



**CETESB**

**COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL**

**ESTUDO INVESTIGATIVO  
DA OCORRÊNCIA DE OZÔNIO  
TROPOSFÉRICO POR MEIO DE  
BIOMONITORAMENTO, NO  
MUNICÍPIO DE BROTAS - SP**

**SÃO PAULO**

**2007**



## **Edição**

**Diretoria de Engenharia, Tecnologia e Qualidade Ambiental**

*Eng. Marcelo de Souza Minelli*

**Departamento de Tecnologia do Solo, Águas Subterrâneas e Resíduos Sólidos**

*Eng. Giuseppe Giulio Michelino*

**Divisão de Qualidade do Solo, Águas Subterrâneas e Vegetação**

*Biól. Dorothy Carmen Pinatti Casarini*

## **Coordenação Técnica :**

*Biol. Mara Magalhães Gaeta Lemos*

## **Elaboração Técnica :**

*Biól. Gisela Vianna Menezes*

*Biól. Gilmar Issa Gallo*

*Eng Agron. Isabella Corrêa Silva*

*Biól. Janine Bergmann*

*Biól. Mara Magalhães Gaeta Lemos*

*Biól. Marise de Castro*

*Estag. Cauê Monte Chelli*

## **Colaboração :**

*Eng. Agron. Elaine Cristina Ruby*

*Est. Yoshio Yanagi*

*Agência Ambiental de Araraquara*

*Departamento de Tecnologia do Ar - ET*

*Divisão de Tecnologia de Avaliação da Qualidade do Ar - ETQ*

*Setor de Interpretação de Dados - ETQI*

*Setor de Telemetria - ETQT*

## **Agradecimentos :**

*Prefeitura Municipal de Brotas, em especial às Diretorias do Meio Ambiente e do Turismo*

*APTA Regional*

*Pousada Sabiá*

*Pousada Jacaúna*

*Chácara São Francisco*

*Setor de Operação e Manutenção de Transportes – AAAT*

**Distribuição :** CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Alto de Pinheiros

Tel. 3133.3000 - CEP 05459-010 - São Paulo/SP - Brasil

**Endereço Internet:** <http://www.cetesb.sp.gov.br>

**DOCUMENTO**

<i>Tipo</i>	<i>Data</i>	<i>Origem</i>	<i>Nº Página / V</i>	<i>Nº Mapas</i>
Relatório	Nov20	ESSE	26	

**TÍTULO DO DOCUMENTO**

Estudo Investigativo da Ocorrência de Ozônio Troposférico por meio de Biomonitoramento, no Município de Brotas - SP

**AUTOR RESPONSÁVEL**

*Assinatura / Carimbo / Data*

Mara Magalhães Gaeta Lemos  
Gerente do Setor de Qualidade do Solo e Vegetação

**AUTORES / ENTIDADES OU UNIDADES A QUE PERTENCEM**

Biol. Mara Magalhães Gaeta Lemos  
Biol. Gisela Vianna Menezes  
Biol. Gilmar Issa Gallo  
Eng Agron. Isabella Corrêa Silva  
Biol. Janine Bergmann  
Biol. Marise de Castro  
Estag. Cauê Monte Chelli

**DOCUMENTO AUTORIZADO POR**

*Assinatura / Carimbo / Data*

Dorothy C. P. Casarini  
Gerente da Divisão de Qualidade de Solo e Água Subterrânea e Vegetação

**DOCUMENTO REVISADO**

*Assinatura / Carimbo / Data*

Maria Helena R. B. Martins  
Gerente da Divisão de Tecnologia de Avaliação da Qualidade do Ar

**CLASSIFICAÇÃO DE SEGURANÇA**

Externa     Interna  
 Reservada

**PALAVRAS CHAVES**

1. Ozônio 2. Biomonitoramento do ar 3. Bioindicador vegetal 4. Brotas – ocorrência de ozônio 5. Ar – poluição 6. Tabaco 7. *Nicotiana tabacum* 8 AOT40

**CÓDIGO E TÍTULO DO PROJETO**

41 200300 Avaliação da Qualidade do Ar por meio de teste com amostras vegetais

**DISTRIBUIÇÃO INTERNA**

*Áreas / Nº de Cópias*

ESSE (2) - ETQ (1)- ETQM (1) – CGA (1) – Biblioteca (2)

**USO DA BIBLIOTECA**

*Classificação de Assunto*

*Nº Documento*

*Visto / Carimbo / Data*

---

**TÍTULO DO DOCUMENTO**

ESTUDO INVESTIGATIVO DA OCORRÊNCIA DE OZÔNIO TROPOSFÉRICO POR MEIO DE BIOMONITORAMENTO, NO MUNICÍPIO DE BROTTAS - SP

---

**RESUMO**

A CETESB, em função de sua atribuição de controle de poluição no Estado de São Paulo, desenvolve estudos que visam a investigação sobre a ocorrência de poluentes atmosféricos, principalmente para aqueles poluentes legalmente regulamentados, que apresentam padrões de qualidade. Embora benéfico na estratosfera, onde forma uma camada protetora contra efeitos danosos da radiação ultravioleta, o ozônio tem efeitos tóxicos nas camadas mais baixas da atmosfera. O ozônio tem alto poder oxidativo e, por isso, é muito tóxico às plantas, podendo causar danos consideráveis às espécies vegetais nativas e culturas agrícolas .

A CETESB desenvolve, desde a década de 80, estudos com bioindicadores vegetais como ferramenta às ações de prevenção e controle para diversos poluentes atmosféricos, destacando ozônio, fluoretos gasosos, dióxido de enxofre, amônia, chumbo, entre outros.

A Prefeitura Municipal de Brotas solicitou à CETESB, por meio do ofício nº 0234/07/GP-PMB, de 07 de março de 2007, uma avaliação da qualidade do ar com relação ao ozônio troposférico, para embasar o pedido de tornar-se estância turística conforme a Lei Estadual 1457 de 11 de novembro de 1977 e regulamentada pelo Decreto Estadual 11.022 de 28 de dezembro de 1977.

Neste contexto, o Setor de Qualidade do Solo e Vegetação – ESSE realizou um biomonitoramento, utilizando a variedade de tabaco *Nicotiana tabacum* Bel W3, com o objetivo de dimensionar qualitativamente e mapear a ocorrência do ozônio troposférico no Município de Brotas. Para realizar a avaliação da presença de ozônio solicitada foram selecionados seis locais, em função de sua distribuição espacial, na área territorial de Brotas. A metodologia utilizada tem como base a exposição por 28 dias de 6 indivíduos de tabaco em cada local selecionado. A avaliação do efeito do ozônio nos indivíduos de tabaco expostos em cada ponto de monitoramento foi realizada por meio de estimativa da percentagem da área foliar com injúrias visíveis.

Os resultados obtidos indicam que ocorreu, em geral, pequena percentagem de área foliar com injúrias apresentando medianas inferiores a 5%. Dentre os períodos estudados, na terceira campanha (começo do inverno) o P3 “APTA” apresentou mediana igual a 5. Considerando a metodologia que vem sendo adotada pela CETESB, com a utilização dos dados de medianas, este estudo indica que a presença de ozônio troposférico na área territorial de Brotas foi baixa. Entretanto, se considerada a metodologia do índice de injúrias foliares (LII), há indicativos da presença de ozônio.

---

**OBSERVAÇÕES**

Disponível na *internet*.

---



COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

V



# SUMÁRIO

<b>PALAVRAS CHAVES.....</b>	<b>III</b>
<b>USO DA BIBLIOTECA.....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>IV</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>2</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>5</b>
2.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	5
2.2. METODOLOGIA .....	8
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>13</b>
3.1. SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	13
3.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	15
3.3. RESULTADOS OBTIDOS PARA O PONTO 7 “CETESB-PINHEIROS”.....	20
3.4. VISUALIZAÇÃO ESPACIAL DOS RESULTADOS.....	20
3.5. ÍNDICE DE INJÚRIAS FOLIARES – LII.....	21
<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>22</b>
<b>5. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>23</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A Prefeitura Municipal de Brotas solicitou à CETESB, por meio do ofício nº 0234/07/GP-PMB, de 07 de janeiro de 2007, uma avaliação da qualidade do ar com relação ao ozônio, para embasar o pedido de tornar-se estância turística conforme a Lei Estadual 1457 de 11 de novembro de 1977 e regulamentada pelo Decreto Estadual 11.022 de 28 de dezembro de 1977.

A CETESB, em função de sua atribuição de controle de poluição no Estado de São Paulo, desenvolve estudos que visam à investigação sobre a ocorrência de poluentes atmosféricos, principalmente para aqueles legalmente regulamentados, que apresentam padrões de qualidade.

A Portaria Normativa n.º 348 de 14/03/90 do IBAMA estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar, que foram submetidos ao CONAMA em 28/06/90 e transformados na Resolução CONAMA n.º 03/90.

São estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar:

- Padrões primários - concentrações de poluentes que, quando ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.
- Padrões secundários - concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Esse padrão deve ser aplicado, por exemplo, em parques nacionais, áreas de proteção ambiental, estâncias turísticas, etc.

A Resolução CONAMA nº 03/90 estabelece para o ozônio a concentração máxima de 160 µg/m<sup>3</sup> em 1 hora como padrão primário e secundário, não devendo ser excedido mais que uma vez ao ano.

Embora benéfico na estratosfera, onde forma uma camada protetora contra efeitos danosos da radiação ultravioleta, o ozônio tem efeitos tóxicos nas camadas mais baixas da atmosfera, por afetar diretamente os seres vivos. O ozônio tem alto poder oxidativo e, por isso, é muito tóxico às plantas, podendo causar danos consideráveis às espécies vegetais nativas e culturas agrícolas (Swanson *et al.* 1973, Freedman 1995, Liu ; Reddley 1999, Zeiger 2002, apud PEDROSO 2006).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA,2006) estimou perdas agrícolas anuais da ordem de 500 milhões de dólares causadas pelo ozônio, sem incluir os danos às folhagens de árvores e outras plantas, que afetam a paisagem das cidades, áreas de recreação, parques urbanos e áreas de vegetação natural. No Brasil ainda não existem estudos que dimensionem perdas agrícolas.

