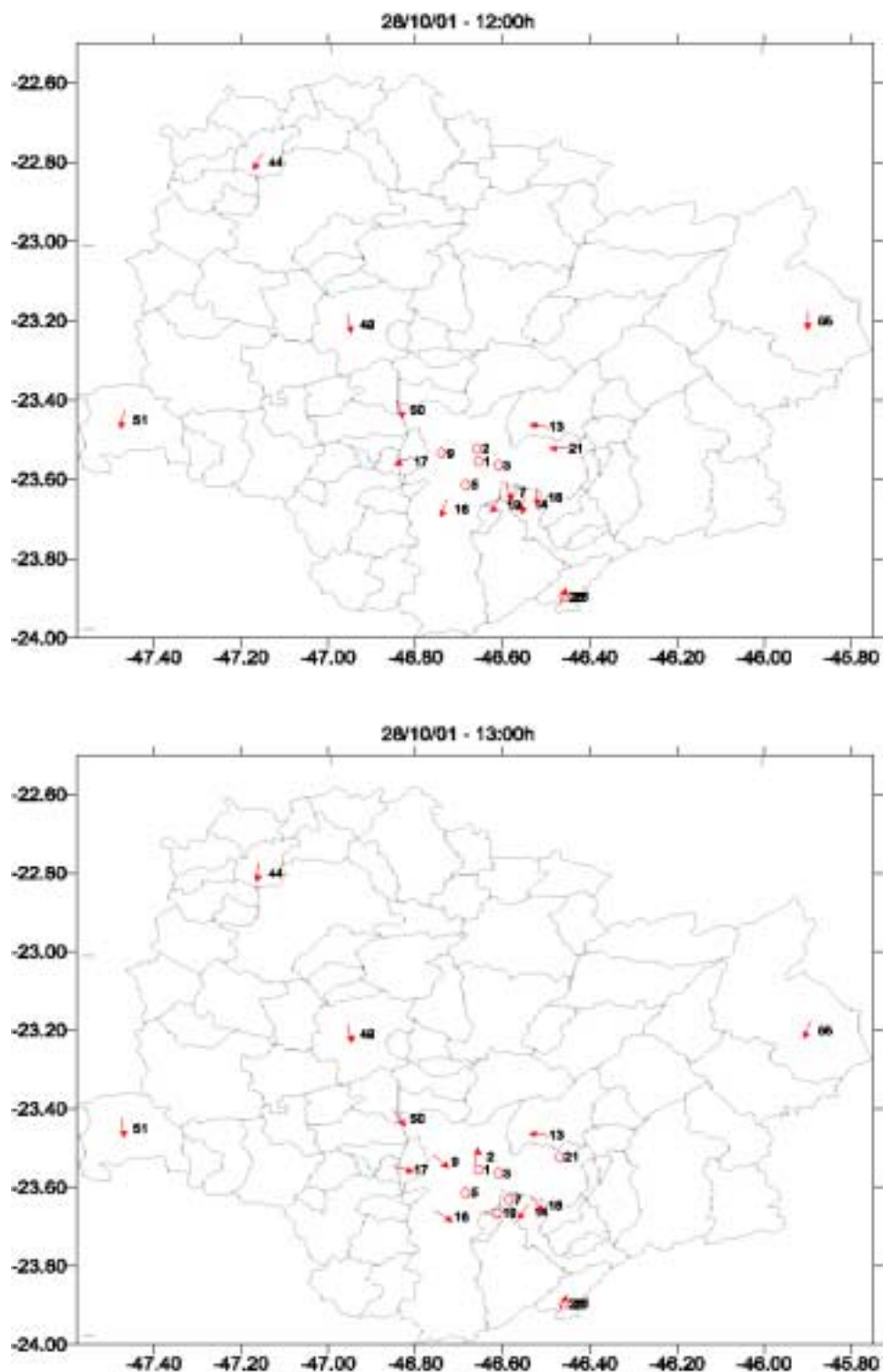


FIGURA 1.15 – Direções de vento horário nas estações da RMSP e Sorocaba no Episódio de 28/10/01 (horário de pico em Sorocaba às 16 horas).

(continua)

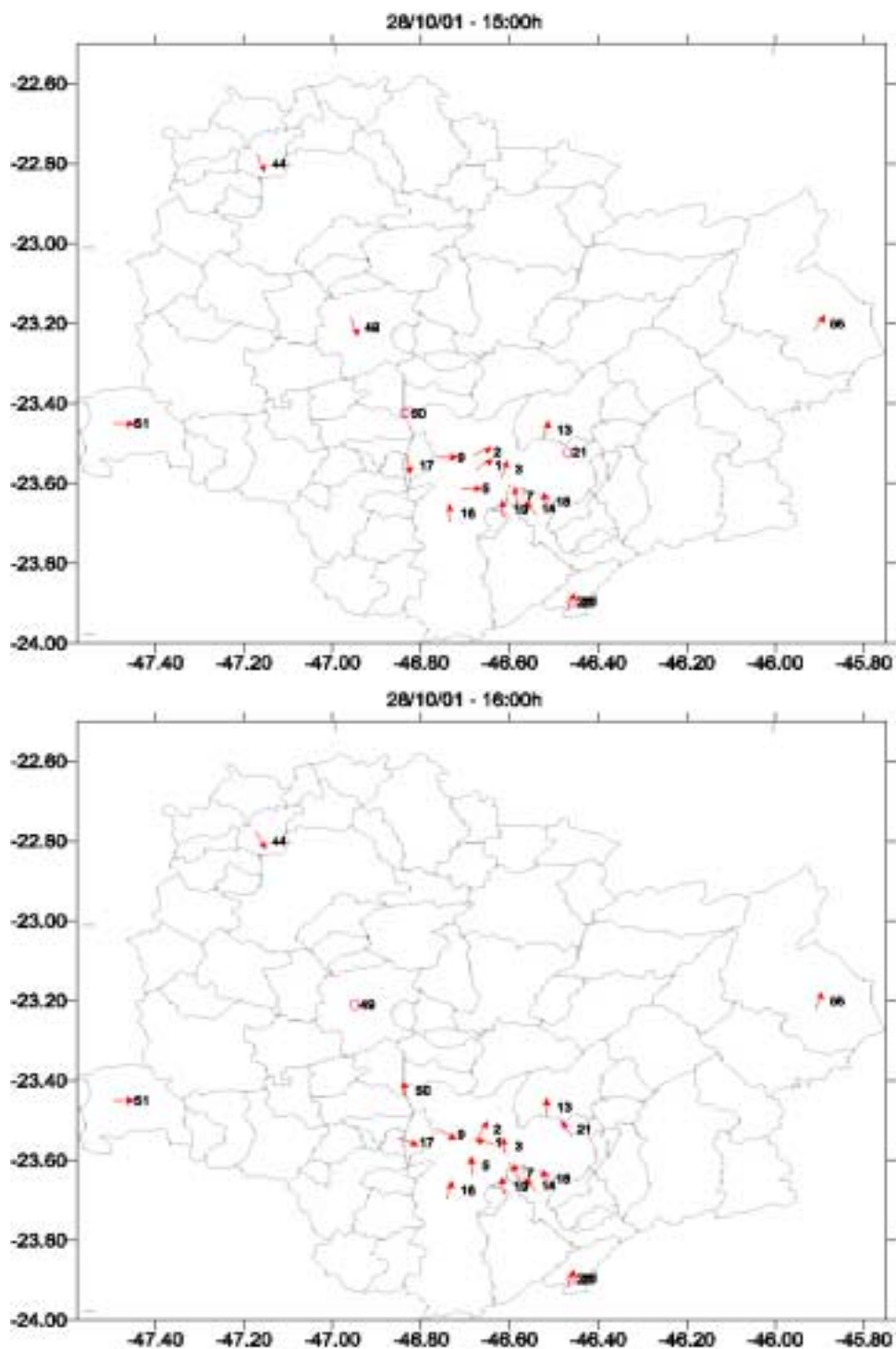


FIGURA 1.15 – Direções de vento horário nas estações da RMSP e Sorocaba no Episódio de 28/10/01 (horário de pico em Sorocaba às 16 horas).

1.3.7. Comportamento do NO_x

A partir do ano de 2002 iniciou-se o monitoramento de NO_x em Sorocaba. A figura 1.16 mostra o comportamento médio das concentrações de NO , NO_2 , O_3 para o período amostrado, onde é observado um padrão de comportamento típico encontrado na literatura, ou seja, há um pico de NO às 8 horas da manhã, provavelmente devido ao tráfego de veículos; por volta das 9 horas há ligeiro aumento de NO_2 , que decresce logo em seguida com o início do aumento da concentração de O_3 , que atinge uma maior concentração média às 15 horas. A concentração média de NO apresenta valores quase nulos no período de alta concentração de ozônio.

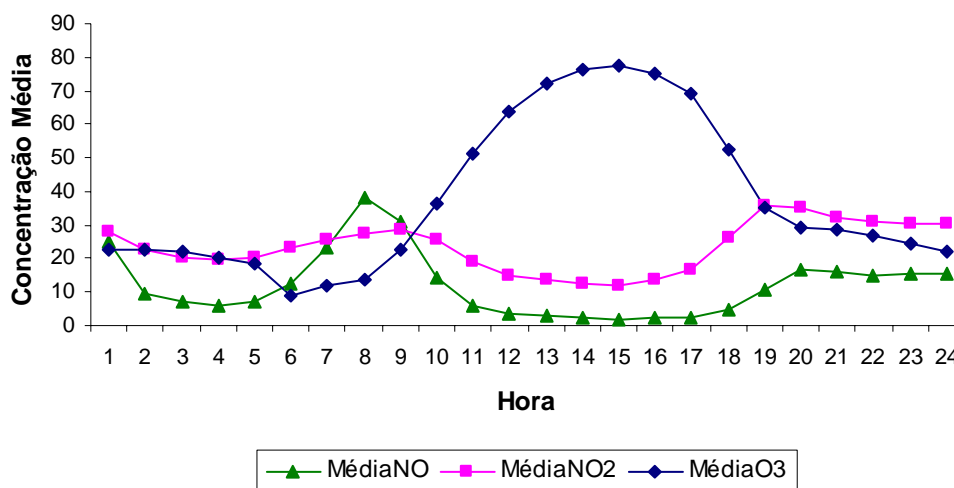


FIGURA 1.16 – Concentração Média Horária de NO , NO_2 e O_3 para o ano de 2002.

A figura 1.17 mostra os gráficos dos perfis de comportamento do O_3 , NO e NO_2 e a direção horária do vento na estação nos 6 dias de episódios de ultrapassagens em 2002. Observa-se que, na maioria dos episódios, às 12 horas a concentração de ozônio atinge $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ e as concentrações máximas ocorreram entre 14 e 17 horas. Há uma pequena variação horária na concentração de NO_2 e os valores são baixos, indicando que provavelmente há um transporte de ozônio para a região. Em relação ao NO , nota-se que há um pequeno pico às 8 horas em alguns dias, mas os valores são quase nulos na maior parte do período. Em relação ao vento, nota-se que nos 3 primeiros episódios de 2002, quando as ultrapassagens do padrão ocorreram somente em Sorocaba, as direções predominante durante o dia foram do quadrante E-S e nos outros 3 dias, com ocorrências de episódios na RMSP, predominaram pela manhã as direções do quadrante N-E e, à tarde, as direções do quadrante N-W.

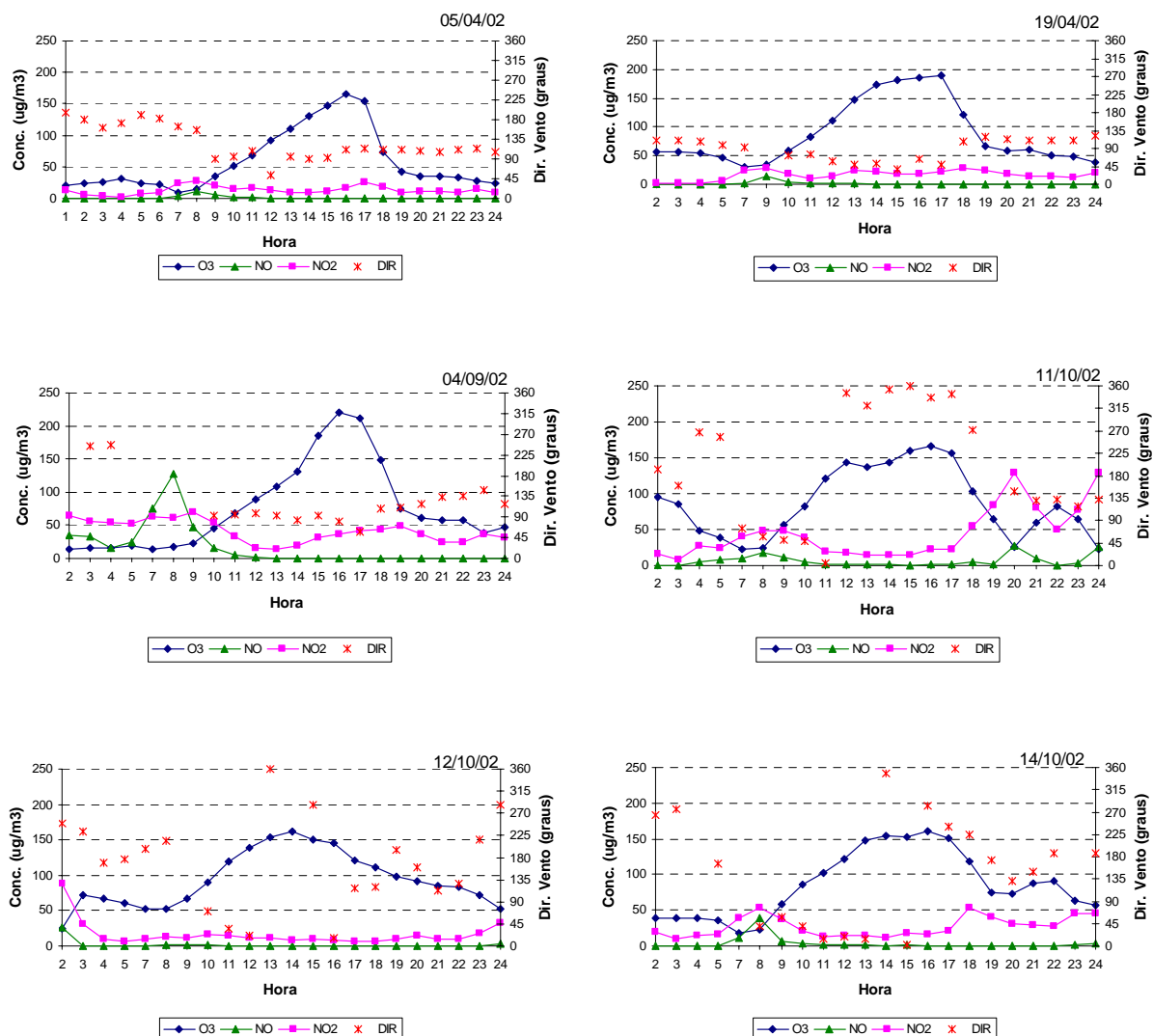


FIGURA 1.17 – Concentração horária de O₃, NO e NO₂ e direção do vento para os episódios de 2002.

1.3.8. AOT40

Em relação aos valores de referência para proteção da vegetação, o valor de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ de ozônio (aproximadamente 40 ppb) é utilizado como o limite no qual, acima deste valor, as injúrias podem ocorrer nas plantas. A AOT40 representa um índice referente à exposição acumulada acima de 40ppb, isto é, a soma de todos os valores horários que excederem 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$. A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda a AOT40 de 6.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozônio (ou aproximadamente 3.000ppb) acumulados durante o período de 3 meses, como valor de referência para proteção da produtividade agrícola. O conceito de AOT40 será abordado no estudo sobre a vegetação apresentado na Segunda Parte.

A figura 1.18 mostra os valores trimestrais acumulados da AOT40 no período de 3 anos, nas estações de Sorocaba e Ibirapuera (RMSP). A linha vermelha representa o valor de 6.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozônio, limite recomendado pela OMS. Em Sorocaba observou-se que as ultrapassagens do

valor de referência ocorreram principalmente nos trimestres da primavera e verão, quando atingiram valores de $11.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A estação do Ibirapuera, apresentada somente para comparação por ser a estação onde se observou os maiores índices na RMSP, atingiu valores acima de $25.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

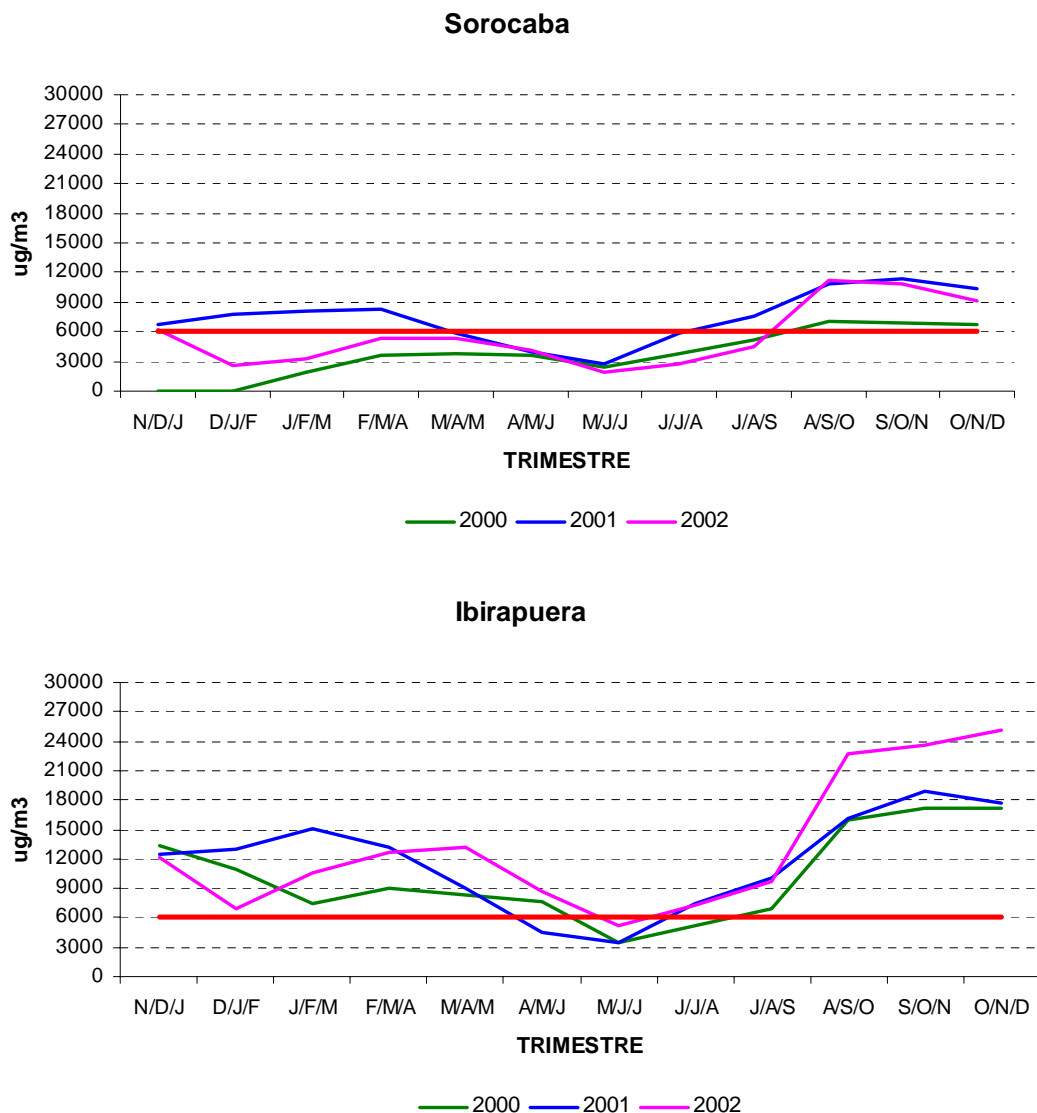


FIGURA 1.18 - Valores trimestrais acumulados de concentração de ozônio acima de $80,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (AOT40) para as estações de Sorocaba e Ibirapuera (RMSP).

1.4. Conclusão

As ocorrências de ultrapassagem do padrão de ozônio em Sorocaba concentraram-se nos meses de fevereiro a abril e de agosto a dezembro.

O tempo de duração dos episódios, horas em que houve ultrapassagem do padrão de ozônio, na maioria dos casos é de 1 hora, porém, há ocorrências de episódios com duração até de 5 horas. Não é muito freqüente episódios em dias consecutivos, mas há ultrapassagens do padrão em qualquer dia da semana, com ocorrências de concentrações máximas no período da tarde, entre 13 e 17 horas.

Em relação ao comportamento do ozônio, foi observado que nos dias em que também ocorreram episódios na RMSP, os valores máximos de concentração de ozônio em Sorocaba estão próximos ao padrão, enquanto que nos dias em que ocorreram somente em Sorocaba os valores chegam a ultrapassar o nível de atenção ($200\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Apesar da predominância do vento de direção ESE em Sorocaba, há variações da direção do vento durante os períodos do dia. Foi observado que durante a noite e madrugada há predominância do vento de direção ESE, porém no período da manhã há contribuições também de direções no quadrante N-E, com intensidade do vento de fraco a moderado ($1\text{-}3\text{m/s}$) e à tarde há grande contribuição do quadrante N-W, com maior intensidade na velocidade do vento, de moderado a forte ($>3\text{m/s}$). Nos horários em que houve a ultrapassagem do padrão de ozônio foi observado a predominância das direções E e ESE, contudo também ocorreram contribuições das outras direções dos quadrantes N-W e N-E.

Em relação à temperatura e umidade relativa do ar foi observado que a maioria das ultrapassagens do padrão de ozônio em dias em que a máxima temperatura encontra-se na faixa entre 25 e 32°C e em que a mínima umidade encontra-se abaixo de 50%.

As condições meteorológicas nos dias de episódios somente em Sorocaba são de céu claro com direção predominante de vento do quadrante E-S. Estas condições, na maioria dos episódios, foram provocadas pela atuação do anticiclone polar marítimo sobre a parte leste do Estado de São Paulo. Nos dias em que também ocorrem episódios na RMSP, são também dias quentes com céu claro, porém com direção de vento em Sorocaba variando em todos os quadrantes, mas com maior contribuição de ventos do quadrante N-W.

Nos casos de episódios somente em Sorocaba, quando a predominância da direção do vento é do quadrante E-S, pode-se considerar que há um transporte do ozônio e de seus precursores oriundos de fontes localizados a leste e sudeste de Sorocaba. Quando há também episódios na RMSP, em Sorocaba há contribuições de fontes locais e/ou localizadas a norte e a oeste da região.

O comportamento médio das concentrações de NO , NO_2 e O_3 segue o padrão típico de comportamento encontrado na literatura, ou seja, há um pico de NO às 8 horas devido ao aumento do tráfego de veículos; às 9 horas há ligeiro aumento de NO_2 , que decresce logo em seguida com o início do aumento da concentração de O_3 , que atinge um pico às 15 horas. A concentração de NO apresenta valores quase nulos no período de alta concentração de ozônio.

Em relação aos valores de AOT40, em Sorocaba observou-se que as ultrapassagens do valor de referência de $6000\mu\text{g}/\text{m}^3$ ocorreram principalmente nos trimestres da primavera e verão, quando atingiram valores de $11.000\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2. SEGUNDA PARTE - MAPEAMENTO DE OZÔNIO NA REGIÃO URBANA DE SOROCABA

2.1. Introdução

O biomonitoramento, considerado um poderoso instrumento de avaliação da saúde ambiental em locais impactados pela poluição, constitui, efetivamente, uma maneira de estimar a concentração de ozônio troposférico, de forma fácil e economicamente viável (SHUGART, 1994).

Os bioindicadores podem ser definidos como organismos ou comunidades de organismos que respondem à poluição ambiental, por modificar suas funções vitais, ou acumular toxinas (ARNDT, 1989). Nesse sentido, as plantas apresentam-se como excelentes sensores do impacto causado por estresses antropogênicos do ambiente (FIGUEIREDO, 1994).

