

## **Poluentes Gasosos na Atmosfera**

LOB1046 - Engenharia do Meio Ambiente  
Profa. Débora Alvim

*DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BÁSICAS E AMBIENTAIS*

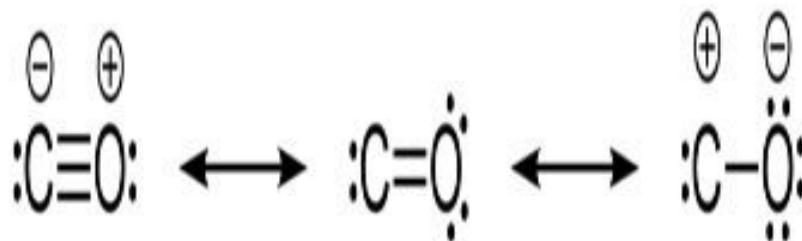
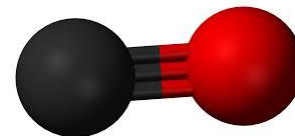
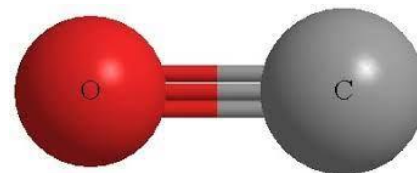


# MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

## Origens e Consequências

Produto intermediário de combustão de carbono para dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

Originam-se de processos de combustão industrial ou veículos automotores, sendo estes os maiores geradores.



# MONÓXIDO DE CARBONO

## Origens e Consequências

Em ambientes fechados, o CO em altas concentrações é um dos mais perigosos agentes tóxicos respiratórios devido à sua afinidade com a hemoglobina do sangue, formando a carboxihemoglobina, dificultando o transporte do oxigênio, podendo causar a morte por asfixia.

- Não possui cheiro, nem odor





# MONÓXIDO DE CARBONO

## Origens e Consequências

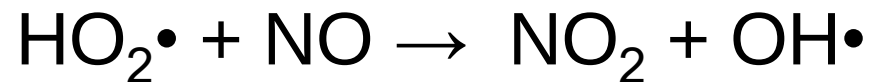
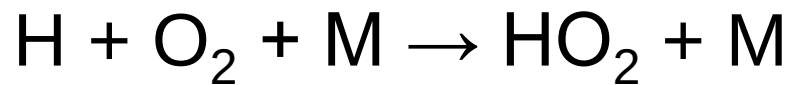
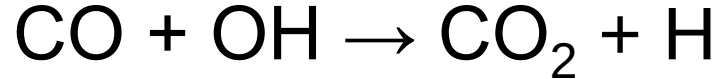
- 1 Produto da combustão incompleta de combustíveis
- 2 Fontes em espaços exteriores, veículos em baixa velocidade e indústrias
- 3 Fontes em espaços interiores garagens, fogões a lenha, lareiras e cigarro



# MONÓXIDO DE CARBONO

## Reações

CO and CH<sub>4</sub> are the main sinks (sumidoro) for the OH radical in most of the troposphere



Tal como indicado por Crutzen e Zimmerman (1991), em um ambiente rico em NO<sub>x</sub> (NO<sub>x</sub> = NO + NO<sub>2</sub>) como na atmosfera da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) onde a razão de mistura de NO  $\geq 10$  pptv, reações seguintes R2 e R3 produzem ozônio. Caso contrário, as reações de ozônio com radical hidroperoxila (HO<sub>2</sub>) destroem o ozônio

## Chemistry

Carbon monoxide oxidation in a clean environment:



## Chemistry, continued

Carbon monoxide oxidation in a dirty (polluted) environment:



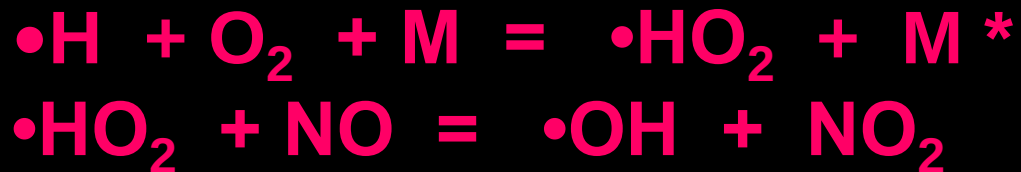
-----



## Formation CO from methane

1.  $\text{CH}_4 + \cdot\text{OH} \rightarrow \cdot\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$
2.  $\cdot\text{CH}_3 + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \cdot\text{CH}_3\text{O}_2 + \text{M}^*$
3.  $\cdot\text{CH}_3\text{O}_2 + \text{NO} \rightarrow \cdot\text{CH}_3\text{O} + \text{NO}_2$
4.  $\cdot\text{CH}_3\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{HCHO} + \cdot\text{HO}_2$
5.  $\text{HCHO} \xrightarrow[\text{m}]{\lambda < 338\text{nm}} \cdot\text{H} + \cdot\text{HCO}$
6.  $\cdot\text{HCO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + \cdot\text{HO}_2$
7.  $\text{HCHO} + \cdot\text{OH} \rightarrow \text{CO} + \cdot\text{HO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

### Reactions of the other formed radicals





# MONÓXIDO DE CARBONO

A diminuição da concentração global de CO poderia ocasionar um aumento no radical OH, o que aceleraria a taxa de remoção de CH<sub>4</sub>, portanto, alteraria a capacidade oxidante da atmosfera (BRASSEUR et al., 1999; SZE, 1971; THOMPSON; CICERONE, 1986; CRUTZEN; ZIMMERMAN, 1991; WANG).

Kanakidou e Crutzen (1999) estimou que uma redução de 50% nas emissões de CO levaria a um aumento de 3,5% na concentração de OH na troposfera e uma diminuição no metano.

# MONÓXIDO DE CARBONO

O principal sumidouro (sink) de CO é a oxidação por OH, o que resulta em uma vida útil média de 2 meses.

Devido a este tempo de vida relativamente curto, o CO não é bem misturado na troposfera.

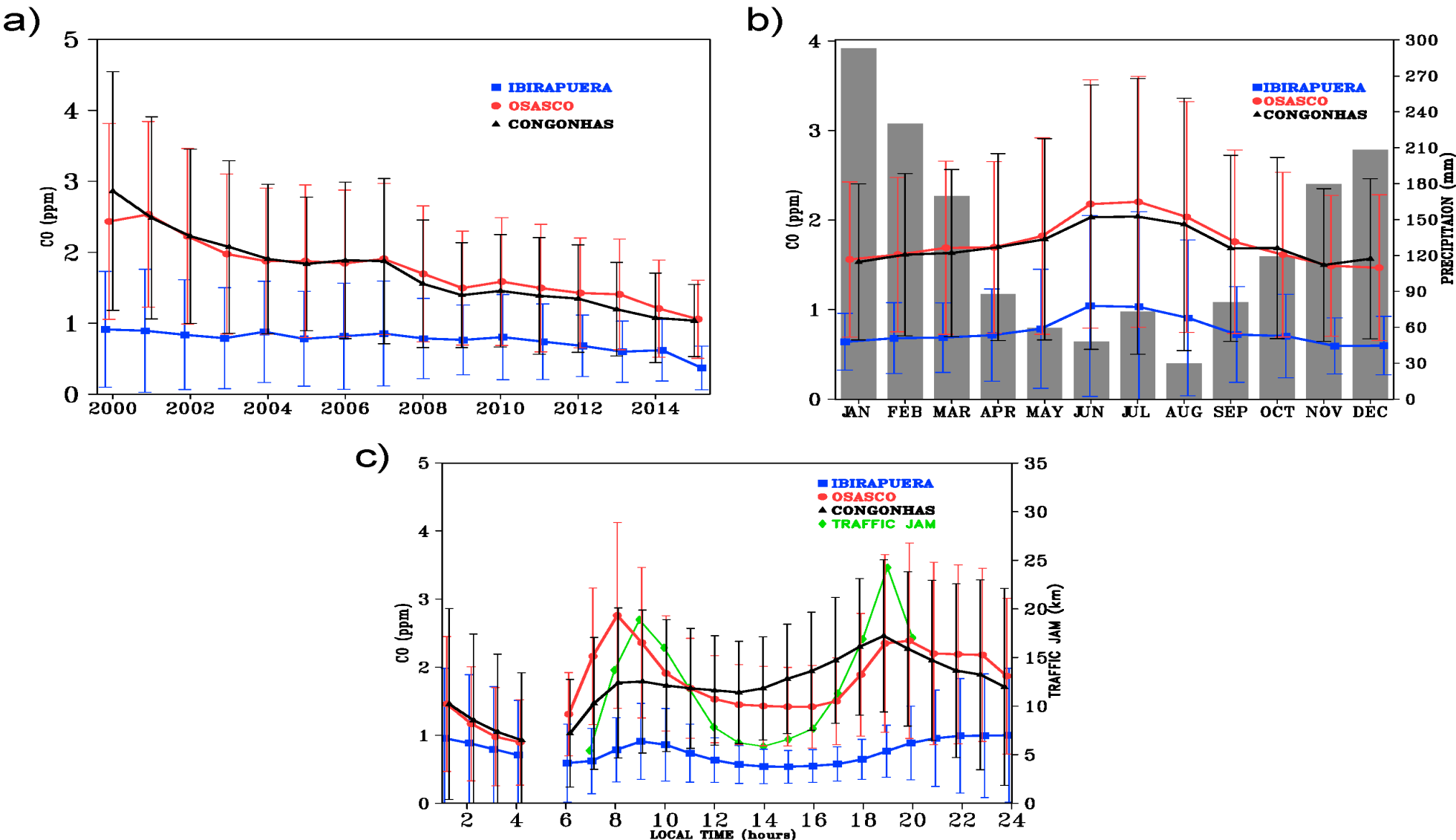
As concentrações variam de 0,05-0,15 ppm em partes remotas do mundo, 0,1-0,3 ppm nas regiões rurais dos Estados Unidos e até vários ppm nas áreas urbanas, onde o CO é considerado um perigo para a saúde humana.