Na Europa, Fuhrer e Achermann (1994), a partir de experimentos com vegetação, estabeleceram o valor de 40ppb (78,4 µg/m<sup>3</sup>/h) como crítico para vegetação, acima do qual pode ocorrer efeitos a receptores sensíveis, tais como plantas e ecossistema. A partir dessa concentração foi aplicado um índice referente à exposição acumulada

acima de 40ppb ou AOT40 (Fuhrer *et al.* 1997). Tal índice é a soma de todos os valores horários que excedem 40ppb, por exemplo, o valor de 45ppb observado em uma hora, significa AOT40 = 5ppb.

A CETESB (2006) adota como valores de referência as concentrações preconizadas pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2000), que indica a AOT40 de 3.000ppb de ozônio (ou aproximadamente  $6.000\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), acumulados durante o período de 3 meses, como Valor de Referência para Proteção da Produtividade Agrícola (VRPP) e 200ppb (ou aproximadamente  $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), acumulados durante o período de 5 dias, como Valor de Referência para o Aparecimento de Injúrias visíveis em plantas sensíveis.

O ozônio não é um poluente emitido diretamente pelas fontes, mas formado na atmosfera por meio da reação entre os compostos orgânicos voláteis e óxidos de nitrogênio em presença de luz solar (CETESB, 2004).

Os óxidos de nitrogênio (NO e NO<sub>2</sub>) são lançados na atmosfera por meio de processos de combustão. Já os compostos orgânicos voláteis resultam das emissões de processos evaporativos, da queima incompleta de combustíveis automotivos e em processos industriais (CETESB, 2004).

A formação do ozônio na troposfera inicia-se pela fotólise do NO<sub>2</sub> (equação 1). O oxigênio monoatômico gerado reage com o oxigênio diatômico presente na atmosfera, formando o ozônio (equação 2). Na presença de NO, o ozônio reage rapidamente para regenerar o NO<sub>2</sub> (equação 3).



Dessa maneira, o ozônio (O<sub>3</sub>) mantém-se em estado estacionário, que depende da velocidade de fotólise do NO<sub>2</sub> e da razão [NO<sub>2</sub>]/[NO]. Se nenhum outro processo convertesse NO em NO<sub>2</sub>, a concentração de ozônio troposférico não aumentaria significativamente. No entanto, na presença dos compostos orgânicos voláteis, as concentrações de ozônio aumentam, uma vez que o NO é convertido em NO<sub>2</sub>, via formação de radicais livres. Assim, a velocidade de formação do ozônio depende da quantidade e da reatividade de cada um desses compostos (CETESB, 2004).

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.

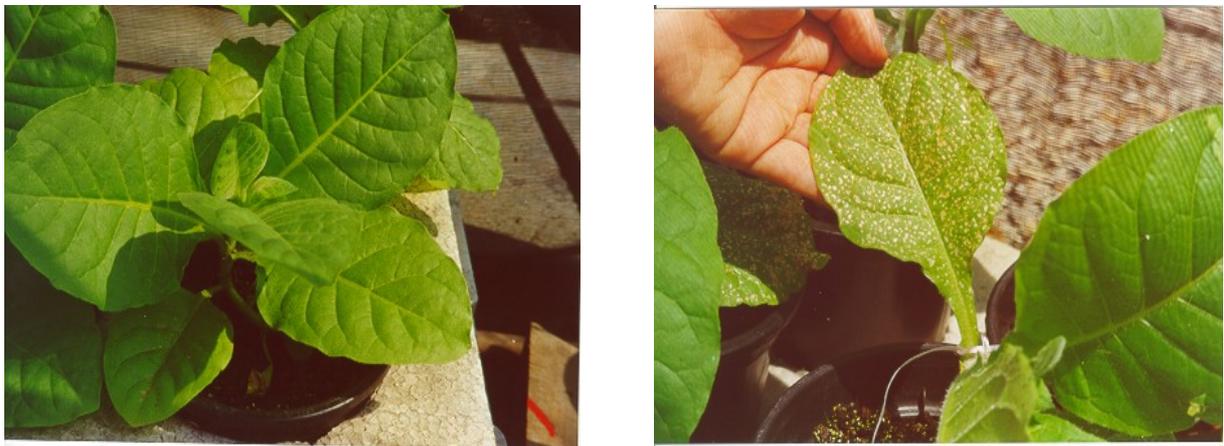
O biomonitoramento é um dos instrumentos de avaliação da qualidade ambiental em locais com suspeita de poluição e constitui, efetivamente, uma maneira de avaliar, de forma simples e economicamente viável, a presença de ozônio troposférico (Shugart, 1994).

Enquanto os índices obtidos por 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 aquelas obtidas pelos sensores automatizados (Prado Filho, 1993).

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

Segundo Temmerman *et al.* (2004 *apud* Pedroso 2006), plantas bioindicadoras são aquelas que apresentam sintomas visíveis como necroses, cloroses e distúrbios fisiológicos.

Desde 1962, a variedade de tabaco *Nicotiana tabacum* L. Bel W3 tem sido usada como um bioindicador da presença de diferentes concentrações de ozônio. Após algumas semanas de exposição de folhas novas, totalmente expandidas, podem ser verificados sintomas visíveis. 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 (Heggstad, 1991). A **figura 1** apresenta fotos de exemplares dessa variedade de tabaco, com e sem injúria foliar, característica do efeito fitotóxico do ozônio.



**Figura 1 – Exemplares de *Nicotiana tabacum* Bel W3 com folhas saudáveis (esquerda) e com injúrias (direita) características do efeito fitotóxico do ozônio.**

O biomonitoramento tornou-se uma prática comum em países do hemisfério norte, principalmente na Europa (Pedroso, 2006). Diversos países têm desenvolvido estudos de mapeamentos do ozônio, utilizando-se, principalmente, o tabaco como bioindicador, 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, os estudos dos efeitos de poluentes na vegetação são recentes e vêm sendo desenvolvidos por poucos grupos de pesquisa. Foram realizados alguns estudos com plantas bioindicadoras para avaliar o efeito da poluição atmosférica para algumas cidades do país, como Salvador (Lima *et al.*, 2000; Klumpp *et al.*, 2003), São Paulo (Domingos *et al.*, 1998 e 2002; Batalha *et al.*, 1999; Ferreira *et al.*, 2000; Guimarães *et al.*, 2000; Moraes *et al.*, 2002 e Alves *et al.*, 2003); Viçosa (Prado Filho, 1993; Chaves *et al.*, 2002 e Silva *et al.*, 2005); Curitiba (Alves, 2001 e Bujokas, 2001).

A CETESB desenvolve, desde a década de 80, estudos com indicadores vegetais como ferramenta às ações de prevenção e controle para diversos poluentes atmosféricos, destacando ozônio, fluoretos gasosos, dióxido de enxofre, amônia, chumbo, entre outros (Pompeia *et al.*, 1988 e 1989; Azevedo *et al.*, 1994a e 1994b; Diniz *et al.*, 1994; Fialho *et al.*, 1994; Pradella *et al.*, 1999; CETESB, 1996; 2000 e 2004).

Neste contexto, o Setor de Qualidade do Solo e Vegetação – ESSE realizou um biomonitoramento, no período de março a setembro de 2007, utilizando a variedade de tabaco *Nicotiana tabacum* Bel W3, com o objetivo de dimensionar qualitativamente e mapear a ocorrência do ozônio troposférico em concentrações prejudiciais ao meio ambiente na área territorial de Brotas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização e caracterização da área de estudo

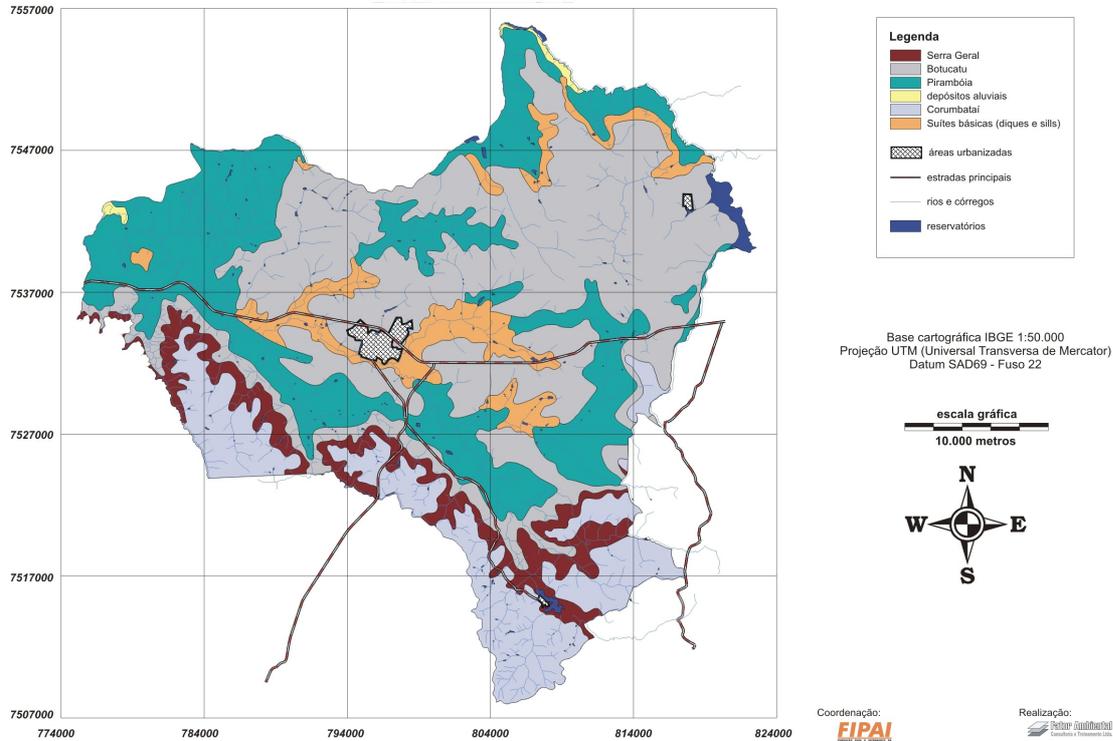
O município de Brotas, localizado na região central do Estado de São Paulo, abriga aproximadamente 23 mil habitantes sobre uma superfície de cerca de 1102 Km<sup>2</sup>.