Enquanto os índices registrados, através de instrumentos, se restringem a um momento específico de observação da poluição ambiental, sem informar sobre os efeitos que ela provoca ao longo do tempo, os bioindicadores apesar de levarem mais tempo para apresentar resultados e fornecer informações menos precisas, complementam à aquelas obtidas pelos sensores automatizados. Permitem avaliar, não só o índice de poluição presente no ar, mas as conseqüências que o acúmulo de substâncias tóxicas trazem aos organismos, bem como o tempo de duração destas conseqüências (PRADO FILHO, 1993).

Desde 1962, a variedade de tabaco *Nicotiana tabacum* Bel W3, tem sido usada como um indicador da presença de diferentes concentrações de ozônio, apresentando, facilmente, sintomas reconhecíveis após algumas semanas de exposição de folhas novas, totalmente expandidas. Essa espécie desenvolve, primeiramente, lesões bifaciais e mostram diferenças nas quantidades de injúrias agudas e crônicas, quando expostas à diferentes doses de exposição em ambientes controlados e sob condições de campo (HEGGESTAD, 1991).

Diversos estudos de mapeamentos do ozônio, utilizando-se, principalmente, o tabaco como indicador de ozônio, tem sido desenvolvidos nesta última década, destacando-se aqueles realizados na Espanha (Gimeno et al., 1995), Estônia (Koppel & Sild, 1995), Itália (Nali et al., 1998; Allegrini et al., 1992), França (Garrec & Radnai, 1996), Reino Unido (Fowler et al., 1995; Ashmore et al., 1980), China (Garrec et al., 1998), Ucrânia (Blum et al., 1997) e em várias regiões norte americanas (Kelleher & Feder, 1978).

No Brasil, o estudo dos efeitos de poluentes na vegetação é bastante recente e vem sendo desenvolvido por poucos grupos nacionais de pesquisa.

A CETESB, em função de sua atribuição de controle da poluição do ar no Estado de São Paulo, vem desenvolvendo estudos com o tabaco, no intuito de conhecer e adaptar esta ferramenta às ações de controle. Neste contexto, em função do registro de ultrapassagens dos limites legais de ozônio, a Região Urbana de Sorocaba foi escolhida como a primeira área a ser estudada com a aplicação de uma rede de biomonitoramento do ozônio troposférico utilizando-se o tabaco como instrumento de medição.

Este estudo tem por objetivo o mapeamento do ozônio, com levantamento de dados que permitam aprimorar o conhecimento da dinâmica de ocorrência do ozônio troposférico na região urbanizada do município de Sorocaba.

2.2. Material e Métodos

2.2.1. Localização e caracterização da área de estudo

Geograficamente, o município de Sorocaba situa-se na chamada Depressão Periférica e possui um relevo que pode ser caracterizado como levemente ondulado a ondulado com altitude média de 600 metros, sendo que seu ponto mais alto chega a 1.028 metros. Com relação a seu clima, a cidade apresenta uma temperatura média das máximas em torno de 30°C no verão e média das

temperaturas mínimas de 12°C no inverno. A precipitação média anual é de 1.350mm das quais cerca de 80% ocorre no período de outubro a março. Os ventos predominantes são do quadrante este-sul. Saliente-se que, assim como em outras regiões do estado a umidade relativa do ar, no período seco, chega a atingir valores de 15%, principalmente no mês de setembro. A altitude entre os locais de exposição variou de 574m a 642m.

A área de estudo situa-se entre as coordenadas 23°20'00"S / 23°40'00"S e 47°20'00" W / 47°35'00" W (figura 2.1).

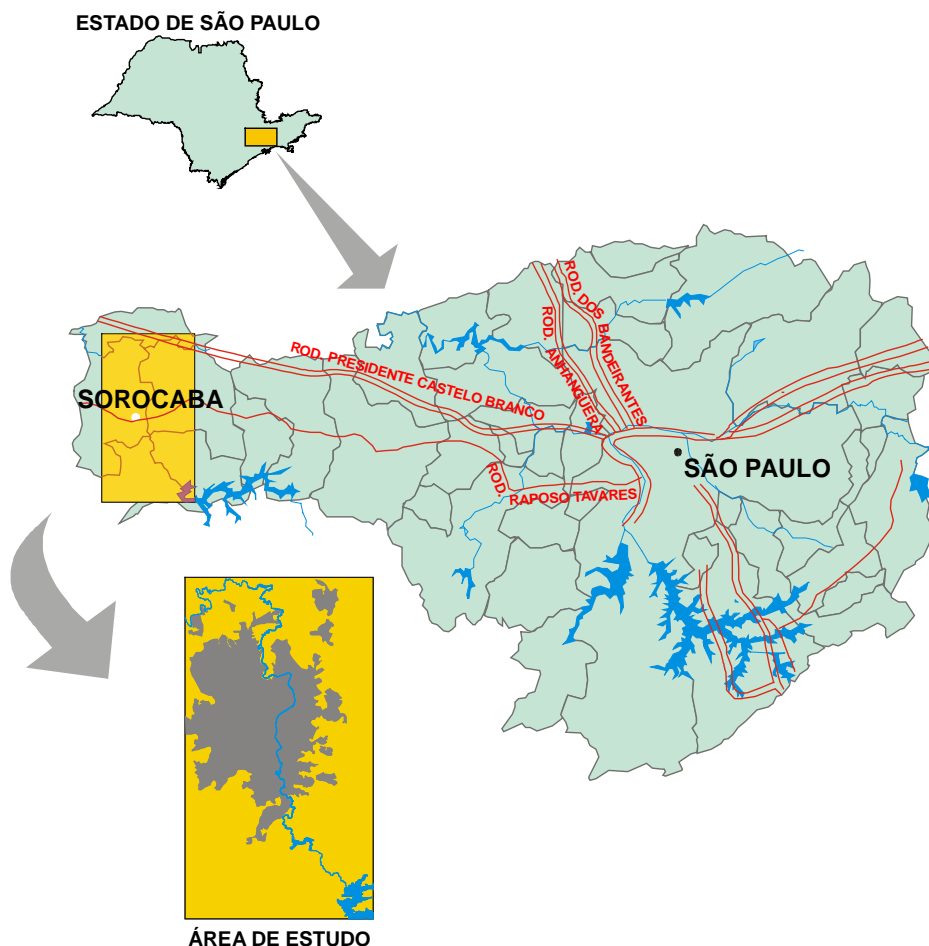


FIGURA 2.1 - Localização da Área de Estudo.

O município possui um perfil industrial bastante diversificado, contando atualmente com aproximadamente 1400 indústrias (CETESB,2003), das quais 18 são consideradas prioritárias para controle da poluição atmosférica, em função de sua atividade e potencial de emissão (figura 2.2).

Foram selecionados dezenove locais, em função de sua distribuição espacial, no entorno da Região Urbanizada de Sorocaba (Tabela 1). Na maioria dos pontos utilizou-se o espaço existente nas escolas da Rede Municipal de Ensino, principalmente a pré-escola, com exceção de apenas três destes dezenove pontos (Tiro de Guerra do Exército, Cemitério e DIRA). Ressalta-se que uma das escolas divide o espaço com a estação telemétrica da CETESB, sendo portanto uma referência da ocorrência de ozônio no período amostrado e fornecedora de dados meteorológicos, principalmente no que se refere à direção e velocidade de vento.

TABELA 2.1 – Coordenadas e altitude dos pontos.

LOCAL	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)	Altitude (m)
02 - Vl. Santana	249441	7400476	642
14- ÉDEN	253181	7408163	634
20- Cemitério	251230	7399315	612
23- Jd. Dos Estados	247238	7396796	617
30- Jd. São Paulo	245198	7395941	622
31- Estação Sorocaba (Telemétrica)	246851	7398684	631
34- Vila Rica	251635	7400634	574
36- Jd. São Romão	244212	7399087	620
41- Jd. Maria Eugênia	245475	7403785	595
44- Vl. Carvalho	247937	7400090	620
46- Retiro S. João	250748	7403444	634
52- Vl. Melges	247988	7401775	622
55- Jd. Sta. Mariana II	247789	7405071	621
61-Vila Helena	244567	7402691	626
68- Vl. Angélica	247065	7401338	628
78- Vl. Sabiá	251479	7396509	628
79- Jd. Botucatu	243502	7403777	620
DIRA	247783	7398106	619
Tiro de Guerra	250130	7398077	593

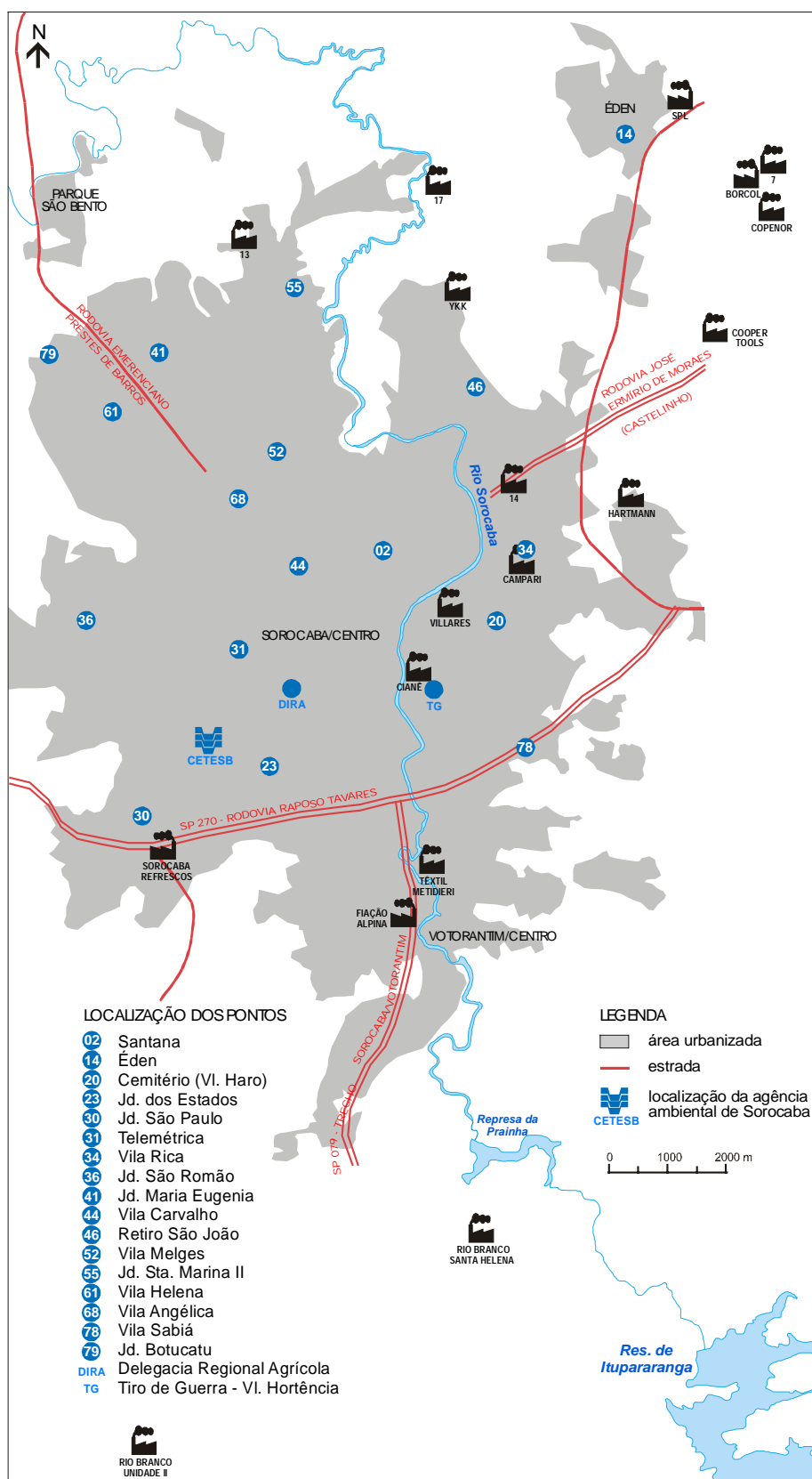


FIGURA 2.2 - Localização das indústrias prioritárias e dos pontos de exposição de *Nicotiana Tabacum* Bel W3 em Sorocaba (SP).

2.2.2. Cultivo e desenvolvimento

Os indivíduos foram plantados em substrato padronizado (PLANTMAX) e mantidos desde a germinação das sementes (doadas pelo Centro de Produção de Sementes da Universidade da Carolina do Norte) até o estágio de plântula, prontas para a exposição, em câmpulas fechadas com atmosfera isenta de ozônio, garantida por meio da filtragem do ar por carvão ativado, conforme metodologia descrita em CETESB (2000b).

2.2.3. Critérios de avaliação do aparecimento de injúrias

A avaliação do efeito do ozônio nos indivíduos de tabaco expostos em cada ponto de amostragem, foi feita por meio de uma estimativa dos sintomas de injúrias visíveis presente após um período de 28 dias de exposição. A análise, de caráter visual e através da percentagem de injúrias foliares, foi comparada aos dados obtidos nos diversos pontos amostrados, bem como aos dados obtidos pela estação automática de monitoramento da qualidade do ar da CETESB (ocorrência de ozônio e dados meteorológicos) para posterior plotagem em mapa com escala 1:50000, elaborado à partir de imagem de satélite Landsat de setembro de 1999.

No que se refere aos valores de referência para proteção da vegetação, busca-se o conhecimento da dose mais baixa de ozônio capaz de produzir um efeito mensurável. O valor de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ de ozônio (aproximadamente 40 ppb) é citado, por diversos autores, como aquele a partir do qual injúrias podem ocorrer nas plantas de clima temperado (CETESB, 2002).

No desenvolvimento, na Europa, de uma abordagem de níveis críticos para proteger a vegetação da injúria por ozônio, tem sido aplicado o índice referente à exposição acumulada acima de 40 ppb (AOT40). Tal índice é a soma de todos os valores horários que excedem 40 ppb (por exemplo: o valor de 45 ppb observado em uma hora, significa $\text{AOT40} = 5 \text{ ppb}$) (CETESB, 2002).

O conceito de AOT40 é usado na Europa para mapear, geograficamente, áreas onde o ozônio ambiental excede níveis críticos. Esta abordagem é delineada para implementar estratégias de controle para reduções de emissões dos poluentes precursores de ozônio (CETESB, 2002).

Para avaliação qualitativa, os critérios utilizados variaram de acordo com os resultados obtidos em cada exposição. A discussão e apresentação dos dados levou em conta a ocorrência de injúrias significativas na ocasião da exposição, não sendo descartada no entanto, a possibilidade da ocorrência de ozônio em outras estações, mas tentando destacar os locais onde houveram indivíduos que apresentaram maior quantidade de injúria e conseqüentemente os locais que apresentaram maior ocorrência de ozônio. Sendo assim, para a confecção das figuras 2.2, 2.3, 2.4 e 2.5, foram adotados dois critérios distintos, a saber:

- Preferencialmente adotou-se o critério de média de injúrias foliares maiores que 20% para o mapeamento da presença de ozônio significativa na área de estudo, em função dos estudos anteriores apontarem esta faixa como a que melhor correlaciona ozônio versus AOT 40.
- Quando a média de injúrias foliares não ultrapassou os 20%, provavelmente em função da baixa ocorrência de ozônio troposférico durante o período de exposição, optou-se pelo mapeamento da presença de ozônio atmosférico utilizando as médias de injúrias foliares acima de 10%.

2.3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos estão sintetizados na Tabela 2.3.

Os níveis de ozônio foram capazes de induzir injúrias em todos os locais de estudo e em todas as exposições, no entanto, na tentativa de proporcionar a visualização e o entendimento da ocorrência do ozônio em Sorocaba, evidenciou-se, nas figuras 2.3, 2.4, 2.5 e 2.6, os pontos onde os bioindicadores apresentaram as maiores ocorrências de injúrias, de acordo com o critério descrito no item anterior.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) indica a AOT40 de 3000 ppb (6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de ozônio acumulados durante o período de 3 meses, como valor de referência para proteção da produtividade agrícola.

Dentre os valores de AOT40 medidos nas quatro exposições, a 4ª foi a única que ultrapassou o valor indicado pela OMS, salientando que a exposição foi de apenas 1 mês. Esta exposição foi também a que apresentou as maiores ocorrências de injúrias nos bioindicadores. As duas primeiras exposições não apresentaram valores altos de AOT40 e poucos picos de ozônio significativos. A terceira exposição apresentou uma quantidade maior de injúrias, mas não chegou a ultrapassar o valor de referência, ou seja, 1/3 do valor estipulado para 3 meses.

Na Tabela 2.2 é apresentado o número de ultrapassagens horárias por faixas de concentração de ozônio, medidas durante os diferentes períodos de exposição. É possível perceber que a 4ª exposição foi significativamente maior, sendo inclusive a única que apresentou ultrapassagem do padrão legal de $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 1h, estabelecido pela Resolução CONAMA 03/90 para proteção da saúde humana. A 3ª exposição não apresentou valores de ozônio comparáveis aos ocorridos na 4ª campanha, no entanto apresentou concentrações de ozônio maiores que as anteriores e, consequentemente, mais pontos com injúrias significativas. Nesta campanha, o número de ocorrências de concentrações de ozônio acima dos $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ foi muito superior às da 1ª e 2ª exposições.

TABELA 2.2 – Número de ocorrências horárias das diferentes faixas de concentração de O_3 medidos na estação automática da qualidade do ar da CETESB/ Sorocaba.

Faixas de concentração de ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Número de Ocorrências			
	1ª exposição	2ª exposição	3ª exposição	4ª exposição
80-100	17	50	50	65
101-120	9	12	30	43
121-140	3	5	2	42
141-160	1	1	0	29
>160	0	0	0	3
>80	30	68	82	182

A seguir são discutidos os resultados exposição por exposição.



Período de Exposição	Local de Exposição	AOT 40	Altura média	Média de folhas mortas	% de folhas com injúrias							média das injúrias >10%	Biomassa			
					s/injúrias	até 5%	5 a 10%	10 a 20%	20 a 30%	30 a 50%	> 50%		Caule	Folha	Raiz	Total
17/01/02	02 - Santana		42,5	3,16	41	31	0	14	7	3	3	28	1,92 ± 0,86	2,84 ± 1,31	0,93 ± 0,52	5,69 ± 2,65
	14 - Éden		41,3	2,66	32	48	13	3	3	0	0	15	1,71 ± 0,64	1,99 ± 0,59	0,65 ± 0,33	4,35 ± 1,55
	20 - Cemitério (Vi. Haro)		37,5	3,16	3	62	28	7	0	0	0	12	3,27 ± 1,47	5,79 ± 2,05	2,22 ± 0,93	11,3 ± 4,33
	23 - Jd. dos Estados		38,6	2,8	24	57	5	5	10	0	0	17	1,77 ± 1,06	2,80 ± 1,63	0,99 ± 0,53	5,56 ± 3,20
	30 - Jd. São Paulo		28,3	3,33	0	95	0	0	5	0	0	22	0,85 ± 0,52	1,54 ± 0,78	0,25 ± 0,17	2,64 ± 1,45
	31 - Telemétrica	612,11	53,8	3,16	3	52	7	28	7	3	0	18	4,94 ± 1,84	7,24 ± 1,51	3,09 ± 0,52	15,3 ± 3,61
	34 - Vila Rica		57,8	3	0	44	8	24	16	8	0	25	3,93 ± 1,06	4,74 ± 0,95	1,66 ± 0,35	10,3 ± 2,29
	36 - Jd. São Romão		34,0	1,83	42	29	0	13	13	4	0	21	1,76 ± 0,66	2,87 ± 1,1	0,80 ± 0,40	5,44 ± 2,13
	41 - Jd. Maria Eugenia		30,7	3,33	11	29	7	11	14	29	0	28	1,67 ± 0,42	2,92 ± 0,87	1,34 ± 0,48	5,93 ± 1,75
	44 - Vila Carvalho		47,0	2,66	9	53	19	13	0	6	0	19	2,47 ± 0,76	3,74 ± 0,88	1,28 ± 0,43	7,49 ± 2,04
	46 - Retiro São João		41,5	3,83	4	36	32	16	4	8	0	21	3,37 ± 1,65	5,09 ± 2,09	2,02 ± 0,87	10,5 ± 4,45
	52 - Vila Melges		17,8	3,33	21	36	29	7	7	0	0	19	0,83 ± 0,27	2,19 ± 0,39	0,97 ± 0,16	4,00 ± 0,73
	61 - Vila Helena		23,6	2,8	19	24	29	19	10	0	0	18	1,27 ± 1,21	3,17 ± 2,54	1,59 ± 1,23	6,03 ± 4,95
	68 - Vila Angélica		38,3	3,33	29	57	4	0	7	4	0	30	2,13 ± 1,43	3,09 ± 2,04	0,86 ± 0,54	9,58 ± 4,08
	78 - Vila Sabiá		37,3	3	7	60	20	10	0	3	0	18	2,56 ± 0,96	5,30 ± 1,47	2,02 ± 0,46	9,88 ± 2,84
	79 - Jd. Botucatu		26,0	2,6	27	41	5	23	5	0	0	17	1,59 ± 1,28	3,22 ± 2,24	1,09 ± 0,96	5,91 ± 4,44
15/02/02	Tiro de Guerra - Vi. Hortência		35,0	2,33	19	48	10	14	5	5	0	16	1,85 ± 1,52	2,65 ± 1,93	1,13 ± 0,93	5,63 ± 4,34
	DIRA		42,7	2,5	6	67	21	6	0	0	0	11	2,75 ± 1,06	4,07 ± 1,14	2,03 ± 0,63	8,85 ± 2,77
14/02/02	02 - Santana		31,5	1,5	27	55	15	3	0	0	0	11	1,01 ± 0,46	2,04 ± 0,75	0,46 ± 0,29	3,51 ± 1,46
	14 - Éden		32,7	2,5	27	50	14	5	5	0	0	16	0,95 ± 0,27	1,56 ± 0,35	0,37 ± 0,11	2,88 ± 0,72
	20 - Cemitério (Vi. Haro)		29,8	2,5	63	37	0	0	0	0	0	0	1,91 ± 0,28	4,44 ± 0,73	2,06 ± 0,62	8,42 ± 1,58
	23 - Jd. dos Estados		24,3	2	17	57	10	13	3	0	0	14	0,85 ± 0,29	1,80 ± 0,5	0,41 ± 0,18	3,07 ± 0,96
	30 - Jd. São Paulo		26,8	4,16	28	45	0	0	0	0	0	17	1,30 ± 0,46	2,62 ± 0,97	1,06 ± 0,37	4,98 ± 1,78
	31 - Telemétrica	1079,99	23,8	2	61	39	0	0	0	0	0	0	1,73 ± 0,42	3,9 ± 1,07	1,93 ± 0,51	7,56 ± 1,79
	34 - Vila Rica		33,5	4,16	54	37	9	0	0	0	0	0	1,92 ± 0,79	2,65 ± 0,84	1,48 ± 0,63	6,05 ± 2,25
	36 - Jd. São Romão		23,8	2,5	19	41										

33

TABELA 2.3 -Continuação.

