



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**UTILIZAÇÃO DA ESPÉCIE *NICOTIANA TABACCUM* COMO
BIOINDICADOR DA CONCENTRAÇÃO DE OZÔNIO
TROPOSFÉRICO - ABORDAGEM QUANTITATIVA**

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

(PIBIC/CNPq/INPE)

Nome do Bolsista: Sérgio Silva Pereira (INPE, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: sergiop@cptec.inpe.br

Orientadores: Dr^a Maria Paulete Martins Pereira Jorge (INPE/CPTEC)
E-mail: paulete@cptec.inpe.br

Dr^a Rauda Lúcia Mariani (INPE/CPTEC – UFF)
E-mail: rauda@cptec.inpe.br

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e todas as pessoas que me ajudaram a vencer mais esta etapa da vida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro de bolsa de iniciação científica. Também gostaria de agradecer ao Centro Universitário Salesiano de São Paulo - UNISAL, Unidade Lorena, pela oportunidade de realizar a minha graduação em geografia.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE pela oportunidade de estudos, colaboração e desenvolvimento de pesquisas, pela participação de congressos e utilização de suas instalações.

Aos professores do UNISAL pelo conhecimento compartilhado.

A meus pais que se sacrificaram pela minha educação.

A Dra. Rauda Lúcia Mariani pelas orientações.

À Dra. Maria Paulete Pereira Martins Jorge pelas orientações, incentivo e discussões que tanto enriqueceram meus conhecimentos.

RESUMO

Com o objetivo de contribuir para a caracterização da qualidade do ar em São José dos Campos, foi desenvolvida em 2006 uma campanha de biomonitoramento, que consistiu na avaliação ambiental de uma determinada área, por meio de organismos vivos. A espécie *Nicotiana tabaco* foi utilizada como planta bioindicadora, pois responde à poluição do ar, em especial ao ozônio troposférico (O_3), através do aparecimento de injúrias ou necroses foliares, queda das folhas e/ou diminuição no seu crescimento. Para quantificar as injúrias foi desenvolvida uma metodologia analítica incluindo a escolha de um software (Brush Strokes Image Editor) para tratamento das fotos das folhas e um programa específico para calcular a porcentagem da área danificada. Nesta abordagem quantitativa foi criado um banco de dados com o percentual de injúria foliar dos 24 pontos do biomonitoramento e através do software SPRING foi gerado um mapa da distribuição espacial dos efeitos da poluição na planta *Nicotiana tabaco*. A análise da correlação entre o mapa do percentual de injúrias e a concentração de ozônio medido pela estação da CETESB no município, mostrou uma eficácia significativa, pois as regiões propícias para encontrar altas concentrações de O_3 são suburbana e rural, presenciadas no mapa. A variabilidade do ozônio nos municípios é muito grande, nas regiões centrais em geral se encontram os precursores e nas regiões suburbanas e rurais as concentrações mais elevadas.

**USE OF THE SPECIES *NICOTIANA TABACUM* AS BIOINDICADOR OF
TROPOSPHERIC OZONE CONCENTRATION- QUANTITATIVE
APPROACH.**

ABSTRACT

Aiming to contribute to the characterization of air quality in Sao Jose dos Campos, was developed in 2006 a campaign of biomonitoring, which was the environmental assessment of a given area, through living organisms. The species *Nicotiana tobacco* was used as a blueprint bioindicadora therefore respond to air pollution, especially the tropospheric ozone (O₃), through the emergence of insults or leaf necrosis, falling leaves and / or decrease in their growth. To quantify the injury was developed analytical methodology including the choice of software (Brush Strokes Image Editor) for treatment of photos of leaves and a specific program to calculate the percentage of the damaged area. This quantitative approach has created a database with the percentage of leaf injury the 24 points of biomonitoring and through the SPRING software was created a map of the spatial distribution of the effects of pollution on tobacco plant *Nicotiana*. The analysis of the correlation between the map of the percentage of insults and the concentration of ozone measured by the CETESB station in the city, showed a significant effectiveness, as the regions which to find high concentrations of O₃ are suburban and rural, presence on the map. The variability of ozone in the municipalities is very large, in the central regions in general are the precursors and in suburban and rural regions the highest concentrations.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE GRÁFICOS.....	8
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	10
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS	
2.1 – Poluição atmosférica nos centros urbanos.....	12
2.1.1 – Efeitos na saúde.....	12
2.1.2 – Ozônio troposférico.....	14
2.2 – Situação Regional.....	15
2.3 – Influências da circulação atmosférica.....	18
2.4 – Biomonitoramento.....	19
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS	
3.1 – Área de estudo.....	21
3.2 – Coleta de dados.....	22
3.2.1 – Injúrias foliares	22
3.2.2 – Mapa SPRING	24
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	
4.1 – Abordagem Quantitativa – Mapa SPRING	25
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	29
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	31

LISTA DE FIGURAS

- 1- **Figura 1:** Localização Geográfica de São José dos Campos..... 11
- 2- **Figura 2:** Processo de Formação do Ozônio Troposférico..... 14
- 3- **Figura 3:** Ozônio Troposférico suas Fontes e seus Efeitos nos Seres Vivos..... 15
- 4- **Figura 4:** Carta imagem de São José dos Campos, SP – Brasil. Satélite Landsat..... 21
- 5- **Figura 5:** (a): Imagem da folha em formato JPG, com anteparo branco; (b) Imagem da mesma folha, editada em formato BMP..... 23
- 6- **Figura 6:** Exemplo do cálculo do % de injúrias baseado na contagem de pixels... 23
- 7- **Figura 7:** Teste da eficiência do cálculo das injúrias: cálculo direto com simulação de injúrias e resultado do cálculo usando o programa..... 24
- 8- **Figura 8:** - Distribuição das máximas porcentagens de injúria foliar do município de São José dos Campos - SP. Resultados referentes à campanha de biomonitoramento em 2006, utilizando a *Nicotiana Tabacum*..... 26

LISTA DE TABELAS

- 1- **Tabela 1:** - Máximas porcentagens de injúrias por mês e bairro de São José dos Campos 25

LISTA DE GRÁFICOS

- 1- **Gráfico 1:** : Número de dias com concentração de ozônio entre 80 e 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 120 e 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, entre 160 e 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e acima de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para os anos de 2002, 2003, 2004, 2005, 2006 e 2007..... 16
- 2- **Gráfico 2:** Médias das concentrações máximas anuais de ozônio para os anos de 2002, 2003, 2004, 2005, 2006 e 2007..... 17
- 3- **Gráfico 3:** Concentrações das máximas diárias de ozônio – junho a outubro 2006..... 27
- 4- **Gráfico 4:** Distribuição da frequência da direção dos ventos – junho a outubro 2006..... 28

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento industrial e urbano tem causado em todo o mundo um aumento crescente da emissão de poluentes atmosféricos. Os efeitos da poluição do ar se caracterizam tanto pela alteração de condições consideradas normais como pelo aumento de problemas já existentes. Os efeitos podem ocorrer em nível local, regional e global, pois de uma forma geral origina desequilíbrios em todos os ecossistemas. As condições meteorológicas têm influência decisiva na qualidade do ar, sendo importante ter informações sobre a velocidade e a direção do vento no local monitorado.