Brotas está localizado na Bacia Sedimentar da Província do Paraná, no Planalto Ocidental Paulista. O relevo desta Província é constituído de planaltos tubulares e cuevas basálticas concêntricas, que drenam suas águas para os rios Paraná e Uruguai.

A chamada cuesta basáltica se assemelha a um degrau contínuo com um patamar na base e outro no topo podendo chegar até 900 metros de altura. As rochas basálticas, que cobrem os morros e cuevas da região, vieram da lava vulcânica que, derramada há milhões de anos, preencheu fissuras em um terreno de arenito e se solidificou. Com o tempo, essa sedimentação frágil sofreu forte erosão e só ficou o magma solidificado intacto. Esse buraco, um vale profundo no reverso da cuesta, é chamado de furna ou canyon. Essa configuração natural fez da cidade local propício para a prática de trekking, rapel, canyoning, mountain bike, cavalgada ou apenas turismo.

De acordo com o Zoneamento Ambiental de Brotas (Brotas, 2007), a maior parte do município está situada sobre rochas associadas aos arenitos Botucatu (43,03%) e Pirambóia (28,67%), que são formações vinculadas ao sistema aquífero Guarani (**figura 2**). O Aquífero Guarani é o maior manancial de água doce subterrânea transfronteiriço do mundo.

**ZONEAMENTO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE BROTAS**  
**Mapa de formações geológicas - IG (1:250.000)**



**Figura 2: Formações geológicas do município de Brotas.**

Verifica-se por meio da tabela 1 a predominância sobre o território do município da ocorrência de latossolos do tipo vermelho amarelo, muito suscetíveis à erosão.

**Tabela 1: Tipos de solo do Município de Brotas.**

Tipos de solo	Área (ha)	%
Latossolo Férrico	2385,48	2,16
Latossolo Vermelho Amarelo	52100,12	47,27
Latossolo Vermelho	8112,76	7,36
Argissolo	8455,84	7,67
Nitossolo	1459,0	1,32
Neossolo Litólico	4067,36	3,69
Neossolo Quartzarênico	30928,96	28,06
Gleissolo	2713,6	2,47
<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>110225,2</b>	<b>100</b>

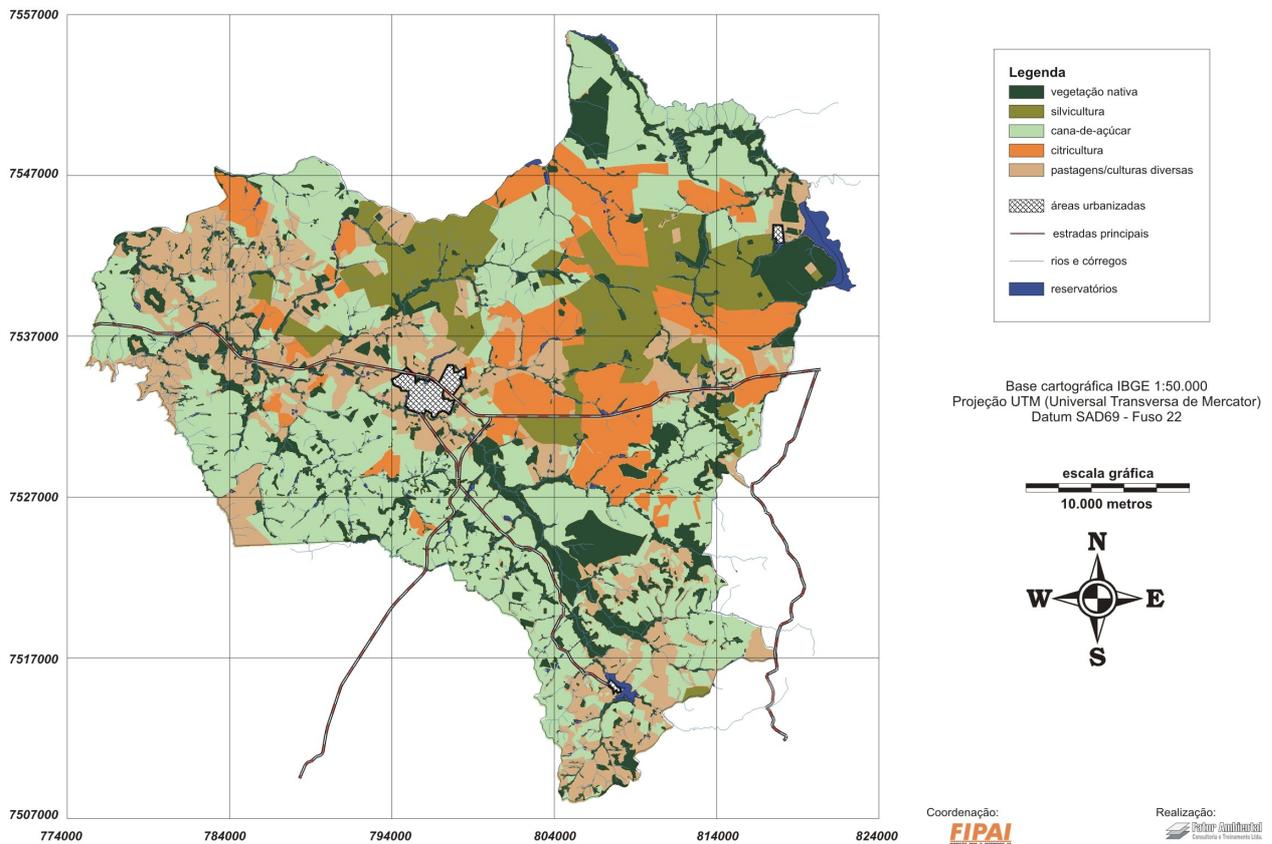
O mapa de uso e ocupação do solo mostra que o município de Brotas é predominantemente ocupado pelas lavouras de cana-de-açúcar (37,70%). As culturas de eucalipto e laranja ocupam juntas 24,21% do território. Somente 16,31% da área total do município é coberta por vegetação natural (**Figura 3**).

A vegetação típica do município de Brotas se divide em extensões interioranas da Mata Atlântica localizadas nas escarpas da cuesta, cerrados, cerradões e campos cerrados no reverso da cuesta, e matas de galerias que seguem os cursos d'água. Essa vegetação encontra-se praticamente toda devastada devido à exploração agropecuária do município. Apenas os trechos mais íngrimes e ao longo dos rios e riachos preservam a mata nativa.

No Zoneamento Ambiental do município de Brotas destacou-se que parte da vegetação nativa remanescente (16,31% da área total do município) está situada em Área de Preservação Permanente. Atualmente, atendendo às recomendações contidas no Zoneamento Ambiental Municipal, vários projetos de recomposição florestal estão sendo realizados com a finalidade de atingir 20% da área total do município coberta por vegetação natural, excluindo as áreas de preservação permanente.

### ZONEAMENTO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE BROTAS

#### Uso e ocupação do solo



**Figura 3: Uso e ocupação do solo no município de Brotas.**

A cidade também é rica em cursos d'água. O município de Brotas está situado na

7

Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI 13 – Tietê-Jacaré. O rio Jacaré-pepira, que corta a cidade, nasce na serra de Itaqueri, em São Pedro, a 960 metros de altitude e, depois de percorrer 174 km, deságua no rio Tietê, no município de Ibitinga. Muitos afluentes são responsáveis pelo fluxo das águas e corredeiras do rio Jacaré-pepira; dentre eles os ribeirões dos Pintos, Tamanduá, do Lobo, dos Bicudos e Pinheirinho. Por isso, os esportes aquáticos como bóia-cross, rafting, duck e floating são tradição na cidade.

## 2.2. Metodologia

A metodologia utilizada foi adaptada de Lorenzini *et al.* (1999) e tem como base a exposição de indivíduos de tabaco da variedade *Nicotiana tabacum* Bel W3 por período de 28 dias, em locais selecionados que abranjam a área territorial do município.

Foram selecionados seis pontos para o biomonitoramento, que são descritos na **tabela 2**. Utilizou-se a CETESB – Pinheiros como ponto de referência (PR), sendo expostas as plantas junto à estação automática de medição de ozônio. Para visualização espacial dos pontos de amostragem, utilizou-se imagem disponibilizada pelo Google Earth (**Figura 4**).

**Tabela 2: Descrição dos pontos de monitoramento selecionados para o Município de Brotas.**

	PONTO	LOCAL	Longitude	Latitude	Graus	
			UTM-E	UTM-N	Longitude	Latitude
Município de Brotas	1	Viveiro Municipal	0798353	7533848	48.104.841	22.275.168
	2	Diretoria Meio Ambiente	0795550	7532310	48.131.731	22.289.527
	3	APTA	0794397	7531273	48.142.720	22.299.082
	4	Pousada Sabiá	0796172	7534902	48.126.179	22.266.034
	5	Chácara São Francisco	0795241	7530791	48.134.447	22.303.286
	6	Pousada Jacaúna	0794481	7532848	48.142.194	22.284.856
	7	CETESB - Pinheiros	326324	7393337	46.702.041	23.561.464

**Observação:** Projeção UTM, Fuso 23, Meridiano Central 45° e Datum horizontal SAD-69.



**Figura 4 – Imagem da região do Município de Brotas com os pontos de coleta. (Acesso em: setembro de 2007).**

Em 1998 a CETESB importou sementes da Universidade Estadual da Carolina do Norte, com o objetivo de desenvolver matrizes. Tendo em vista sua difícil obtenção, atualmente as plantas são cultivadas na casa de vegetação localizada na sede da CETESB.

A germinação é realizada em bandejas, denominadas sementeiras, mantidas por aproximadamente três semanas até o estágio de plântulas. Após esse período as plântulas são transferidas para vasos plásticos, onde permanecem por aproximadamente duas semanas, até atingirem o estágio de desenvolvimento apropriado para exposição - 3 a 4 folhas totalmente expandidas.

A atmosfera no interior da casa de vegetação é mantida em condições de temperatura ambiente e as plantas são cultivadas em substrato agrícola padronizado “Plantmax”, em campânulas fechadas com atmosfera isenta de ozônio, garantida por meio da filtração do ar por carvão ativado. A irrigação adequada é realizada por meio de

sistema de auto-rega, a partir de cordões de náilon, que apresentam uma das pontas previamente inserida nos vasos e a outra em contato com água.