Período de Exposição	Local de Exposição	AOT 40	Altura média	Média de folhas mortas	% de folhas com injúrias							média das injúrias >10%	Biomassa			
					s/injúrias	até 5%	5 a 10%	10 a 20%	20 a 30%	30 a 50%	> 50%		Caule	Folha	Raiz	Total
16/07/02 a 20/08/02	02 - Santana		21,5	2,33	12	85	0	3	0	0	0	11	0,7 ± 0,2	1,7 ± 0,4	0,2 ± 0,1	2,6 ± 0,6
	14 - Éden		43,6	2,16	3	88	9	0	0	0	0	10	1,7 ± 0,5	2,6 ± 0,7	0,3 ± 0,2	4,5 ± 1,4
	20 - Vila Haro		26,3	1,83	29	68	0	3	0	0	0	12*	0,6 ± 0,1	1,3 ± 0,2	0,2 ± 0,1	2,2 ± 0,4
	23 - Jd. dos Estados		28	3	12	85	0	3	0	0	0	15	1,1 ± 0,2	2,4 ± 0,5	0,5 ± 0,1	3,9 ± 0,7
	30 - Jd. São Paulo		25,1	2	12	68	8	8	4	0	0	19	0,8 ± 0,4	2,5 ± 0,6	0,4 ± 0,2	3,7 ± 1,1
	31 - Telemétrica	1462	23,8	2	50	43	7	0	0	0	0	0	1,3 ± 0,4	3,6 ± 0,8	0,8 ± 0,4	5,8 ± 1,2
	34 - Vila Rica		26,7	2,5	0	33	30	22	4	11	0	20	1,0 ± 0,3	2,0 ± 0,5	0,1 ± 0,1	3,8 ± 0,8
	36 - Jd. São Romão		30,3	1,83	10	81	6	3	0	0	0	12	1,5 ± 0,4	3,1 ± 0,7	0,8 ± 0,3	5,5 ± 1,2
	41 - Jd. Maria Eugenia		36,7	2,33	24	65	6	6	0	0	0	11*	3,1 ± 1,0	6,2 ± 2,2	1,4 ± 0,4	10,8 ± 3,6
	44 - Vila Carvalho		32,5	2,33	3	67	18	9	0	3	0	16	1,8 ± 0,5	3,6 ± 1,0	0,5 ± 0,2	5,9 ± 1,6
	46 - Retiro São João		26,4	3,8	10	43	38	10	0	0	0	11	1,2 ± 0,5	2,7 ± 0,7	0,6 ± 0,3	4,5 ± 1,5
	52 - Vila Melges		27,8	2,8	27	73	0	0	0	0	0	0	2,3 ± 1,0	4,4 ± 1,8	1,3 ± 0,7	8,0 ± 3,4
	55 - Jd. Sta. Marina II		23,8	2,75	24	59	18	0	0	0	0	10*	1,7 ± 0,3	3,6 ± 0,3	0,9 ± 0,2	6,2 ± 0,7
	61 - Vila Helena		27	3	25	67	8	0	0	0	0	0	2,3 ± 1,6	5,4 ± 3,9	1,1 ± 1,0	8,9 ± 6,5
	68 - Vila Angélica		40	2,33	3	88	9	0	0	0	0	0	2,7 ± 0,7	4,8 ± 1,7	0,5 ± 0,3	8,0 ± 2,6
08/10/02 a 06/11/02	78 - Vila Sabiá		9,1	1,5	67	17	11	6	0	0	0	11*	0,4 ± 0,4	1,3 ± 1,6	0,2 ± 0,3	1,8 ± 2,3
	79 - Jd. Botucatu		23,3	2,2	39	57	4	0	0	0	0	0	2,4 ± 1,1	5,6 ± 2,5	1,6 ± 0,8	9,6 ± 4,3
	DIRA		31,4	2,2	8	46	17	17	13	0	0	18	1,1 ± 0,5	2,4 ± 1,3	0,6 ± 0,4	4,1 ± 1,8
	Tiro de Guerra - VI. Hortência		25,6	2,8	16	84	0	0	0	0	0	0	1,1 ± 0,5	2,4 ± 1,1	0,4 ± 0,3	3,9 ± 1,9
	02 - Santana		20,6	4,2	33	29	4	13	4	17	0	30	0,9 ± 0,3	2,8 ± 1,1	0,6 ± 0,3	3,6 ± 2,2
	14 - Éden		27,8	2,5	15	26	22	26	11	0	0	18	0,8 ± 0,3	1,5 ± 0,4	0,2 ± 0,1	2,5 ± 0,8
	20 - Vila Haro		20,6	2,83	48	36	8	8	0	0	0	12	1,2 ± 0,3	2,4 ± 0,7	0,5 ± 0,2	4,1 ± 1,2
	23 - Jd. dos Estados		22,2	4,6	27	50	5	5	0	5	9	39	0,9 ± 0,3	1,8 ± 0,7	0,4 ± 0,2	2,5 ± 1,5
	30 - Jd. São Paulo		nenhum indivíduo se desenvolveu													
	31 - Telemétrica	6166	15,2	2,83	35	29	15	15	3	3	0	17	1,0 ± 0,1	2,9 ± 0,3	0,8 ± 0,1	4,7 ± 0,4
	34 - Vila Rica		29	4,6	23	26	13	16	6	13	3	28	2,1 ± 0,6	3,5 ± 0,9	1,1 ± 0,2	6,7 ± 1,5
	36 - Jd. São Romão		11,5	3,33	32	36	5	14	0	14	0	27	0,7 ± 0,2	1,4 ± 0,2	0,5 ± 0,1	2,6 ± 0,4
	41 - Jd. Maria Eugenia		24,7	3,66	15	27	12	8	15	19	4	32	0,8 ± 0,3	2,0 ± 0,5	0,3 ± 0,2	3,1 ± 0,9
	44 - Vila Carvalho		18,2	3,2	25	42	17	4	0	8	4	29	0,8 ± 0,4	2,4 ± 0,9	0,4 ± 0,2	3,0 ± 1,9
	46 - Retiro São João		16,2	5,5	37	22	0	4	22	7	7	38	0,6 ± 0,2	1,6 ± 0,6	0,3 ± 0,1	2,6 ± 0,9
	52 - Vila Melges		15,7	3,66	19	38	8	19	0	8	8	30	0,7 ± 0,3	2,3 ± 0,6	0,3 ± 0,1	3,3 ± 0,9
	55 - Jd. Sta. Marina II		20,6	2,8	48	38	5	10	0	0	0	14	1,3 ± 0,3	3,3 ± 0,8	1,0 ± 0,3	5,6 ± 1,4
	61 - Vila Helena		24	3	43	40	13	3	0	0	0	13	1,6 ± 0,3	3,8 ± 0,7	1,2 ± 0,2	6,6 ± 1,2
	68 - Vila Angélica		23,6	3,2	42	29	4	8	4	13	0	28	0,7 ± 0,3	1,8 ± 0,5	0,4 ± 0,3	2,4 ± 1,3
	78 - Vila Sabiá		17,2	3,6	32	58	5	5	0	0	0	13	1,7 ± 0,8	4,3 ± 1,9	0,9 ± 0,7	6,9 ± 3,3
	79 - Jd. Botucatu		19	4,6	38	29	24	5	5	0	0	13	1,5 ± 0,5	4,3 ± 1,6	0,9 ± 0,3	6,7 ± 2,4
	DIRA		19,4	1,6	48	52	0	0	0	0	0	0	1,4 ± 0,7	3,2 ± 1,4	0,8 ± 0,4	4,6 ± 3,0
	Tiro de Guerra - VI. Hortência		13,2	3,2	37	37	0	5	16	5	0	27	0,9 ± 0,4	2,4 ± 0,7	0,6 ± 0,3	3,2 ± 1,9

*apenas uma folha com injúria >10%

1ª EXPOSIÇÃO

Na primeira exposição, realizada entre 17/01/02 a 15/02/02, o ozônio acumulado durante o período (AOT40), obtido pela medição da qualidade do ar na estação telemétrica de Sorocaba (Ponto 31), foi de 612 $\mu\text{g}/\text{m}^3/28$ dias.

Nesta exposição foram considerados significativos aqueles pontos que apresentaram uma média de injúrias iguais ou superiores a 20% (figura 2.3), são eles: 02 (Santana), 30 (Jd. São Paulo), 34 (Vl. Rica), 36 (Jd. São Romão), 68 (Vl. Angélica), 41 (Jd. Maria Eugenia) e 78 (Vila Sabiá).

2ª EXPOSIÇÃO

A concentração de ozônio em AOT40, no período de 14/02/02 a 14/03/02, foi superior à primeira exposição, apresentando um valor de 1080 $\mu\text{g}/\text{m}^3/28$ dias.

O nível de injúrias observadas foi menor na segunda exposição, onde somente os pontos 02 (Santana), 14 (Éden), 23 (Jd. dos Estados), 30 (Jd. São Paulo), 36 (Jd. São Romão), 41 (Jd. Maria Eugênia) e 68 (Vl. Angélica) apresentaram médias das injúrias nas folhas acima de 10%, restringindo a área afetada, observada na primeira exposição (figura 2.4)

Os pontos 02 (Santana), 30 (Jd. São Paulo), 36 (Jd. São Romão), 41 (Jd. Maria Eugênia) e 68 (Vila Haro), representam uma área comum onde na primeira e segunda exposição apresentaram injúrias consideradas significativas.

3ª EXPOSIÇÃO

A concentração de ozônio em AOT40, no período de 16/07/02 a 20/08/02, foi superior à primeira e segunda exposição, apresentando um valor de 1462 $\mu\text{g}/\text{m}^3/28$ dias.

O nível de injúrias observadas nos bioindicadores foi próximo ao da segunda exposição, com um ligeira mudança nos locais onde essas injúrias foram iguais ou superiores a 10% (em média). Os locais onde os bioindicadores apresentaram injúrias foliares acima de 10% foram os pontos 02 (Santana), 14 (Éden), 23 (Jd. Dos Estados), 30 (Jd. São Paulo), 34 (Vl. Rica), 36 (Jd. São Romão), 41 (Jd. Maria Eugênia), 44 (Vila Carvalho), 46 (Retiro São João), 55 (Jd Sta Marina II) e DIRA (figura 2.5).

4ª EXPOSIÇÃO

A concentração de ozônio em AOT40, no período de 08/10/02 a 06/11/02, foi muito superior à primeira, segunda e terceira exposição, apresentando um valor de 6166 $\mu\text{g}/\text{m}^3/28$ dias.

Nesta exposição o nível de injúrias foi a maior observada. Todos os pontos, com exceção do ponto DIRA, apresentaram média das injúrias foliares superiores a 10%. Foram considerados significativos aqueles que apresentaram uma média de injúrias iguais ou superiores a 20% (figura 2.6), a saber: 02 (Santana), 23 (Jd. dos Estados), 34 (Vl. Rica), 36 (Jd. São Romão), 41 (Jd. Maria Eugenia), 44 (Vl. Carvalho), 46 (Retiro São João), 68 (Vl. Angélica) e Tiro de Guerra (figura 2.6).

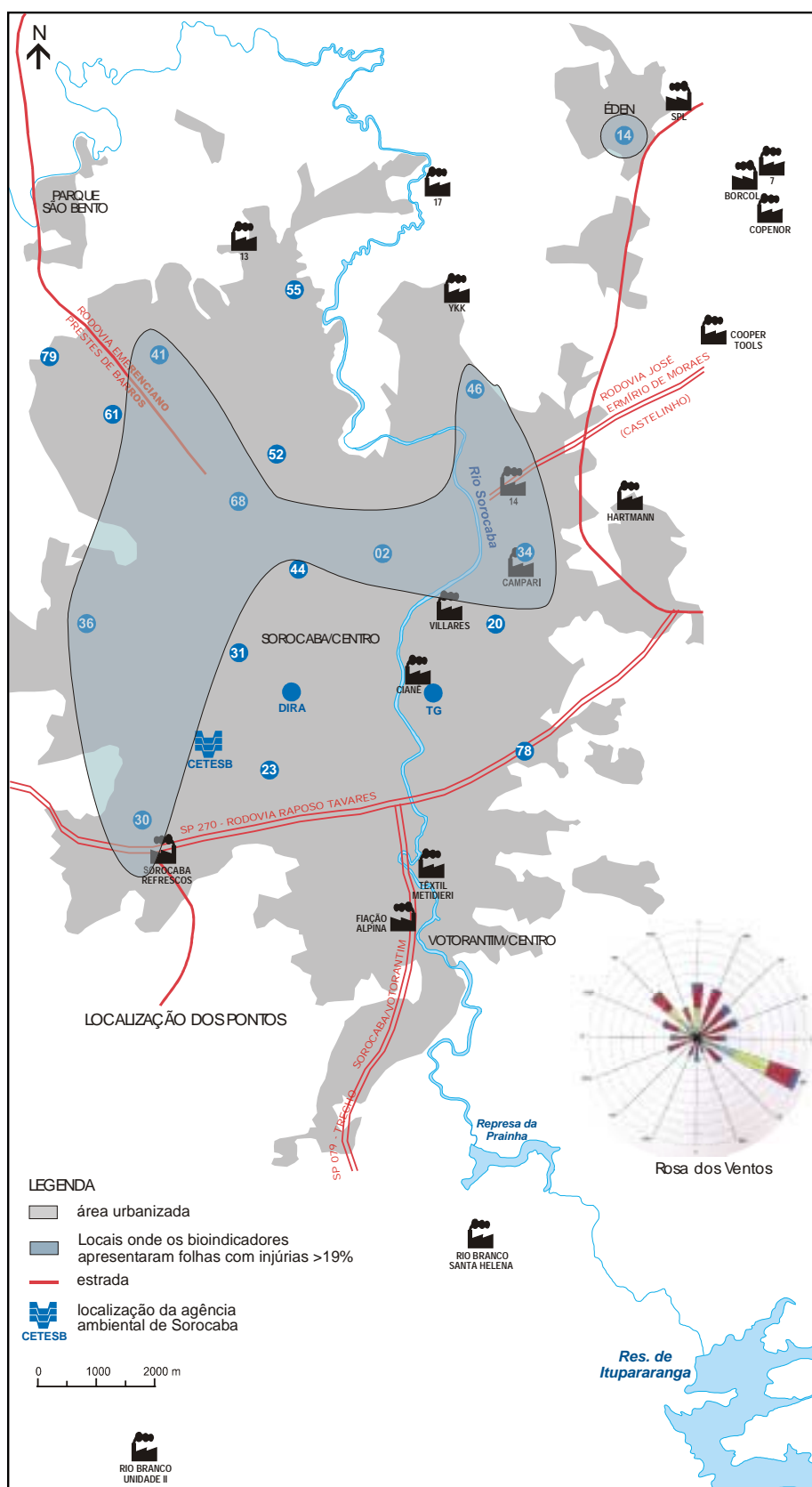


FIGURA 2.3 - Contorno da ocorrência de injúrias visíveis significantes em *Nicotiana tabacum* Bel W3 na área urbanizada do município de Sorocaba, no período entre janeiro e fevereiro de 2002.

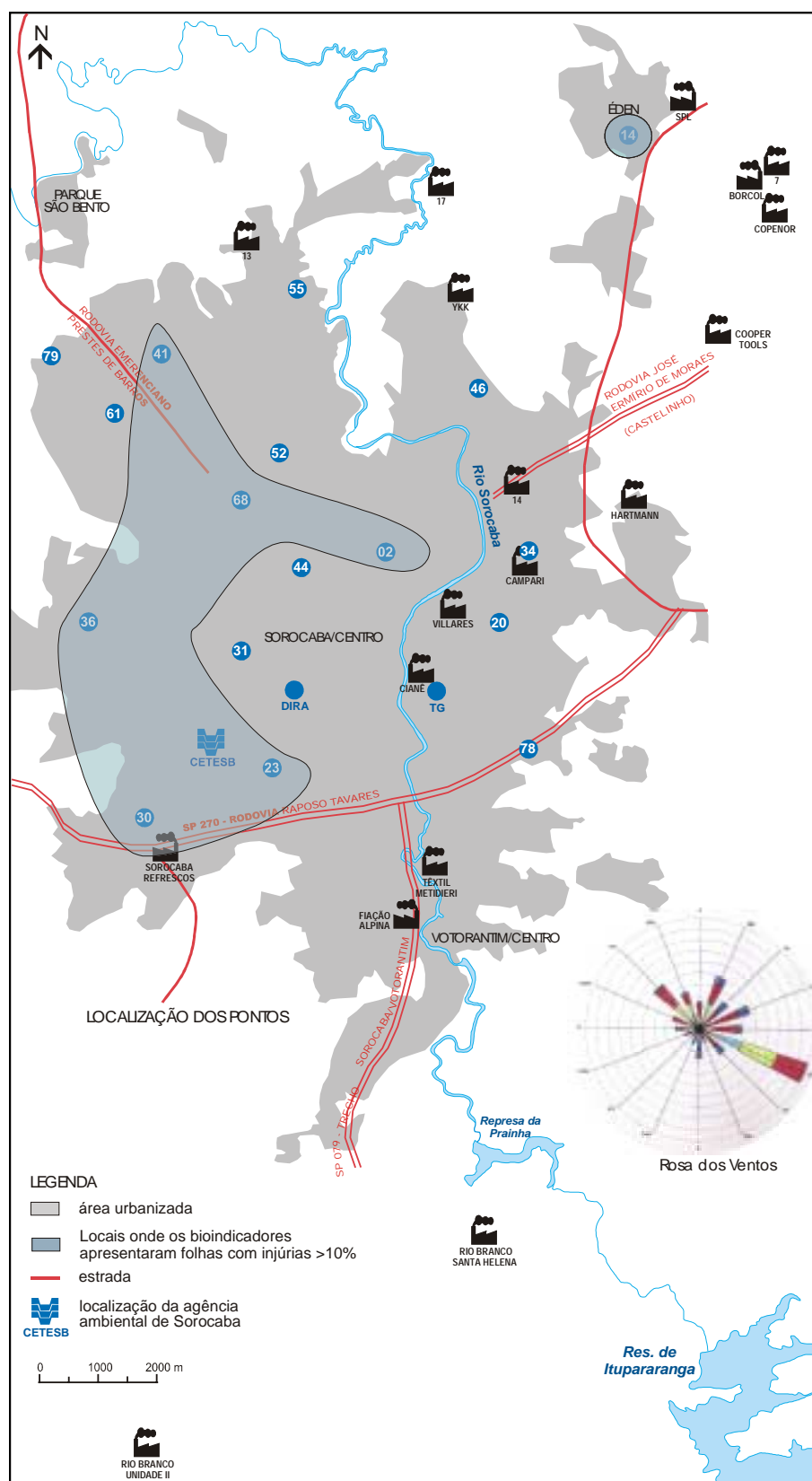


FIGURA 2.4 - Contorno da ocorrência de injúrias visíveis significativas em *Nicotiana tabacum* Bel W3 na área urbanizada do município de Sorocaba, no período entre fevereiro e março de 2002.

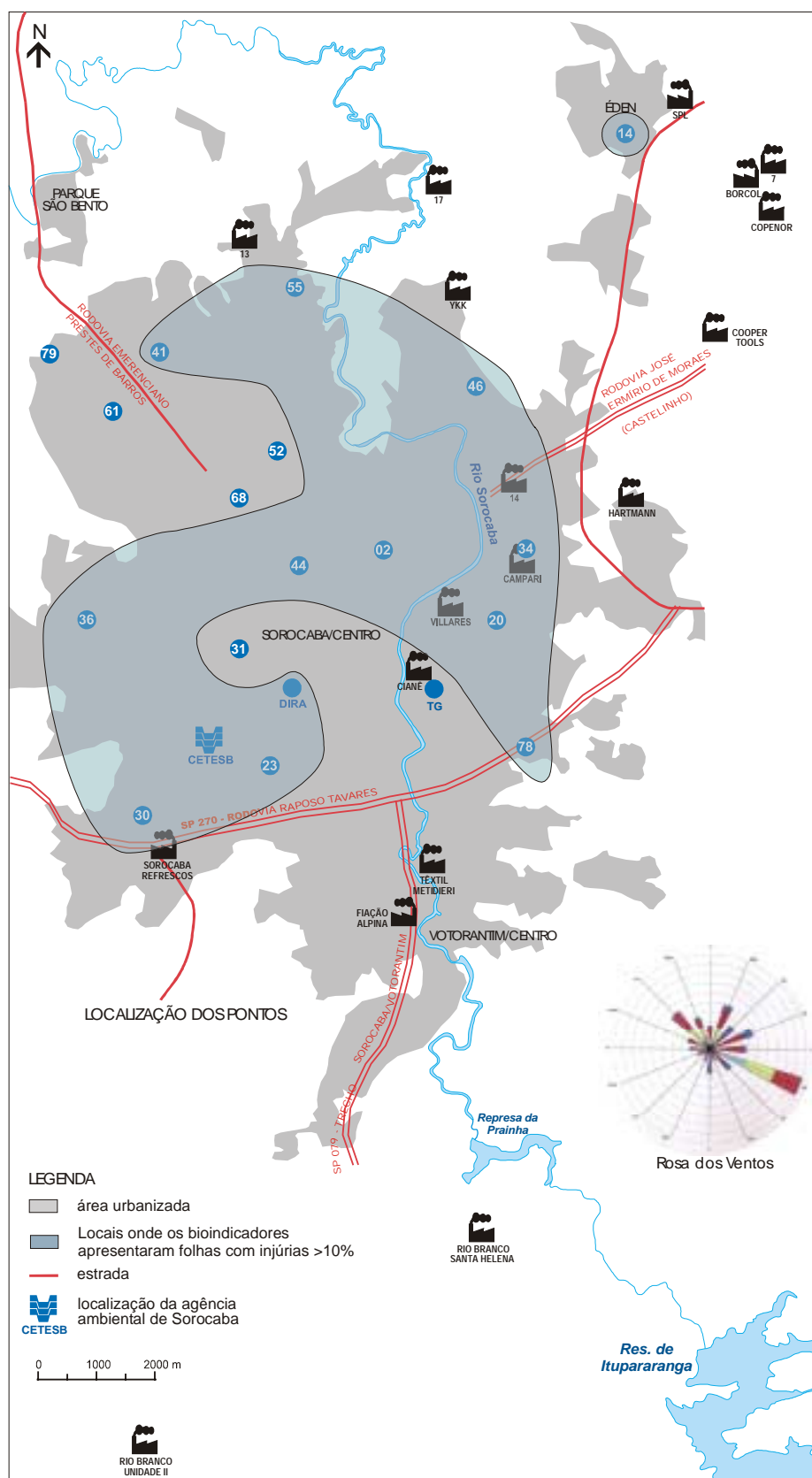


FIGURA 2.5 - Contorno da ocorrência de injúrias visíveis significantes em *Nicotiana tabacum* Bel W3 na área urbanizada do município de Sorocaba, no período entre julho e agosto de 2002.

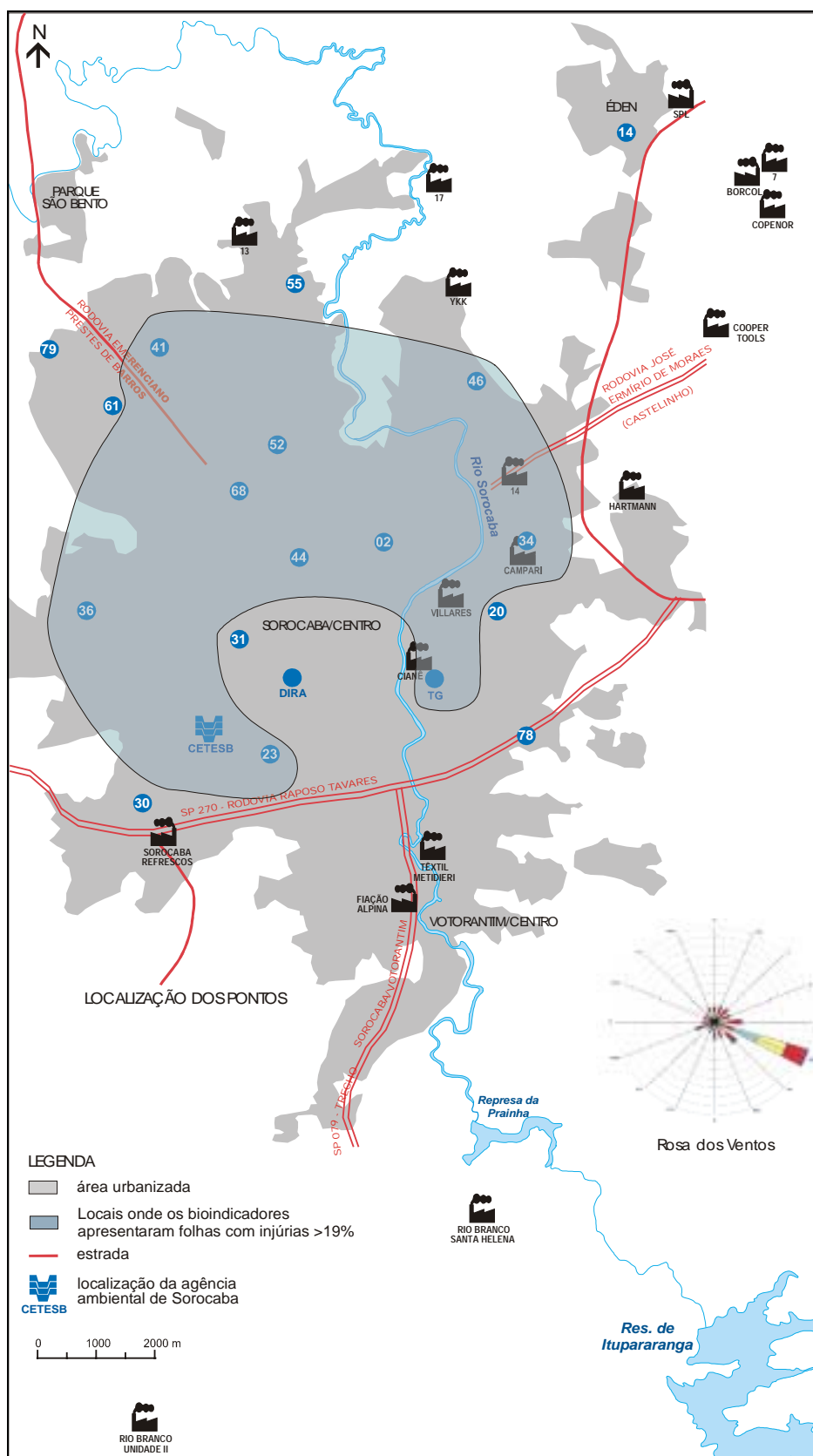


FIGURA 2.6 -Contorno da ocorrência de injúrias visíveis significantes em *Nicotiana tabacum* Bel W3 na área urbanizada do município de Sorocaba, no período de outubro de 2002.