O acréscimo das concentrações destas substâncias na atmosfera, a sua deposição no solo, nos vegetais e nos materiais é responsável por danos na saúde e bem-estar da população, na vegetação e na fauna, na produção agrícola, nas florestas, nos materiais, assim como sobre as propriedades da atmosfera passando pela redução da visibilidade, alteração da acidez das águas da chuva (chuva ácida), aumento do efeito estufa, redução da camada de ozônio, etc. A chuva ácida, por exemplo, causada pela emissão de determinados gases, provoca a acidificação de lagos e rios, modificações no pH do solo, degradação das árvores, modificações nos nutrientes necessários para o crescimento das plantas e a deterioração de materiais manufaturados e estruturas (LA ROVERE, 1995).

Em relação à saúde e correlatos, os efeitos vão desde o desconforto até a morte, passando pelo aumento da procura pelo sistema de saúde (centros de saúde, hospitais, pronto socorros), aumento da taxa de morbidade (doenças), e mortalidade associada ao agravamento das doenças. A Saúde Ambiental tem como um de seus objetivos, a prevenção dos danos à saúde causados por contaminantes químicos presentes no meio ambiente, fazendo com que os níveis desta exposição sejam mantidos em valores que não constituam um risco inaceitável. Para isso, tornam-se necessárias à identificação e quantificação deste risco.

São José dos Campos é a maior cidade do Vale do Paraíba (Figura 1), região na qual está situado um dos mais importantes pólos industriais e uma das mais movimentadas rodovias do Brasil (Rodovia Presidente Dutra), sendo, portanto altamente industrializada e com elevado fluxo veicular. Dentre os principais problemas ambientais da cidade destacam-se a poluição atmosférica. Atualmente a principal preocupação no que se refere aos contaminantes atmosféricos em São José dos Campos,

são as elevadas concentrações de ozônio, que ao longo desses últimos anos vêm ultrapassando os padrões de qualidade do ar. (CETESB, 2004).

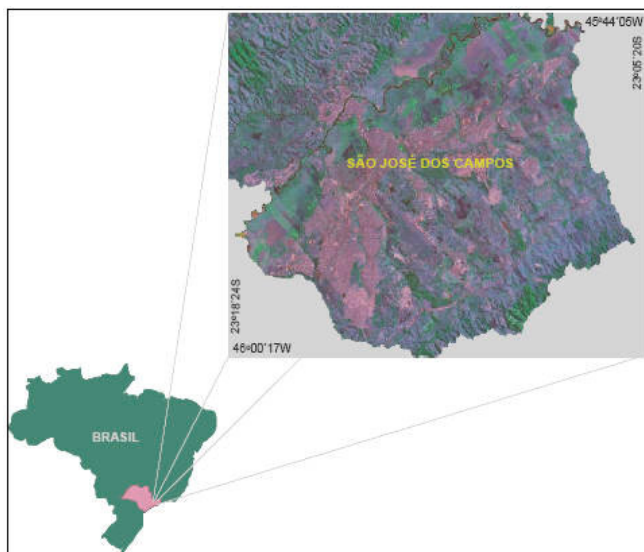


Figura 1: Localização geográfica de São José dos Campos.

Para o monitoramento da qualidade do ar a cidade conta com uma estação incompleta, que mede ozônio, dióxido de enxofre e material particulado. Neste sentido justifica-se a importância e necessidade de executar o biomonitoramento, sendo este um sistema de monitoramento qualitativo, de baixo custo operacional e que por isso pode atingir grandes áreas, determinando assim os pontos mais vulneráveis (de maior concentração).

Há também uma grande preocupação da população quanto à falta de dados da saúde relacionados com poluição do ar na cidade. Sendo o ar o mais crítico e importante elemento para a vida humana, temos que garantir a qualidade deste. Assim, um estudo que qualifica o ar e forma um banco de dados correlacionando a concentração dos poluentes atmosféricos e com espécies bioindicadoras, apresentam uma contribuição técnica, que poderá auxiliar órgãos competentes sobre a importância de investir na utilização de redes de monitoramento da qualidade do ar e conscientizar a população de São José dos Campos sobre a necessidade de reduzir as emissões de poluentes, incentivando a utilização de redes de monitoramento da qualidade do ar; a florestação; o estabelecimento de Planos de Emergência para situações de poluição atmosférica grave; a criação de serviços de informação e de auxílio às populações sujeitas ou afetadas pela poluição atmosférica.

Nosso projeto restringe-se à caracterização e monitoramento da qualidade do ar, através do biomonitoramento com a espécie *Nicotiana Tabaccum*.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 – Poluição atmosférica nos centros urbanos

A poluição atmosférica é um dos principais problemas dos grandes centros urbanos. No Brasil, o crescimento econômico das últimas décadas, perversamente traduzido pelo aumento da produção industrial e pelo crescimento da frota de veículos, tem gerado uma série de impactos negativos sobre a saúde das populações próximas e sobre o meio ambiente.

Os efeitos danosos da poluição atmosférica sobre a saúde humana são extremamente graves, principalmente em Países em desenvolvimento como o Brasil. Embora haja uma série de dificuldades para a quantificação dos efeitos, estudos mostram que, principalmente em áreas urbanas do País, ela contribui para o surgimento ou agravamento de problemas como mortes prematuras, doenças respiratórias e várias outras doenças. Frequentemente também está associada a dificuldades de aprendizado e problemas comportamentais (WHO, 2000), afeta o sistema respiratório podendo agravar ou mesmo provocar diversas doenças crônicas; danos ao sistema nervoso central; alterações genéticas e câncer e tem influência sobre a determinação do sexo dos bebês (FRANCISCO et al, 2004).

2.1.1 – Efeitos na saúde

Sucintamente, poluentes atmosféricos são substâncias que, em função de suas concentrações anormais, podem tornar o ar nocivo à saúde dos seres vivos, danoso à fauna, à flora ou aos materiais. Os poluentes podem ser lançados diretamente na atmosfera, ou surgirem indiretamente por meio de reações químicas. Tais reações surgem em função de aumentos nas concentrações de certos gases.

Os poluentes provocam degradação da qualidade do ar quando presentes em quantidades superiores à capacidade do meio ambiente de absorvê-los. Assim, as quantidades de poluentes presentes no ar influenciam diretamente na qualidade deste. No entanto, em um nível local as magnitudes de suas emissões não são os únicos fatores

determinantes da qualidade do ar. A interação entre os poluentes e a atmosfera, considerando as variáveis meteorológicas que influem na capacidade de diluição destes no ar, também contribui para a definição do nível de qualidade do ar em uma região.

Existe um conjunto bastante elevado de gases que, em determinadas condições, podem ser classificados como poluentes ou que podem contribuir para a sua formação. Dentre os que provocam os maiores impactos locais merecem destaque o monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO₂), o dióxido de nitrogênio (NO₂), o ozônio troposférico (O₃) e os materiais particulados.

Sob a denominação “material particulado” são agregados os poluentes “partículas totais em suspensão”, “partículas inaláveis” e “fumaça”. São partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc. As principais fontes destas substâncias são termoeletricas, siderúrgicas, queimadas, veículos movidos a Diesel, fábricas de cimento e alguns ramos da indústria química. Os efeitos resultantes do aumento da concentração destes poluentes incluem problemas respiratórios como asma e bronquite. Além disso, tais poluentes podem causar danos à vegetação, redução da visibilidade e contaminação do solo (CETESB, 1999).