Em cada ponto monitorado são expostas individualmente seis plantas, em vasos que possuem o sistema de auto-rega, protegidas por sombrite (50%), de forma a evitar o impacto direto da chuva. A **figura 5** apresenta os indivíduos de *N. tabacum* na casa de vegetação antes da exposição e detalhes do sistema de auto-rega. A **figura 6** ilustra o aspecto das plantas no início do experimento e após 28 dias de exposição.



**Figura 5 – Exemplos da variedade de tabaco antes da exposição nas câmpulas da casa de vegetação CETESB (esquerda) e detalhe do sistema de auto-rega.**



**Figura 6 – Aspecto das plantas no início de experimento e após 28 dias de exposição.**

As exposições foram realizadas em quatro campanhas durante o ano de 2007, sendo que devido ao frio as plantas não se desenvolveram na segunda campanha. Os períodos de estudo estão relacionados abaixo:

- 1ª Campanha – 20 de março a 12 de abril,
- 2ª Campanha – 05 de junho a 26 de junho,
- 3ª Campanha – 26 de junho a 25 de julho,
- 4ª Campanha – 16 de agosto a 13 de setembro.

### 2.2.1. Critérios de avaliação das injúrias foliares

A avaliação do efeito do ozônio nos indivíduos de tabaco expostos em cada ponto de amostragem foi feita por meio de uma estimativa da percentagem da área foliar com injúrias visíveis. A análise é de caráter visual, adaptado da metodologia descrita por Lorenzini *et al.* (1999).

Para cada indivíduo são registrados altura, número de folhas sem injúrias e número de folhas mortas. Para a avaliação das injúrias em cada folha, 3 técnicos estimam visualmente a percentagem de área foliar com injúria característica de ozônio, sendo registrado um valor médio entre as três estimativas.

A fim de evitar interferências subjetivas na avaliação das porcentagens da área foliar com injúrias, por parte do avaliador, foi desenvolvida uma metodologia de comparação, com fotos de folhas padrão, apresentando diferentes percentagens de áreas foliares com injúrias, que foram calculadas pelo Sistema de Informação Geográfica – IDRISI, e estão descritas em CETESB (2005). A **figura 7** apresenta duas fotos de folhas padrão utilizadas para a estimativa da percentagem da área foliar com injúrias.



**Figura 7 – Folhas com porcentagens da área foliar com injúrias (em amarelo), calculadas pelo software IDRISI - 21% (esquerda) e 30% (direita).**

## 2.2.2. Interpretação Estatística

Para a análise estatística das medidas das injúrias foliares foram consideradas as folhas presentes em mais de 60% das plantas. Algumas folhas mortas foram consideradas passíveis de análise, pois as injúrias eram visíveis e mensuráveis. Para a análise dos dados utilizou-se o programa STATGRAPHICS Centurion XV.II.

As etapas desenvolvidas para a interpretação estatística foram as seguintes:

- Após a tabulação dos dados, foram elaborados três tipos de gráficos (*box-plot*, medianas e médias com 95% de intervalo de confiança) que apresentam a estatística descritiva.
- A partir da interpretação dos resultados estatísticos, adotou-se como critério de comparação o valor das medianas da percentagem de área foliar com injúrias, entre os pontos de exposição, por campanha e do período total de estudo.
- Como os resultados de Skewness e Kurtosis indicaram que estes não apresentam normalidade, selecionou-se o teste Kruskal-Wallis para a comparação entre as medianas de cada ponto por campanha.
- Nas campanhas que apresentaram diferenças significativas entre as medianas, posteriormente comparou-se cada ponto de monitoramento com o ponto de referência por meio dos testes Kruskal-Wallis e de comparação entre duas amostras.
- Com os dados de todas as campanhas por ponto de monitoramento, comparou-se dois a dois os pontos de monitoramento por meio dos testes Kruskal-Wallis e de comparação entre duas amostras.
- Para correlacionar a percentagem de área foliar apresentando injúrias com a ocorrência de ozônio considerou-se que:
  - Medianas inferiores a 5% - baixa presença de ozônio (verde)
  - Medianas entre 5% e 14,99% - presença de ozônio (amarelo)
  - Medianas igual ou maior de 15% - presença de ozônio que ultrapassa os valores para a saúde (vermelho)

Com base nesta classificação, elaborou-se uma tabela que mostra a ocorrência de ozônio para cada ponto de amostragem e um mapa com a distribuição espacial dos pontos e a cor correspondente (verde, amarelo e vermelho).

### 2.2.3. Cálculo do Índice de Injúrias Foliare – LII

Para o cálculo do índice de injúrias foliares utilizou-se a mesma metodologia usada por Pina e Moraes (2007):

$$LII (\%) = \frac{(N_1 \times 1) + (N_2 \times 2) + (N_3 \times 3) + (N_4 \times 4) + (N_5 \times 5)}{(N_0 + N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5) \times 5} \times 100$$

onde:

$N_0$  = número de folhas com nenhum sintoma de injúrias provocado por ozônio

$N_1$  = número de folhas com 1 a 5% de injúrias provocadas por ozônio

$N_2$  = número de folhas com 6 a 25% de injúrias provocadas por ozônio

$N_3$  = número de folhas com 26 a 50% de injúrias provocadas por ozônio

$N_4$  = número de folhas com 51 a 75% de injúrias provocadas por ozônio

$N_5$  = número de folhas com mais de 75% de injúrias provocadas por ozônio

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o critério de interpretação das injúrias foliares pela mediana considerou-se os resultados da percentagem de injúrias para as folhas de número 4 a 8 na primeira campanha, de 2 a 6 na terceira campanha e de cinco a oito na quarta campanha, pois estas estavam presentes em mais de 60% das plantas expostas, conforme apresentados nos itens 3.1 a 3.4.

Para o cálculo do índice de injúrias foliares – LII utilizou-se a percentagem de injúrias de todas as folhas.

### 3.1. Síntese dos resultados obtidos

A **tabela 3** apresenta, por ponto de monitoramento e por campanha, a síntese dos resultados obtidos em 2007 para dimensionar qualitativamente a ocorrência de ozônio troposférico na área territorial do Município de Brotas.

**Tabela 3: Síntese dos resultados do biomonitoramento, utilizando a variedade de tabaco *Nicotiniana tabacum* Bel W3, para dimensionar qualitativamente a ocorrência do ozônio troposférico na área territorial do Município de Brotas.**

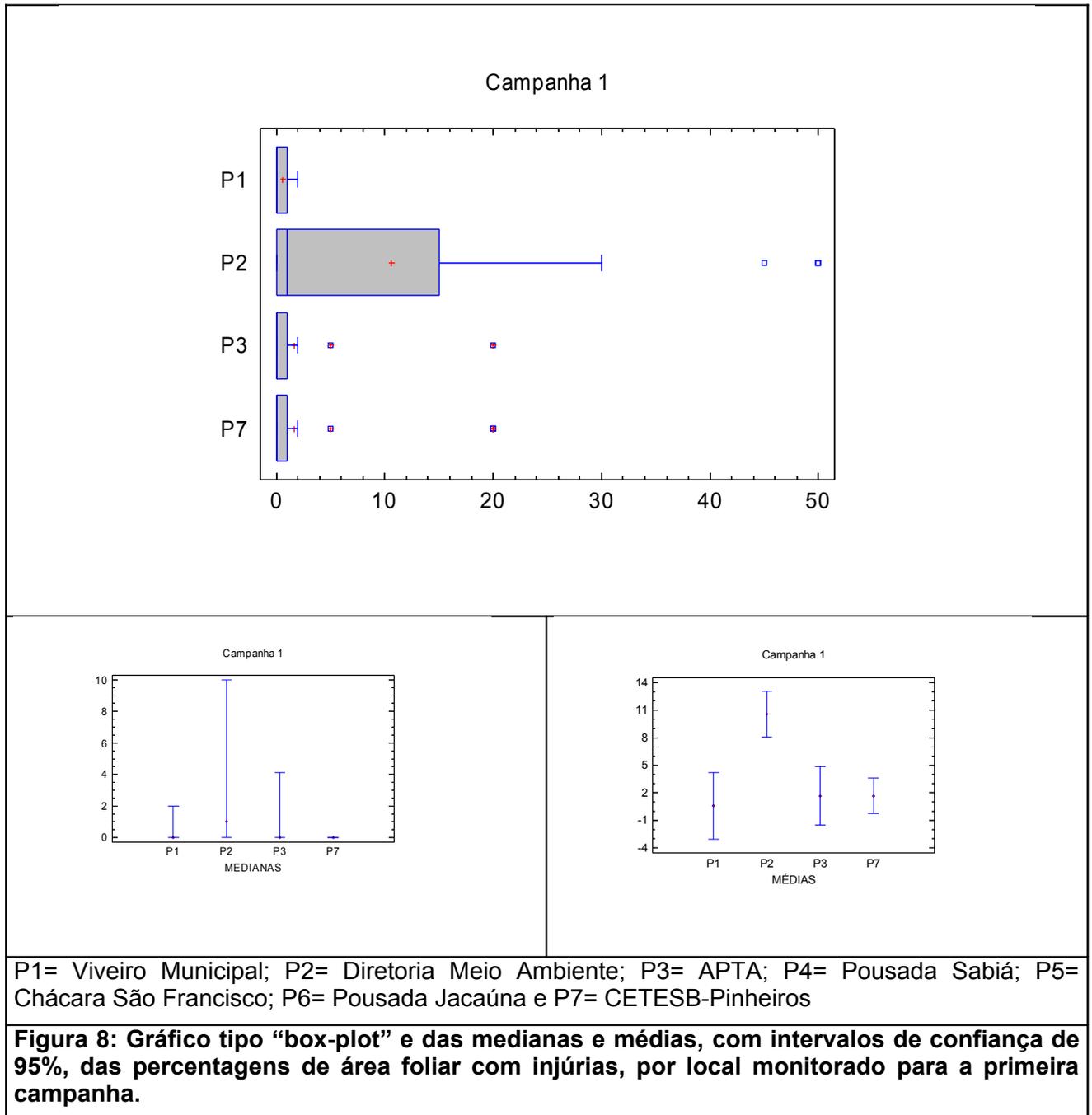
Campanha	Ponto	Altura média	Folhas mortas	Folhas vivas	média	mediana	Q75%	LII	número de folhas com as percentagens de injúrias					
									0	1 a 5	6 a 25	26 a 50	51 a 75	76 a 100
1ª Campanha 20.03 a 12.04.07	P1	13,0	7	16	0,6	0,0	1,0	10,0	8	8	-	-	-	-
	P2	14,0	16	36	10,6	1,0	13,8	20,6	17	6	8	5	-	-
	P3	11,8	13	19	1,7	0,0	1,0	10,7	18	6	3	1	-	-
	P7	15,9	25	61	1,7	0,0	1,0	18,8	29	18	5	1	-	-
3ª Campanha 26.06 a 25.07.07	P1	4,7	11	21	4,7	2,5	5,0	15,4	9	10	2	1	-	-
	P2	6,3	12	29	3,9	2,0	6,5	20,6	7	17	8	-	-	-
	P3	5,5	8	32	8,7	5,0	10,5	21,8	12	9	11	2	-	-
	P4	3,8	5	29	7,3	1,0	8,8	20,6	13	10	3	4	1	-
	P5	5,3	10	28	5,3	1,0	2,5	11,6	19	8	2	2	-	-
	P6	5,3	13	14	4,1	2,0	5,0	21,2	3	10	4	-	-	-
	P7	5,7	8	64	0,4	0,0	0,0	3,6	54	12	-	-	-	-
4ª Campanha 16.08 a 13.09.07	P1	8,8	20	18	2,1	2,0	4,0	15,8	4	15	-	-	-	-
	P2	9,5	20	31	1,8	1,0	3,0	15,5	9	19	3	-	-	-
	P3	11,8	22	29	2,0	1,0	2,3	15,5	8	17	2	-	-	-
	P4	-	-	-	-	-	2,0	-	-	-	-	-	-	-
	P5	10,0	16	20	1,5	1,0	5,0	19	1	19	-	-	-	-
	P6	12,8	16	35	4,6	3,0	15,0	16,6	9	21	5	-	-	-
	P7	15,9	40	81	9,3	3,0	5,0	20	32	27	18	7	-	-