É possível observar que a primeira e a quarta campanhas apresentaram alto níveis de injúrias foliares, porém a quarta campanha apresentou um AOT40 dez vezes superior ao da primeira campanha. Para avaliar esses fatos é necessário levar em consideração alguns fatores:

De acordo com a figura 2.7, a quarta campanha apresentou uma média de folhas mortas significativamente maior que as demais campanhas, efeito este induzido pela maior ocorrência de ozônio durante o período amostrado, que causou a morte precoce de folhas mais velhas, subestimando, de certa forma, os resultados obtidos na avaliação final dos indivíduos de tabaco expostos;

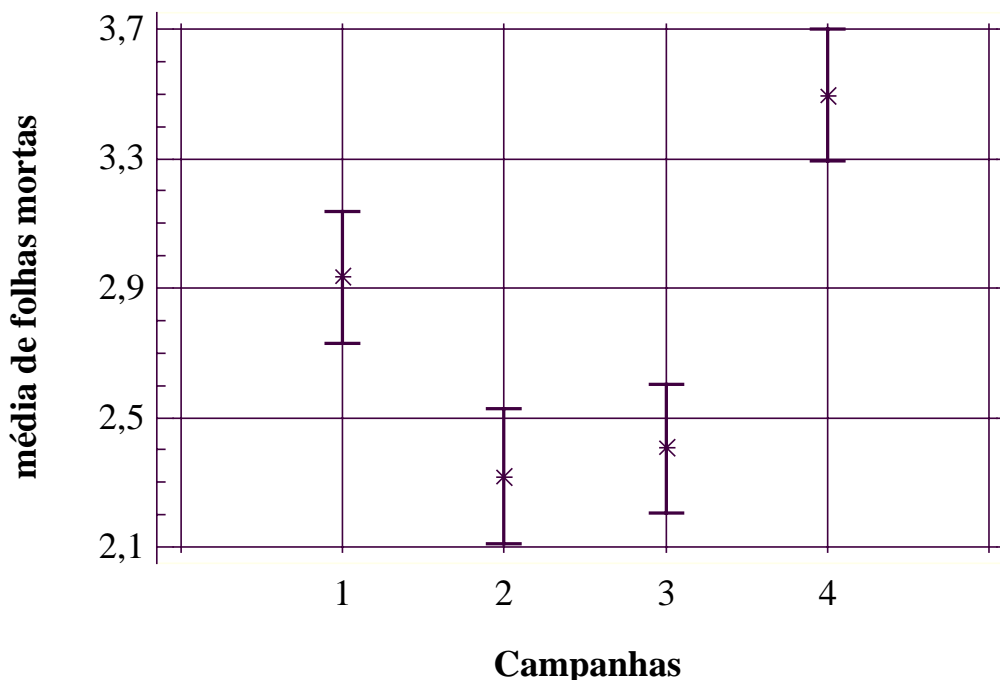


FIGURA 2.7 - Médias de folhas mortas (95% do intervalo de mínima diferença significativa) nas quatro campanhas de exposição do tabaco.

A primeira campanha foi realizada no verão, período em que, de maneira geral, as plantas estão metabolicamente mais ativas e, conseqüentemente, absorvem mais poluentes, tornando-as mais suscetíveis aos seus efeitos e ao aparecimento de injúrias.

Independente dos resultados obtidos isoladamente em cada campanha, nos quatro períodos de exposição o mapeamento apresentou maior ocorrência de injúrias e, portanto, indicando maior concentração de ozônio, na parte oeste e sudoeste da região estudada. Na terceira exposição soma-se ainda a ocorrência de injúrias na parte leste e, na quarta, ocorre uma generalização.

Ressalta-se que, os valores de AOT aumentaram ao longo do ano, atingindo valores maiores nas épocas mais propícias para a ocorrência de ozônio, ou seja, nos meses de primavera e verão, assim, na quarta exposição observou-se a ocorrência deste poluente de forma mais generalizada, afetando tanto em número de pontos de amostragem quanto em quantidade de injúrias.

No âmbito desta discussão, cabe destacar que o efeito de poluentes em plantas é função de uma série de fatores ambientais, tanto locais como sazonais, devendo assim ser entendido como uma ferramenta indicativa de tendências e que requer confirmação por meio de instrumentos com níveis de precisão maior, para subsidiar tomadas de decisão.

Muitos desses fatores afetam o comportamento dos estômatos, que são estruturas que regulam a entrada e saída de gases na folha e, conseqüentemente, por onde penetra o ozônio nas folhas.

Baixa umidade, alta temperatura ou ventos fortes diminuem a condutância estomática, diminuindo a dose efetiva de ozônio. Segundo Peñuelas (1999), o monitoramento em diferentes localidades e períodos do ano pode levar a uma sub ou super estimativa dos níveis de ozônio, fazendo-se necessário considerar a temperatura, umidade e vento na avaliação dos resultados.

Dentro deste contexto, vale mencionar que a estação telemétrica situa-se numa área mais exposta aos ventos em relação aos demais pontos de amostragem, até porque objetiva a medição de uma série de poluentes atmosféricos e de dados meteorológicos, mas que talvez possa ser preponderante na diferenciação da ocorrência de injúrias visíveis entre os demais locais não tão expostos, considerando que em nenhuma das quatro exposições, destacou-se por apresentar altos níveis de injúrias nas plantas bioindicadoras, a ponto de constar como área afetada, embora estivesse próximo da linha de corte em todas as exposições.

Por fim, há de se considerar ainda que a resposta da planta é influenciada mais por altas concentrações de O_3 por um curto período de tempo (injúria aguda), do que exposições por longo período de tempo em baixas concentrações de O_3 (injúria crônica) (KRUPA & MANNING, 1988). Sendo assim, conforme apresentado na figura 2.8, é possível perceber que tanto a primeira exposição como a quarta foram aquelas que apresentaram a ocorrência de maiores picos de concentração de ozônio, razão pela qual ocorreram maiores níveis de injúrias foliares, embora a primeira campanha tenha registrado uma AOT40 menor que as demais campanhas.

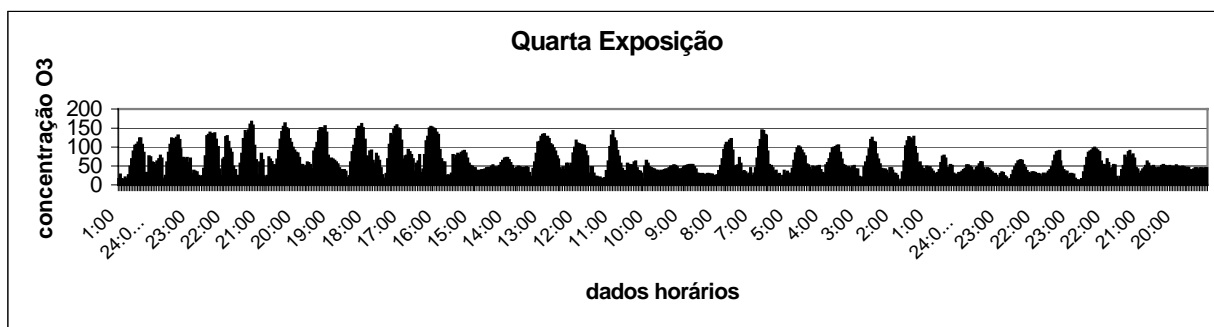
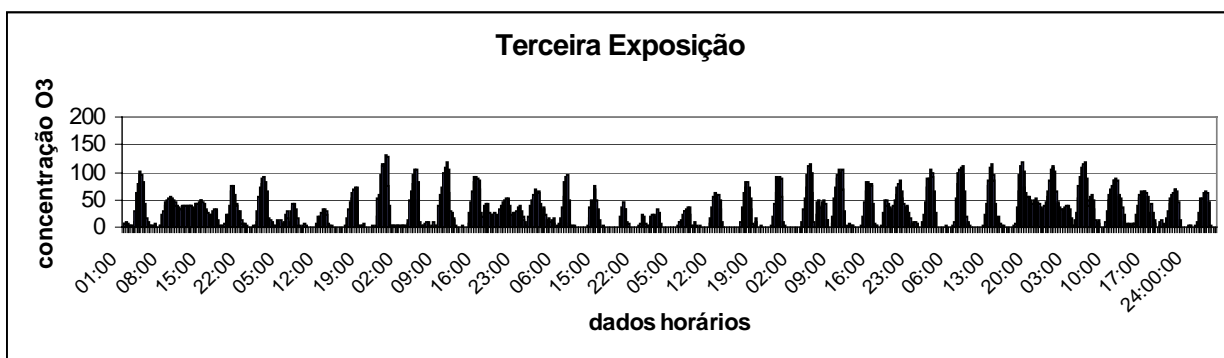
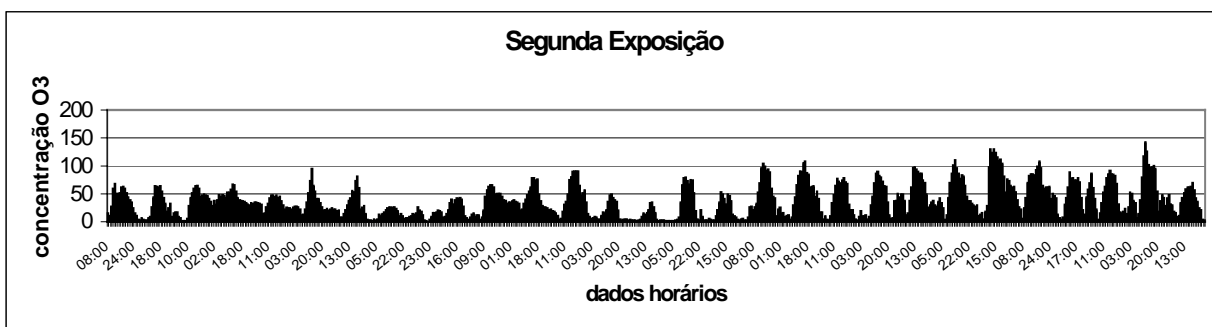
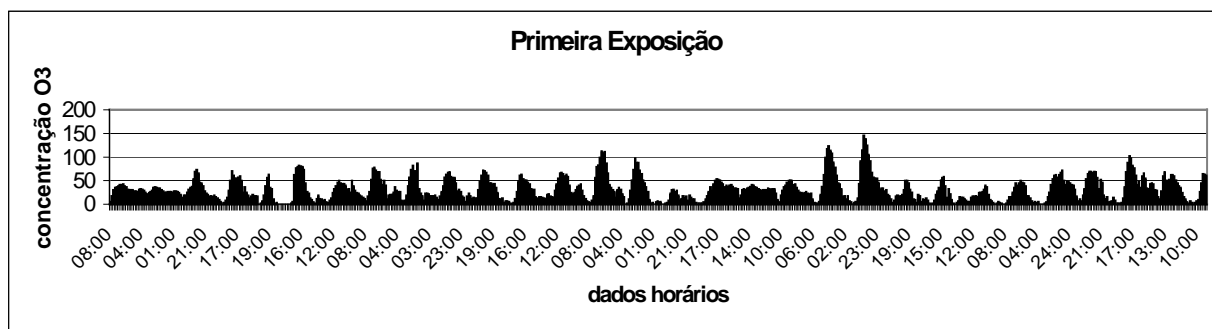


FIGURA 2.8 - Dados de ocorrência de ozônio ao longo dos períodos de exposição, nas quatro campanhas.

2.4. Conclusões e Sugestões

De acordo com o citado no item anterior, pode-se concluir:

- Independente dos resultados obtidos isoladamente em cada campanha, nos quatro períodos de exposição, o mapeamento apresentou maior ocorrência de injúrias e, portanto, indicando maior concentração de ozônio, na parte oeste e sudoeste da região estudada. Na terceira exposição soma-se ainda a ocorrência de injúrias na parte leste e, na quarta, ocorre uma generalização.
- Os valores de AOT aumentam ao longo do ano, atingindo valores maiores nas épocas mais propícias para a ocorrência de ozônio, ou seja, nos meses de primavera e verão, portanto, na quarta exposição observou-se a ocorrência deste poluente de forma mais generalizada, afetando tanto em número de pontos de amostragem quanto em quantidade de injúrias.

Sugestões:

- Realização de estudos complementares, a fim de identificar fontes prioritárias e suas contribuições para a formação do ozônio;
- Realizar campanhas de medições automatizadas, concomitantes às realizadas pela estação medidora da CETESB, em pontos distintos da cidade, de forma a permitir a comparação e, conseqüentemente, a verificação da possível ocorrência de níveis mais elevados de ozônio do que aquele medido pela estação. Dentro desta premissa e em função dos resultados obtidos, sugere-se medição nas regiões onde estão localizados os pontos denominados 02 (Santana) e/ou 36 (Jd. São Romão).

3. TERCEIRA PARTE - MONITORAMENTO DO OZÔNIO NO EIXO SÃO PAULO-SOROCABA COM A UTILIZAÇÃO DO BIOINDICADOR - *Nicotiana tabacum* Bel W3

3.1. Introdução

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), o ozônio ultrapassa freqüentemente o padrão de qualidade do ar de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 (CETESB, 2000a).

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. De acordo com as medições realizadas pelas estações telemétricas da CETESB no período de 1996 a 1998 (CETESB, 2000a), pôde-se observar que o vento predominante sobre a RMSP é de direção sul/sudeste.

Com o objetivo de conhecer a trajetória do transporte de ozônio na RMSP, o Setor de Ecossistemas Terrestres - ESSE da CETESB, realizou campanhas de monitoramento em alguns municípios da região abrangida pelo eixo São Paulo Sorocaba, com a utilização de um indicador biológico de poluição.

3.2. Material e Método

3.2.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo

A RMSP possui uma extensão de aproximadamente 8.000km^2 com altitudes que variam de 650 a 1200m. Caracterizada como um dos maiores conglomerados humanos do mundo, com uma população de aproximadamente 18 milhões de pessoas, possui um grande parque industrial além de uma frota em torno de 6 milhões de veículos leves (CETESB, 2001).

As principais fontes de poluição do ar na RMSP são os veículos automotores, seguido por processos industriais, queima de resíduos, movimentação e estocagem de combustíveis, etc. (CETESB, 2001).

Foram selecionados para o monitoramento do transporte de ozônio no eixo São Paulo - Sorocaba (leste-oeste), os seguintes municípios: Cotia, Vargem Grande, Ibiúna, São Roque, Mairinque e Alumínio (figura 3.1).



FIGURA 3.1 - Localização da Área de Estudo

3.2.2. Cultivo, desenvolvimento e critérios de avaliação do aparecimento de injúrias

O cultivo, o desenvolvimento e a avaliação do efeito do ozônio nos indivíduos de tabaco expostos em cada ponto de amostragem, foram realizados utilizando-se os mesmos critérios estabelecidos na Segunda Parte deste documento, intitulado Mapeamento de Ozônio na Região Urbana de Sorocaba.

3.3. Resultados e Discussão

As exposições foram realizadas nos períodos de 27/02/02 a 27/03/02, 04/06/02 a 03/07/02, 08/10/02 a 06/11/02 e 20/02/03 a 19/03/03.

Os resultados obtidos estão sintetizados na Tabela 3-1.

TABELA 3.1 - Resumo dos Dados das Exposições de *Nicotiana Tabacum* Bel W3 ao O₃, no eixo São Paulo – Sorocaba.

Período de Exposição	Local de Exposição	Altura média	Folhas mortas	Folhas Vivas	% de folhas com injúrias							média das injúrias >10%
					s/injúrias	até 5%	5 a 10%	10 a 20%	20 a 30%	30 a 50%	> 50%	
27/02/02 a 27/03/02	Cotia	16,9	7	28	36	39	14	7	4	0	0	18
	Vargem Grande	17,3	7	28	7	89	0	4	0	0	0	15*
	Ibiúna	14,5	3	29	28	41	7	24	0	0	0	15
	São Roque	21,8	5	30	20	43	7	7	13	10	0	25
	Mairinque	13	4	32	66	34	0	0	0	0	0	0
04/06/02 a 03/07/02	Alumínio	26,3	6	30	23	37	10	13	13	3	0	20
	Cotia	5,6	3	27	52	44	4	0	0	0	0	0
	Vargem Grande	3,5	1	23	96	4	0	0	0	0	0	0
	Ibiúna	3,2	3	25	72	8	8	12	0	0	0	16
	São Roque	8,4	10	19	21	26	11	16	11	16	0	29
15/10/02 a 13/11/02	Mairinque	7,0	10	19	74	26	0	0	0	0	0	0
	Alumínio	6,2	9	21	48	48	0	5	0	0	0	10
	Cotia	23,8	8	28	11	46	18	18	7	0	0	18
	Vargem Grande											
	Ibiúna	18,8	10	26	8	65	19	8	0	0	0	17*
20/02/03 a 19/03/03	São Roque	12,8	14	22	14	36	18	18	5	9	0	21
	Mairinque	13,3	7	11	18	55	18	9	0	0	0	14
	Alumínio	18,6	13	16	19	69	6	6	0	0	0	13*
	Cotia	25,3	6	30	30	53	7	10	0	0	0	13,5
	Vargem Grande	19,2	6	24	21	46	25	8	0	0	0	12
	Ibiúna	28,4	3	27	15	52	0	22	11	0	0	19,5
	São Roque	18,7	4	32	22	31	0	13	25	9	0	26
	Mairinque	18,0	4	32	25	25	13	34	3	0	0	15
	Alumínio	11,3	6	30	53	47	0	0	0	0	0	0

De uma maneira geral, conforme a Tabela 3-1, na segunda campanha (inverno) os bioindicadores apresentaram desenvolvimento em altura inferior, quando comparado com a primeira, a terceira campanha e quarta campanha. Tais resultados corroboram com outros obtidos em campanhas anteriores, entendendo-se que no período de inverno as plantas estão com metabolismo menos acelerado, o que resulta num crescimento bastante reduzido em comparação ao desenvolvimento em outras épocas do ano, principalmente no verão.

Nas quatro campanhas foram observadas injúrias nos indivíduos expostos, conforme pode ser verificado na figura 3.2.

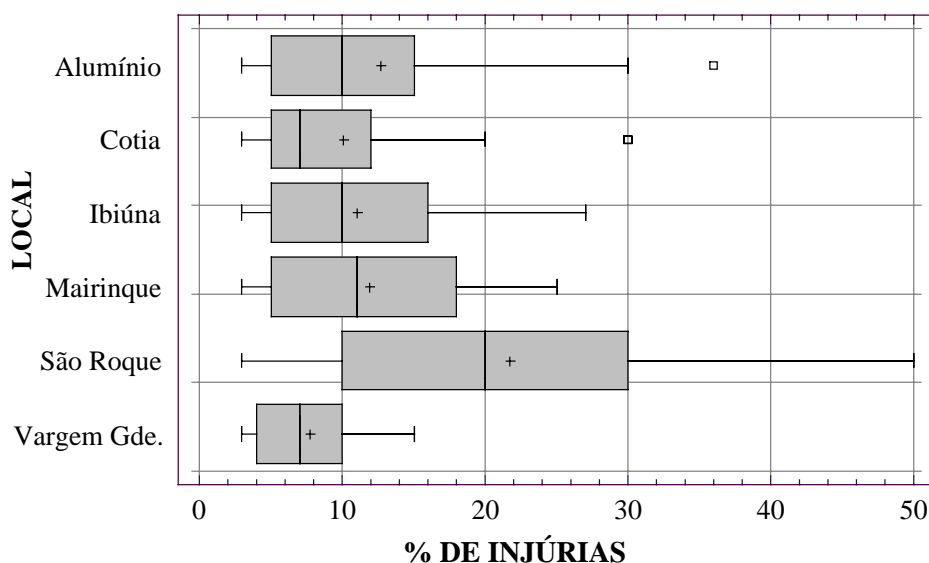


FIGURA 3.2 - Diagrama ilustrativo das porcentagens de injúria foliar após 4 campanhas de exposição de *Nicotiana tabacum* Bel W3 em diversos pontos no eixo São Paulo – Sorocaba.

De acordo com a figura 3.2, o local que apresentou maior média e mediana de porcentagem de injúrias nas folhas foi o Município de São Roque, seguido de Alumínio, Mairinque, Ibiúna e Cotia. O município de Vargem Grande apresentou a menor porcentagem de injúria. Cabe ressaltar que os indivíduos da 3ª campanha foram depredados neste último município, o que diminuiu a quantidade dos dados analisados.

A figura 3.3 apresenta os resultados da ocorrência de injúrias nos diferentes locais de exposição, dispostos conforme sua localização no eixo São Paulo Sorocaba.

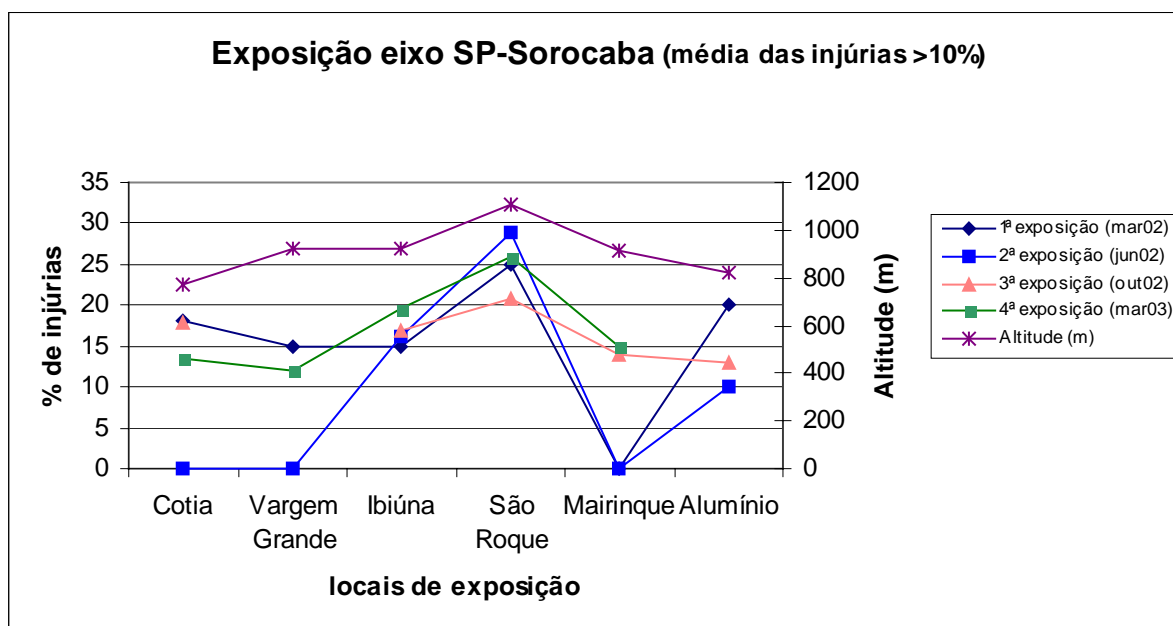


FIGURA 3.3 - Média das injúrias foliares >10% ocorridas em indivíduos de *Nicotiana tabacum* Bel W3 expostos em diversas campanhas no eixo São Paulo –Sorocaba.

Cabe discutir que o município de São Roque localiza-se na base da chamada Serra de São Roque, voltado para o lado da RMSP. Assim, a ocorrência de maior porcentagem de injúrias foliares neste município pode estar ligada ao fato dos poluentes transportados ficarem parcial ou totalmente retidos na Serra, acumulando-se ou transformando-se, considerando que podem ser transportados tanto os precursores como o próprio ozônio.