Alguns dados estatísticos:

- Estudos realizados em São Paulo, indicaram que um aumento de 30% no número de mortes em função de doenças respiratórias em crianças menores de 5 anos, poderia ser relacionado a uma elevação de 75µg/m³ na concentração de dióxido de nitrogênio (WHO, 2000).
- Também em São Paulo, estudo desenvolvido pela Secretaria de Estado da Saúde, em parceria com a Universidade de São Paulo e com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), mostrou que 10% das internações por doenças respiratórias na infância e 9% das mortes em idosos estão relacionadas com elevadas concentrações atmosféricas de material particulado (FREITAS, 2002).
- O número estimado de mortes causadas por problemas decorrentes da poluição atmosférica no mundo é de cerca de 3 milhões. Este valor

representa 5% do total de 55 milhões de mortes que ocorrem anualmente no mundo (WHO, 2000).

- Em algumas populações, cerca de 30 a 40% dos casos de asma e 20 a 30% de todas as doenças respiratórias podem ser relacionadas à poluição atmosférica (WHO, 2000).
- Em algumas populações, uma redução de 20% na poluição do ar em ambientes fechados pode reduzir os índices de mortalidade, em função de infecções respiratórias agudas, em pelo menos 4 a 8% (WHO, 2000).

2.1.2 – Ozônio troposférico

O ozônio troposférico não é emitido diretamente na atmosfera, sendo produzido fotoquimicamente por reações químicas entre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis na presença de radiação solar. Assim, surge principalmente a partir dos gases provenientes dos escapamentos dos automóveis e da poluição industrial, sendo encontrado em maiores concentrações nas áreas urbanas. O gás também surge em consequência da queima da vegetação, quando então sua concentração se eleva, atingindo altos níveis particularmente em regiões como a Amazônia.

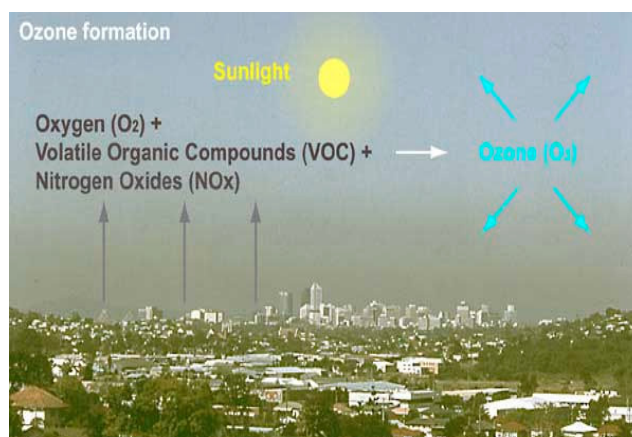


Figura 2: Processo de formação do Ozônio troposférico.

O ozônio é um gás que apresenta funções diversas conforme a altitude em que se encontra. Na troposfera comporta-se como um gás tóxico que, em altas concentrações, é prejudicial aos seres vivos e ao Homem em particular, provocando irritações nos olhos e uma série de problemas respiratórios. Além disso, altas concentrações de ozônio podem também resultar em danos a plantações e à vegetação natural (KIRCHHOFF, 1989).

Ozônio	Naturais e Antropogênicas	Ação da luz solar sobre os hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio, resultantes do processo de queima de combustíveis, principalmente por veículos.	Envelhecimento precoce, diminuição da capacidade do organismo de resistir a infecções respiratórias
--------	---------------------------	--	---

Figura 3: Ozônio troposférico suas fontes e seus efeitos nos seres vivos.

Pelo fato de o ozônio ter caráter altamente oxidante, essa substância tem capacidade de modificar o equilíbrio ambiental de ecossistemas e alterar a bioquímica das plantas (SÃO PAULO, 2004).

2.2 – Situação Regional

Os grandes centros urbanos enfrentam hoje os problemas decorrentes da exposição a um dos poluentes atmosféricos mais agressivos à saúde e ao meio ambiente. O ozônio (O_3) é um gás extremamente tóxico e pode causar sérios danos, mesmo em baixa concentração. Estudos recentes indicam que o ozônio causa irritação dos olhos, nariz e garganta, leva ao envelhecimento precoce da pele, causa tosse, dor de cabeça, náuseas, cansaço, diminui a resistência a infecções, agrava doenças respiratórias e pode estar relacionado ao câncer de pulmão. Além de causar danos à vegetação e sistemas aquáticos, possui forte ação corrosiva e reduzir a vida útil dos materiais.

São José dos Campos é a maior cidade do Vale do Paraíba, uma das regiões mais urbanizadas e produtivas do Brasil, com uma série de problemas ambientais e sociais decorrentes deste fato: poluição dos rios e do ar, destruição da cobertura natural de florestas, deterioração da qualidade de vida nas áreas urbanas, descontrole da migração humana, maior demanda de energia, entre outros. O perímetro urbano está inserido numa região com alto potencial para elevadas concentrações de ozônio: além do complexo industrial com 900 indústrias, o município possui quase 600 mil habitantes, mais de 200 mil veículos e é cortado pela rodovia Presidente Dutra, que possui um intenso fluxo de 80 mil veículos/dia. As condições meteorológicas são influenciadas por uma topografia que inclui a proximidade do litoral e duas cadeias de montanhas que circundam o Vale, apresentando situações atípicas como chuvas fortes, granizo, nevoeiros e inversões térmicas. Em virtude desses fatores as ultrapassagens de ozônio no município são frequentes.

O gráfico 1 foi construído considerando-se os valores máximos diários das concentrações de ozônio em São José dos Campos, de acordo com os resultados fornecidos pela estação automática de qualidade do ar da cidade (CETESB). Em 2002 ocorreram 13 dias ultrapassagens do PQA e 2 dias níveis de atenção. Em 2003 e 2004, ocorreram respectivamente, 8 e 7 dias com ultrapassagens do padrão e ambos com 1 dia de nível de atenção. O ano 2005 apresentou 3 dias valores acima do PQA e 1 dia com nível de atenção e para 2006 apenas um dia de ultrapassagem do PQA. Durante os anos de 2005 e 2006, o número de dias com valores acima do PQA, foram reduzidos, sabendo que não ocorreu nenhuma política para redução dos poluentes atmosféricos, pode-se dizer que esta baixa foi influenciada por um período atípico no contexto meteorológico. Já em 2007 os valores voltam a ser altos sendo 10 dias com ultrapassagem do PQA e 2 dias com nível de atenção, fortalecendo a hipótese da redução para anos de 2005 e 2006. Nesses seis anos ocorreram várias ultrapassagens do PQA recomendado pela CETESB. Além disso, para concentrações entre 120 e 160 $\mu\text{g.m}^{-3}$, o número de ocorrências são: 47 para 2002, 61 para 2003, 34 para 2004, 27 para 2005, 29 para 2006 e 47 para 2007, respectivamente. Esses dados mostram que existe um nível crônico de exposição, cujos efeitos na saúde são pouco conhecidos.