P1= Viveiro Municipal; P2= Diretoria Meio Ambiente; P3= APTA; P4= Pousada Sabiá; P5= Chácara São Francisco; P6= Pousada Jacaúna e P7= CETESB-Pinheiros

### 3.2. Análise Estatística dos Dados

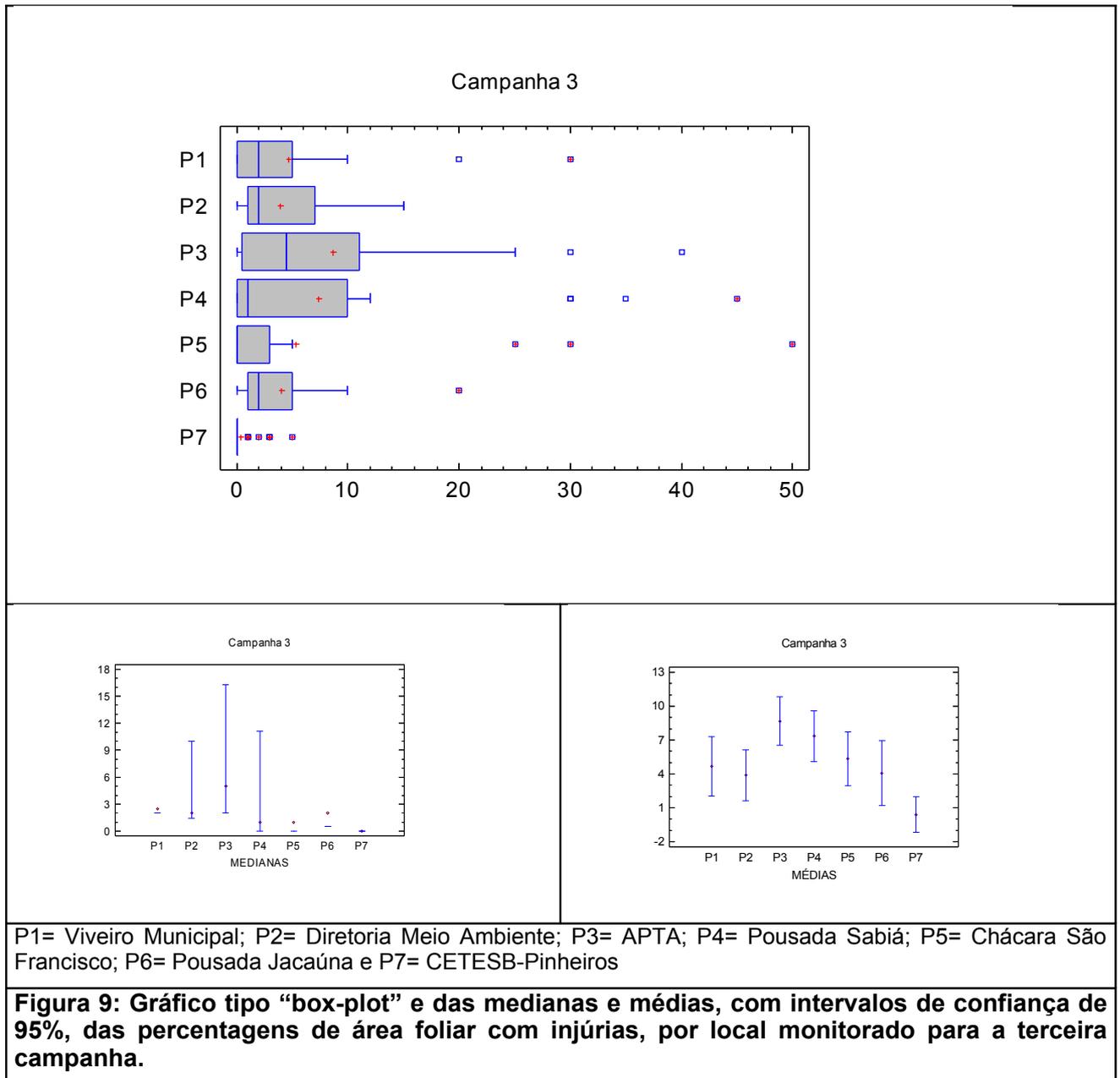
A **figura 8** apresenta os gráficos de medianas e médias com os intervalos de confiança de 95% e do tipo “box-plot” para a primeira campanha, que realizou-se no início do outono, entre 20 de março e 12 de abril. Ocorreram injúrias características do efeito fitotóxico do ozônio, com medianas inferiores a 5% em todos os pontos estudados, sendo que o P2 “Diretoria Meio Ambiente” apresentou mediana igual a um e todos os outros igual a zero.

O teste de Kruskal-Wallis mostrou diferenças estatísticas significantes das medianas do P2 “Diretoria Meio Ambiente” com o P7 “CETESB-Pinheiros”.



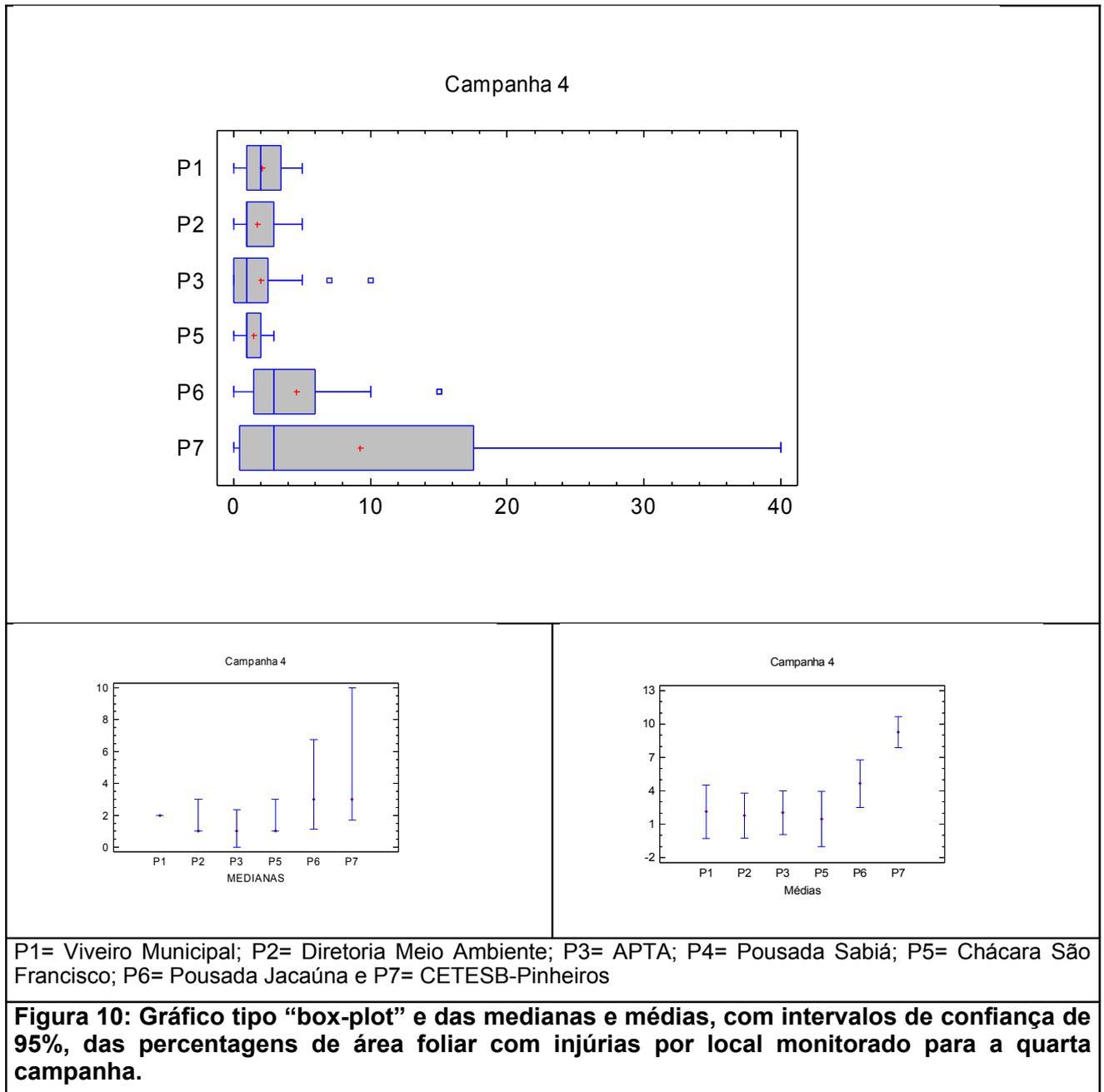
A **figura 9** apresenta os gráficos de medianas e médias com os intervalos de confiança de 95% e do tipo “box-plot” para a terceira campanha que realizou-se no início do inverno, entre 26 de junho e 25 de julho. O P3 “APTA” apresentou a maior mediana com valor de 5, seguido do P1 “Viveiro Municipal” com 2,5.