O fato do município de Mairinque, localizado entre São Roque e Alumínio, apresentar comparativamente menor ocorrência de injúrias foliares entre estes três locais, sugere a hipótese que o ozônio transportado da RMSP pode não influenciar tal município, uma vez que este está situado na base da Serra de São Roque, no lado voltado para Sorocaba. Outra hipótese seria a de que em função da existência de emissão de precursores no município de Alumínio, onde observou-se grande ocorrência de injúrias, o ozônio poderia se formar neste município, sem a contribuição significativa do ozônio oriundo da RMSP.

3.4. Conclusões

Os locais que apresentaram maior média e mediana de porcentagem de injúrias nas folhas foram o Município de São Roque, seguidos de Alumínio, Mairinque, Ibiúna e Cotia. O município de Vargem Grande apresentou a menor porcentagem de injúria.

CONCLUSÃO GERAL E RECOMENDAÇÕES

As ocorrências de ultrapassagem do padrão de ozônio em Sorocaba concentraram-se nos meses de fevereiro a abril e de agosto a dezembro. A duração dos episódios, na maioria dos casos, é de 1 hora, porém, há ocorrências de episódios com duração de até 5 horas. Não é muito freqüente episódios em dias consecutivos, mas há ultrapassagens do padrão em qualquer dia da semana, com ocorrências de concentrações máximas no período da tarde, entre 13 e 17 horas.

Foi observado que nos dias em que também ocorreram episódios na RMSP, os valores máximos de concentração de O_3 em Sorocaba estão próximos ao padrão, enquanto que nos dias em que ocorreram somente em Sorocaba os valores chegam a ultrapassar o nível de atenção ($200\mu g/m^3$).

Em relação ao vento, nos casos de episódios somente em Sorocaba, quando a predominância da direção do vento é do quadrante E-S, pode-se considerar que há um transporte do ozônio e de seus precursores oriundos de fontes localizados a leste e sudeste de Sorocaba. Quando há também episódios na RMSP, em Sorocaba há contribuições de fontes locais e/ou localizadas a norte e a oeste da região.

Os resultados obtidos pela exposição de bioindicadores, nas quatro campanhas realizadas na área urbana de Sorocaba, mostraram que o mapeamento apresentou maior ocorrência de injúrias e, portanto, indicando maior concentração de ozônio, na parte oeste e sudoeste da região estudada. Na terceira exposição soma-se ainda a ocorrência de injúrias na parte leste e, na quarta, ocorre uma generalização.

Os valores de AOT aumentaram ao longo do ano, atingindo valores maiores nas épocas mais propícias para a ocorrência de ozônio, ou seja, nos meses de primavera e verão, portanto, na quarta exposição observou-se a ocorrência deste poluente de forma mais generalizada, afetando tanto em número de pontos de amostragem quanto em quantidade de injúrias.

No monitoramento do ozônio ao longo do eixo São Paulo – Sorocaba, São Roque foi o local que apresentou maior média e mediana de porcentagem de injúrias nas folhas, seguido de Alumínio, Mairinque, Ibiúna e Cotia. O município de Vargem Grande apresentou a menor porcentagem de injúria

Cabe a discussão de que o município de São Roque localiza-se na base da chamada Serra de São Roque, voltado para o lado da RMSP. Assim, a ocorrência de maior porcentagem de injúrias foliares neste município pode estar ligada ao fato dos poluentes transportados ficarem parcial ou totalmente retidos na Serra, acumulando-se ou transformando-se, considerando que podem ser transportados tanto os precursores como o próprio ozônio. O fato de Mairinque, localizado entre São Roque e Alumínio, apresentar comparativamente menor ocorrência de injúrias foliares entre estes três locais, sugere a hipótese que o ozônio transportado da RMSP pode não influenciar tal município, pois está situado na base da Serra de São Roque, no lado voltado para Sorocaba. Outra hipótese seria a de que em função da existência de emissão de precursores no município de Alumínio, onde observou-se grande ocorrência de injúrias, o ozônio se formaria neste município, sem relação com o ozônio oriundo da RMSP.

É importante ressaltar que para maior entendimento da formação do ozônio é necessário associar ao estudo os dados de inventário de fontes de emissão de precursores. Dessa forma, recomenda-se realizar estudos que quantifiquem as emissões de precursores na região. Além das emissões de fontes industriais, há que se considerar as emissões veiculares e também as emissões evaporativas provenientes de postos de abastecimento de combustíveis da região.

Recomenda-se também realizar o monitoramento da qualidade do ar em áreas mais ao norte da cidade de Sorocaba, em conjunto com novas exposições do biomonitoramento.

Em relação às políticas de gerenciamento da qualidade do ar, recomenda-se a redução da emissão de precursores do ozônio como forma de reduzir sua formação, considerando que o poluente ozônio não tem apresentado tendência de queda, nos últimos anos, e ele também é um

poluente que não tem fronteiras bem definidas, ou seja, as emissões de seus precursores em uma região podem afetar uma outra, ainda que distante.

A CETESB em conjunto com a Secretaria de Meio Ambiente, propôs um programa estadual de redução de emissões em áreas que apresentem desconformidade na qualidade do ar. Este programa culminou com a publicação do Decreto Estadual 48.523/2004, que estabelece regras para reduções gradativas nas emissões de poluentes que comprometam a qualidade do ar, por meio de mecanismos de compensação de emissões.

Outra ferramenta importante para melhoria da qualidade ambiental é a efetivação da renovação das licenças de operação. O Decreto Estadual 47.397/2002 determinou que as licenças de operação concedidas pela CETESB devem ser periodicamente renovadas. Com isso, criou-se a oportunidade de padronizar os licenciamentos de atividades similares e exigir ganhos ambientais progressivos nos locais onde a qualidade ambiental esteja comprometida pela ação industrial.

Assim é necessário que as ações de controle das emissões sejam organizadas em programas de redução dos precursores do ozônio, que não se limitem somente às fontes novas que venham a se instalar e que não sejam ações isoladas com pouco ganho ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEGRI, I.; CORTIELLO, M.; MANES, F.; TRIPODO, P. (1994). Physico-chemical and biological monitoring as integrated tools in evaluating tropospheric ozone in urban and semi-rural areas. **The Science of Total Environment** **141**, 75-85.
- ARNDT, U. (1989). **From ecotoxicological results to practical bioindication**. In: Brasser, L.J. & Mulder, W.L. (eds). The Hague, Elsevier Science Publishers, 1-32.
- ASHMORE, M.R.; BELL, J.N.B. & REILY, C.L. (1980). The distribution of phytotoxic ozone in the British Isles. **Environmental Pollution** (Series B) **1**: 195-216.
- BLUM, O.; BYTNEROWICZ, A.; MANNING, W. and POPOVICHEVA, L. (1997). Ambient tropospheric ozone in the Ukrainian Carpathian Mountains and Kiev region: detection with passive samplers and bioindicator plants. **Environmental Pollution**, vol. 98, n.3, p. 299-304.
- CETESB. (1996). **Relatório anual de qualidade do ar**. Série Relatórios. 86p.
- CETESB. (2000a). **Estudo do Comportamento do Ozônio na Região Metropolitana de São Paulo**. Relatório Técnico, São Paulo, 2000.
- CETESB. (2000b). **Monitoramento da qualidade ambiental com a utilização de bioindicadores**. Relatório Técnico, São Paulo, 2000 (no prelo).
- CETESB. (2002). **Relatório anual de qualidade do ar do Estado de São Paulo 2001**. Série Relatórios. 55p.
- CETESB. (2003). **Relatório anual de qualidade do ar do Estado de São Paulo 2002**. Série Relatórios.
- FIGUEIREDO, J. G. (1994). **Avaliação de gramíneas tropicais como bioindicadoras da presença do flúor**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 87p. (Dissertação de Mestrado).
- FOWLER, D.; SMITH, R.I.; COYLE, M.; WESTON, K.J.; DAVIES, T.D.; ASHMORE, M.R. and BROWN, M. (1995). Quantifying the fine scale (1kmX1km) exposure and effects of ozone. Part 1. Methodology and application for effects on forests. **Water, Air and Soil Pollution**, 85:1479-1484.
- GARREC, J.P. & RADNAI, F. (1996). **Economical study and mapping of air pollution by plant bio-indicators**. Internal Report Institute National de la Recherche Agronomique – INRA, France, Centre de Recherches de Nancy – Laboratoire Pollution Atmosphérique. 13p.
- GARREC, J.P.; SHANG HE; ROSE, C. & RADNAI, F. (1998). **Mapping of particulate air-pollution on beijing by plant bio-monitors**. Internal Report Institute National de la Recherche Agronomique – INRA, France, Centre de Recherches de Nancy – Laboratoire Pollution Atmosphérique. 7p.
- GIMENO, B.S.; PEÑUELAS, J.; PORCUNA, J.L. and REINERT, R.A. (1995). Biomonitoring ozone phytotoxicity in eastern Spain. **Water, Air and Soil Pollution**, 85:1521-1526.
- HEGGESTAD, H. E. (1991). Origin of Bel-W3, Bel-C and Bel-B tobacco varieties and their use as indicators of ozone. **Environmental Pollution**, 74:264-291.
- INPE. **Imagens de Satélite**. Disponível em: <www.cptec.inpe.br> acesso em: 07/10/03
- KELLEHER, T.J. & FEDER, W.A. (1978). Phytotoxic concentrations of ozone on Nantucket Island: long range transport from the middle atlantic states over the open ocean confirmed by bioassay with ozone-sensitive tobacco plants. **Environmental Pollution**, 17:187-193.
- KOPPEL, A. & SILD, E. (1995). Bioindication of ozone in Estonia by using the Tabaco variety Bel W3. **Water, Air and Soil Pollution**, 85:1515-1519.

LORENZINI, G. (1998). Plantas vasculares como bioindicadores dell'aria (inquinamento da ozono): Proposte Metodologiche. In: **Atti del Workshop "Biomonitoraggio della Qualità Dell'aria sul Territorio Nazionale"**. Roma, 26-27 novembre, 199-216.

NALI, C. & FUMAGALLI, I. (1998). Plantas vasculares como bioindicadores della qualità dell'aria: stato dell'arte della ricerca realizzata in Italia. In: **Atti del Workshop "Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale"**. Roma, 26-27 novembre 1998, 33-53.

PEÑUELAS, J.; RIBAS, A.; GIMENO, B.S. & FILELLA, I.. (1999) Dependence of ozônio biomonitoring on meteorological conditions of different sites in Catalonia (N.E.Spain). **Environmental Monitoring and Assessment**, 56: 221-224.

PRADO FILHO, J.F. (1993). Uso de bioindicadores para monitoramento do ar. **Rev. Ambiente**, 7, 57-64.

SHUGART, L.R. (1994). Biological monitoring. In: Renzoni, B., Mattei, N., Lari, L. & Fossi, M. C. (eds.), **Contaminants in the environment. A multidisciplinary assesment of risks to man and others organisms**. Lewis Publishers. p. 29-62.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Guideline for Developing Ozone Forecasting Program**. July 1999, EPA-454/R-99-009.

EQUIPE TÉCNICA

Clarice Aico Muramoto - ETQM
Rodrigo Coelho Fialho – ESSE
José Bezerra de Sousa - ESSE
Marise Carrari Chamani – ESSE
Gilmar Issa Gallo - ESSE
Ana Cristina M. B. Benavente - ESSE

COLABORAÇÃO

Antonio Carlos S. Oliveira – CSRS
Cristiane Ferreira Fernandes Lopes - ETQA
Dirce Maria Pellegatti Franco - ETQM
Ezio Mantegazza - CSRS
Hugo Antonio da Costa Llorens - ESSE
Janine Bergmann - ESSE
Marise de Castro - ESSE
Masayuki Kuromoto - ETQI
Ricardo Anazia - ETQM
Rosa Biaggio - Imperial College – Inglaterra
Silmara Regina da Silva - ETQI
Agência Ambiental de Sorocaba - CSr-S
Setor de Amostragem e Análise do Ar - ETQA
Setor de Interpretação de Dados - ETQI
Setor de Telemetria - ETQT

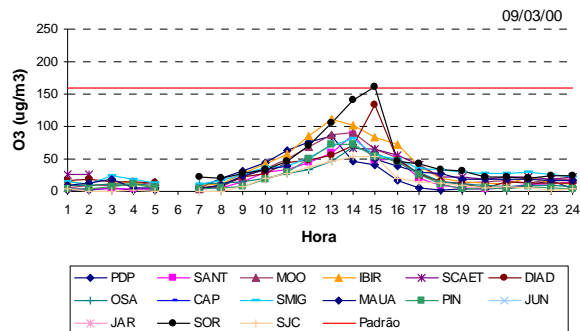
AGRADECIMENTOS

Carlos Ibsen V. Lacava - ETQI
Dr. Verne Sisson (Universidade da Carolina do Norte)
Fabiola Maria G. Ribeiro - CSR
Jesuino Romano - ETQ
Maria Helena R. B. Martins - ETQA
Claudio Darwin Alonso – SMA
Milton Norio Sogabe - Diretoria de Controle de Poluição Ambiental
Setor de Operação e Manutenção de Transportes - AAAT
As escolas da Rede Municipal e Estadual de Sorocaba, onde foram expostas as plantas
DIRA - Delegacia Regional Agrícola de Sorocaba
Tiro de Guerra do Exército / Sorocaba

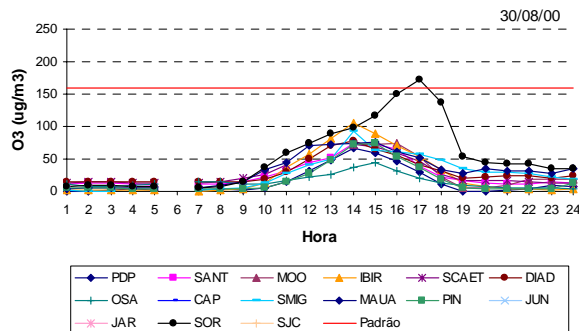
ANEXO A

Comportamento do ozônio nas estações nos dias de ultrapassagem do padrão Episódios somente em Sorocaba

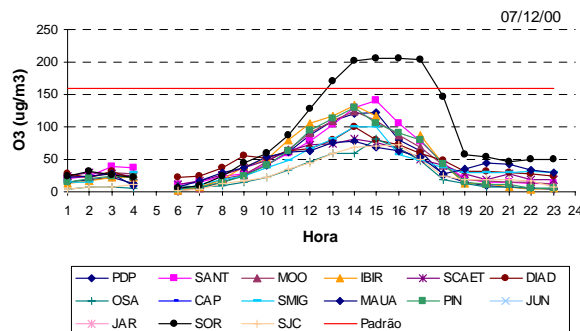
09/03/00



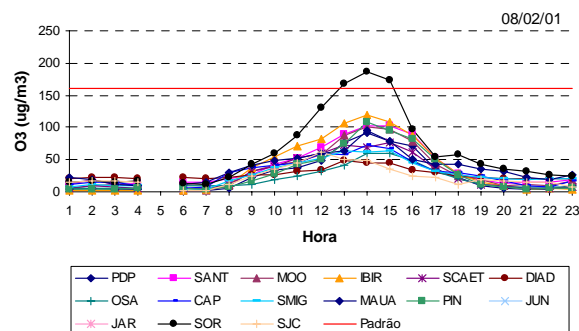
30/08/00



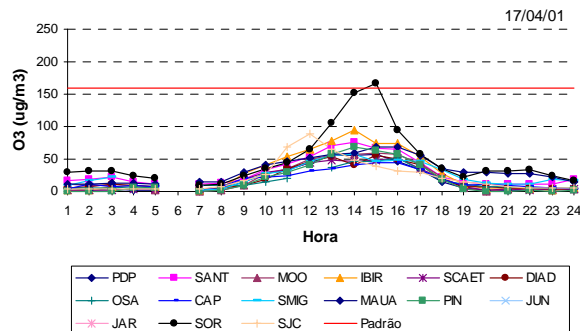
07/12/00



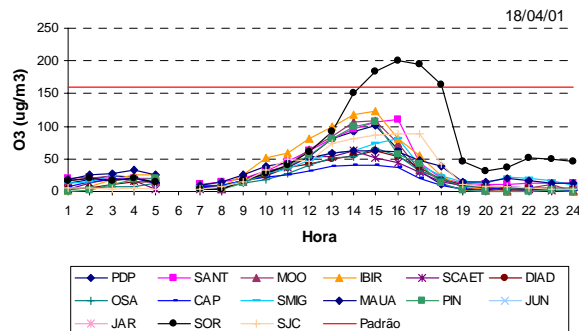
08/02/01



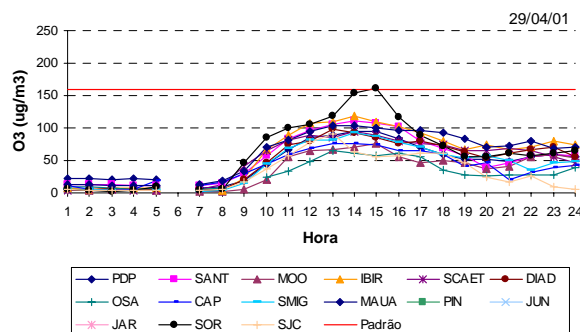
17/04/01



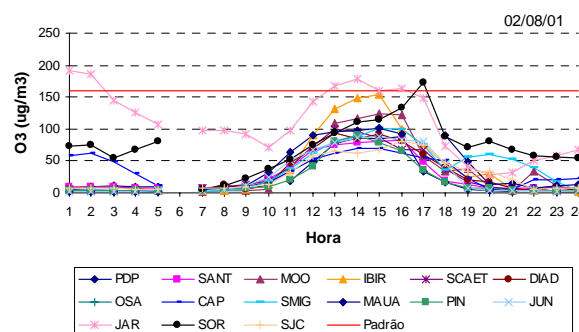
18/04/01



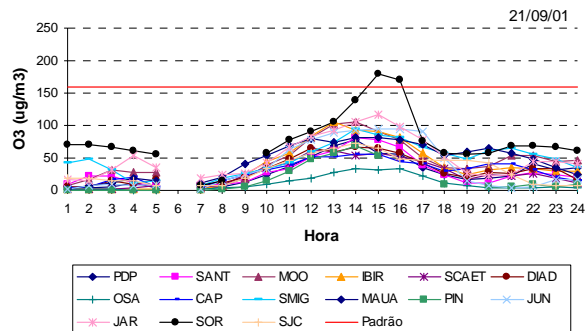
29/04/01



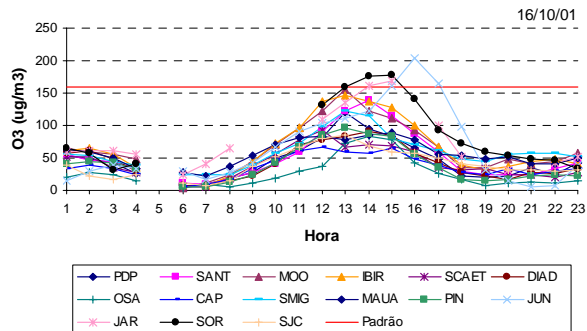
02/08/01



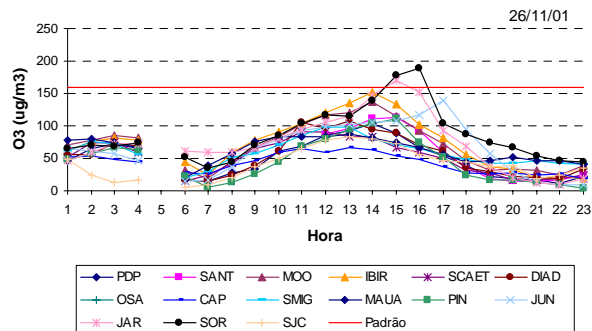
21/09/01



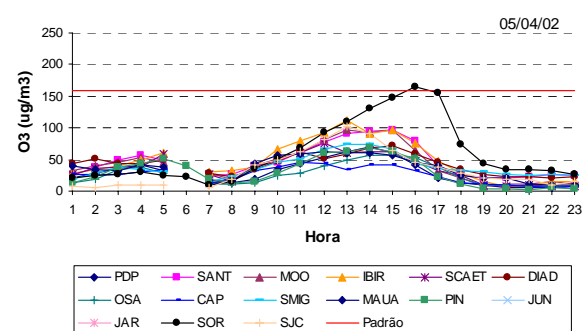
16/10/01



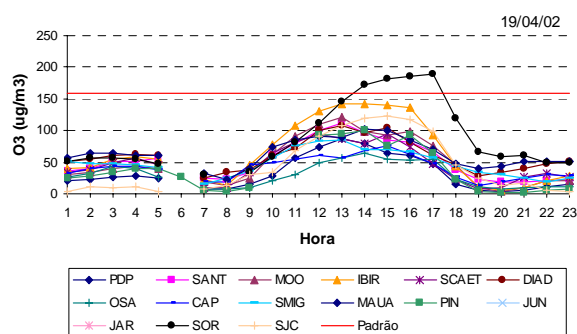
26/11/01



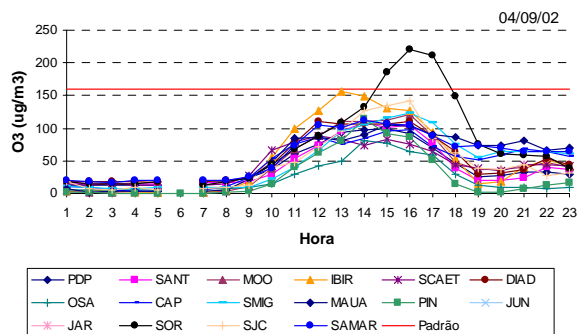
05/04/02



19/04/02

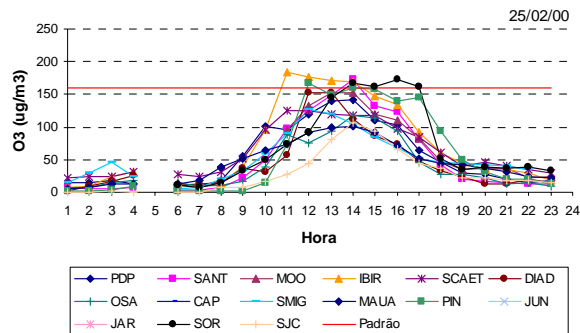


04/09/02

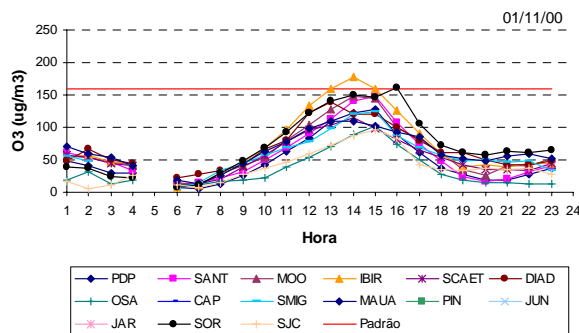


Episódios em Sorocaba e nas estações da RMSP

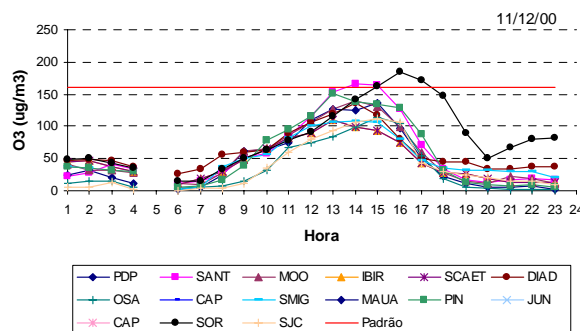
25/02/00 - Estações na RMSP: Santana, Ibirapuera e Pinheiros