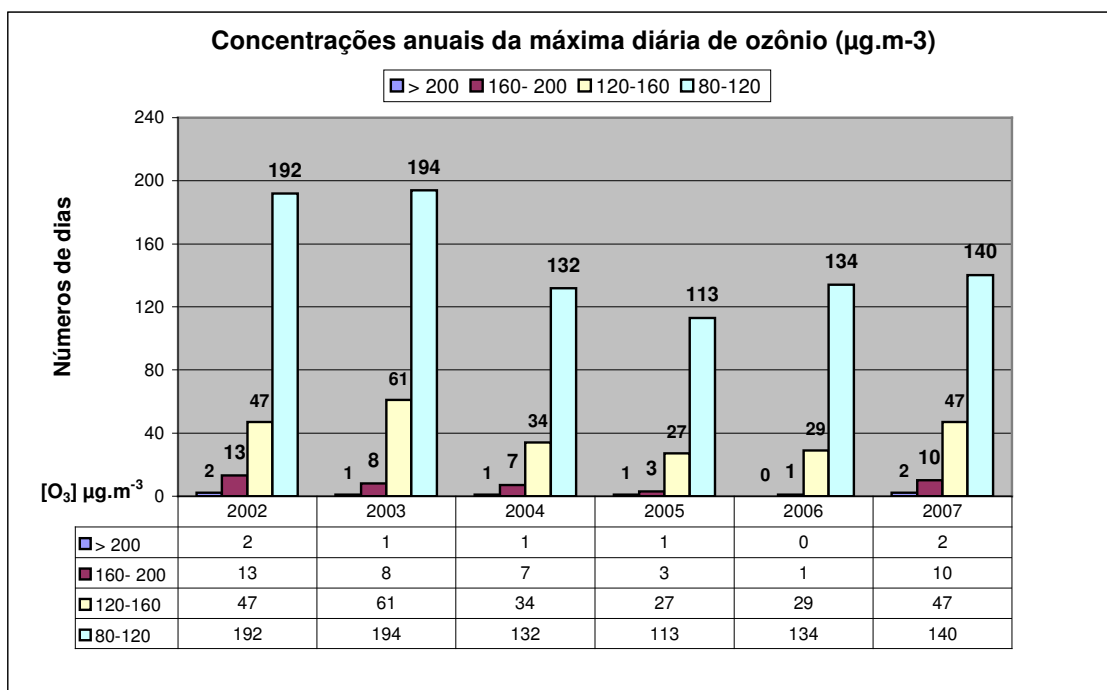


Gráfico 1: Número de dias com concentração de ozônio entre 80 e 120 $\mu\text{g/m}^3$, 120 e 160 $\mu\text{g/m}^3$, entre 160 e 200 $\mu\text{g/m}^3$ e acima de 200 $\mu\text{g/m}^3$, para os anos de 2002, 2003, 2004, 2005, 2006 e 2007.

Ao analisar também as concentrações das médias das máximas anuais de ozônio em São José dos Campos, os valores obtidos estiveram entre 74 a 88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, visto no gráfico 2.

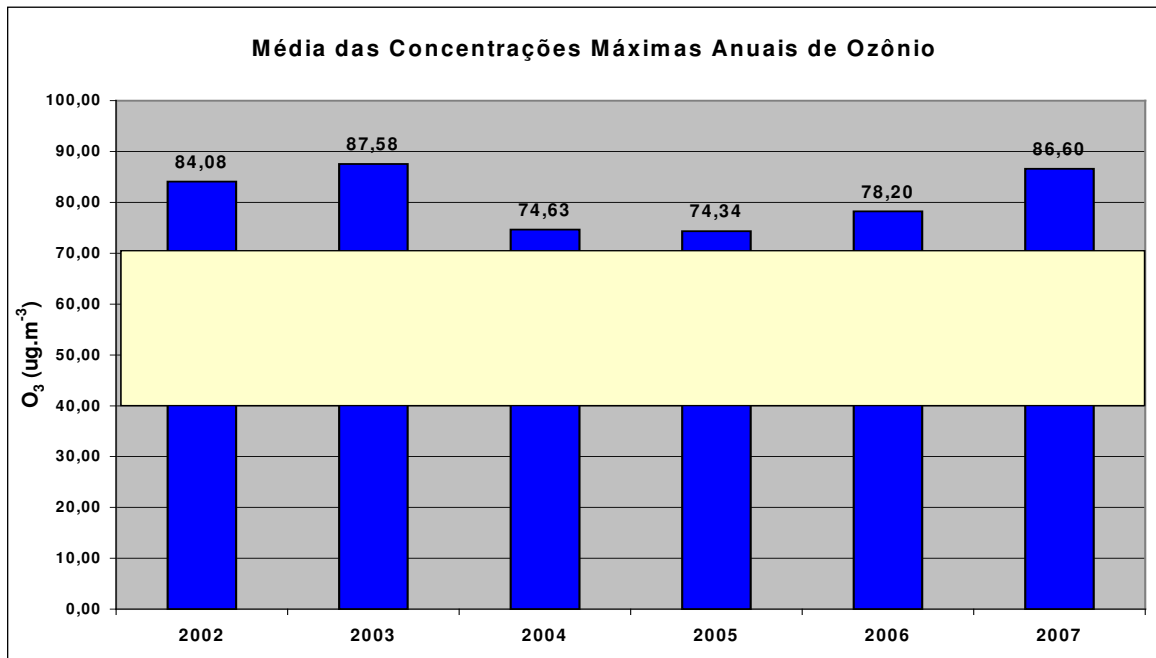


Gráfico 2: Médias das concentrações máximas anuais de ozônio para os anos de 2002, 2003, 2004, 2005, 2006 e 2007.

A Organização Mundial da Saúde (WHO), sugere para concentrações anuais valores entre 40 a 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pois seus estudos indicam por cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozônio nas concentrações superiores a de 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, aumenta a mortalidade diária no intervalo de 0,3 a 0,5% (WHO, 2000).

Além disso a relação do ozônio sobre seu efeito na saúde, podem ser vistas nas ocorrências mais relatadas da exposição de seres humanos são irritação nos olhos, nas vias respiratórias e o agravamento de doenças respiratórias preexistentes, como a asma. Sabe-se que a exposição repetida ao ozônio pode tornar as pessoas mais suscetíveis a infecções respiratórias e inflamação nos pulmões. Adultos e crianças saudáveis também estão sujeitos aos efeitos danosos causados pelo ozônio se expostos a níveis elevados durante a prática de exercícios físicos. Além de danoso à saúde humana o ozônio é prejudicial à vegetação causando danos às colheitas e à vegetação natural. Os efeitos observados em plantas referem-se à diminuição na taxa de crescimento, aumento da vulnerabilidade a insetos e problemas de pigmentação, devido a alterações no processo de fotossíntese. (CETESB,1985)

2.3 – Influências da circulação atmosférica

O município de São José dos Campos é situado numa região de vale, cercada por duas Serras Mantiqueira e do Mar, onde sua proximidade com oceano e suas características topográficas fazem que os fenômenos de escala local destacam-se a *brisa marítima* que chega à área de estudo através da depressão do Vale do Paraíba; a *convecção local* responsável pelas chuvas de grande intensidade e curta duração verificadas ao cair da noite e *circulação vale-montanha*.

Os Sistemas Frontais que se deslocam da região sul do continente sul-americano, atuam com grande intensidade sobre a região, normalmente trazendo chuvas e queda de temperatura.