# Balanço global atual de CO (Tg CO yr<sup>-1</sup>)

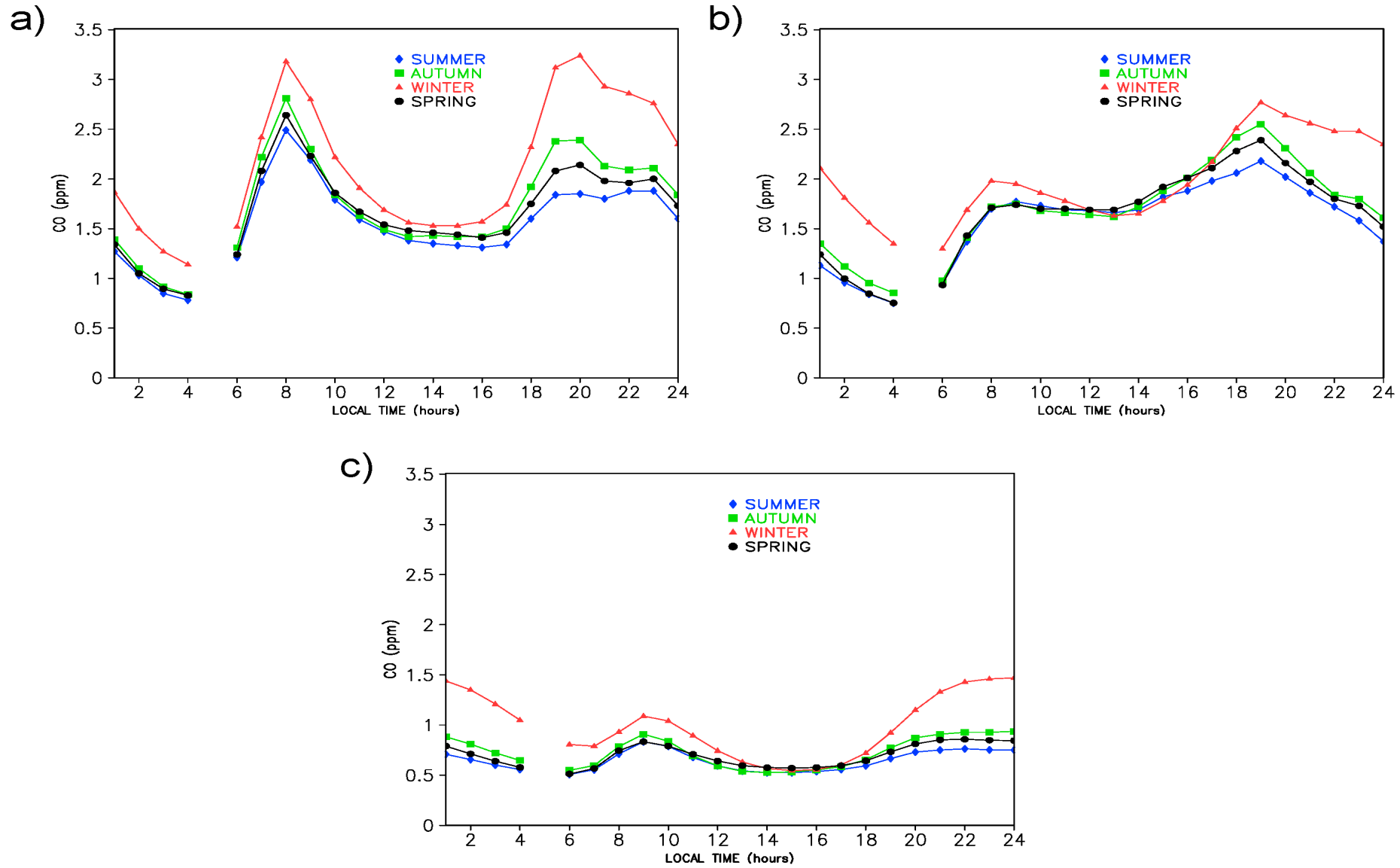
## Faixa de estimativa

|                                  | (Tg CO yr <sup>-1</sup> ) |
|----------------------------------|---------------------------|
| SOURCES                          | 1800-2700                 |
| Fossil fuel combustion/ industry | 300-550                   |
| Biomass Burning                  | 300-700                   |
| Vegetation                       | 60-160                    |
| Oceans                           | 20-200                    |
| Oxidation of methane             | 400-1000                  |
| Oxidation of other hydrocarbons  | 200-600                   |
| SINKS                            | 2100-3000                 |
| Tropospheric oxidation by OH     | 1400-2600                 |
| Stratosphere                     | ~100                      |
| Soil uptake                      | 250-640                   |

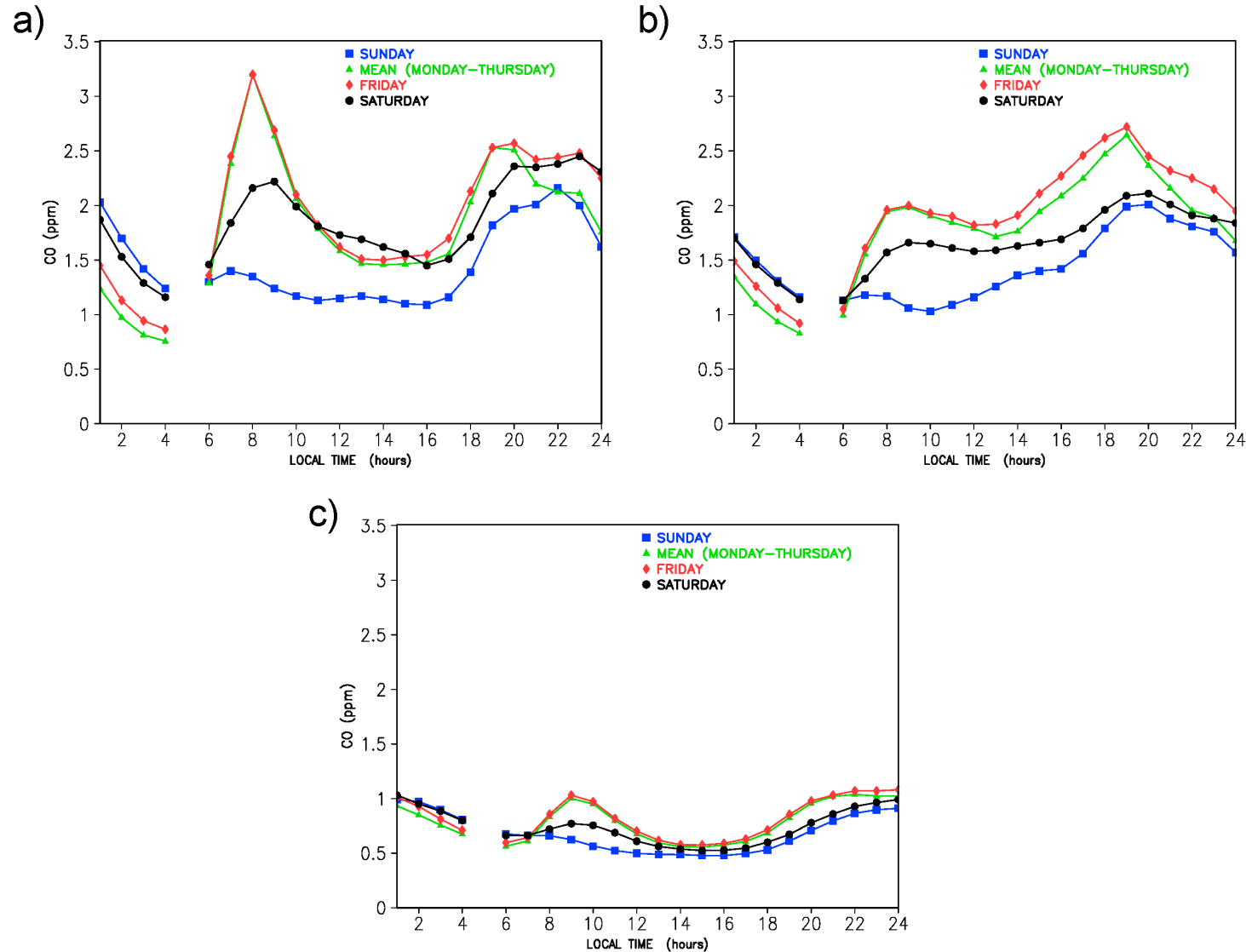
# Variações das concentrações de CO na atmosfera da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) no período de 2000 a 2015



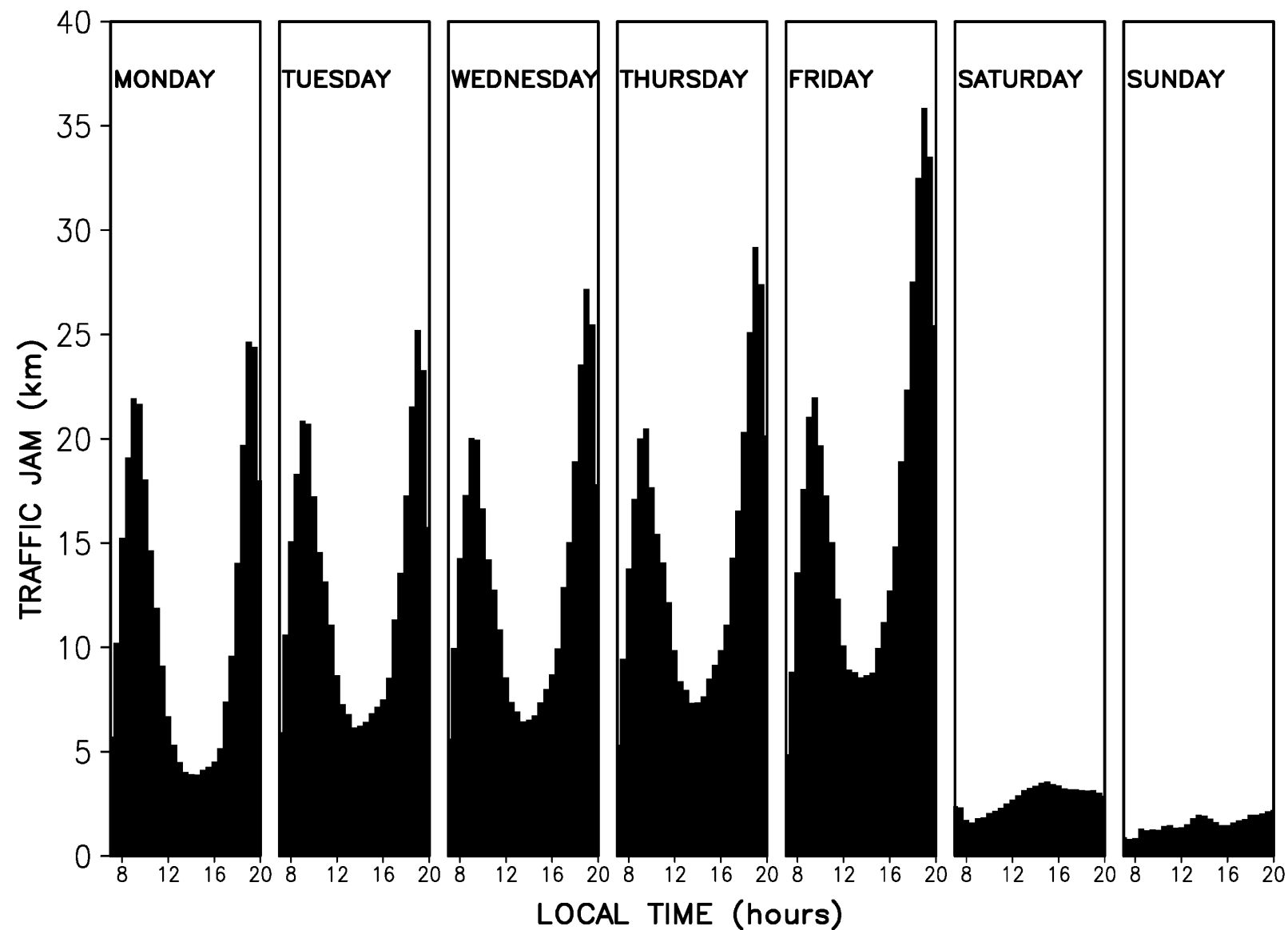
# Variações das concentrações de CO na atmosfera da RMSP no período de 2000 a 2015