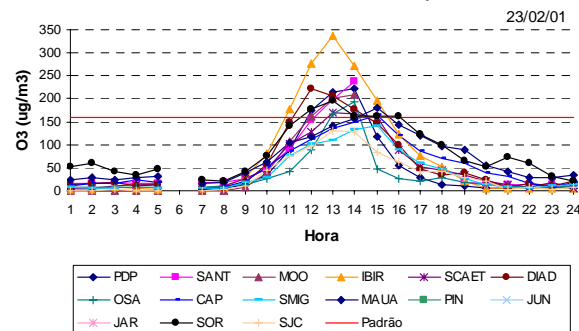
01/11/00 - Estação na RMSP: Ibirapuera



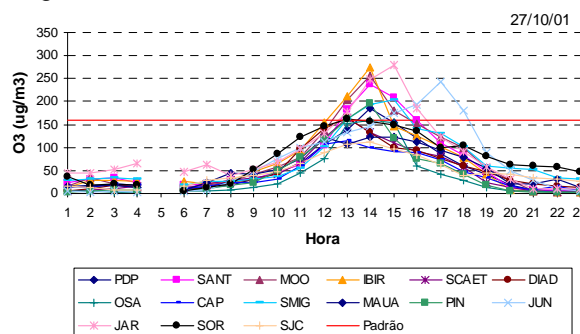
11/12/00 - Estação na RMSP: Santana



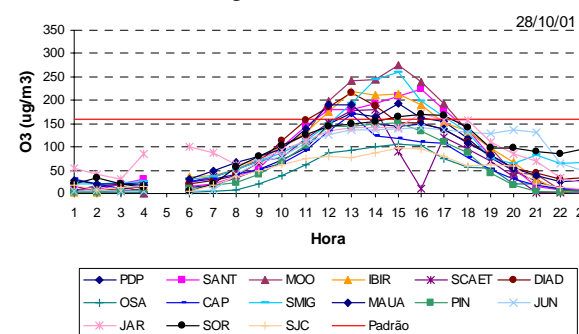
23/02/01 - Estações na RMSP: P.D.Pedro, Santana, Moóca, Ibirapuera, S.Caetano, Diadema, Osasco, S.André-Capuava e Mauá



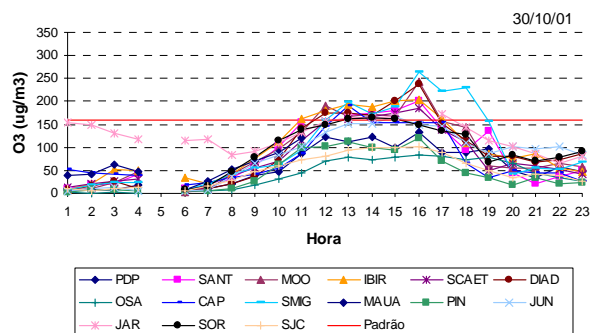
27/10/01 - Estações na RMSP: P.D.Pedro, Santana, Moóca, Ibirapuera, S.Caetano, Diadema, S.Miguel, Pinheiros e Jundiaí, Pico do Jaraguá



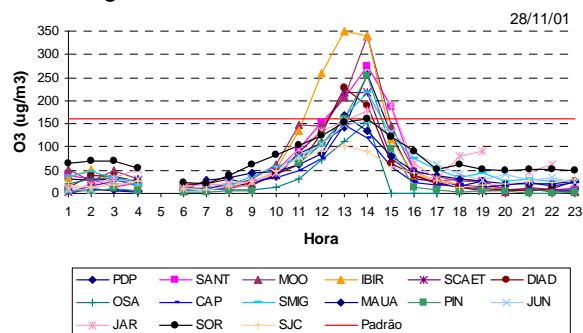
28/10/01 - Estações na RMSP: P.D.Pedro, Santana, Moóca, Ibirapuera, S.Caetano, Diadema, S.André-Capuava, S.Miguel, Mauá e Pico do Jaraguá



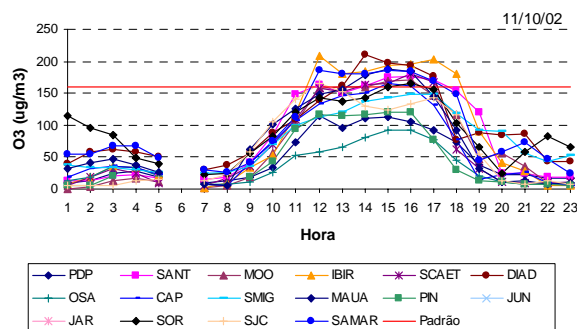
30/10/01 - Estações na RMSP: Santana, Moóca, Ibirapuera, S.Caetano, Diadema, S.André-Capuava, S.Miguel, Jundiaí, Pico do Jaraguá



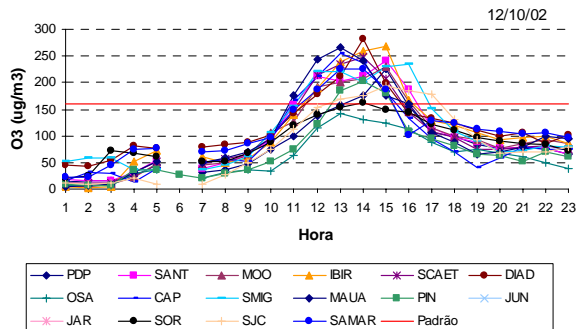
28/11/01 - Estações na RMSP: P.D.Pedro, Santana, Moóca, Ibirapuera, S.Caetano, Diadema, S.Miguel, Mauá, Pinheiros, Pico do Jaraguá



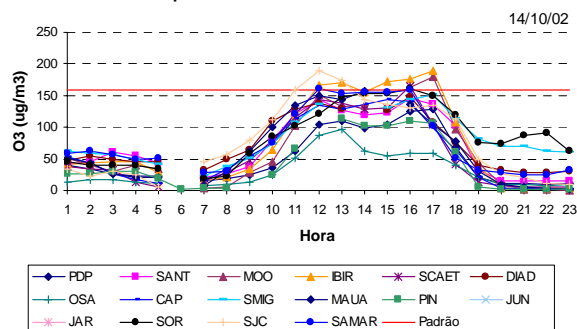
11/10/02 - Santana, Moóca, Ibirapuera, São Caetano do Sul, Diadema, Santo Amaro, Santo André-Capuava, Mauá



12/10/02 - Parque D.Pedro, Santana, Moóca, Ibirapuera, São Caetano do Sul, Diadema, Santo Amaro, Santo André-Capuava, São Miguel Paulista, Mauá, Pinheiros, São José dos Campos

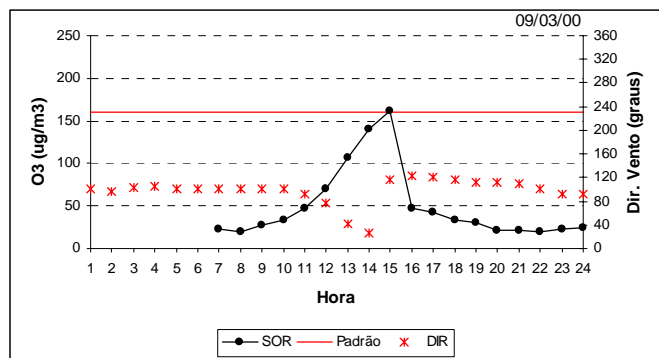


14/10/02 - Ibirapuera, Santo Amaro e São José dos Campos

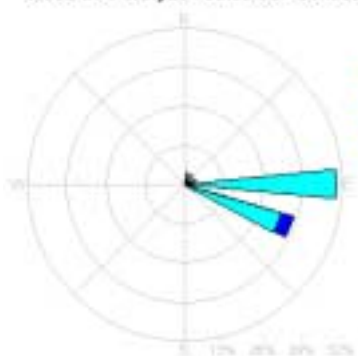


ANEXO B

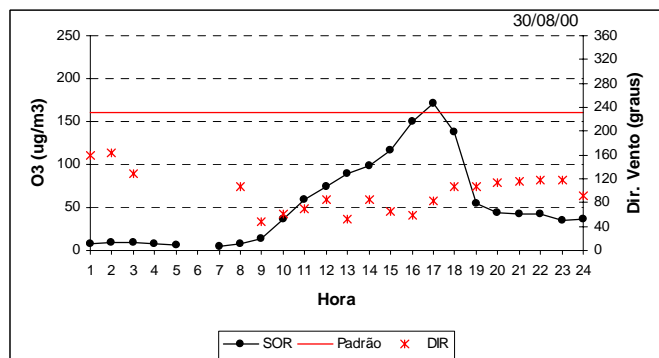
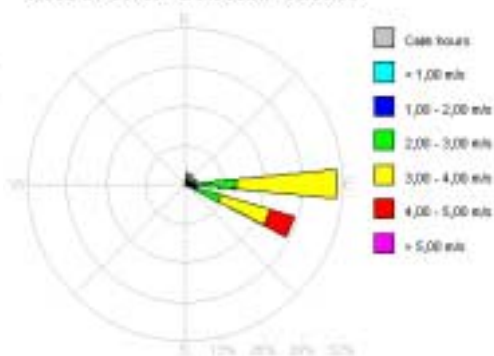
Rosas de Poluição e de Vento nos dias de episódios de ultrapassagem do padrão Gráficos horários de concentração de ozônio e direção do vento Episódios somente em Sorocaba



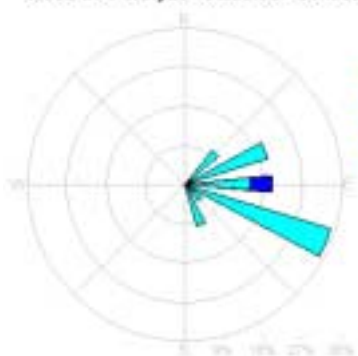
Rosa de Poluição - 09/03/00 - Sorocaba



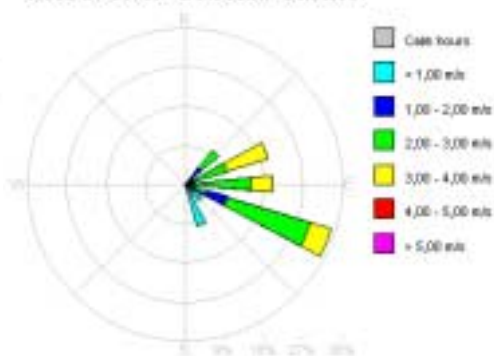
Rosa de Vento - Sorocaba - 09/03/00

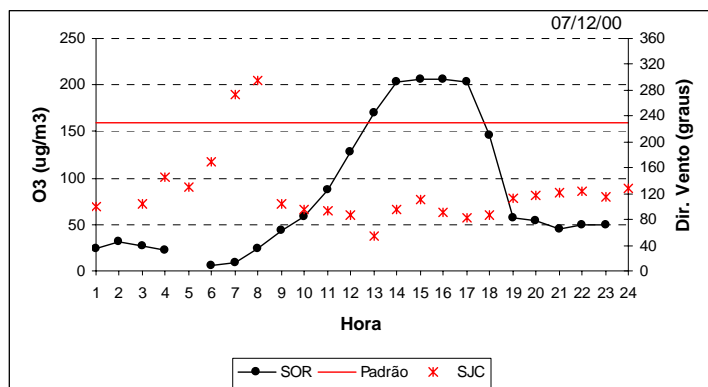


Rosa de Poluição - 30/08/00 - Sorocaba

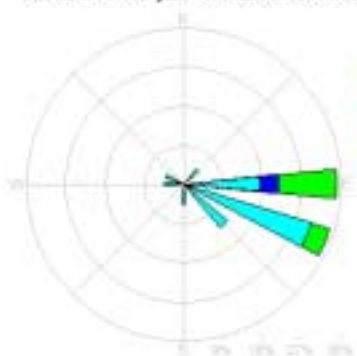


Rosa de Vento - Sorocaba - 30/08/00

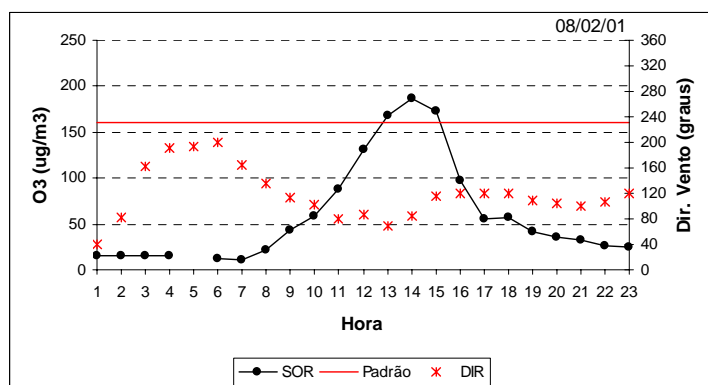
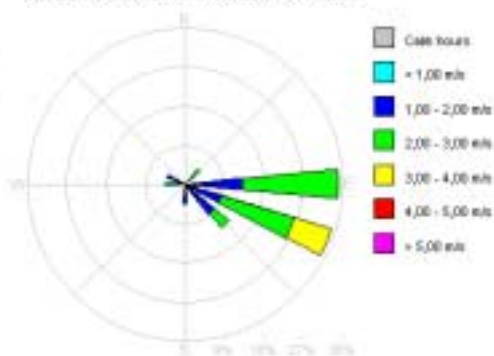




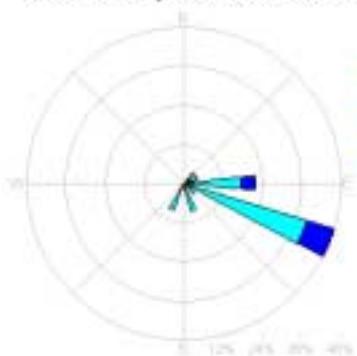
Rosa de Poluição - 07/12/00 - Sorocaba



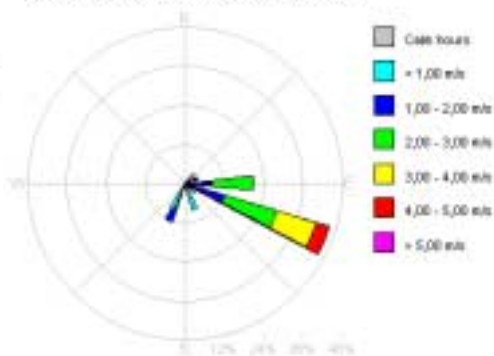
Rosa de Vento - Sorocaba - 07/12/00

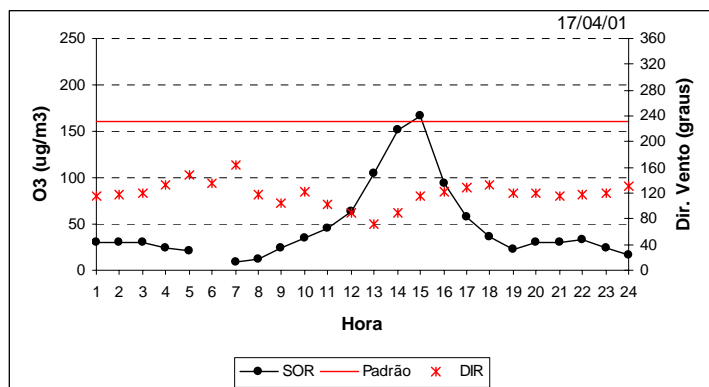


Rosa de Poluição - 08/02/01 - Sorocaba

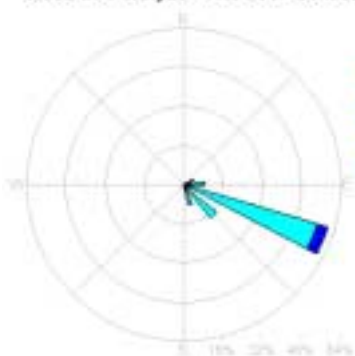


Rosa de Vento - Sorocaba - 08/02/01

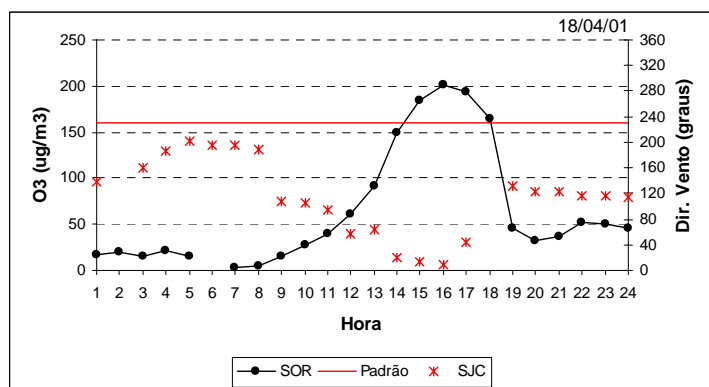
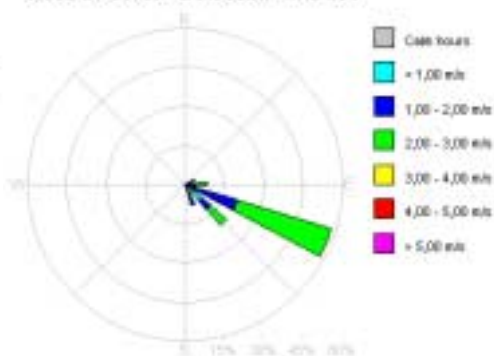




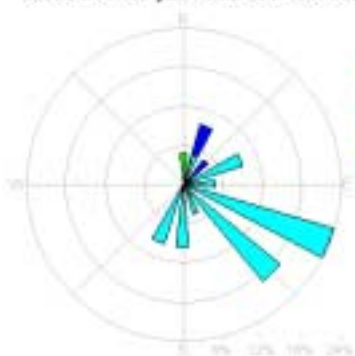
Rosa de Poluição - 17/04/01 - Sorocaba



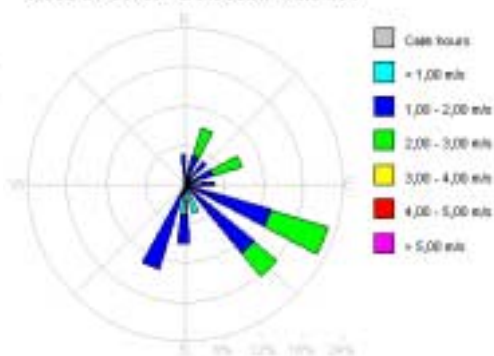
Rosa de Vento - Sorocaba - 17/04/01

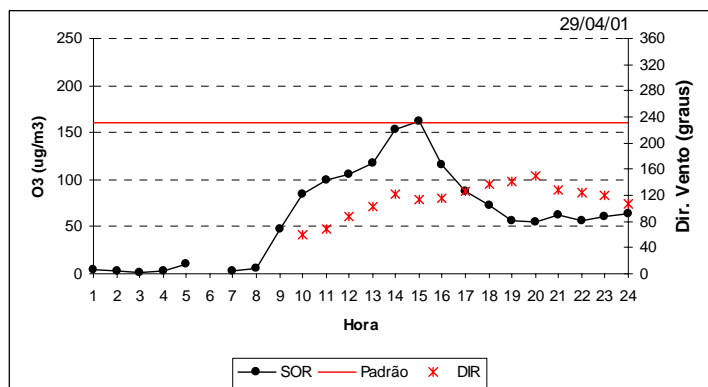


Rosa de Poluição - 18/04/01 - Sorocaba

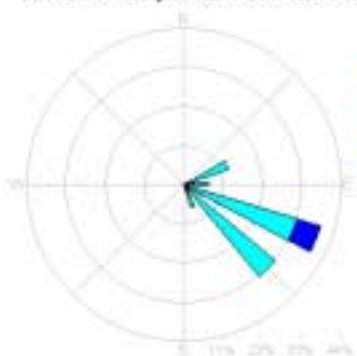


Rosa de Vento - Sorocaba - 18/04/01

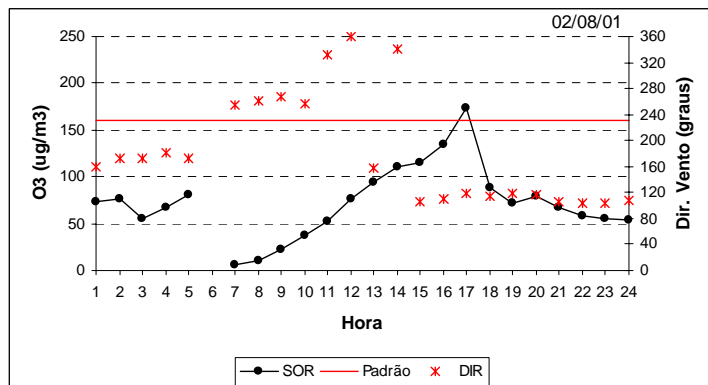
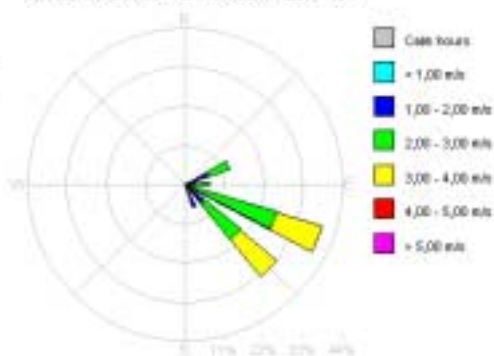




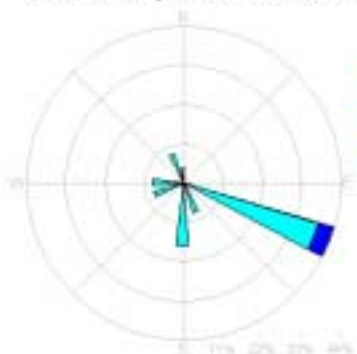
Rosa de Poluição - 29/04/01 - Sorocaba



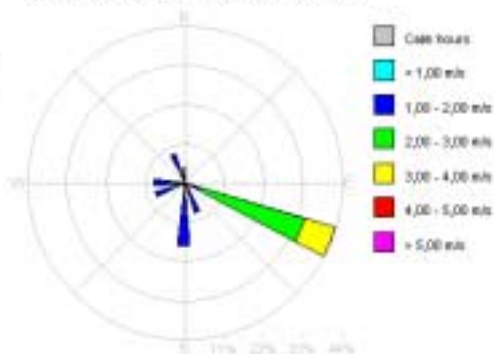
Rosa de Vento - Sorocaba - 29/04/01

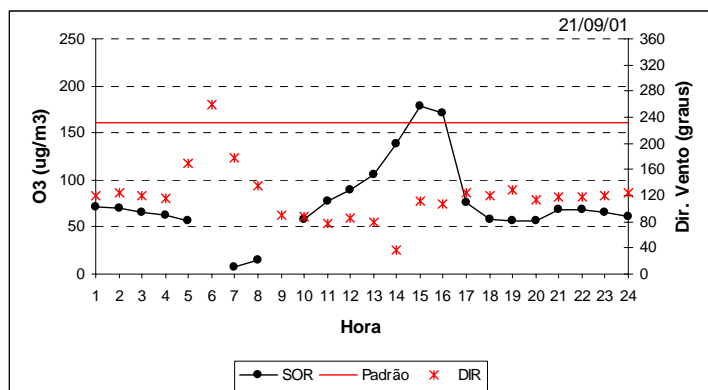


Rosa de Poluição - 02/08/01 - Sorocaba

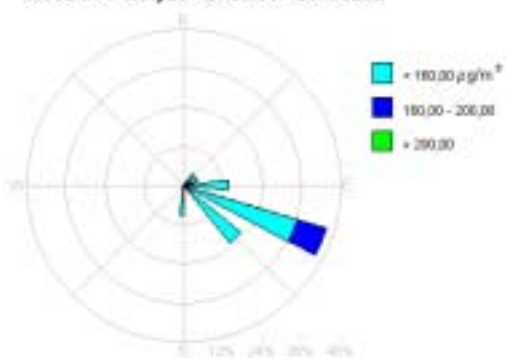


Rosa de Vento - Sorocaba - 02/08/01

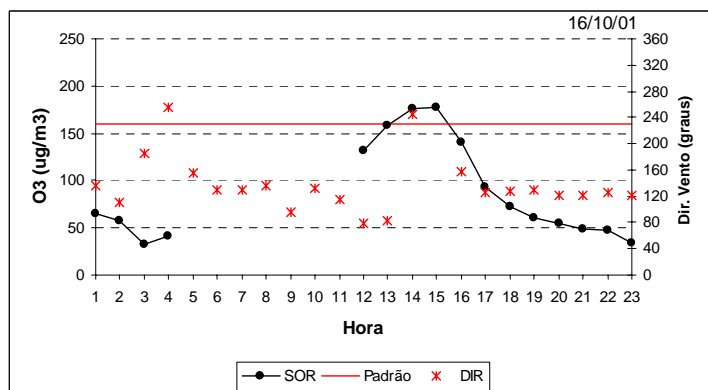
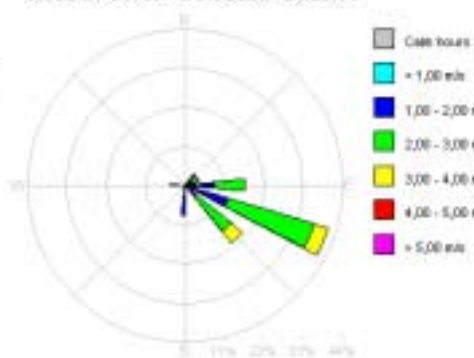