Sua circulação atmosférica em escala sinóptica é representada pelo *Anticiclone do Atlântico* o qual corresponde a uma massa de ar de temperaturas mais ou menos elevadas dada a elevada radiação solar e forte umidade fornecida pela intensa evaporação marítima. Esse sistema atmosférico é responsável pela estabilidade do tempo que somente é interrompida pela entrada de correntes perturbadas que compreendem os seguintes sistemas:

- *Correntes Perturbadas do Sul*: São provenientes das regiões polares e que no verão são responsáveis pelas precipitações de pequena intensidade e grande duração as quais se verificam com muita frequência em áreas próximas as serras;
- *Correntes Perturbadas de Oeste*: Decorrem da invasão dos ventos de oeste e noroeste trazidos por *linhas de instabilidade tropicais*. Estas originam-se de movimentos ondulatórios resultantes do contato da *frente polar* com o ar quente da zona tropical. Essas linhas deslocam-se a velocidades de até 60 Km/h e são responsáveis pelas precipitações de grande intensidade e curta duração muito conhecidas por *chuvas de verão*; e

As características topográficas da região definem a maioria dos sistemas de circulação locais, como é o caso dos ventos chamados anabáticos e catabáticos nas interfaces vale/montanha; além dos sistemas de brisas oceano - continente, e de ventos canalizados ao longo de vales.

Segundo Medeiros (1996), nos vales e nas bacias comprimidas entre montanhas, como é o caso de São José dos Campos, a qualidade do ar fica comprometida pela dificuldade da dispersão dos poluentes, não sendo áreas propícias à implantação de indústrias com grande potencial poluidor.

Segundo Molion (1980), a circulação de ar no Vale do Paraíba durante os dias claros aquece as encostas com radiação solar. O ar aquecido sobe, forçando um movimento descendente sobre o centro do Vale. Ao entardecer, as encostas se resfriam mais rapidamente que o fundo do vale, e a circulação se inverte, pois os ventos descem as encostas onde o ar resfriado próximo a superfície torna-se mais denso.

O ar mais frio no fundo do vale pode agravar as condições de dispersão, propiciando altas concentrações de poluentes. Isto ocorre porque o ar mais quente, que desce a encosta, coloca-se sobre o ar do vale, resultando num aumento da estabilidade, causando assim uma inversão com base na superfície, ou reforçando a inversão de radiação já existente.

Alem disso, apresenta situações atípicas como chuvas fortes e granizo durante seu período de verão, no período de inverno com predomínio do sistema de alta pressão aparecem os nevoeiros, as inversões térmicas, que proporcionam clima seco e amplitude térmica alta. Desta forma, a dispersão dos poluentes liberados próximos ao chão, é seriamente prejudicada.

2.4 – Biomonitoramento

O Biomonitoramento é um método experimental que permite avaliar a resposta de um organismo vivo a poluição, oferecendo vantagens como custos reduzidos e eficiência para o monitoramento de áreas extensas por longos períodos de tempo. A utilização da *Nicotiana tabacum L. Bel-W3* como indicador da concentração de ozônio na atmosfera surgiu no sul da Califórnia (EUA), a partir da década de 50, quando ocorreu uma queda na produção das indústrias de charuto em decorrência do aparecimento de manchas necróticas nas folhas do tabaco. Pesquisadores do Centro de Pesquisas em Agricultura dos Estados Unidos (USDA Agricultural Research Center) descobriram que as manchas formavam-se em decorrência da presença de ozônio no ambiente (HEGGESTAD, 1991). A partir daí, o biomonitoramento tornou-se uma prática comum em países do hemisfério norte, principalmente Europa (ASHMORE et

al, 1978; KLUMPP et al, 2001 e VERGÉ et al, 2002). A utilização da espécie *Nicotiana tabacum* L.Bel-W3 como bioindicadora de ozônio é feita comparando-se os diferentes níveis de danos foliares (pontos cloróticos que evoluem para pontos necróticos) apresentados pela espécie quando submetida à diferentes níveis de poluição. Assim, objetivou-se avaliar o potencial dessa cultivar para biomonitoramento do nível de contaminação atmosférica por ozônio na cidade de São José dos Campos. Para tanto, foi determinada a variação na porcentagem de área foliar ocupada por necroses em plantas de *N. tabacum* expostas em diferentes regiões da cidade com concentrações de poluentes distintas e verificada qual sua relação com ozônio, entre outros poluentes, e com fatores climáticos. A metodologia para quantificação das injúrias ainda não é padronizada, ficando o uso muitas vezes restrito a comparações visuais.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 – Área de Estudo

Em 2006 foi realizada uma campanha de biomonitoramento em todo o perímetro urbano São José dos Campos e também no Distrito de São Francisco Xavier. A figura 1 mostra uma carta imagem de São José dos Campos com os 24 pontos onde foram expostas as floreiras com espécie sensível e não sensível da *Nicotiana tabaco*, representados na imagem por pontos amarelos. O município conta com três estações meteorológicas, uma localizada no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), outra na Universidade do Vale do Paraíba - Urbanova e uma estação acoplada á estação de monitoramento automático da qualidade do ar da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), representados na figura 2 pelos pontos vermelhos.



Fonte: INPE-CPTEC – Escala 1:50.000

Figura 4: Carta imagem de São José dos Campos, SP – Brasil. Satélite Landsat.

3.2 – Coleta de dados

Em cada um dos pontos de biomonitoramento foram instaladas floreiras com exemplares da espécie *Nicotiana Tabacum*. Para a caracterização da qualidade do ar foram considerados aspectos: quantificação das injúrias da espécie e mapa SPRING.

3.2.1 – Injúrias foliares

A avaliação quantitativa das injúrias ou necroses foliares é feita através do percentual da área foliar atingida. O acompanhamento foi feito a partir da observação da primeira injúria apresentada. A partir daí foram tomadas imagens da mesma folha, em frequência semanal, com o objetivo de obter uma seqüência cronológica até atingir 100% de injúrias, isto é até a morte da folha. A opção pelo acompanhamento da evolução das injúrias em folhas separadas do conjunto foi feita para reduzir o número de imagens a ser tratadas, pois cada exemplar com uma média de 6 folhas gerariam um total em torno de 912 imagens por semana. Cada imagem gerada passa por um tratamento, onde são corrigidas distorções causadas por sombras, presença de poeiras ou insetos. Para essa fase optou-se pela utilização do programa “Brush Strokes Image Editor” (Brush, 2004). A escolha do Brush se deu por ser um editor de fotos para imagens em vários formatos (GIF, JPEG, BMP, PNG, TIFF, PCX, dentre outros), pela facilidade de manipulação das fotos, apresentando recursos de filtros, seleção e classificação de imagens e por ser um software gratuito que amplia o acesso das escolas públicas. As imagens foram tomadas com um anteparo branco sob a folha desejada, para definir melhor o contorno, gerando um arquivo no formato JPEG como na figura 5(a). As fotos originais editadas pelo programa “Brush” diferenciam as injúrias do corpo da folha, observando alterações nas cores, tons e perfurações. Esse software disponibiliza uma ferramenta (varinha mágica) que seleciona automaticamente áreas com diferentes tonalidades que posteriormente serão padronizadas na cor branca. O fundo da foto deve ser definido na cor preta gerando fotos em formato BMP como na figura 5(b). Outros softwares podem ser utilizados no tratamento da imagem, desde que o resultado final apresente o fundo preto e as injúrias a serem quantificadas, na cor branca.