# Variações das concentrações de CO na atmosfera da RMSP no período de 2000 a 2015



# Tráfego (km) na RMSP (CET)



## Efeitos do CO nas plantas

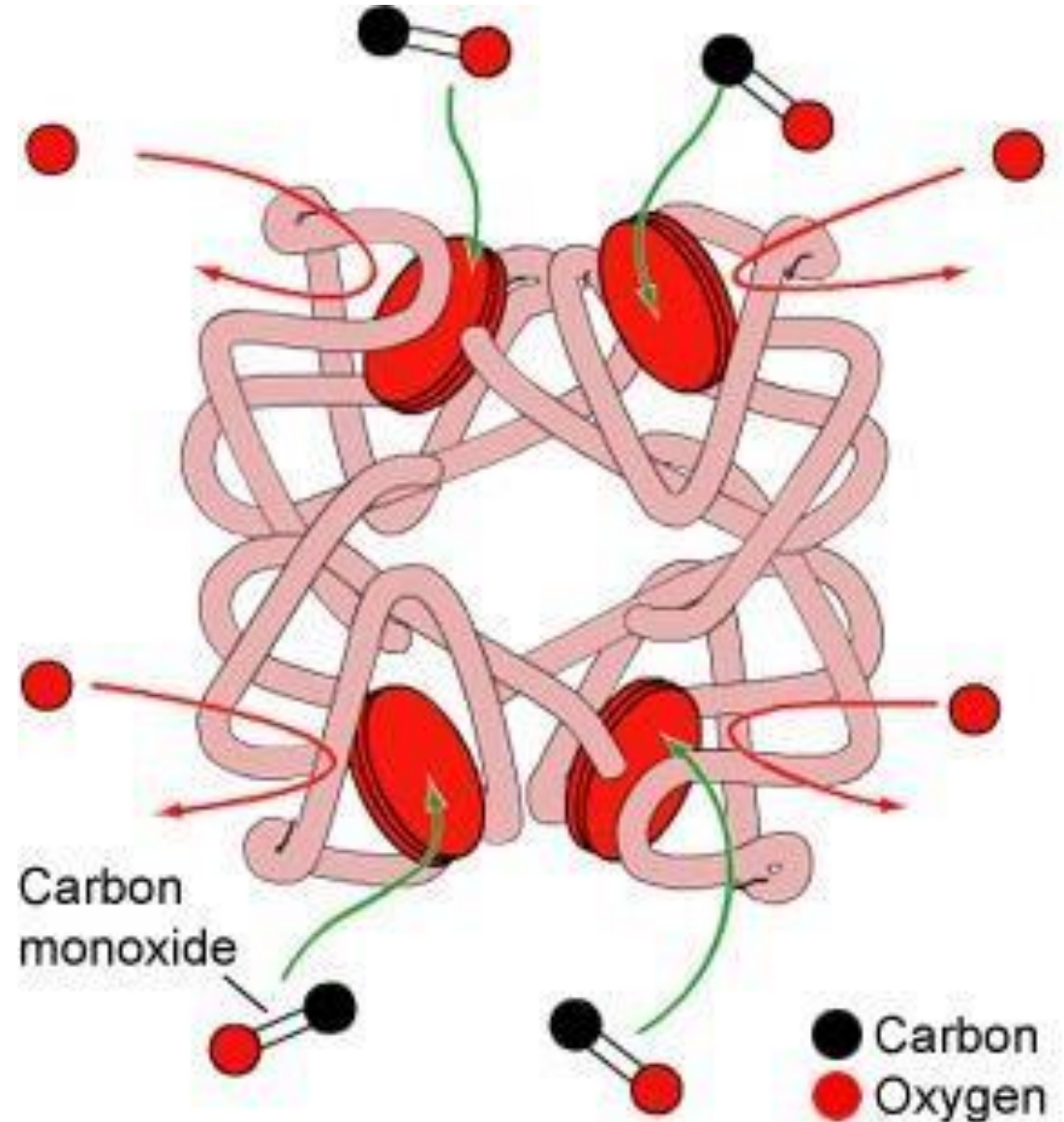
- Nenhum efeito prejudicial foi detectado.
- Ar urbano: 50-60 ppm → nenhum problema



# MONÓXIDO DE CARBONO

## Consequências

- 4 Se liga à hemoglobina no sangue no lugar do oxigênio
- 5 Em altas concentrações, prejudica a oxigenação do organismo, causando diminuição dos reflexos e da visão



# Efeitos do CO em humanos

A captação de oxigênio é restrita

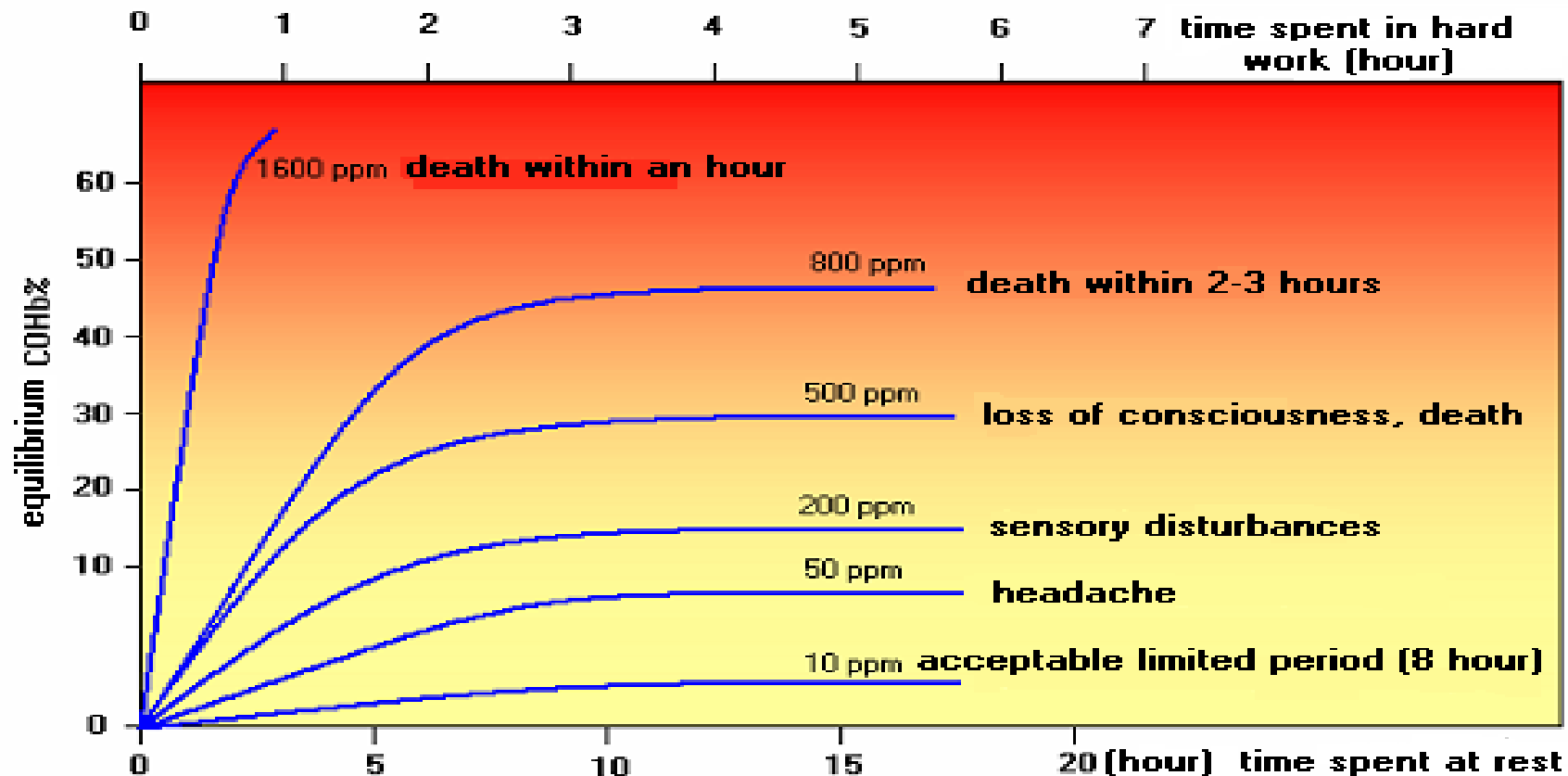
- Hemoglobina (Hb): transporte de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>.
- CO<sub>2</sub>Hb no pulmão, CO<sub>2</sub> é trocado por O<sub>2</sub>,
- O<sub>2</sub>Hb no tecido, O<sub>2</sub> é trocado por CO<sub>2</sub>



**In COHb the bond is 250 times stronger**

# Efeitos do CO em humanos

- O conteúdo de COHb no sangue depende da concentração de CO no ar, da atividade física e do tempo de residência na área poluída.

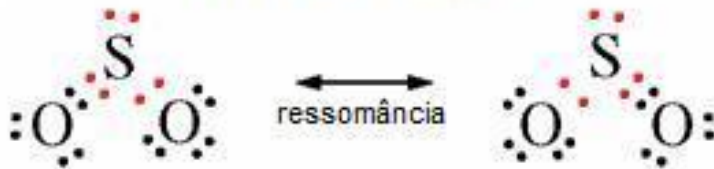


source: Environmental Science and Technology (5.) 213. 1971.

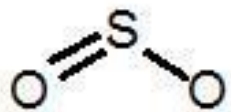
# DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO<sub>2</sub>)



Dióxido de enxofre



Geometria: Angular



SO<sub>2</sub>

Polar

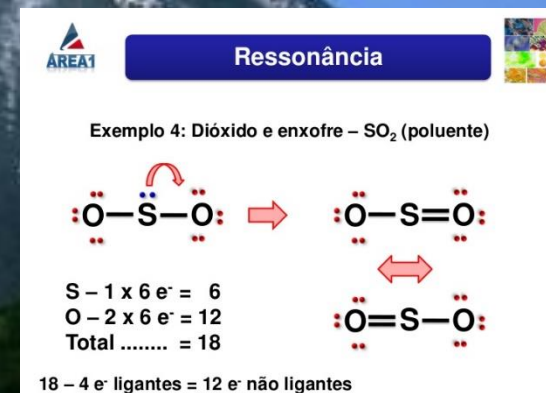
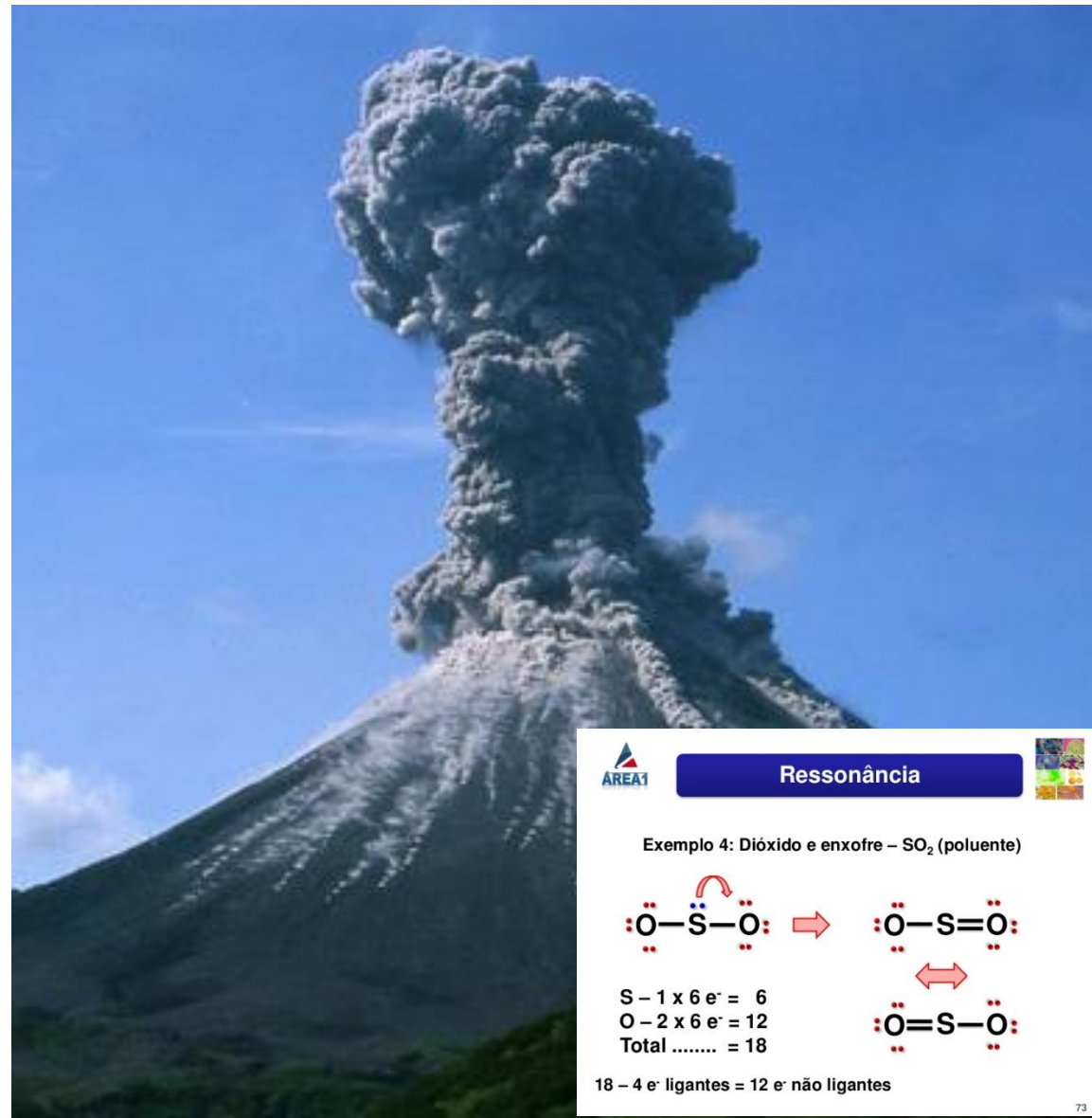




# DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO<sub>2</sub>)

## Origens e Consequências

- 1 Na natureza, emitido principalmente por vulcões
- 2 Composto de enxofre encontrado no carvão e petróleo
- 3 Combustão de carvão e fração mais pesado do petróleo gera o dióxido de enxofre
- 4 Na atmosfera, reage com o radical, hidroxila, algumas etapas de reação e forma ácido sulfúrico





# DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO<sub>2</sub>)

## Origens e Consequências

- São compostos constituídos de enxofre e moléculas de oxigênio.