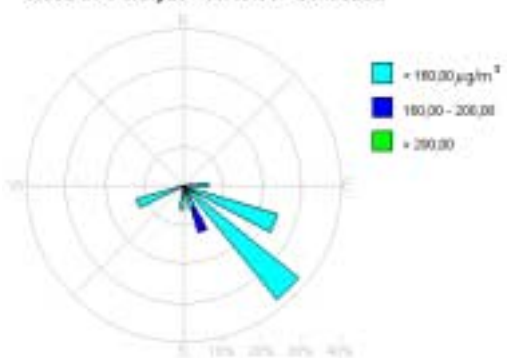
Rosa de Poluição - 21/09/01 - Sorocaba



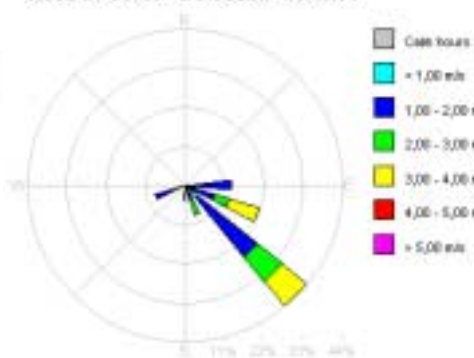
Rosa de Vento - Sorocaba - 21/09/01

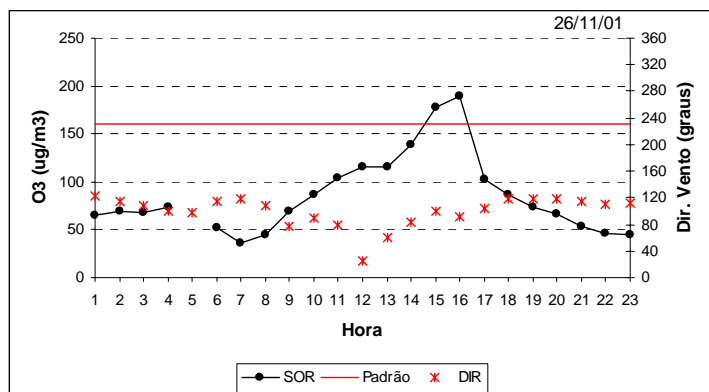


Rosa de Poluição - 16/10/01 - Sorocaba

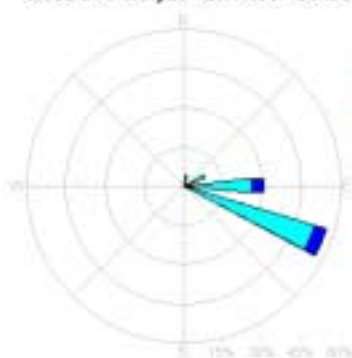


Rosa de Vento - Sorocaba - 16/10/01

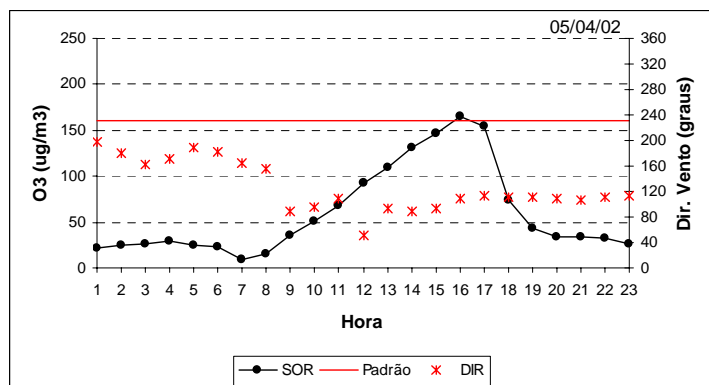
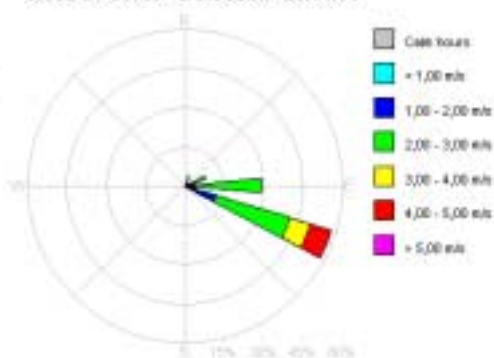




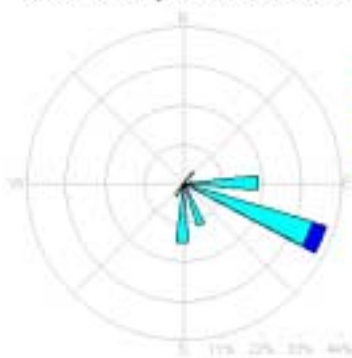
Rosa de Poluição - 26/11/01 - Sorocaba



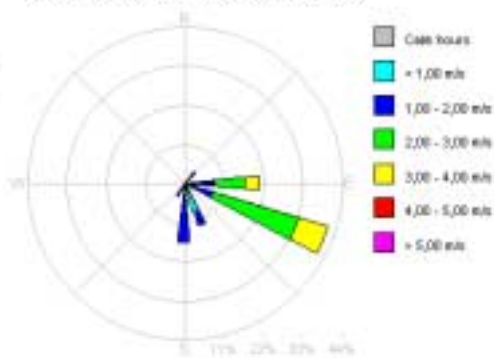
Rosa de Vento - Sorocaba - 26/11/01

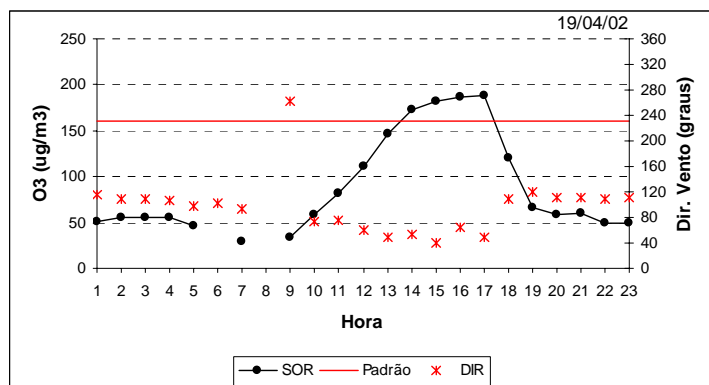


Rosa de Poluição - 05/04/02 - Sorocaba

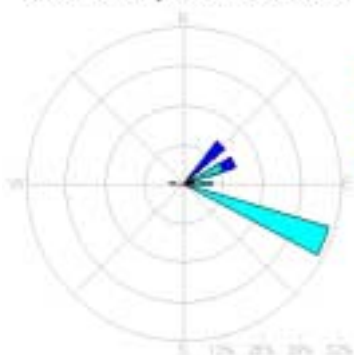


Rosa de Vento - Sorocaba - 05/04/02

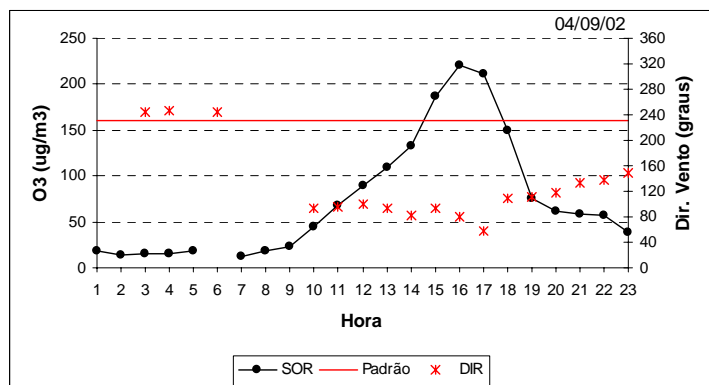
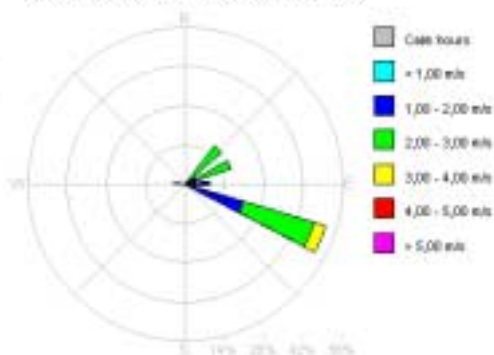




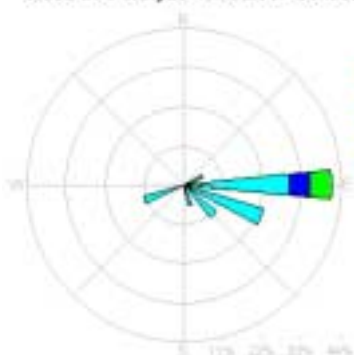
Rosa de Poluição - 19/04/02 - Sorocaba



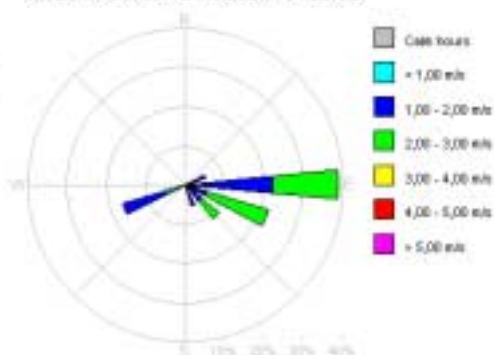
Rosa de Vento - Sorocaba - 19/04/02



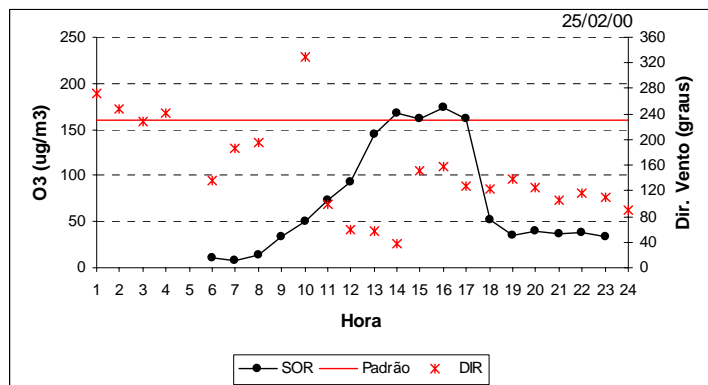
Rosa de Poluição - 04/09/02 - Sorocaba



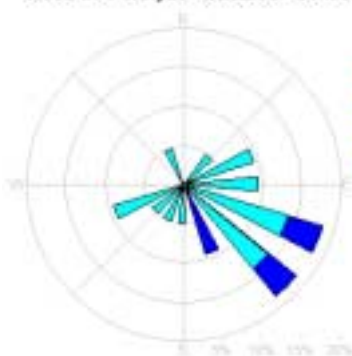
Rosa de Vento - Sorocaba - 04/09/02



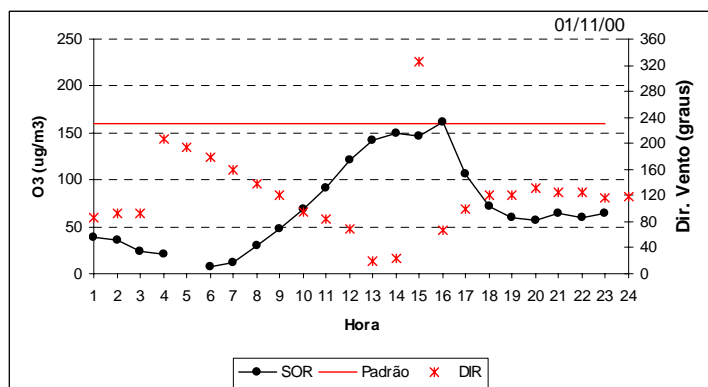
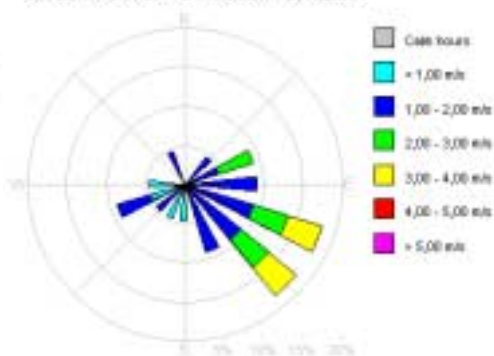
Episódios em Sorocaba e RMSP



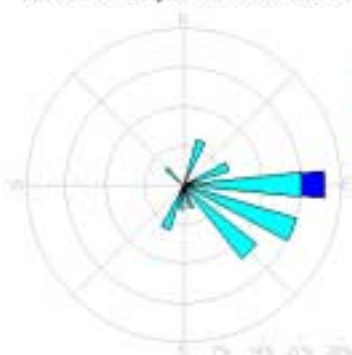
Rosa de Poluição - 25/02/00 - Sorocaba



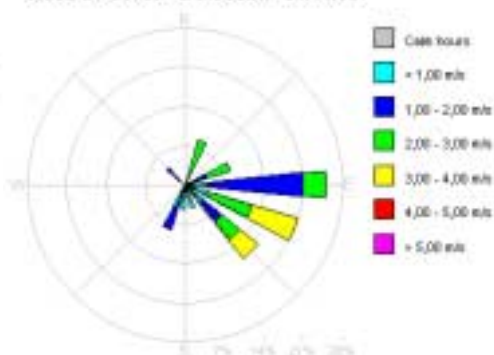
Rosa de Vento - Sorocaba - 25/02/00

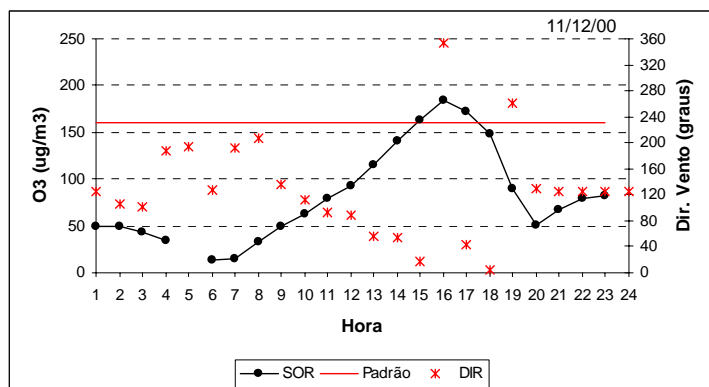


Rosa de Poluição - 01/11/00 - Sorocaba

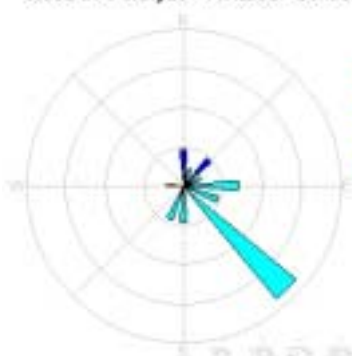


Rosa de Vento - Sorocaba - 01/11/00

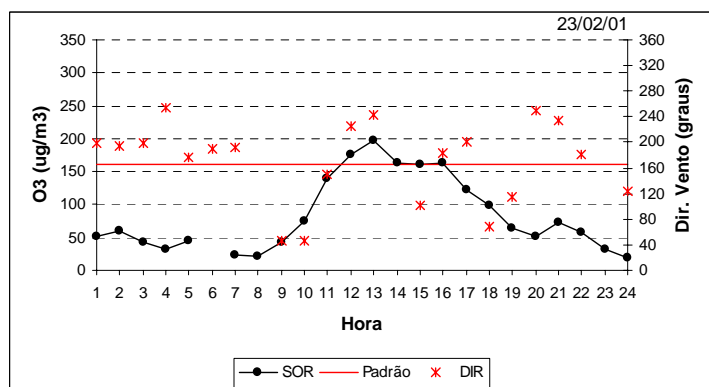
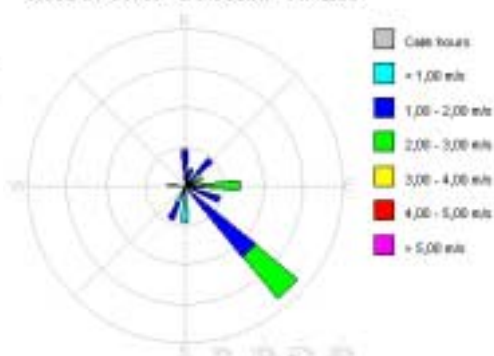




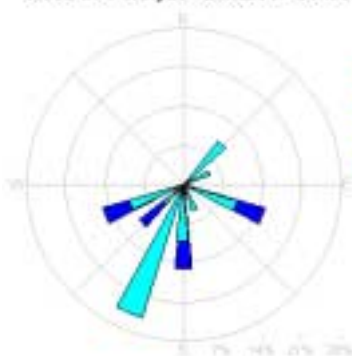
Rosa de Poluição - 11/12/00 - Sorocaba



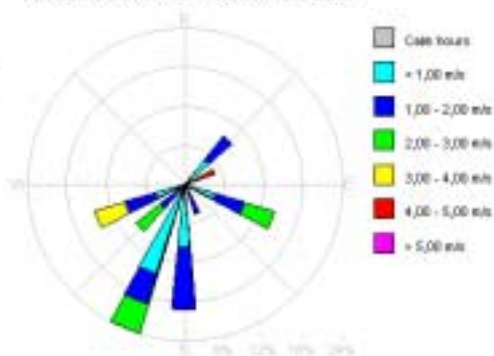
Rosa de Vento - Sorocaba - 11/12/00

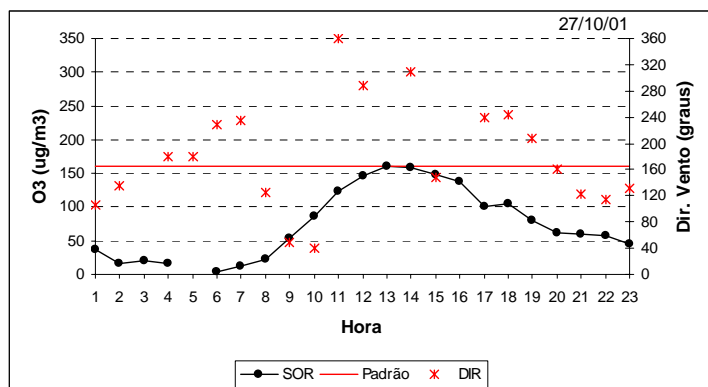


Rosa de Poluição - 23/02/01 - Sorocaba

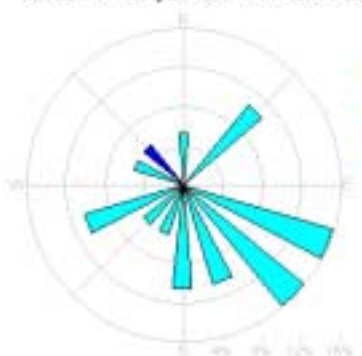


Rosa de Vento - Sorocaba - 23/02/01

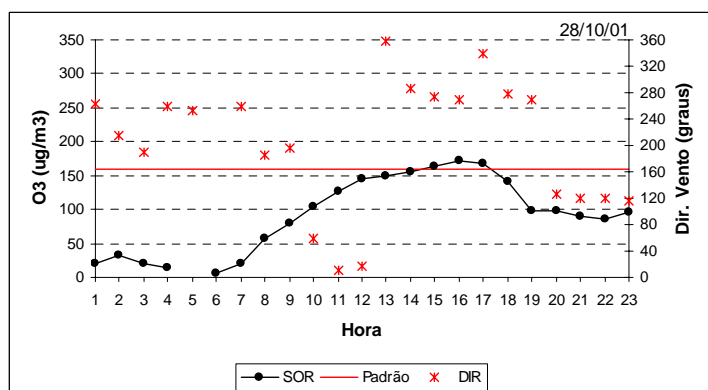
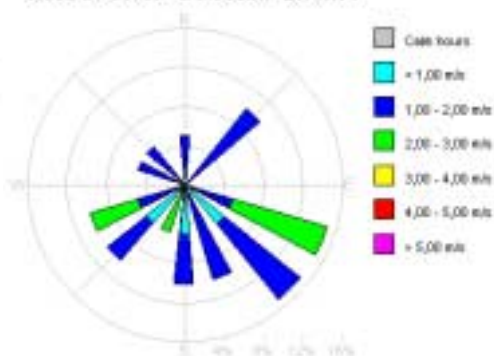




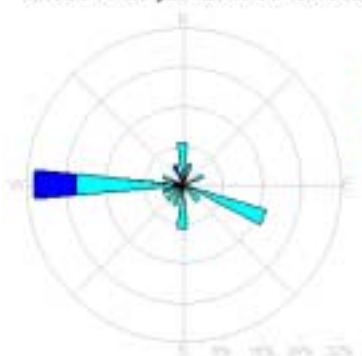
Rosa de Poluição - 27/10/01 - Sorocaba



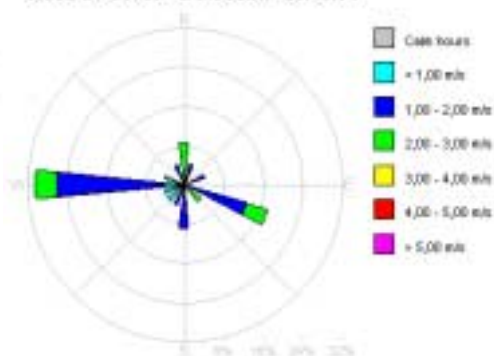
Rosa de Vento - Sorocaba - 27/10/01

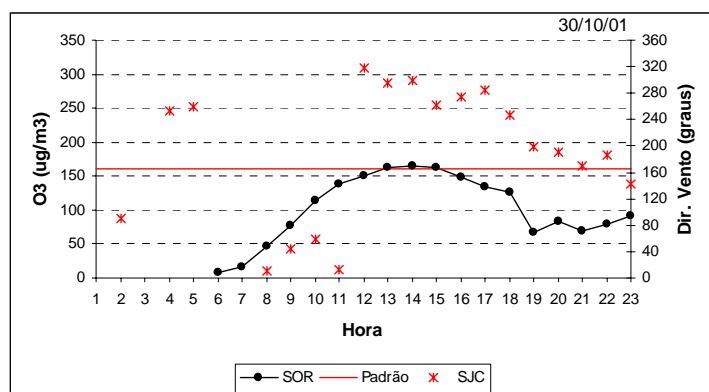


Rosa de Poluição - 28/10/01 - Sorocaba

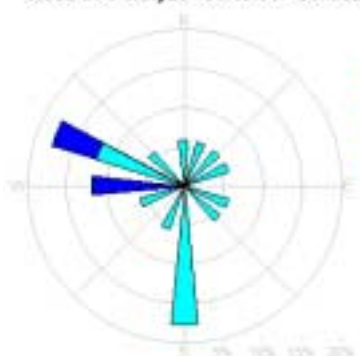


Rosa de Vento - Sorocaba - 28/10/01

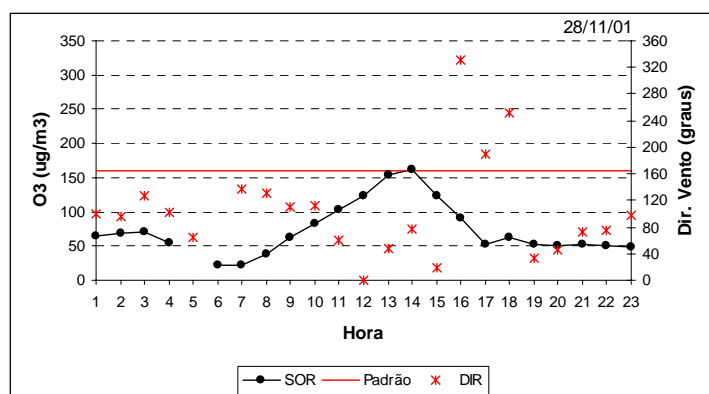
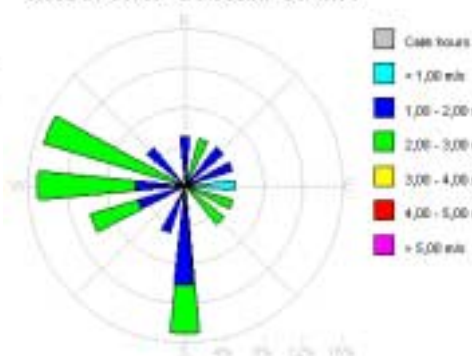