O teste de Kruskal-Wallis mostrou diferenças estatísticas significativas das medianas do P2 “Diretoria Meio Ambiente”, P3 “APTA”, P4 “Pousada Sabiá”, P5 “Chácara São Francisco” e P6 “Pousada Jacaúna” com o P7 “CETESB-Pinheiros”.



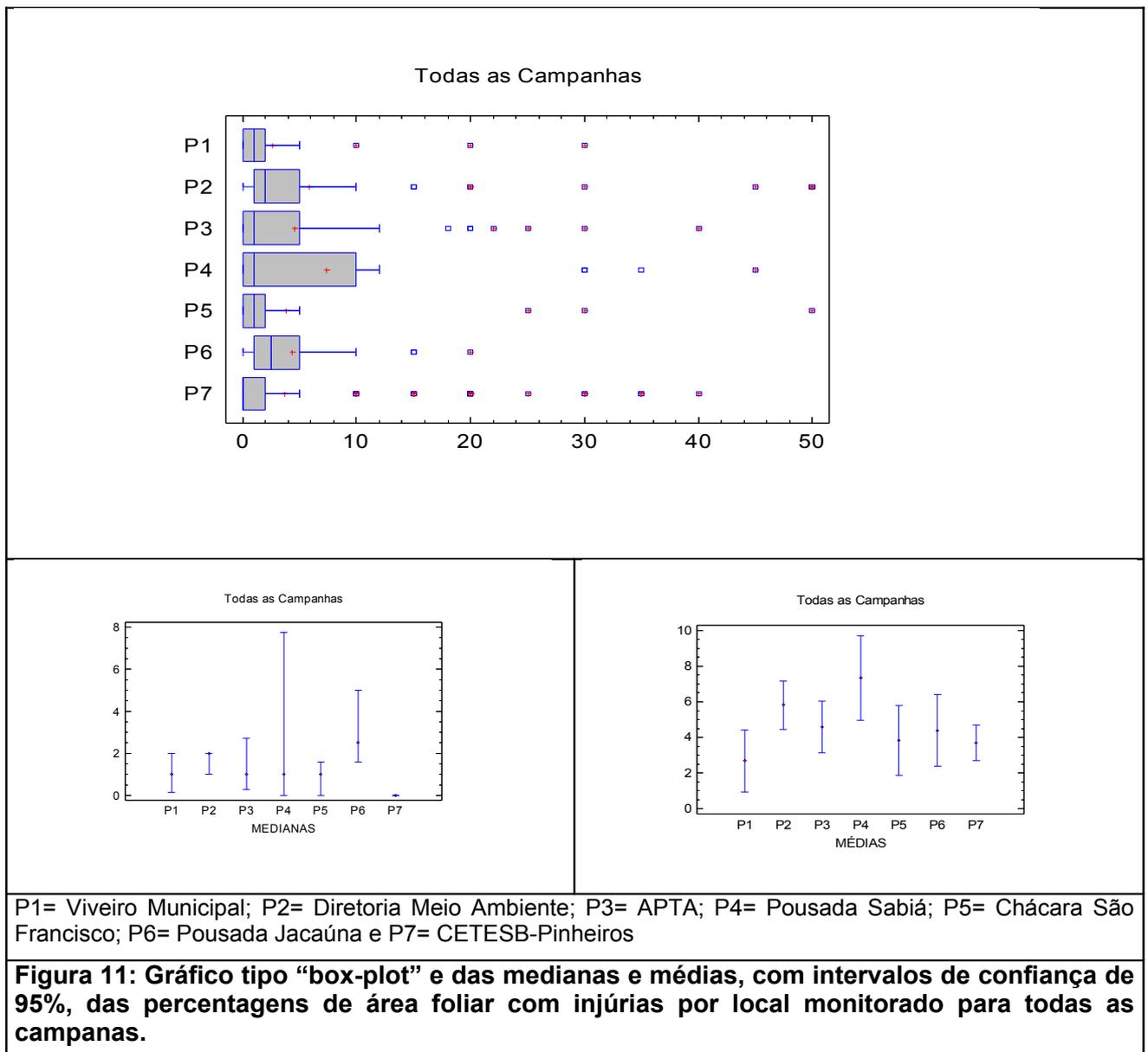
A **figura 10** apresenta os gráficos de medianas e médias com os intervalos de confiança de 95% e do tipo “box-plot” para a quarta campanha realizada no final do inverno, entre 16 de agosto e 13 de setembro. O P6 “Pousada Jacaúna” e P7 “CETESB-Pinheiros” apresentaram mediana igual a 3, seguido de P1 “Viveiro Municipal” com mediana igual a 2.

O teste de Kruskal-Wallis apresentou diferenças estatísticas significativas entre o P2 “Diretoria Meio Ambiente” e o P3 “APTA” com o P7 “Cetesb-Pinheiros”.

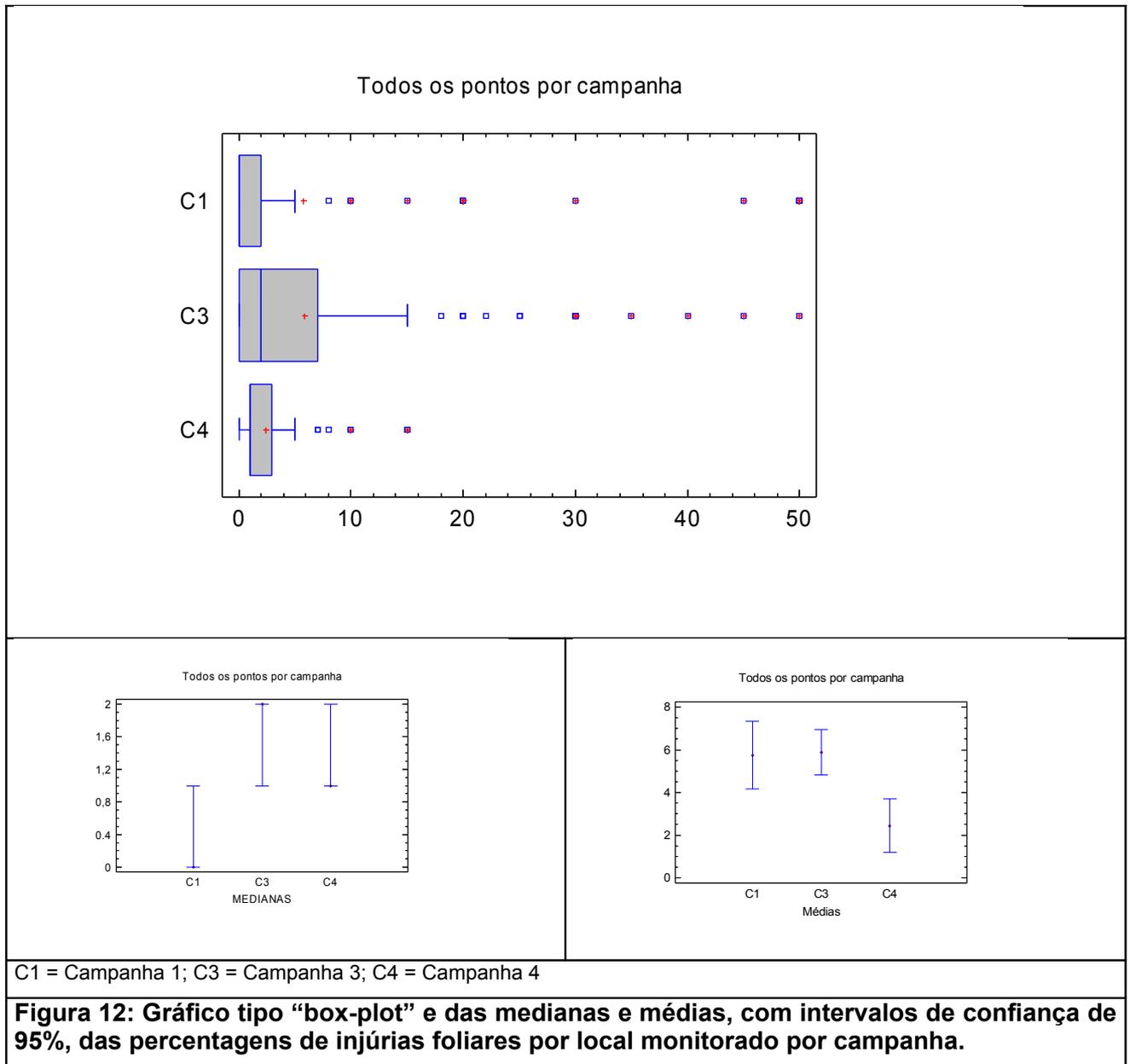


A **figura 11** apresenta os gráficos de medianas e médias com os intervalos de confiança de 95% e do tipo “box-plot” por ponto para todas as campanhas. A maior mediana foi igual a 2,5 para o P7 “CETESB-Pinheiros”, seguido do P2 “Diretoria Meio Ambiente”

O teste de Kruskal-Wallis apresentou diferenças estatísticas significativas entre os pontos 1 “Viveiro Municipal”, 2 “Diretoria Meio Ambiente”, 3 “APTA” e 6 “Pousada Jacaúna” com o P7 “CETESB-Pinheiros”.



A **figura 12** mostra os resultados de todos os pontos de amostragem por campanha, observa-se que a maior mediana calculada foi igual a 2,0 para a terceira campanha. O teste de Kruskal-Wallis apresentou diferenças estatísticas significativas entre as medianas das campanhas 1, 2 e 3.