- \* SO<sub>2</sub>: Dióxido de enxofre

Gás incolor

- Reage com radical OH na atmosfera, formando bissulfito (HSO<sub>3</sub>), depois SO<sub>3</sub> que reage com água e forma H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.



# DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO<sub>2</sub>)

## Origens e Consequências

- É formado durante a combustão de combustíveis fósseis (carvão mineral, óleo mineral).

\* SO<sub>3</sub>: Trióxido de enxofre

- Produzido através da oxidação do SO<sub>2</sub>.
- Pode ser rapidamente convertido a ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).
- Provoca irritação nos olhos, nariz e garganta.
- Podem causar impactos adversos à vegetação, incluindo florestas e agricultura.





# DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO<sub>2</sub>)

## Origens e Consequências

### 5 Principais fontes de emissões antropogênicas

- Veículos a diesel (77%)
- Indústrias (15%)
- Carros a gasolina (8%)

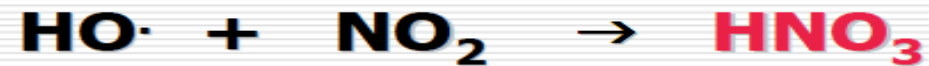
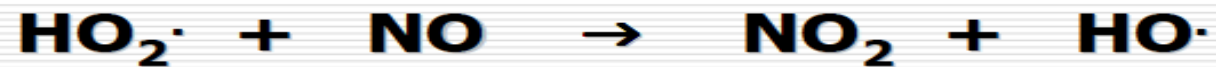
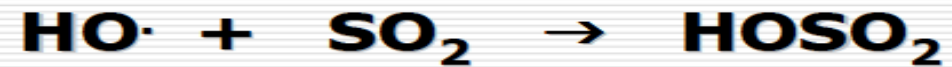
### 6 Altas concentrações provocam irritação no sistema respiratório e problemas cardiovasculares



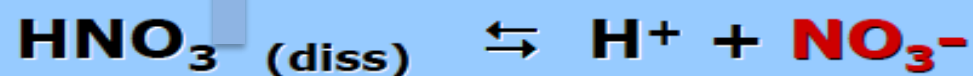
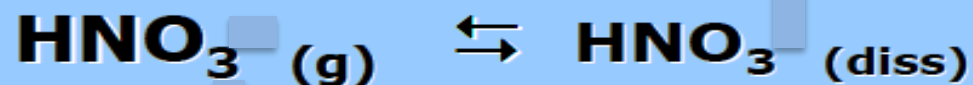
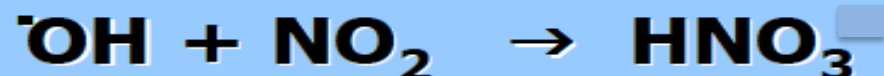
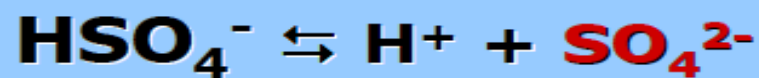
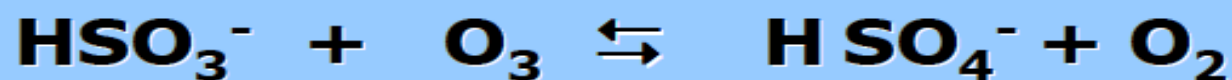
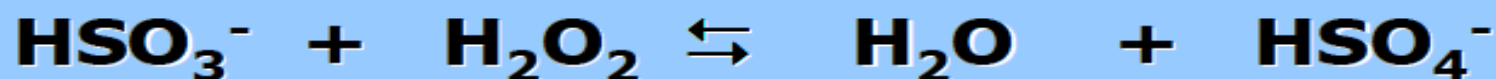
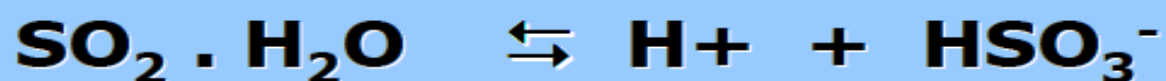
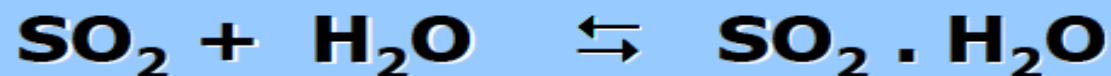
# Chuva Ácida

## Reações Químicas

---



## Reações Químicas



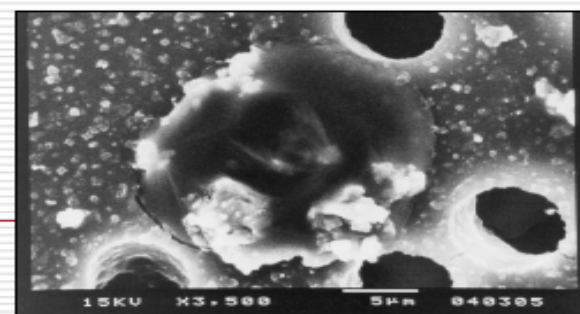
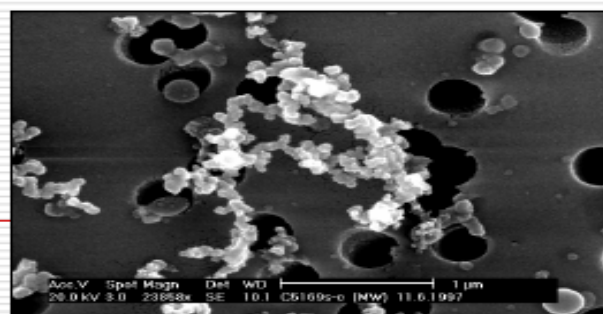
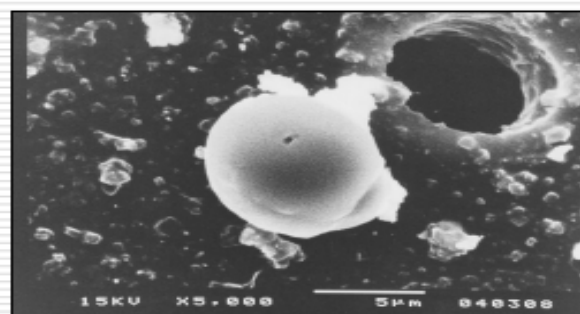
# Causadores da Deposição Ácida

## Aerossóis:

**Ácido Sulfúrico:** é formado pelas espécies de enxofre, originadas tanto de fontes naturais (vulcões) e antrópicas (usinas termoeletricas e fundições), que se oxidam em um intervalo de horas ou dias.

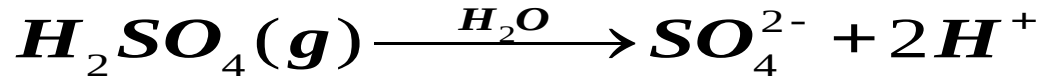
**Ácido Nítrico:** é o produto final da oxidação de gases atmosféricos nitrogenados, como  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$

## Sulfato e Nitrato:

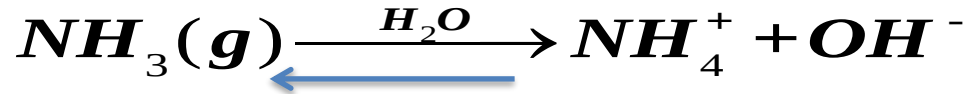


# FORMATION OF SULFATE -NITRATE-AMMONIUM AEROSOLS

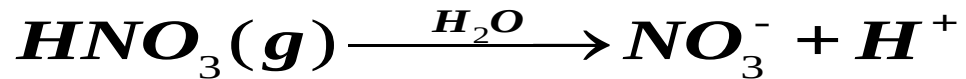
Thermodynamic rules:



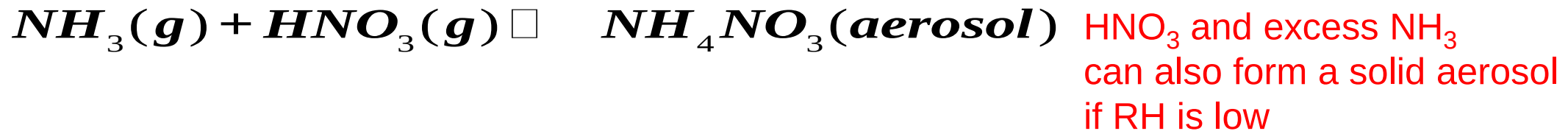
Sulfate always forms an aqueous aerosol



Ammonia dissolves in the sulfate aerosol totally or until titration of acidity, whichever happens first



Nitrate is taken up by aerosol if (and only if) excess  $NH_3$  is available after sulfate titration

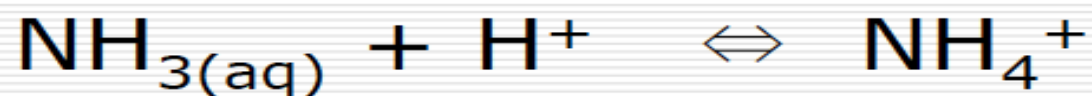


| Condition                 | aerosol pH | Low RH                                                  | High RH                                   |
|---------------------------|------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| $2[S(VI)] > [N(-III)]$    | acid       | $H_2SO_4 \cdot nH_2O$ , $NH_4HSO_4$ ,<br>$(NH_4)_2SO_4$ | $(NH_4^+, H^+, SO_4^{2-})$<br>solution    |
| $2[S(VI)] \leq [N(-III)]$ | neutral    | $(NH_4)_2SO_4$ , $NH_4NO_3$                             | $(NH_4^+, SO_4^{2-}, NO_3^-)$<br>solution |

# Neutralização

---

- $\text{NH}_3$  na atmosfera neutraliza a acidez da chuva pela formação de  $\text{NH}_4^+$ .