Rosa de Poluição - 30/10/01 - Sorocaba



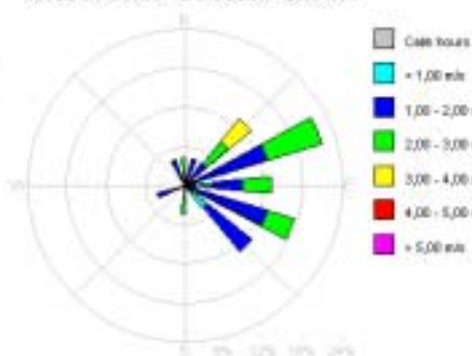
Rosa de Vento - Sorocaba - 30/10/01

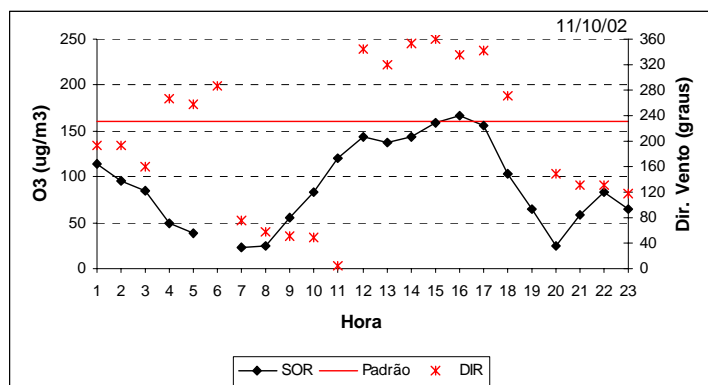


Rosa de Poluição - 28/11/01 - Sorocaba

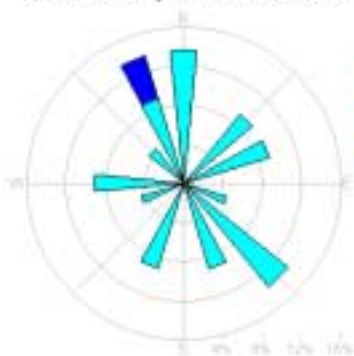


Rosa de Vento - Sorocaba - 28/11/01

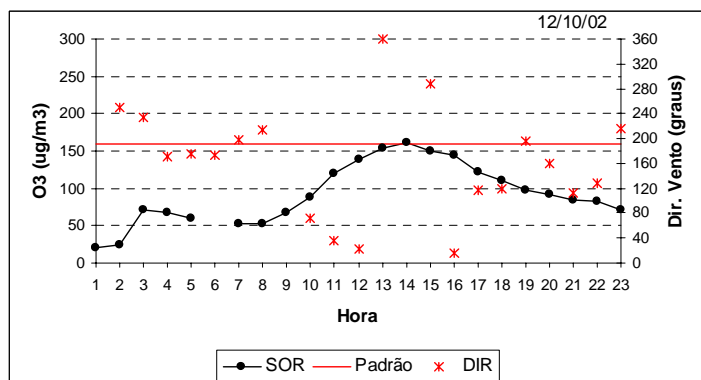
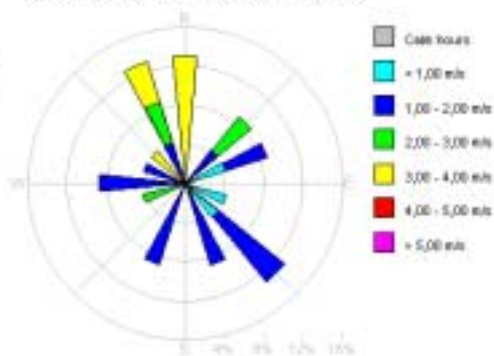




Rosa de Poluição - 11/10/02 - Sorocaba



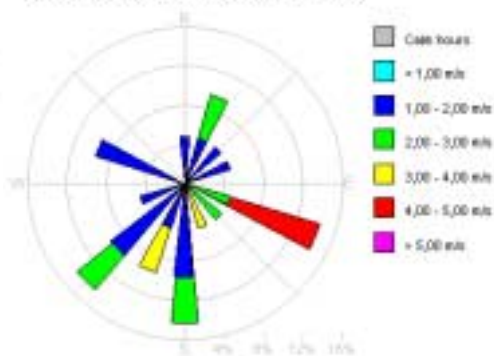
Rosa de Vento - Sorocaba - 11/10/02

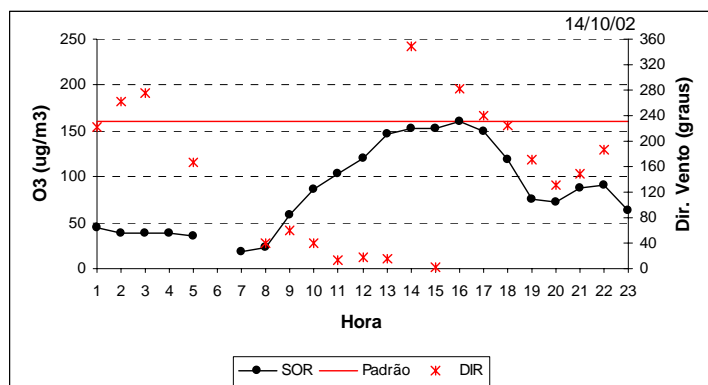


Rosa de Poluição - 12/10/02 - Sorocaba

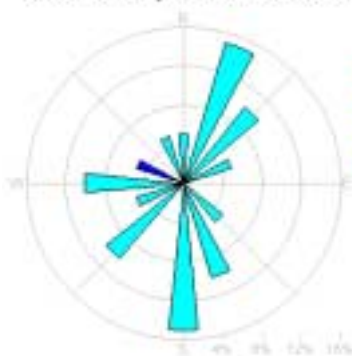


Rosa de Vento - Sorocaba - 12/10/02

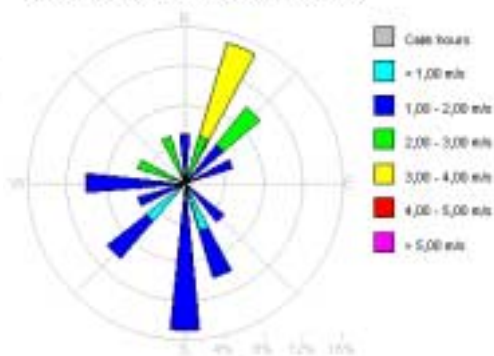




Rosa de Poluição - 14/10/02 - Sorocaba



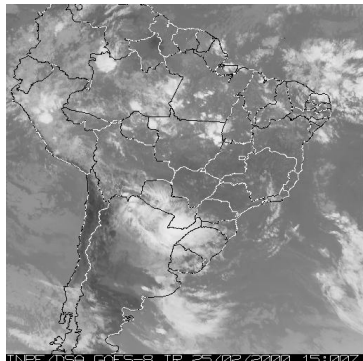
Rosa de Vento - Sorocaba - 14/10/02



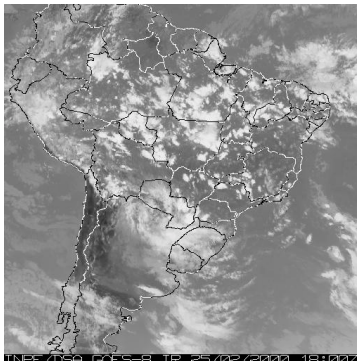
ANEXO C

Imagens de Satélite (*Fonte: Copyright ©INPE/CPTEC*)

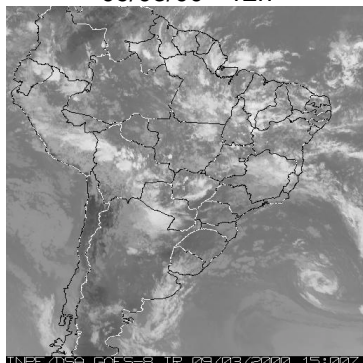
25/02/00 - 12h



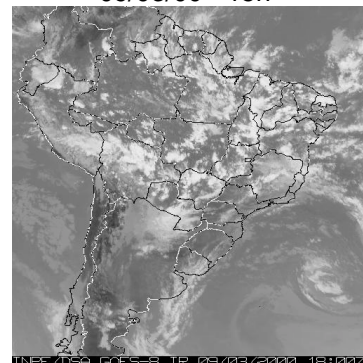
25/02/00 - 15h



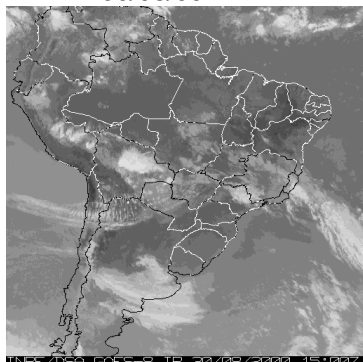
09/03/00 - 12h



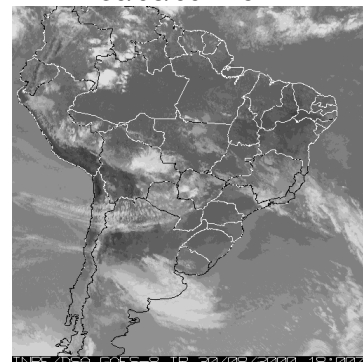
09/03/00 - 15h



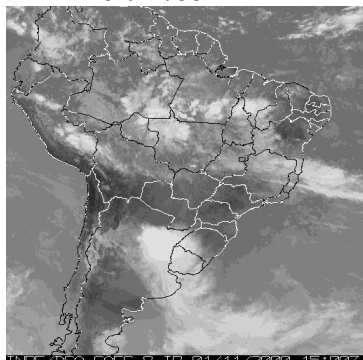
30/08/00 - 12h



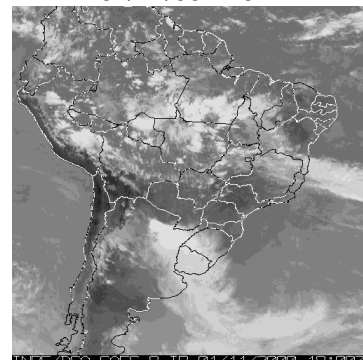
30/08/00 - 15h



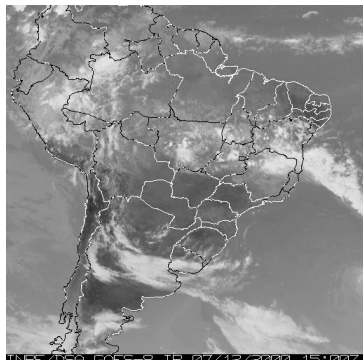
01/11/00 - 12h



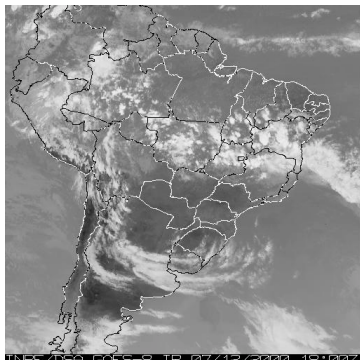
01/11/00 - 15h



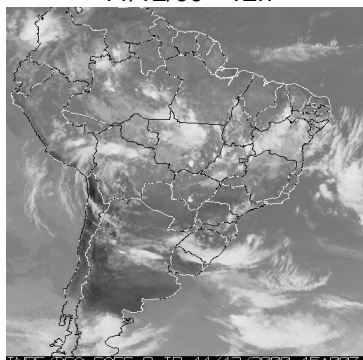
07/12/00 - 12h



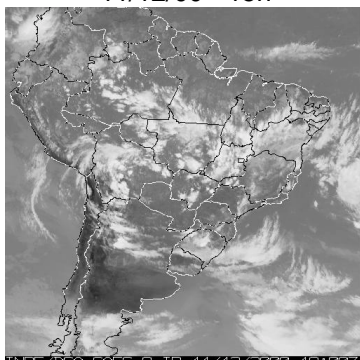
07/12/00 - 15h



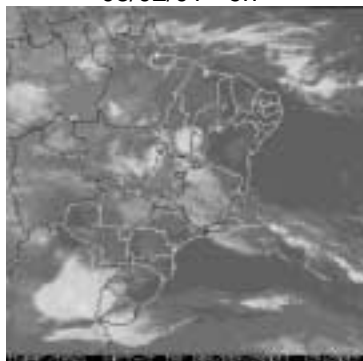
11/12/00 - 12h



11/12/00 - 15h



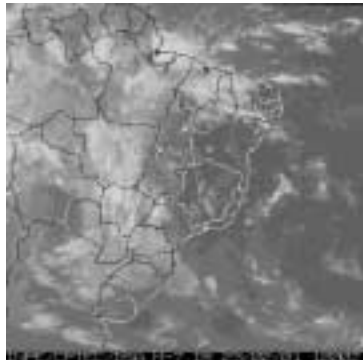
08/02/01 - 9h



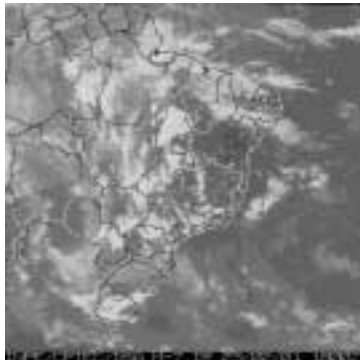
08/02/01 - 15h



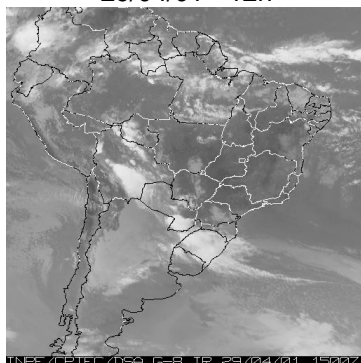
23/02/01 - 9h



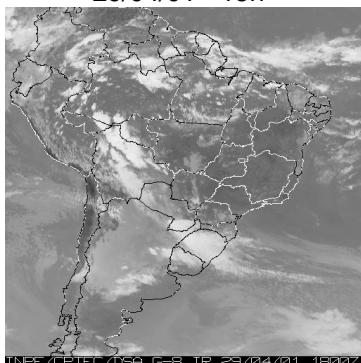
23/02/01 - 15h



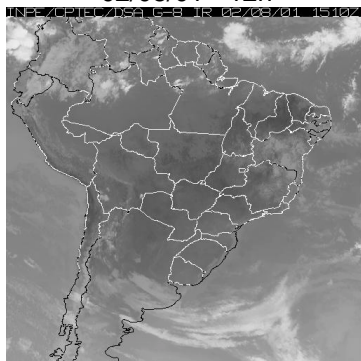
29/04/01 - 12h



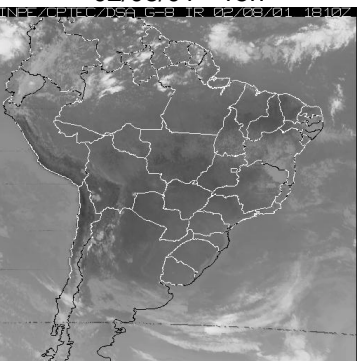
29/04/01 - 15h



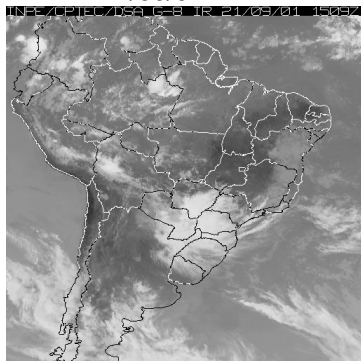
02/08/01 - 12h



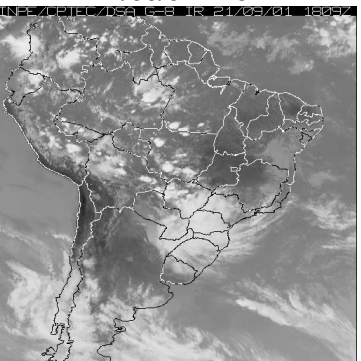
02/08/01 - 15h



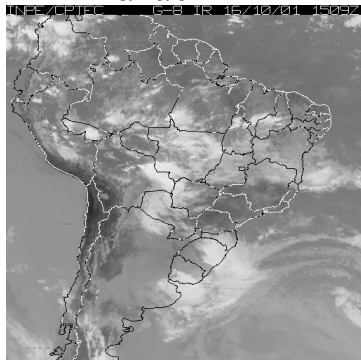
21/09/01 - 12h



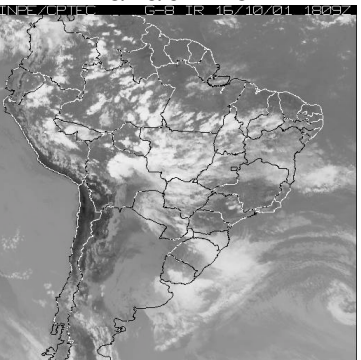
21/09/01 - 15h



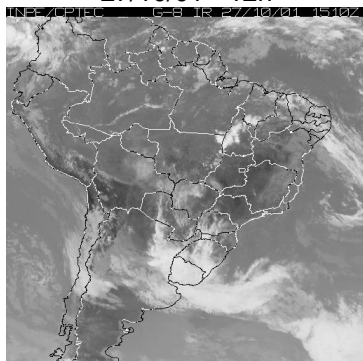
16/10/01 - 12h



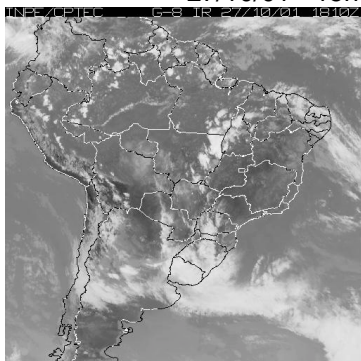
16/10/01 - 15h



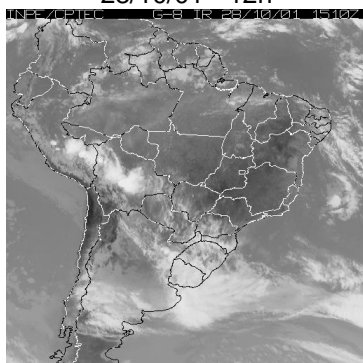
27/10/01 - 12h



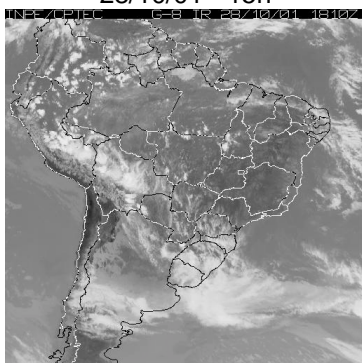
27/10/01 - 15h



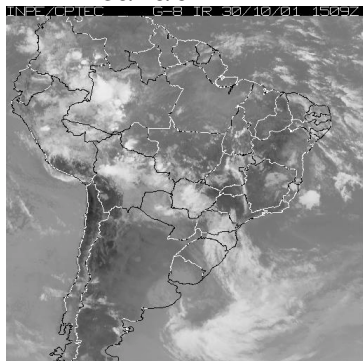
28/10/01 - 12h



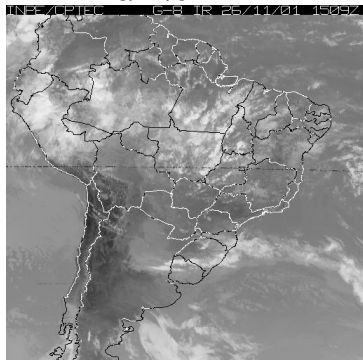
28/10/01 - 15h



30/10/01 - 12h



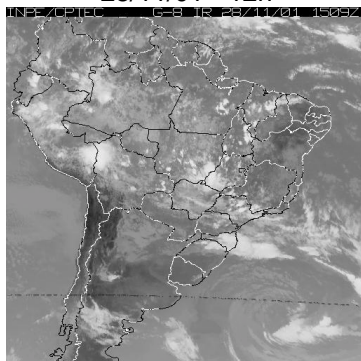
26/11/01 - 12h



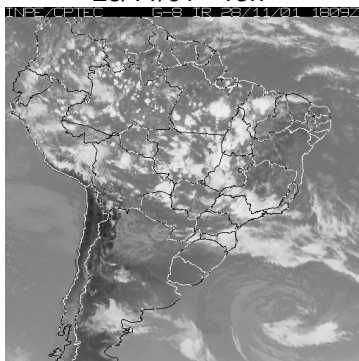
26/11/01 - 15h



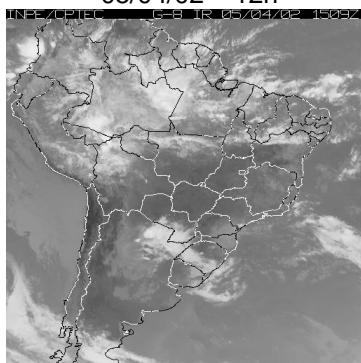
28/11/01 - 12h



28/11/01 - 15h



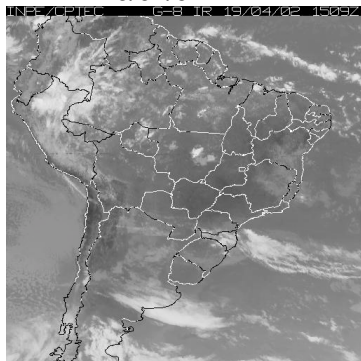
05/04/02 - 12h



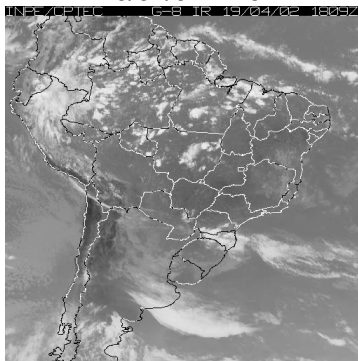
05/04/02 - 15h



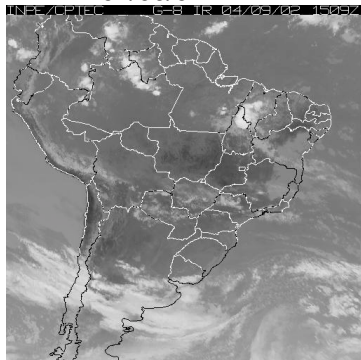
19/04/02 - 12h



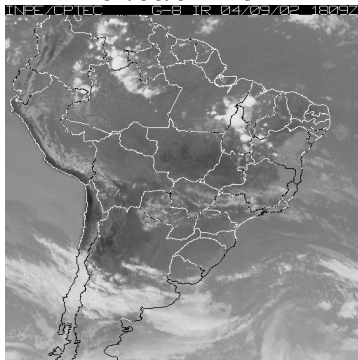
19/04/02 - 15h



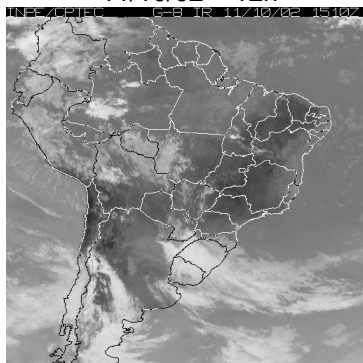
04/09/02 - 12h



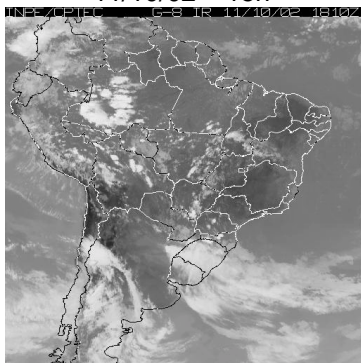
04/09/02 - 15h



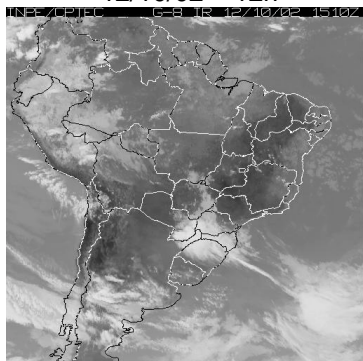
11/10/02 – 12h



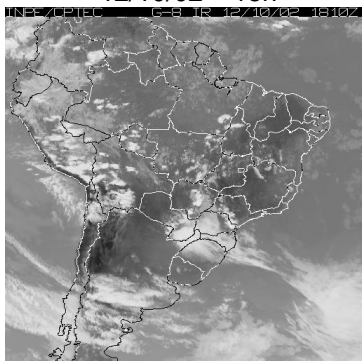
11/10/02 – 15h



12/10/02 – 12h



12/10/02 – 15h



14/10/02 – 12h