Figura 5 (a): Imagem da folha em formato JPG, com anteparo branco; (b) Imagem da mesma folha, editada em formato BMP.

Com a imagem editada a quantificação das injúrias é feita através da utilização de um programa desenvolvido especialmente para esse fim. O programa conta o número de pixels do fundo da foto (editadas na cor preta), o número de pixels das injúrias (manchas foliares editadas na cor branca) e o número de pixels total da foto selecionada. Por exclusão, o número de pixels na cor verde, representa a área foliar que não apresentou injúria. A área da folha da *Nicotiana tabacum* analisada é a soma do número de pixels em verde e do número de pixels em branco da foto. O cálculo da porcentagem da folha que sofreu injúria é dado pela relação entre o número de pixels das manchas (injúrias) e o número de pixels da folha toda (soma dos pixels verde e branco), como mostra a figura 6.



Tamanho da imagem	=	3145728
Fundo	=	1974602
Folha	=	1171126
Manchas	=	98881
% manchas	=	8.44324%

Figura 6 - Exemplo do cálculo do % de injúrias baseado na contagem de pixels.

A eficiência do programa foi testada utilizando-se uma imagem simulada com porcentagem de injúrias conhecida de 18,18% como mostra a figura 7. A porcentagem obtida pelo programa “Cálculo das Injúrias” foi de 17,88%, apresentando um erro de 0,98%, gerado pelo tratamento manual da foto simulada.

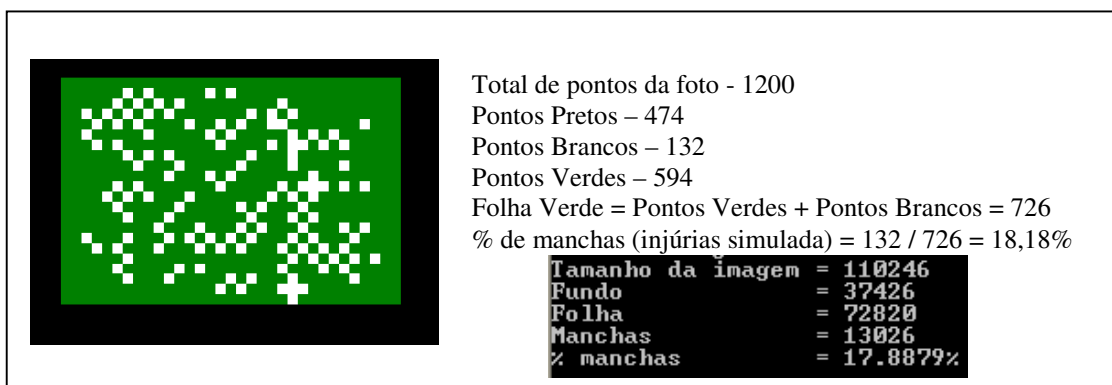


Figura 7 - Teste da eficiência do cálculo das injúrias: cálculo direto com simulação de injúrias e resultado do cálculo usando o programa.

3.2.3 – Mapa SPRING

Nesta abordagem quantitativa foi criado um banco de dados das máximas porcentagens de injúrias dos 24 pontos do biomonitoramento georeferenciados e inseridos no software SPRING desenvolvido pelo INPE, disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring>, foi gerado um mapa da distribuição espacial do ozônio troposférico, utilizando o processo de interpolação de média ponderada, visualizando os efeitos desse poluente na planta *Nicotiana tabaco* e sua flutuação no município de São José dos Campos.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 – Abordagem Quantitativa – Mapa SPRING

A *N. tabacum* mostrou-se adequada para biomonitoramento quantitativa da presença de O₃ na cidade, pois diferenciou as áreas mais e menos contaminadas.

Dentro da abordagem quantitativa foi desenvolvido um banco de dados das máximas porcentagens de injúrias da espécie *Nicotiana tabacum* (Tabela 1).

Tabela 1: Máximas porcentagens de injúrias por mês e bairro de São José dos Campos.

Bairro	Mês	% Injúrias	Bairro	Mês	% Injúrias
Jd das Flores	jun	19,50			
	jul	64,00	Alto de Santana	jul	47,63
Vila Tesouro	jul	28,45	Vila Paiva	jul	6,89
Interlagos	jul	13,00	Campos de São José	jul	31,00
Vila Tesouro	jul	28,45			
Novo Horizonte	ago	58,4	Vila Dirce	ago	14,16
Vila Industrial	ago	4,24	São Francisco Xavier	ago	14,50
Limoeiro	ago	11,00	Galo Branco	ago	20,50
Parque Industrial	ago	22,00	Vista Verde - WF	ago	15,03
Jd Aquarius	set	58,40	CTA	set	12,00
Jd das Indústrias	set	35,50	Cajurú	set	83,40
Jardim Morumbi	set	35,50	Cetesb	set	13,80
UNIP	set	39,59			
Andrômeda	out	6,40	Jd da Granja	out	19,50

A variabilidade do ozônio nos municípios é muito grande, nas regiões centrais em geral se encontram os precursores e nas regiões suburbanas e rurais as concentrações mais elevadas.

A poluição por ozônio em São José dos Campos é agravada pela distribuição espacial muito heterogênea das fontes de emissão de seus precursores, em especial do tráfego de veículos automotores, que tem seu fator o principal de emissão a rodovia Presidente Dutra.

Os 24 pontos do biomonitoramento foram georeferenciados e inseridos no software SPRING, que através desses foi gerado uma grade de interpolação da média ponderada e utilizando o processo fatiamento chegou ao resultado do mapa da

distribuição espacial do ozônio troposférico, visualizando a distribuição desse poluente no município de São José dos Campos.

A análise da correlação entre o mapa do percentual de injúrias e a concentração de ozônio medido pela estação da CETESB no município, mostrou uma eficácia significativa, pois as regiões propícias para encontrar altas concentrações de O₃ são suburbana e rural, presenciadas no mapa (Figura 5).

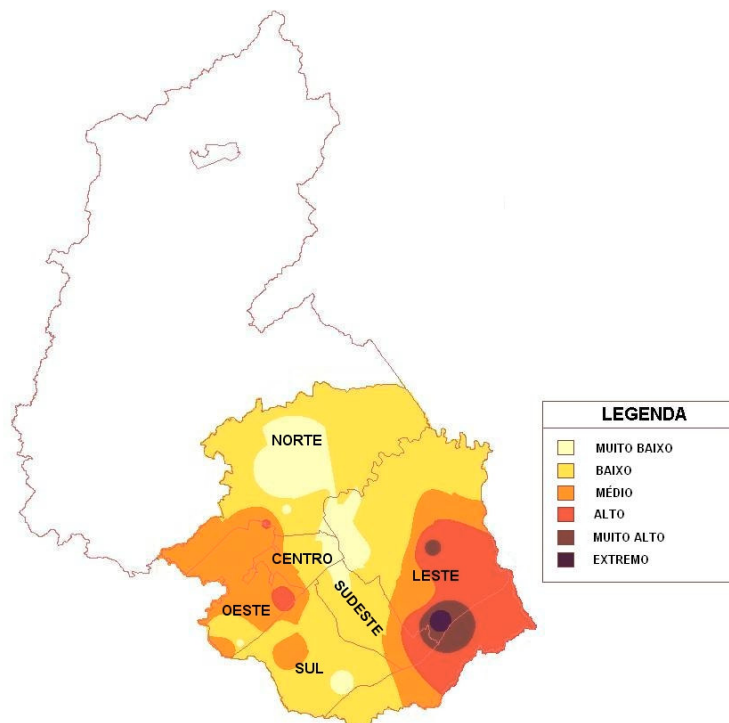


Figura 8: Distribuição das máximas porcentagens de injúria foliar do Município de São José dos Campos - SP. Resultados referentes à Campanha de Biomonitoramento em 2006, utilizando a *Nicotiana tabacum*.