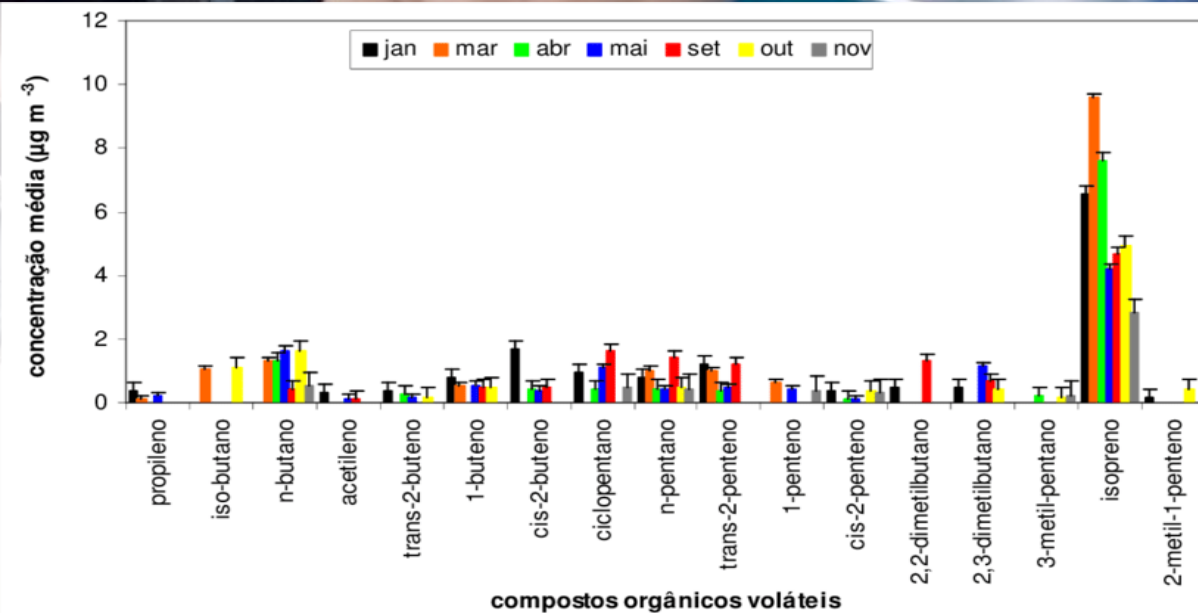
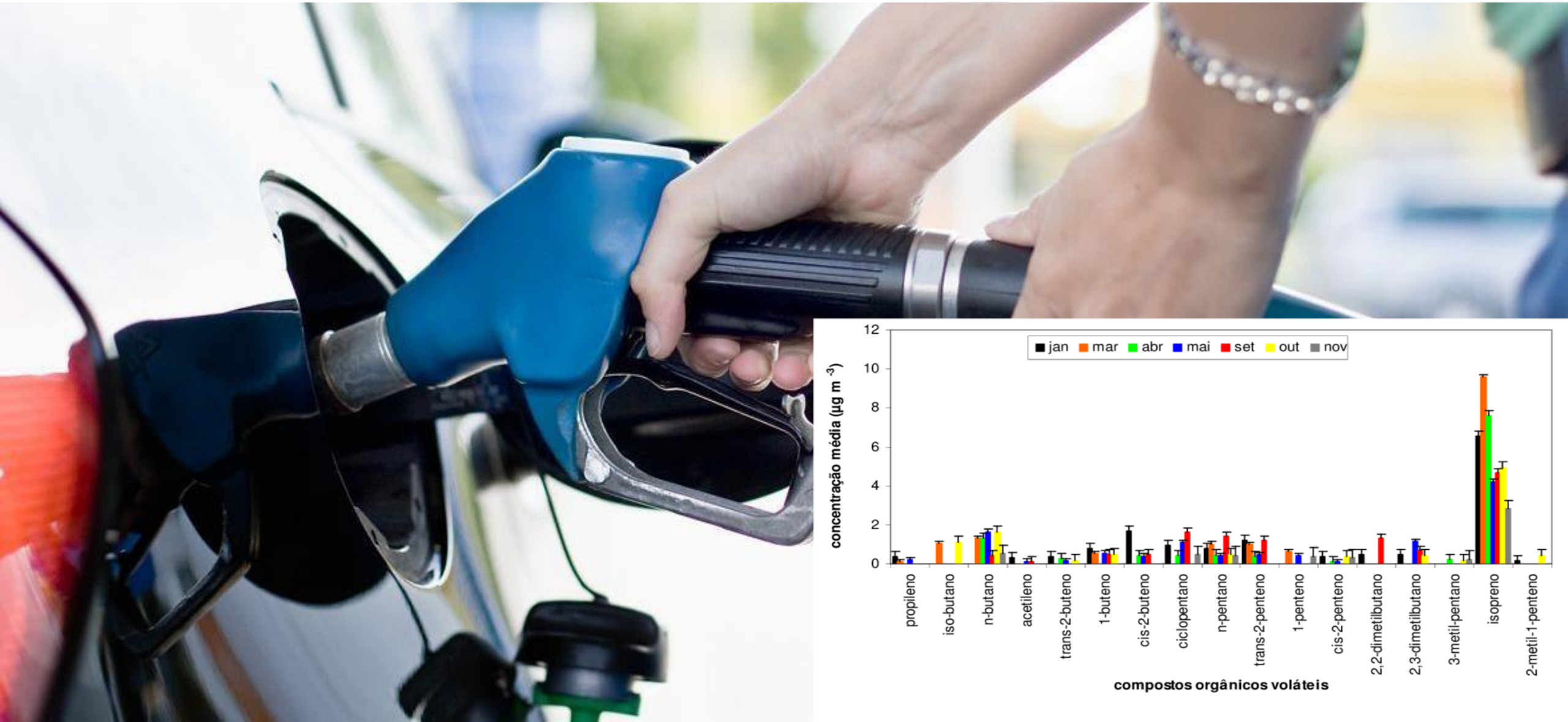
- Mas,



A deposição de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  fertiliza o ecossistema  
 $\rightleftharpoons$  eutrofização



# COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS





# COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS

## Definição

Classe de compostos de carbono contendo hidrogênio, voláteis à temperatura e pressão normal.

Divididos em dois grupos: metano e hidrocarbonetos com exceção do metano (NMHCs).

Exceto:  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$

Inclui: compostos oxigenados (aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos), halogenados e enxofre contendo hidrogênio e carbono



# COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS

## Origens e Consequências

- 1 Produtos químicos orgânicos que facilmente evaporam à temperatura ambiente
- 2 Exemplos: metano, benzeno, xileno, propano e butano
- 3 Na presença do sol, sofrem reações fotoquímicas que podem originar ozônio e smog.



# COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS

## Origens e Consequências

### 4 Principais fontes de emissões externa

- Carros a gasolina (53%),
- Veículos a diesel (21%),
- Carros a etanol (19%)

### 5 Principais fontes de emissões interna

- Tintas e vernizes
- Produtos de limpeza
- Inseticidas
- Cigarro

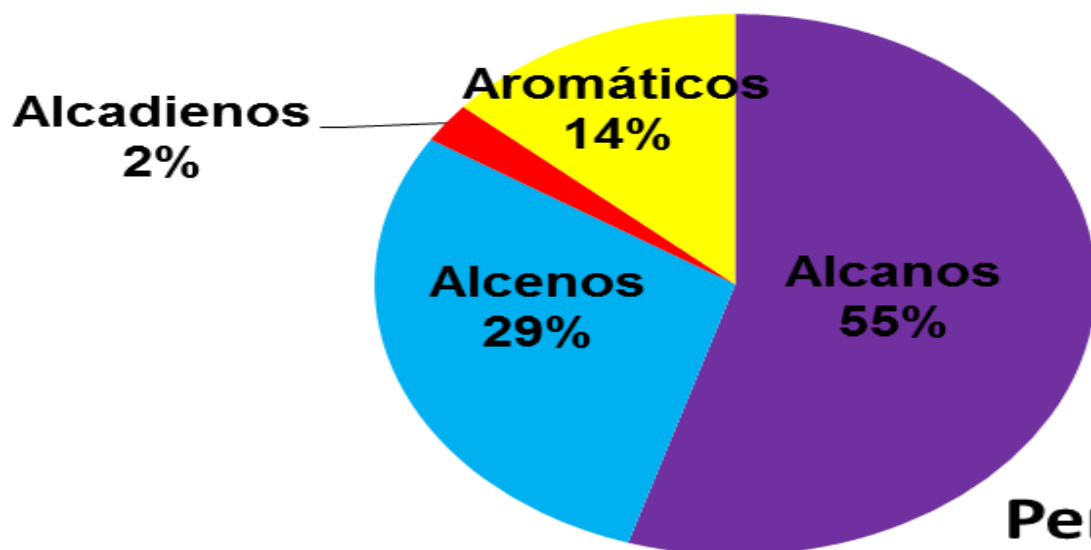


**Concentração dos 15 COV mais abundantes medidos na estação CETESB Cerqueira César, referente às médias das 36 amostragens realizadas em 2006 e das 43 em 2008.**

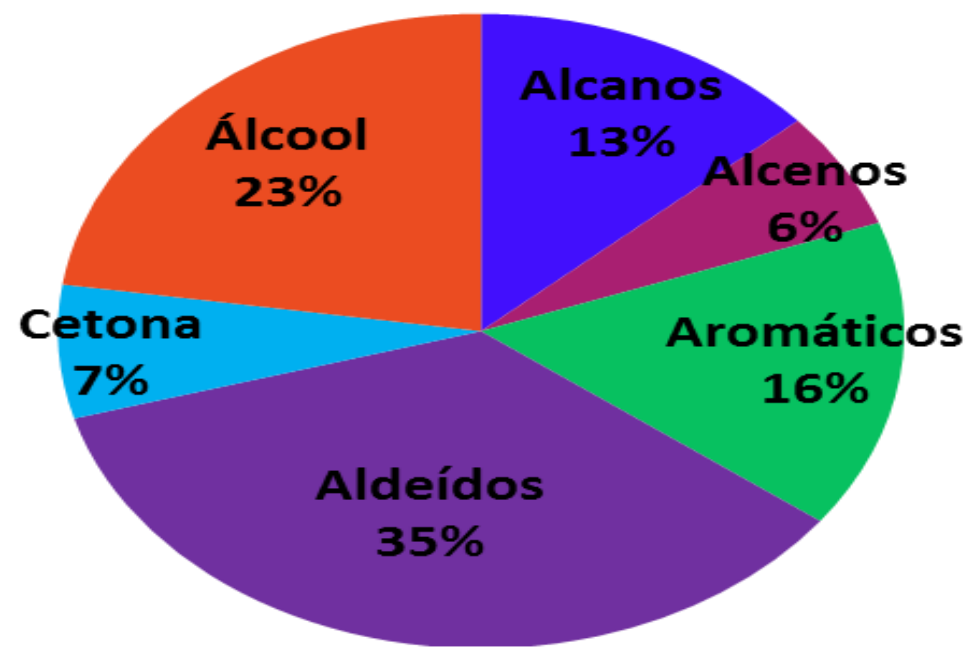
| <b>Compostos (2006)</b> | <b>Conc. (ppbv)</b> | <b>Compostos (2008)</b> | <b>Conc. (ppbv)</b> |
|-------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| isopentano              | 6,55±0,10           | eteno                   | 12,22±0,65          |
| eteno                   | 6,48±0,34           | propano                 | 8,83±0,11           |
| formaldeído             | 5,58±0,01           | etano                   | 5,76±0,15           |
| etano                   | 5,29±0,14           | formaldeído             | 5,70±0,01           |
| acetaldeído             | 5,04±0,01           | acetaldeído             | 5,64±0,01           |
| butano                  | 3,90±0,01           | butano                  | 4,71±0,02           |
| propano                 | 3,40±0,04           | tolueno                 | 4,40±0,18           |
| tolueno                 | 3,38±0,14           | isopentano              | 4,19±0,06           |
| but-1-eno               | 2,99±0,07           | pentano                 | 2,90±0,06           |
| pentano                 | 2,60±0,05           | propeno                 | 2,77±0,02           |
| propeno                 | 2,00±0,01           | isobutano               | 2,26±0,01           |
| isobutano               | 1,87±0,01           | but-1-eno               | 1,55±0,04           |
| 2-metilpentano          | 1,77±0,04           | hexano                  | 1,54±0,04           |
| p-xileno                | 1,59±0,14           | 1-metilciclopenteno     | 1,49±0,04           |
| 1,1-dimetilciclopropano | 1,49±0,03           | 2-metilpentano          | 1,49±0,04           |