### 3.3. Resultados obtidos para o Ponto 7 “CETESB-Pinheiros”

A **tabela 4** apresenta os resultados das medições das concentrações de ozônio troposférico realizadas na estação telemétrica de Pinheiros durante as campanhas de biomonitoramento. A maior AOT40 ocorreu no período entre 16 de agosto e 13 de setembro de 2007 (quarta campanha), quando foi observada a maior quantidade de ultrapassagens acima de  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , seguida do período de 20 de março a 12 de abril (primeira campanha). Percebe-se na primeira e quarta campanha que a mediana da porcentagem de injúrias foliares foi inferior em Brotas do que no Ponto “Cetesb-Pinheiros”, sendo superior na terceira campanha, quando as concentrações de ozônio medidos em Pinheiros foram muito baixas.

**Tabela 4 – Concentrações acumuladas de ozônio troposférico (AOT40) e ultrapassagens do padrão da estação Telemétrica de Pinheiros .**

CAMPANHAS (Período de Exposição)	AOT40 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ultrapassagens $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Nº)	Ultrapassagens $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Nº)	Mediana % de injúrias	
				Pinheiros	Brotas
1) 20.03 a 12.04.07	1305,78	36	4	0,0	0,0
3) 26.06 a 25.07.07	6,75	2	0	0,0	2,0
4) 16.08 a 13.09.07	1632,9	51	2	3,0	1,0

P1= Viveiro Municipal; P2= Diretoria Meio Ambiente; P3= APTA; P4= Pousada Sabiá; P5= Chácara São Francisco; P6= Pousada Jacaúna e P7= CETESB-Pinheiros

### 3.4. Visualização espacial dos resultados

A **tabela 5** apresenta a correlação entre porcentagens de injúrias foliares com a presença de ozônio troposférico nas diversas campanhas, expressos em classes, sendo a cor verde para baixa presença de ozônio e amarelo para presença de ozônio. O asterisco aponta aquelas que mostrou diferenças estatisticamente significantes entre as medianas quando comparadas ao P7 “CETESB-Pinheiros”. A Campanha que apresentou maior diferença com Pinheiros foi a terceira, no inverno, quando as concentrações medidas em Pinheiros apresentaram AOT40 de  $6,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . A **figura 13** espacializa essas informações.

**Tabela 5: Presença de ozônio por ponto e período de coleta, obtida pelo biomonitoramento.**

Pontos	Campanha			
	Primeira	Terceira	Quarta	Todas
1	verde	verde	verde	verde (*)
2	verde (*)	verde (*)	verde (*)	verde (*)
3	verde	amarelo (*)	verde (*)	verde (*)
4	verde	verde (*)	verde	verde
5	verde	verde (*)	verde	verde
6	verde	verde (*)	verde	verde (*)
7	verde	verde	verde	verde

P1= Viveiro Municipal; P2= Diretoria Meio Ambiente; P3= APTA; P4= Pousada Sabiá; P5= Chácara São Francisco; P6= Pousada Jacaúna e P7= CETESB-Pinheiros



**FIGURA 13 - Mapeamento das ocorrências de ozônio troposférico na cidade de Brotas considerando as 3 campanhas de exposição de *Nicotiana tabacum* Bel W3.**

### 3.5. Índice de Injúrias foliares – LII

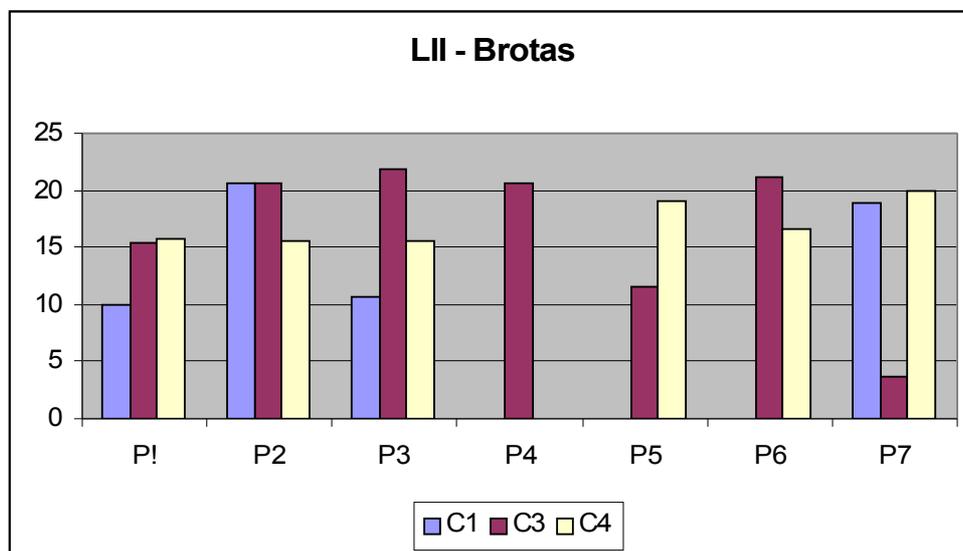
A **tabela 6** mostra o valor do LII para todos os pontos nas campanhas realizadas no Município de Brotas.

**Tabela 6: Índice de injúria foliar (LII) por local monitorado por campanha.**

Campanha	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
C1	10	20,6	10,7	-	-	-	18,8
C3	15,4	20,6	21,8	20,6	11,6	21,2	3,6
C4	15,8	15,5	15,5	-	19	16,6	20

P1= Viveiro Municipal; P2= Diretoria Meio Ambiente; P3= APTA; P4= Pousada Sabiá; P5= Chácara São Francisco; P6= Pousada Jacaúma e P7= CETESB-Pinheiros

A figura 14 apresenta o gráfico dos resultados de LII na forma de histograma.



P1= Viveiro Municipal; P2= Diretoria Meio Ambiente; P3= APTA; P4= Pousada Sabiá; P5= Chácara São Francisco; P6= Pousada Jacaúna e P7= CETESB-Pinheiros

**Figura 14: Histograma mostrando o LII por local monitorado para todas as campanhas realizadas no município de Brotas.**

Os valores de LII para o P7 “CETESB-Pinheiros” apresentaram uma boa correlação com os valores medidos da concentração de ozônio. Na primeira campanha, apenas o índice de injúrias foliares no P2 “Diretoria Meio Ambiente” foi superior ao do P7 “CETESB-Pinheiros” (AOT40 igual a 1305,78  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Na segunda campanha, todos os valores calculados para Brotas foram superiores ao valor do P7 “CETESB-Pinheiros”, sendo que este período apresentou o menor valor de AOT40 (6,75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Na terceira campanha, maior valor de AOT40 medido na estação de Pinheiros (1632,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), os valores de LII calculados para Brotas foram menores que o do Ponto 7 “Cetesb-Pinheiros”.

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos com o biomonitoramento, realizado no Município de Brotas com *Nicotiana tabacum* Bel W3, mostraram injúrias foliares, características do efeito fitotóxico do ozônio troposférico. Apesar disto, as medianas dos níveis de injúrias foliares foram inferiores a 5%, com exceção do P3 “APTA” na terceira campanha que apresentou mediana igual a 5.

Considerando a metodologia que vem sendo adotada pela CETESB, com a utilização dos dados de medianas, este estudo indica que a presença de ozônio troposférico na área territorial de Brotas foi baixa. Entretanto, se considerada a metodologia do índice de injúrias foliares (LII), há indicativos da presença de ozônio.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- 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** . v.141, p.75-85.
- ALVES, E.S.; PEDROSO, A.N.V.; DOMINGOS, M.; GUIMARÃES, E.T. ; SALDIVA, P.H.N. 2003. Biomonitoramento de potencial mutagênico do ar em laboratórios e herbário do Instituto de Botânica por meio do bioensaio Trad-MCN. **Hoehnea** p.88-94.
- ALVES, V. 2001. **Análise dos efeitos dos poluentes de fábrica de cimento em plantas bioindicadoras: *Nicotiana tabacum* L. (Solanaceae) e *Zinnia elegans* Cav. (Asteraceae)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- ARNDT, U. 1989. From ecotoxicological results to practical bioindication. In: Brassler, L.J. ; Mulder, W.L. (eds) **Man and his ecosystem**. The Hague, Elsevier Science Publishers, p.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) v.1, p.195-216.
- AZEVEDO, C.M. do A.; POMPÉIA, S.L.; FIALHO, R.C.; MENDONÇA, R.R. 1990. Efeito agudo de amônia sobre folhas de 09 espécies da Mata Atlântica. In :CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 41, .Fortaleza- CE, **Anais...**, 1990.
- AZEVEDO, C.M.A.; FIALHO, R.C.; POMPÉIA, S.L. 1994. Teor foliar de macronutrientes e fluoretos em espécies da Mata Atlântica afetadas pela poluição atmosférica de Cubatão, SP. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BOTÂNICA DE SÃO PAULO,10. Santos – SP. **Anais...**, 1994.
- AZEVEDO, C.M.A.; POMPÉIA, S.L.; FIALHO, R.C.; DINIZ, K.M.; PELAES, K.B. 1994. Resistência de plantas ao estresse por poluição atmosférica. In: FIRST WORKSHOP OF STUDIES ON HUMAN IMPACT ON FOREST AND FOODPLAINS IN THE TROPICS - SHIFT. Belém – PA. **Anais...**, 1994.
- BATALHA, J.R.F.; GUIMARÃES, E.T.; LOBO, D.J.A.; LICHTENFELS, A.J.F.C.; DEURS, T.; CARVALHO, H.A.; ALVES, E.S.; DOMINGOS, M.; RODRIGUES, G.S. ; SALDIVA, P.H.N. 1999. Exploring the clastogenic effects of air pollutants in São Paulo (Brazil) using the *Tradescantia* micronuclei assay. **Mutation Research**. v.426. p.229-32.
- 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**, v. 98, n.3, p. 299-304.
- BROTAS, Prefeitura Municipal. 2007. **Zoneamento ambiental do município de Brotas (SP) subsídio ao planejamento territorial**: relatório final–fevereiro de 2007. Disponível em: <http://www.brotas.sp.gov.br-zoneamento ambiental-relatório final.pdf>
- BUJOKAS, W.M. 2001. **O impacto da poeira de cimento em *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- CETESB. 1996. **Análise química foliar do teor de fluoreto, macro e micro nutrientes em espécies vegetais da Serra do Mar, envasadas em áreas experimentais, Cubatão-SP, Biomonitoramento Ativo**. São Paulo. (Relatório Técnico)
- CETESB. 2004. **Estudos investigativos da ocorrência de ozônio troposférico na Região de Sorocaba – SP**. São Paulo, 87 p. (Relatório Técnico).
- CETESB. 2006 **Estudo investigativo da ocorrência de ozônio troposférico por meio de biomonitoramento, no município de Cabreúva – SP**. São Paulo, 24p. (Relatório Técnico).
- CETESB. 2006. **Relatório anual de qualidade do ar**. São Paulo, 139p. (Série Relatórios)

CHAVES, A.C.F.; SILVA, E.A.M.; AZEVEDO, A.A.; CANO, M.A.O. ; MATSUOKA, M.K. 2002. Ação do flúor dissolvido em chuva simulada sobre a estrutura foliar de *Panicum maximum* Jacq. (Colonião) e *Chloris gayana* Kunth. (Capim – Rhodes) – Poacea. **Acta Botanica Brasilica**. v. 16: p.395-406.