Ao analisar o mapa, a região central apresentou concentrações de ozônio moderada, local onde situa a estação automática de monitoramento da qualidade do ar (CETESB) e são encontradas os precursores do O₃ (NO_x e VOC's), devido alto fluxo automotivo.

Além disso, a análise dos percentuais de injúrias indicou, também, que as variações meteorológicas de direção de vento observadas ao longo do estudo, tiveram influência de transporte dos precursores e entraram como fatores adicionais de estudo, pois as plantas de *N. tabacum* de regiões mais afastadas apresentaram menos e outras mais, manifestação a eficácia dos sintomas bioindicadores.

No gráfico 3, observar-se que as concentrações de ozônio medida pela estação CETESB apresentam valores moderados e que evidenciam a eficácia do mapa, sabendo que ela esta situa numa região de precursores. A linha vermelha representa o limite do Padrão de Qualidade do Ar (PQA) para o ozônio troposférico $160\mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecido pela CETESB.

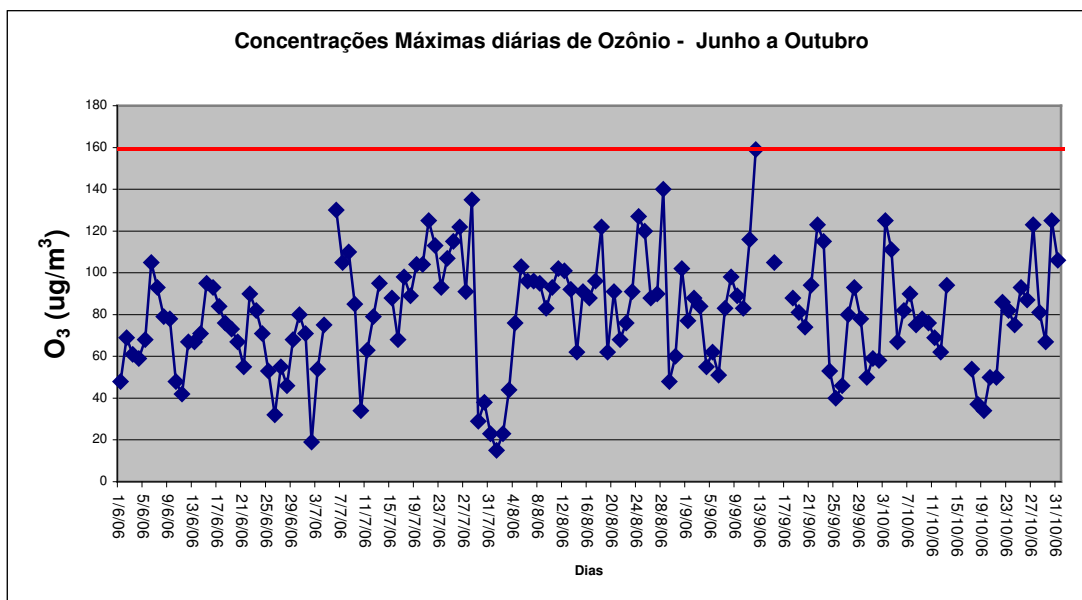


Gráfico 3: Concentrações das máximas diárias de ozônio – Junho a Outubro 2006.

A região leste apresentou as mais altas concentrações de ozônio influenciada pelo fator de apresentar um refinaria, grande fonte de precursor de ozônio e por um forçante da direção do vento que esteve em grande maioria do período estudado com ventos vindo de Oeste-Sudoeste e indo Leste-Nordeste, sendo que todos os precursores lançados nas regiões sul, sudeste, oeste e central são fatores contribuintes para uma maior concentração de ozônio neste local. Como é depreendido os locais mais próximos das fontes de emissão desses precursores geralmente são atingidos por concentrações mais baixas desse poluente e locais mais afastados, por altas concentrações (CETESB 2006). Isso ocorre porque a velocidade de formação e de decomposição do ozônio é dependente da razão VOC's, NO_x e, como os locais próximos às fontes de emissão apresentam altas concentrações desses poluentes, o O_3 é consumido rapidamente e, portanto, não é acumulado na atmosfera (SEINFELD 1986). Esse autor afirma, ainda, que o transporte do ozônio produzido nos centros urbanos para as áreas mais afastadas é outro fator que deve ser considerado. Esse fato pode ser atribuído à circulação atmosférica de superfície em que a cidade São José dos Campos apresentar um variabilidade muito grande em relação a direção dos ventos. As regiões suburbanas e

rurais do município apresentaram elevadas concentrações de O₃, colocando a população e a vegetação em exposição muito crítica. Outra região que teve valores de moderado a altos foi a região oeste isto influenciada pelo fator meteorológico da direção do vento que apresentou ventos vindos de Nordeste e indo para Sudoeste (Gráfico 4).

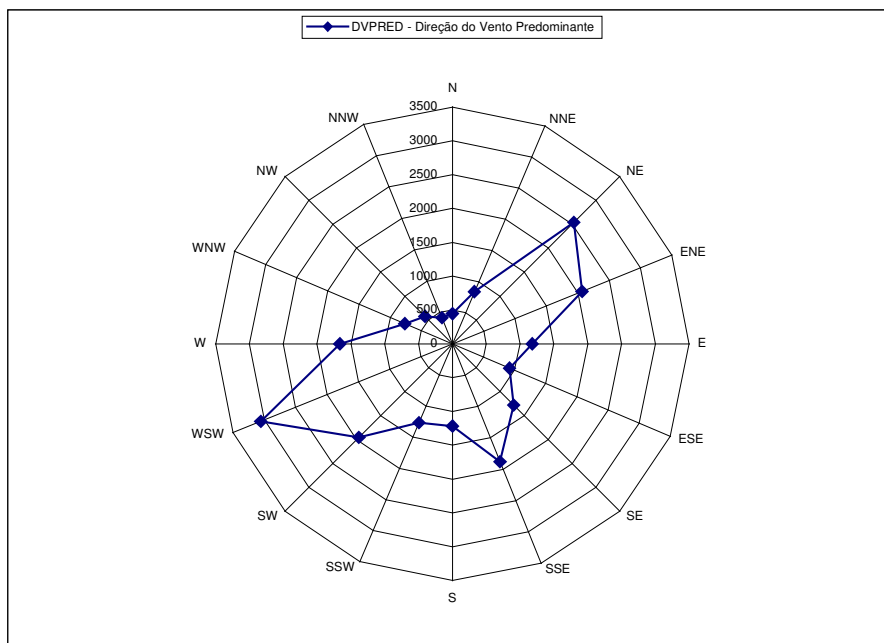


Gráfico 4: Distribuição da frequência da direção dos ventos – Junho a Outubro 2006.