**Percentual de Hidrocarbonetos - Estação CETESB  
IPEN/USP - 2006**



**Percentual de COV - Estação IPEN/USP -  
2011/2012**



# ÓXIDOS DE NITROGÊNIO (NOx)



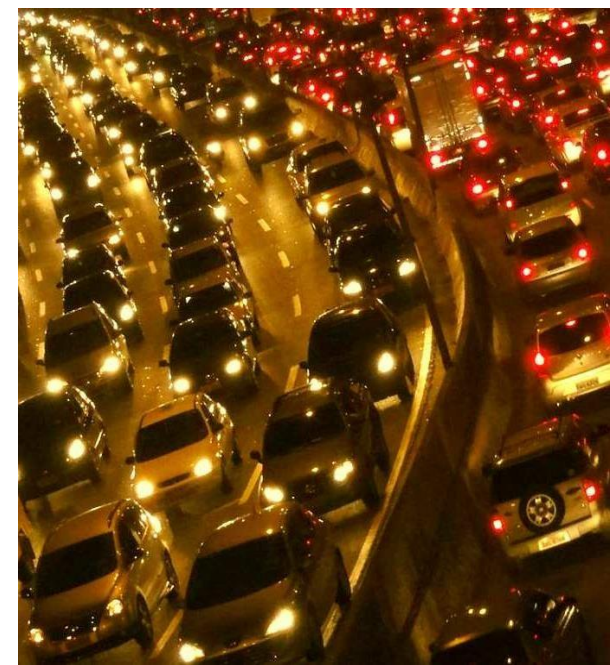
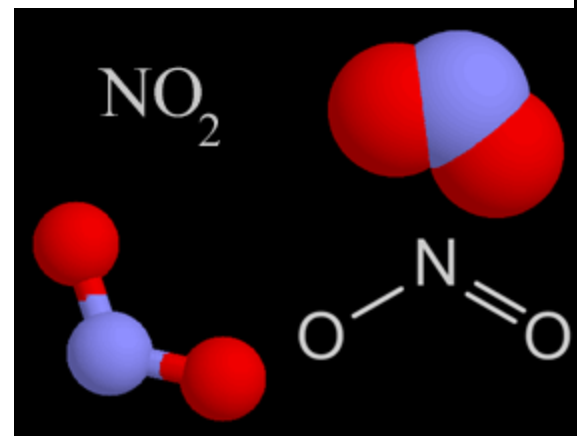
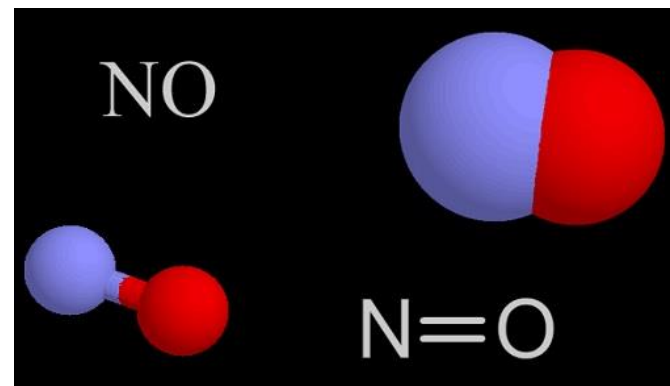
# ÓXIDOS DE NITROGÊNIO (NOx)

## Origens e Consequências

Formados durante o processo de combustão a altas temperaturas, através da oxidação do  $N_2$



- Pode estar principalmente na forma de:
  - \* NO: Óxido de nitrogênio
- Gás incolor e insípido
- Formado predominantemente em fontes antropogênicas
  - \*  $NO_2$ : Dióxido de nitrogênio ou Azoto
- Gás amarelo-alaranjado, odor irritante.





# ÓXIDOS DE NITROGÊNIO (NOx)

## Origens e Consequências

- 1 Emitidos a partir de combustão a altas temperaturas de combustíveis veiculares
- 2 Estão relacionados com o tráfego de veículos, assim as emissões são geralmente mais elevadas nas zonas urbanas
- 3 Altas concentrações em duas vezes por dia como nas horas de pico no tráfego



# ÓXIDOS DE NITROGÊNIO (NOx)

## Origens e Consequências

### 4 Principais fontes de emissões externa

- Veículos a diesel (81%)
- Carros a gasolina (10%)
- Carros a álcool (5%)

### 5 Penetra profundamente no sistema respiratório, podendo dar origem a substâncias mutagênicas e carcinogênica



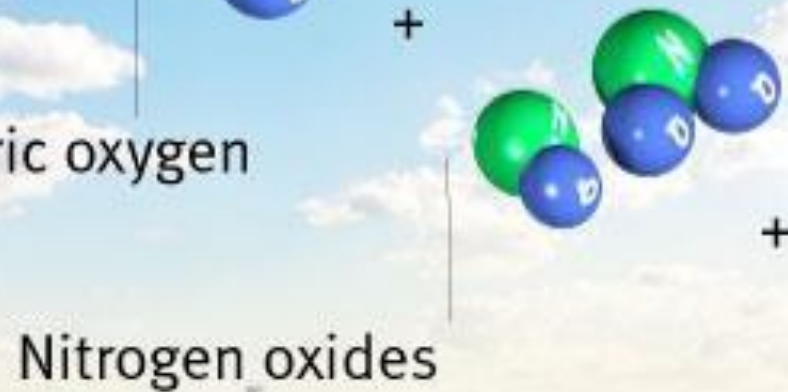


# OZÔNIO ( $O_3$ )

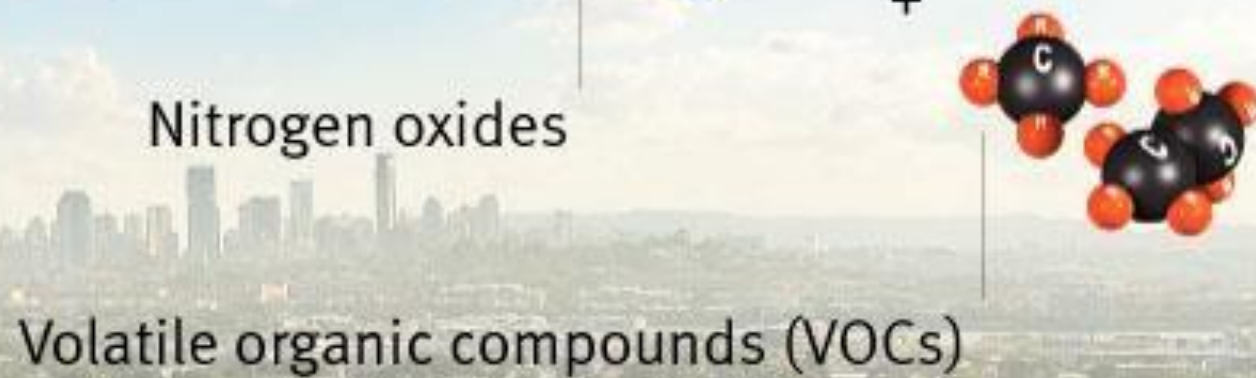




+



+



Sunlight



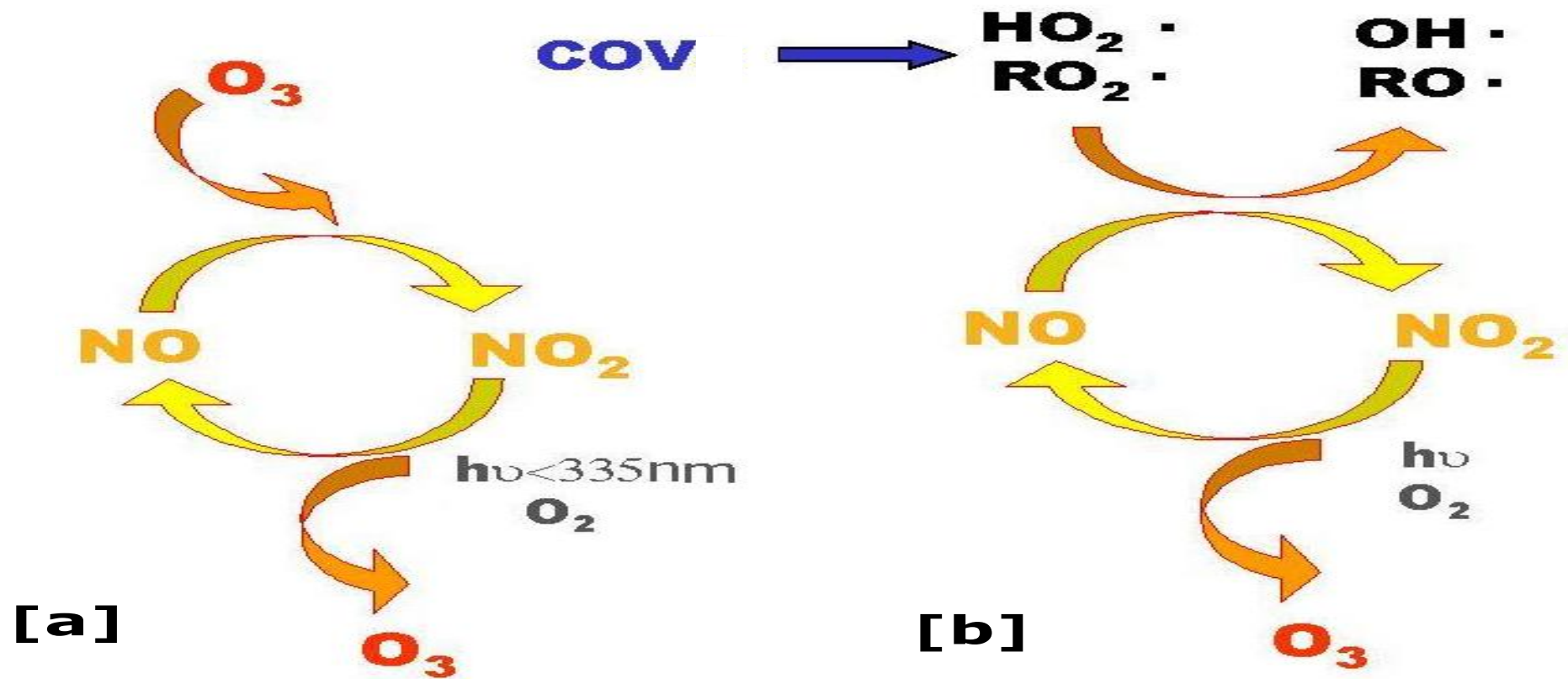
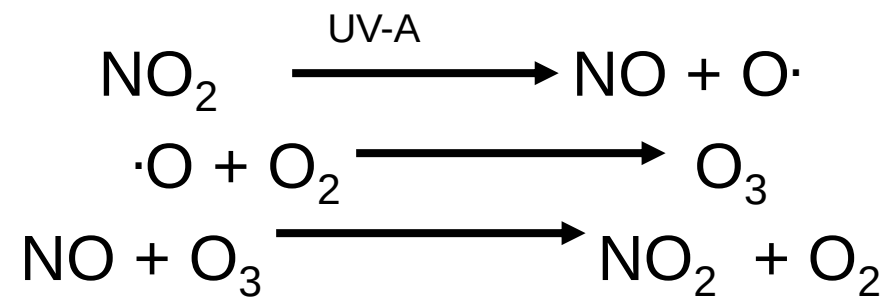


# OZÔNIO (O<sub>3</sub>)

## Origens e Consequências

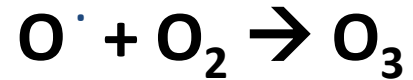
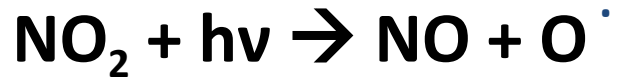
- 1 Formado por reações fotoquímicas entre o NO<sub>x</sub> e Compostos Orgânicos Voláteis (COV)
- 2 Provoca vários problemas de saúde como dores torácicas, tosse e irritação da garganta, irritação dos olhos e vias respiratórias, diminuição da capacidade pulmonar, envelhecimento precoce e corrosão dos tecidos







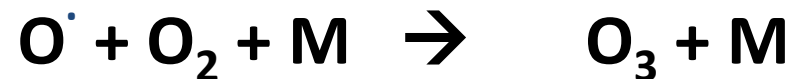
# Formação de O<sub>3</sub> Troposférico Poluente



(Radical  $\text{OH}^\bullet$ ) + alcano



Radical  $\text{OH}^\bullet$  + alceno



# POLUENTES ORGÂNICOS PERSISTENTES (POPs)





# POLUENTES ORGÂNICOS PERSISTENTES (POPs)

## Origens e Consequências

- 1** São compostos altamente estáveis e que persistem no ambiente, resistindo à degradação química, fotolítica e biológica
- 2** Têm a capacidade de bio-acumular em organismos vivos, sendo tóxicos para estes incluindo o homem
- 3** São transportados a longas distâncias pela água, vento ou por animais





# POPs

## Origens e Consequências

4

### Exemplos de POPs

- Pesticidas (ex. DDT, aldrina, toxafeno)
- Policlorobifenilos (PCBs)
- Dioxinas
- Furanos