DINIZ, K.M.; MARQUEZ, U.M.L.; BARROS, R.M.C.; POMPÉIA, S.L. 1994. Composição de aminoácidos livres em plantas da Mata Atlântica sob estresse provocado por poluentes atmosféricos em Cubatão - SP. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BOTÂNICA DE SÃO PAULO, 10. Santos – SP. **Anais...**, 1994.

DOMINGOS, M.; BOURETTE, C.; KLUMPP, G.; FORTI, M.C. 2002. Impactos de poluição atmosférica sobre remanescentes florestais. In: Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, unidade de conservação que resiste à urbanização de São Paulo. D.C. Bicudo, M.C. Forti ; C.E.M. Bicudo (orgs.). Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo. p.221-49.

DOMINGOS, M.; KLUMPP, A. ; KLUMPP, G. 1998. Air pollution impact on the Atlantic forest in the Cubatão, region, SP, Brazil. **Ciência ; Cultura**. v. 50. p.230-36.

FERREIRA, M.I.; PETRENKO, H.; LOBO, D.J.A.; RODRIGUES, G.S.; MOREIRA, A. ; SALDIVA, P.H.N. 2000. *In situ* monitoring of the mutagenic effects of the gaseous emissions of a solid waste incinerator in metropolitan São Paulo, Brazil, using the *Tradescantia* Stamen-Hair assay. **Journal of the Air ; Waste Management Association**. v. 50. p.1852-56.

FIALHO, R.C.; AZEVEDO, C.M.A.; PELAES, K.B.; POMPÉIA, S.L. 1994. Aspectos anatômicos e fisiológicos e a acumulação foliar de poluentes atmosféricos em espécies da Mata Atlântica de Cubatão, SP. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BOTÂNICA DE SÃO PAULO, 10. Santos, SP, **Anais...**, 1994.

FIGUEIREDO, J. G. 1994. **Avaliação de gramíneas tropicais como bioindicadoras da presença do flúor**. Viçosa, MG. 1994. 87p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

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**, v. 85, p.1479-1484.

FREEDMAN, B. 1995. Environmental ecology. The ecological effects of pollution, disturbance and other stresses. 2<sup>nd</sup>. Academic Press Inc. San Diego.

FUHRER, J. ; ACHERMANN, B. 1994. Critical levels for ozone: a UN-ECE workshop report. Liebefeld-Bern, Swiss Federal Research Station for Agricultural Chemistry and Environment Hygiene (FAC Report, nº 16).

FUHRER, J. 1994. Effects of ozone on managed pature: I. Effects of open-top chambers on microclimate, ozone flux, and plant growth. **Environmental Pollution**, v.86, p.297-305.

FUHRER, J.; SKÄRBY, L.; ASHMORE, M.R. 1997. Critical levels for ozone effects on vegetation in Europe. **Environmental Pollution**, v. 97, n. 1. p.91-106.

GARREC, J.P.; RADNAI, F. 1996. **Economical study and mapping of air pollution by plant bio-indicators**. France, Institute National de la Recherche Agronomique – INRA, Centre de Recherches de Nancy – Laboratoire Pollution Atmosphérique. 13p. (Internal Report)

GARREC, J.P.; SHANG HE; ROSE, C.; RADNAI, F. 1998. **Mapping of particulate air-pollution on beijing by plant bio-monitors**. France, Institute National de la Recherche Agronomique – INRA, Centre de Recherches de Nancy – Laboratoire Pollution Atmosphérique.

## 7p. (Internal Report)

GIMENO, B.S.; PEÑUELAS, J.; PORCUNA, J.L. and REINERT, R.A. 1995. Biomonitoring ozone phytotoxicity in eastern Spain. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 85, p.1521-1526.

GUIMARÃES, E.T.; DOMINGOS, M.; ALVES, E.S.; CALDINI, N.; LOBO, D.J.A.; LICHTENFELS, A.J.F.C.; SALDIVA, P.H.N. 2000. Detection of the genotoxic of air pollutants in around the city of São Paulo (Brazil) with the *Tradescantia*-micronucleus (Trad-MCN) assay. **Environmental and Experimental Botany**. v44. p.1-8.

HEGGESTAD, H. E. 1991. Origin of Bel-W3, Bel-C and Bel-B tobacco varieties and their use as indicators of ozone. **Environmental Pollution**, v.74, p.264-291.

IMA, J.F.; FERNÁNDEZ, E.B. ; FAWCETT, W.N. 2000. *Mangifera indica* and *Phaseolus vulgaris* in the bioindication of air pollution in Bahia, Brazil. **Ecotoxicology and Environmental Safety** . v.46. p. 275-78.

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**, v.17, p.187-193.

KLUMPP, A.; KLUMPP, G. ; DOMINGOS, M. 1994. Plants as bioindicators of air pollution at the Serra do Mar near the industrial complex of Cubatão, **Brazil. Environmental Pollution**. v.85: p.109-16.

KOPPEL, A. ; SILD, E. 1995. Bioindication of ozone in Estonia by using the Tabaco variety Bel W3. **Water, Air and Soil Pollution**, v.85, p.1515-1519.

LIU, S. ; REDDLEY, B. 1999. Atmospheric chemistry and global change. G.P. Brasseur, J.J. Orlando ; G.S. Tyndall (eds.). Oxford University Press.

LORENZINI, G. 1998. Piante vascolari come bioindicatori dell'aria (inquinamento da ozono): Proposte Metodologiche. In: WORKSHOP BIOMONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA SUL TERRITORIO NAZIONALE. Roma, **Anais...**, p.199-216.

LORENZINI, G.; NALI, C.; DOTA, M.R. ; MARTORANA, F. 1999. Visual Assessment of foliar injury induced by ozone on indicator tobacco plants: a data quality evaluation. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.62, p.175-191.

MORAES, R.M.; KLUMPP. A.; FURLAN, C.M. ; KLUMPP,G., DOMINGOS, M., RINALDI, M.C.S. ; MODESTO, I.F. 2002. Tropical fruit trees as bioindicators of industrial air pollution in southeast Brazil. **Environment International**. v.28. p.367-74.

NALI, C. ; FUMAGALLI, I. 1998. Pianti vascolari come bioindicatori della qualità dell'aria: stato dell'arte della ricerca realizzata in Italia. In: WORKSHOP BIOMONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA SUL TERRITORIO NAZIONALE. Roma, **Anais...**, p.33-53.

PEDROSO, A.N.V. 2006. **Avaliação estrutural de *Nicotiana tabacum* BEL W3 sob diferentes níveis de contaminação atmosférica**. São Paulo, SP. 2006. 60p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Botânica, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

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

POMPÉIA, S.L.; AIDAR, M.P.M. SUGIYAMA, M.; KIRIZAWA, M.; LOPES, E.A.; CHIEA, S.A.C.; GAETA, M.M.; MENDONÇA, R.R. ; SINISGALLI, P.A.A. 1988. Plantas da Serra do Mar resistentes e tolerantes à poluição atmosférica do polo industrial de Cubatão. In: SEMINÁRIO

- DE INTEGRAÇÃO SOBRE A SERRA DO MAR, 1 São Paulo - SP. **Anais...**, 1988. p.142-146.
- POMPÉIA, S.L.; MARTINS, S.E.; JOAQUIM, V.L.L. 1989. Avaliação dos efeitos da deposição de material particulado sobre a superfície foliar utilizando análise por dispersão de energia e microscopia eletrônica de varredura. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 40, Cuiabá - MT. **Anais...**, 1989.
- PRADELLA, D.Z.A.; LOPES, M.R., BATISTA, E.R. 1999. **Biomonitoramento** ativo de ozônio atmosférico com utilização da espécie *Nicotiana tabacum* L. Bel W3 : relatório preliminar. São Paulo, Brasil, CETESB. 48p.
- PRADELLA, D.Z.A.; LOPES, M.R.; BATISTA, E.R.; SANTINI, R.G.M.R.; SOUZA, J.B.; MODESTO, R.P.; GUARDANI, M.L.G.; FIALHO, R.C.; ROCCA, A.C.C. ; ALONSO, C.D. 1999. **Biomonitoramento ativo de ozônio atmosférico com utilização da espécies *Nicotiana tabacum* Bel W3: Relatório Preliminar.** São Paulo : CETESB. 21p.
- PRADO FILHO, J.F. 1993. Uso de bioindicadores para monitoramento do ar. **Revista Ambiente**, São Paulo: CETESB. v.7, p.57-64.
- PRADO FILHO, J.F. 1993. Uso de bioindicadores para monitoramento do ar. **Ambiente**. v.7 n.1.p.57-64.
- SÃO PAULO. 2004. **APAS : áreas de proteção ambiental no estado de São Paulo.** São Paulo, BR, SMA, 2004. 250p.(Ex.3-4 em CD).
- 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.
- SILVA, L.C., AZEVEDO, A.A. SILVA, E.A.M. ; OLIVA, M.A. 2005. Effects of simulated acid rain on the growth of five species Brazilian tree species and anatomy of the most sensitivity species (*Joannesia principes*). **Australian Journal of Botany** .v.53.p. 789-96.
- SWANSON, E.S.; THOMSON, W.W. ; MUDD, J.B. 1973. The effect of ozone on leaf cell membranes. **Canadian Journal of Botany**. v.51.p. 1213-19.
- WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2000. **Air Quality Guidelines for Europe**, 2 ed. WHO: Regional Publications. European Series; n. 91.