O mapa de distribuição dos valores de porcentagem de danos foliares indicam que o fator da direção do vento determinou que as plantas da região leste fossem mais danificadas em todo o período de exposição, observou-se um gradiente de diminuição de danos foliares da região mais central da cidade de São José dos Campos comparada com as mais periféricas onde estão situados os regiões oeste e leste. Além disso, comparando os dados de ozônio medidos pela CETESB estudado, observou-se que a porcentagem de injurias foliares foi menos intenso, devido a valores de baixa concentrações como retratado nos dados da estação.

Em geral a região em que se encontrou a maior concentração de ozônio, já era algo esperô, entendendo que o ozônio é um poluente secundário que se forma na atmosfera por reações fotoquímicas e não necessariamente próximo das fontes de seus precursores (tráfego veicular), justificando, como esperado, a concentração maior em locais mais afastados, como as suburbanas e rurais.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O estudo dos processos de poluição do ar e das características de São José dos Campos demonstra uma vulnerabilidade e necessidade de medidas urgentes para a melhoria da qualidade do ar em São José dos Campos. A falta de monitoramento da qualidade do ar é uma lacuna que deve ser preenchida para que seja possível o desenvolvimento de políticas públicas de controle e redução das emissões.

O biomonitoramento é uma técnica simples, de baixo custo e fácil execução que permite que muitos pontos sejam monitorados ao mesmo tempo. Também poderá ser utilizado para observar as flutuações no decorrer do ano, observando-se as influências da sazonalidade e os efeitos da dispersão atmosférica.

A metodologia para quantificação das injúrias apresentadas pelas folhas da *Nicotiana tabacum*, foi desenvolvida no Inpe, utilizando-se programas simples e de fácil manuseio como o Paint e o Brush, o que permite que a mesma seja reproduzida facilmente por outras instituições interessadas no experimento.

A região leste mostrou maior concentração de ozônio em relação a região central, considerando-se todos os aspectos analisados o percentual de injúrias apresentada pelo *Nicotiana tabacum*, foi como esperado nas regiões mais afastadas. As expectativas de maior concentração de ozônio na áreas suburbanas e rurais foi evidenciada, pois segundo a literatura o ozônio tende a ser maior em pontos mais afastados das fontes dos precursores, isto é do escapamento dos veículos. Ou seja, se medirmos a concentração de poluentes ao lado dos veículos a tendência é um valor menor de ozônio e maior de NO_x e COV's (precursores), enquanto em lugares mais distantes já houve tempo para a formação do ozônio.

O Biomonitoramento é uma técnica de baixo custo e permite medições fáceis e acessíveis para caracterização da qualidade do ar em centros urbanos, porém a metodologia pode ser melhorada. A visita aos pontos feita em intervalo semanal, não foi adequada pois em alguns casos a folha acompanhada já havia apresentado necrose total, impedindo uma análise ideal.

Um trabalho que acompanhasse o desenvolvimento das plantas durante o ano inteiro também seria interessante, para ver as variações devido as diferentes estações do ano.

Observa-se, portanto, que *N. tabacum* 'Bel W3' mostrou-se adequada para biomonitoramento quantitativo de ozônio em São José dos Campos, tornando possível ampliar a área de monitoramento da qualidade do ar em toda a cidade, tendo como principais vantagens, o baixo custo e a possibilidade de estudar o efeito da poluição sobre os organismos vivos.

Outra metodologia que poderia ser utilizada é o tratamento de todas as folhas em conjunto num intervalo de tempo único. A opção pela exposição por tempo determinado e avaliação posterior dos danos foi utilizada em 1999, em dez cidades européias, no projeto EuroBionet- rede européia para a avaliação da qualidade do ar. O tempo de exposição das plantas nesse caso foi de apenas duas semanas em 81 sítios experimentais e revelaram um gradiente de impacto de ozônio do norte para o centro e sul da Europa (KLUMPP et al, 2001).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHMORE, M.R., BELL, J.N.B. & REILY, C.L. 1978. **A survey of ozone levels in the British Isles using indicator plants.** Nature 276: 813-915.

CETESB (2000). **“Qualidade do Ar no Estado de São Paulo – 1999”**, São Paulo.

CETESB. **“Legislação: Regiões Metropolitanas; Proteção dos Mananciais e Zoneamento Industrial”**. São Paulo, CETESB, 1985.

CETESB. **Estudos investigativos da ocorrência de ozônio troposférico na região de Sorocaba – SP setembro/2004, Cetesb.** Texto disponível: www.cetesb.sp.gov.br

CETESB. **Relatório de qualidade do ar.** 2004, CETESB, 2005. Texto disponível: www.cetesb.sp.gov.br

FRANCISCO, P. M. S. B., DONALÍSIO, M. R., LATTORRE, M. R. D. O., **“Internações por doenças respiratórias em idosos e a intervenção vacinal contra influenza no Estado de São Paulo”**. Ver. Brs. Epidemiol., São Paulo, 7(2), 220-227, 2004.

FREITAS, C. U. (2002). **“Avaliação do Impacto na Saúde da Redução dos Níveis de Poluição no Município de São Paulo”**. SECRETARIA DE ESTADO DE SAÚDE, São Paulo.

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: 264-91.

JACOB, D. J. **“Introduction to Atmospheric Chemistry”**, Princeton University Press, 1999.

KIRCHHOFF, V.W.J.H. (1989). **“A Redução da Camada de Ozônio – Efeitos sobre o Brasil”**, Eng. Ambiental, Ano 2, n.7.

KLUMPP, A. 2001. **“Utilização de bioindicadores de poluição em condições temperadas e tropicais.”** In: Indicadores ambientais: conceitos e aplicações. N.B. MAIA, H.L. MARTOS & W. BARELLA (org.). Editora EDUC.

LA ROVERE, E. L. (1995). **“Política Ambiental e Planejamento Energético”** PPE-COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro.

MEDEIROS, J.S., (1996): **Mapeamento da Poluição em São José dos Campos: uma abordagem metodológica utilizando técnicas de geoprocessamento.** Trabalho de graduação, UNIVAP 54p

MOLION, L. C. B., (1980): **Considerações sobre a dispersão de poluentes atmosféricos no médio Vale do Paraíba com ênfase à Caçapava.** São José dos Campos, INPE

SEINFELD, J.H. 1986. **Atmospheric Chemistry and physics of air pollution.** John Wiley & Sons. pp. 1-738.

VERGÉ, X., CHAPUIS, A. & DELPOUX, M. 2002. **Biindicator reliability: the example of Bel W3 tobacco (*Nicotiana tabacum* L.)**. Environmental Pollution 118: 337-49.

WHO - World Health Organization. **Monitoring ambient air quality for health impact assessment**. Who regional publications, European series n°85, 1999. 216p.

WHO 2000. **Evaluation and use of epidemiological evidence for environmental health risk assessment – Guideline document**. WHO Regional Office for Europe. 32p. Copenhagen, Dinamarca