5

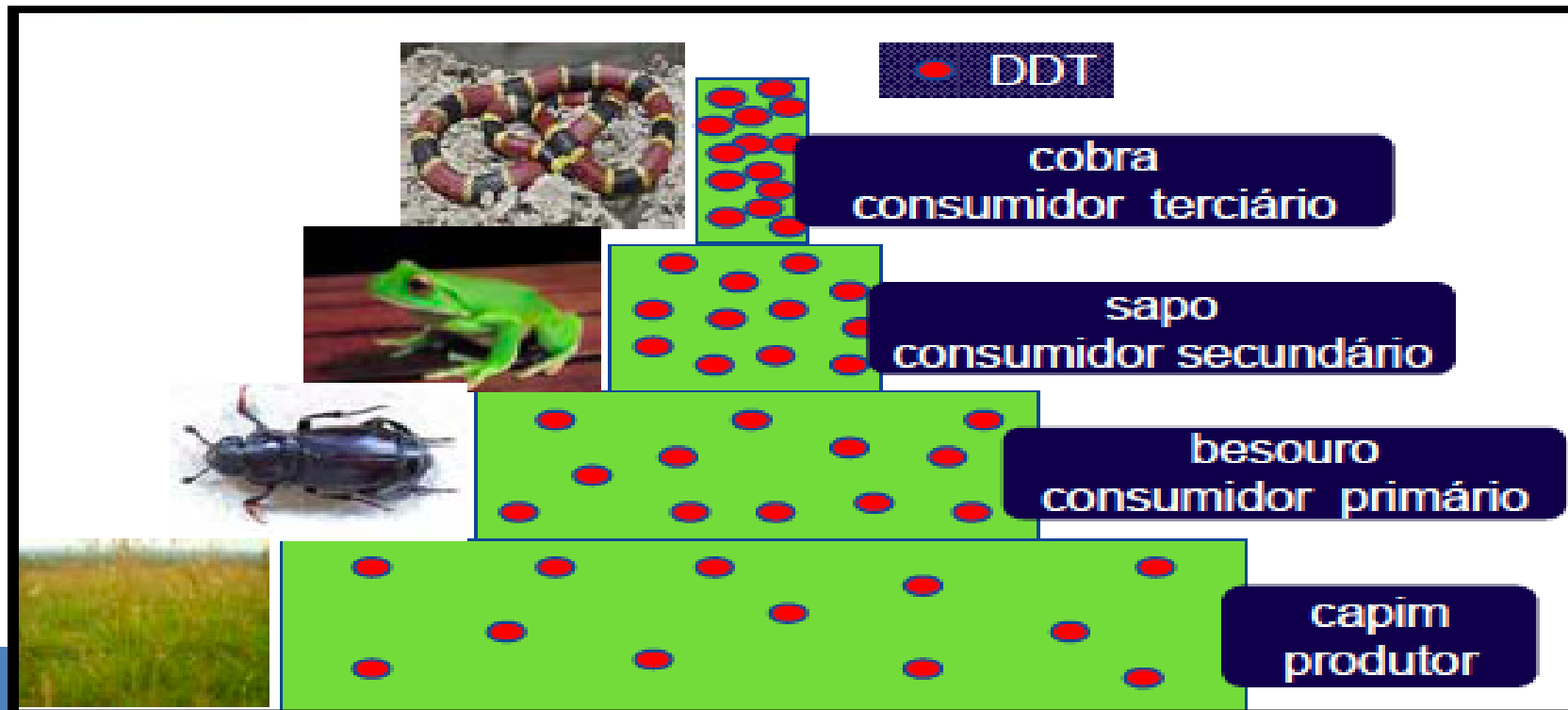
Atuam negativamente sobretudo como destruidor dos sistemas reprodutivo, imunitário e endócrino, sendo também apontados como carcinogênicos



# Cadeia Alimentar – Amplificação Biológica

**Amplificação Biológica** ocorre quando há um aumento de concentração de poluentes ao longo da cadeia alimentar. Isso ocorre porque:

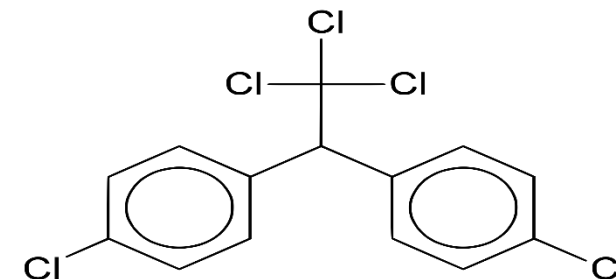
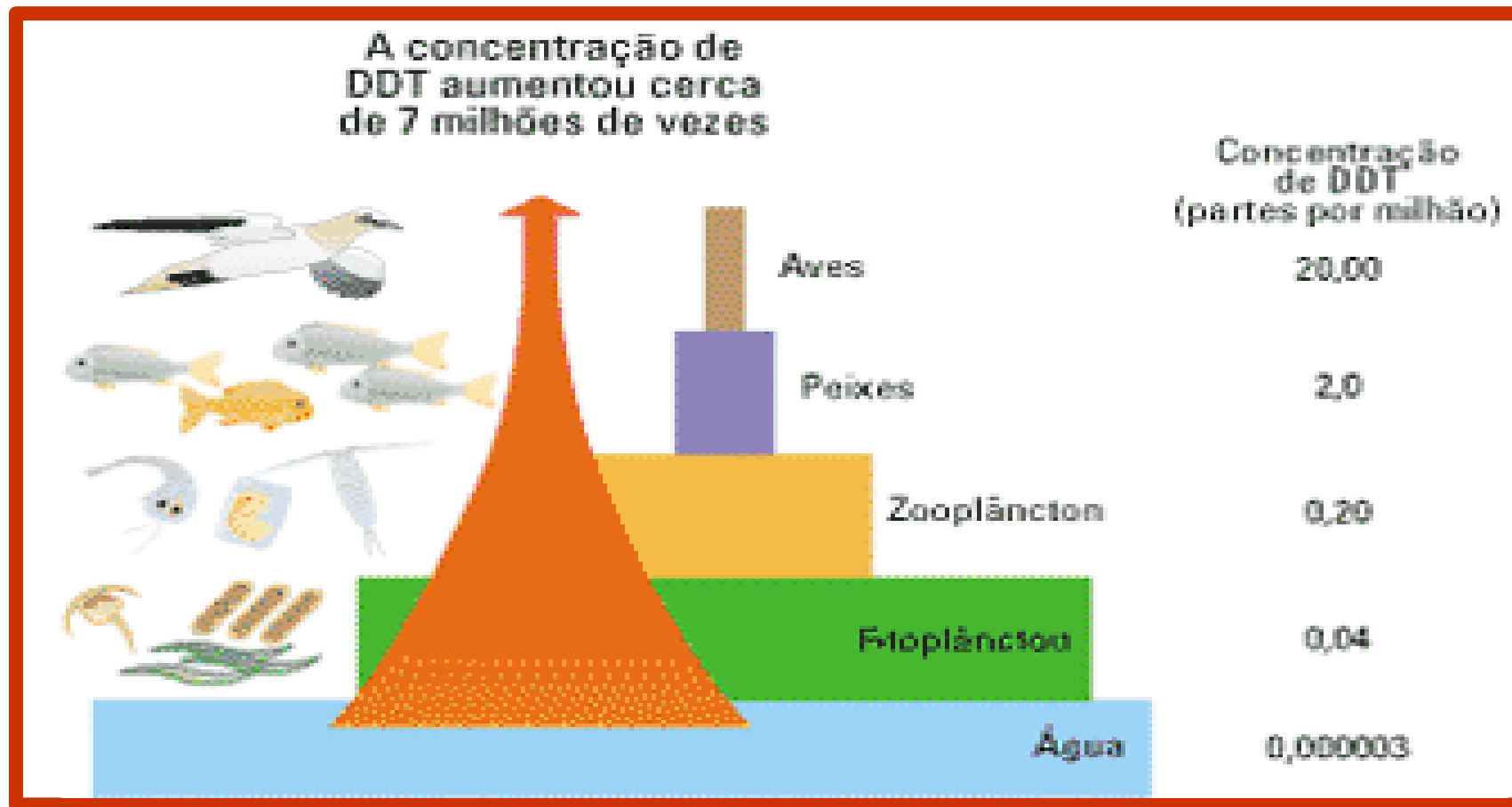
- é necessário um grande número de elementos do nível trófico anterior para alimentar um determinado elemento do nível trófico seguinte;
- o poluente considerado é recalcitrante ou de difícil degradação;
- o poluente é biocumulativo (Ex.: DDT – Dicloro-Difenil-Tricloroetano)



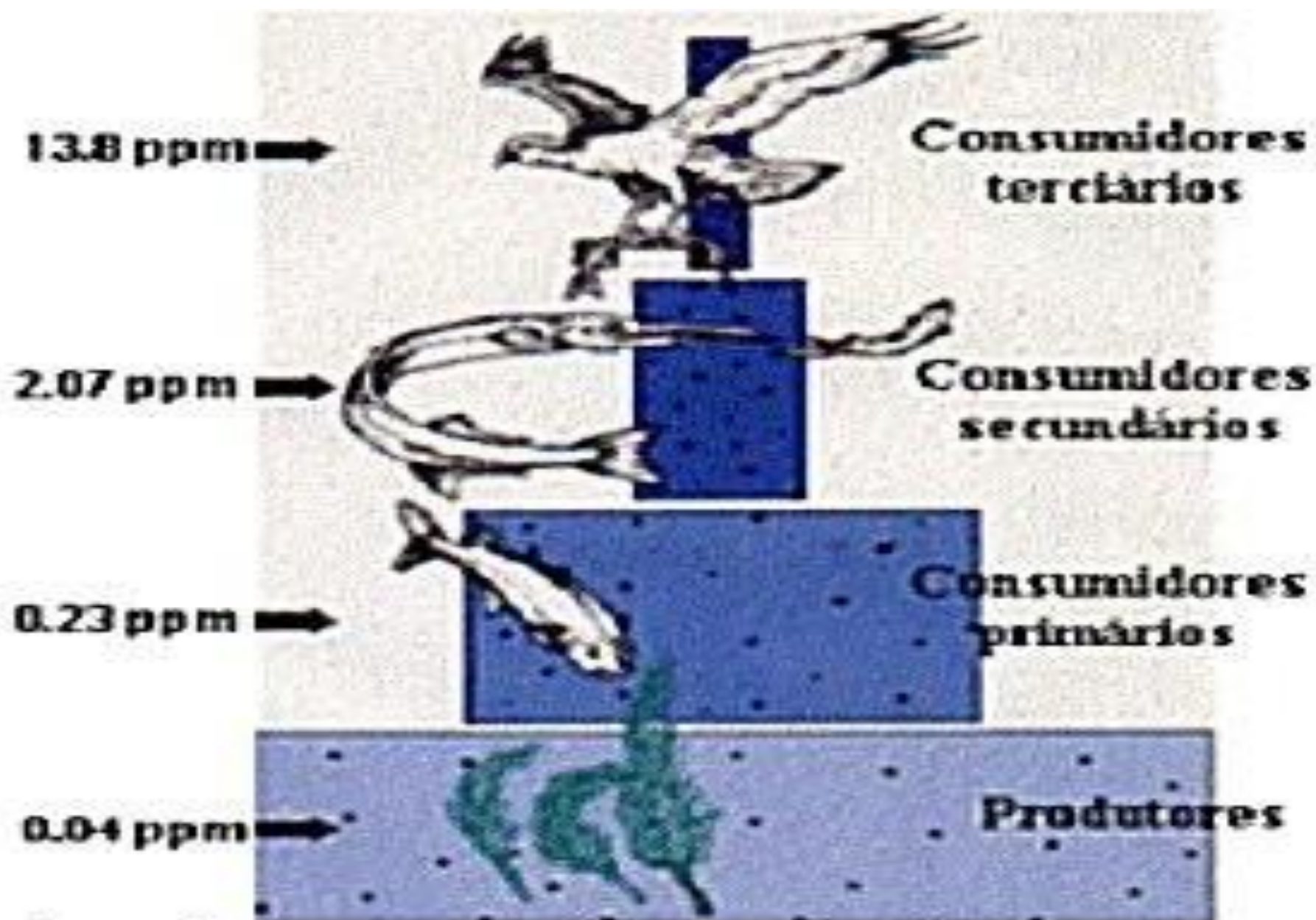


# CONTAMINAÇÃO DDT

- Acumulação nos consumidores de último nível



DDT – Dicloro-Difenil-Tricloroetano

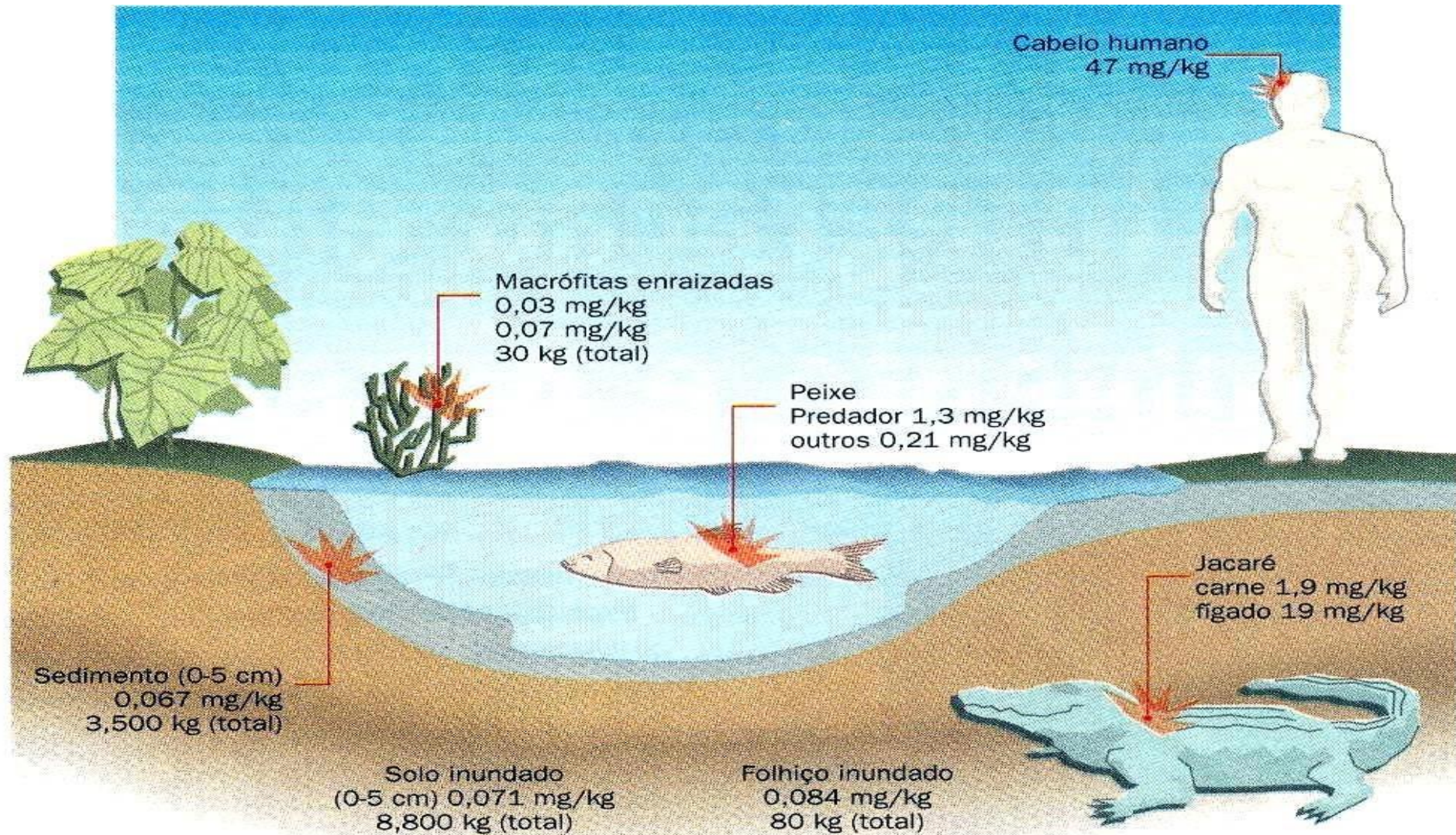


**Valores de concentração de DDT nos tecidos (ppm = partes por milhão; se a densidade for 1 kg/L isso dá 1 mg/L)**



# CONTAMINAÇÃO METAIS PESADOS

- Mercúrio
- Chumbo
- Cadmio





# PROPOSTAS E SOLUÇÕES





# PROPOSTAS E SOLUÇÕES

## Mudanças de Tecnologia

- 1 Novas formas de gerar energia mais limpa
- 2 Novos tipos de combustíveis mais renováveis
- 3 Tecnologia de absorção e limpeza de poluentes
- 4 Novos tipos de transportes que usam tecnologia mais limpa



# PROPOSTAS E SOLUÇÕES

## Mudanças de Hábitos

- 1 Melhorias e incentivo ao uso de transporte coletivo de qualidade
- 2 Diminuição no uso de veículos motorizados
- 3 Uso de plantas para a absorção de poluentes atmosféricos
- 4 Reuso, reciclagem e reaproveitamento de materiais já usados



- The vehicle fleet in SPMA has increased dramatically since the 1950s, from 20 persons per vehicle in the 1950s to 3 persons per vehicle in 2018 (CETESB, 2019).
- In the SPMA, 86 % of daily commuter travel is done via cars or buses and only 14 % via subway and trains. In contrast, in other megacities, such as New York and Tokyo, 72 % and 61 % of trips are made by subway, respectively.

- The subway system in São Paulo is only 101 km long, much shorter than those of other megacities, such as Beijing (442 km), Shanghai (420 km), New York (418 km), Tokyo (292 km), Seoul (286 km), and even to other metropolitan areas with fewer than 10 million inhabitants, such as London (408 km), Madrid (293 km) and Paris (212 km). An efficient public transportation system, integrated with all its modes, constitutes a key strategy to reduce vehicular traffic and pollutant emissions



# URBANIZAÇÃO e INDUSTRIALIZAÇÃO

## Poluentes atmosféricos:

|        |                           |
|--------|---------------------------|
| $O_3$  | $SO_2$                    |
| CO     | MP (material particulado) |
| $NO_x$ | COV                       |



# LEGISLAÇÃO

## POLUENTES REGULAMENTADOS (Res. 03 de 29/06/90 )

**Padrões primários e secundários da qualidade do ar**

**Partículas Totais em Suspensão (PTS)**

**Fumaça**

**Partículas Inaláveis (PI) (PM10 ou MP10)**

**Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>)**

**Monóxido de Carbono (CO)**

**Ozônio (O<sub>3</sub>)**

**Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>)**



**MONITORES  
CONTÍNUOS**

# LEGISLAÇÃO

No Brasil os padrões de qualidade do ar são estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018, que revogou e substituiu a Resolução CONAMA nº 3/1990.

**partículas totais em suspensão (PTS)**

**Fumaça**

**partículas inaláveis (MP10 e **MP2,5**)**

**dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>)**

**monóxido de carbono (CO)**

**ozônio (O<sub>3</sub>)**

**dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>)**

**chumbo (Pb)**



**MONITORES  
CONTÍNUOS**

# LEGISLAÇÃO

## POLUENTES NÃO REGULAMENTADOS

- Importantes na química da atmosfera
- Efeitos importantes na saúde
- Tão ou mais importantes que os legislados

- Aldeídos
- Álcoois
- HC individuais
- HC aromáticos policíclicos
- Metais

- 
- AMOSTRAGEM LOCAL
  - TRATAMENTO
  - ANÁLISE QUÍMICA



# **PADRÕES DE QUALIDADE DO AR**

## **Define o limite máximo**

- garantia da proteção da saúde e do bem estar das pessoas.**
- baseados em estudos científicos**
- fixados em níveis com margem de segurança**

# **PADRÕES DE QUALIDADE DO AR**

**(Estado de São Paulo)**

**DECRETO Nº 59.113, DE 23 DE ABRIL DE 2013**

*Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas)*

**Brasil**

**Resolução CONAMA 491/2018**

Dispõe sobre padrões de qualidade do ar.

**Padrões Estaduais de Qualidade do Ar**  
**(Decreto Estadual nº 59113 de 23/04/2013)**

| <b>Poluente</b>                                 | <b>Tempo de Amostragem</b>   | <b>MI1<br/>(µg/m³)</b> | <b>MI2<br/>(µg/m³)</b> | <b>MI3<br/>(µg/m³)</b> | <b>PF<br/>(µg/m³)</b> |
|-------------------------------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| partículas inaláveis (MP <sub>10</sub> )        | 24 horas<br>MAA <sup>1</sup> | 120<br>40              | 100<br>35              | 75<br>30               | 50<br>20              |
| partículas inaláveis finas (MP <sub>2,5</sub> ) | 24 horas<br>MAA <sup>1</sup> | 60<br>20               | 50<br>17               | 37<br>15               | 25<br>10              |
| dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )           | 24 horas<br>MAA <sup>1</sup> | 60<br>40               | 40<br>30               | 30<br>20               | 20<br>-               |
| dióxido de nitrogênio (NO <sub>2</sub> )        | 1 hora<br>MAA <sup>1</sup>   | 260<br>60              | 240<br>50              | 220<br>45              | 200<br>40             |
| Ozônio (O <sub>3</sub> )                        | 8 horas                      | 140                    | 130                    | 120                    | 100                   |
| monóxido de carbono (CO)                        | 8 horas                      | -                      | -                      | -                      | 9 ppm                 |
| fumaça* (FMC)                                   | 24 horas<br>MAA <sup>1</sup> | 120<br>40              | 100<br>35              | 75<br>30               | 50<br>20              |
| partículas totais em suspensão* (PTS)           | 24 horas<br>MGA <sup>2</sup> | -<br>-                 | -<br>-                 | -<br>-                 | 240<br>80             |
| Chumbo** (Pb)                                   | MAA <sup>1</sup>             | -                      | -                      | -                      | 0,5                   |

As Metas Intermediárias devem ser atendidas em 3 (três) etapas, assim determinadas:

- I. Meta Intermediária Etapa 1 - (MI1) - Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados a partir de 24/04/2013;
- II. Meta Intermediária Etapa 2 - (MI2) - Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados subsequentemente à MI1, que entrará em vigor após avaliações realizadas na Etapa 1, reveladas por estudos técnicos apresentados pelo órgão ambiental estadual, convalidados pelo CONSEMA;
- III. Meta Intermediária Etapa 3 - (MI3) - Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados nos anos subsequentes à MI2, sendo que o seu prazo de duração será definido pelo CONSEMA, a partir do início da sua vigência, com base nas avaliações realizadas na Etapa 2.



# **RESOLUÇÃO CONAMA 491/2018**

Em 19 de novembro de 2018 foi publicada a **Resolução CONAMA nº 491** que dispõe sobre os **padrões de qualidade do ar** no Brasil. **(Revogou a Resolução CONAMA n.º 03/1990)**

Segundo a nova Resolução, **padrão de qualidade do ar é um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar**, determinado como valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica.

# PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Os padrões de qualidade do ar segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), **variam de acordo com a abordagem adotada para balancear riscos à saúde**, viabilidade técnica, considerações econômicas e vários outros fatores políticos e sociais, que por sua vez dependem, entre outras coisas, **do nível de desenvolvimento e da capacidade nacional de gerenciar a qualidade do ar** (MMA, 2018).

As diretrizes recomendadas pela OMS levam em conta esta **heterogeneidade** e, em particular, reconhecem que, ao formularem políticas de qualidade do ar, os governos devem **considerar cuidadosamente suas circunstâncias locais antes de adotarem os valores propostos como padrões nacionais** (MMA, 2018).

# **PADRÕES DE QUALIDADE DO AR CONAMA 491/2018**

Os padrões nacionais de qualidade do ar são divididos em duas categorias:

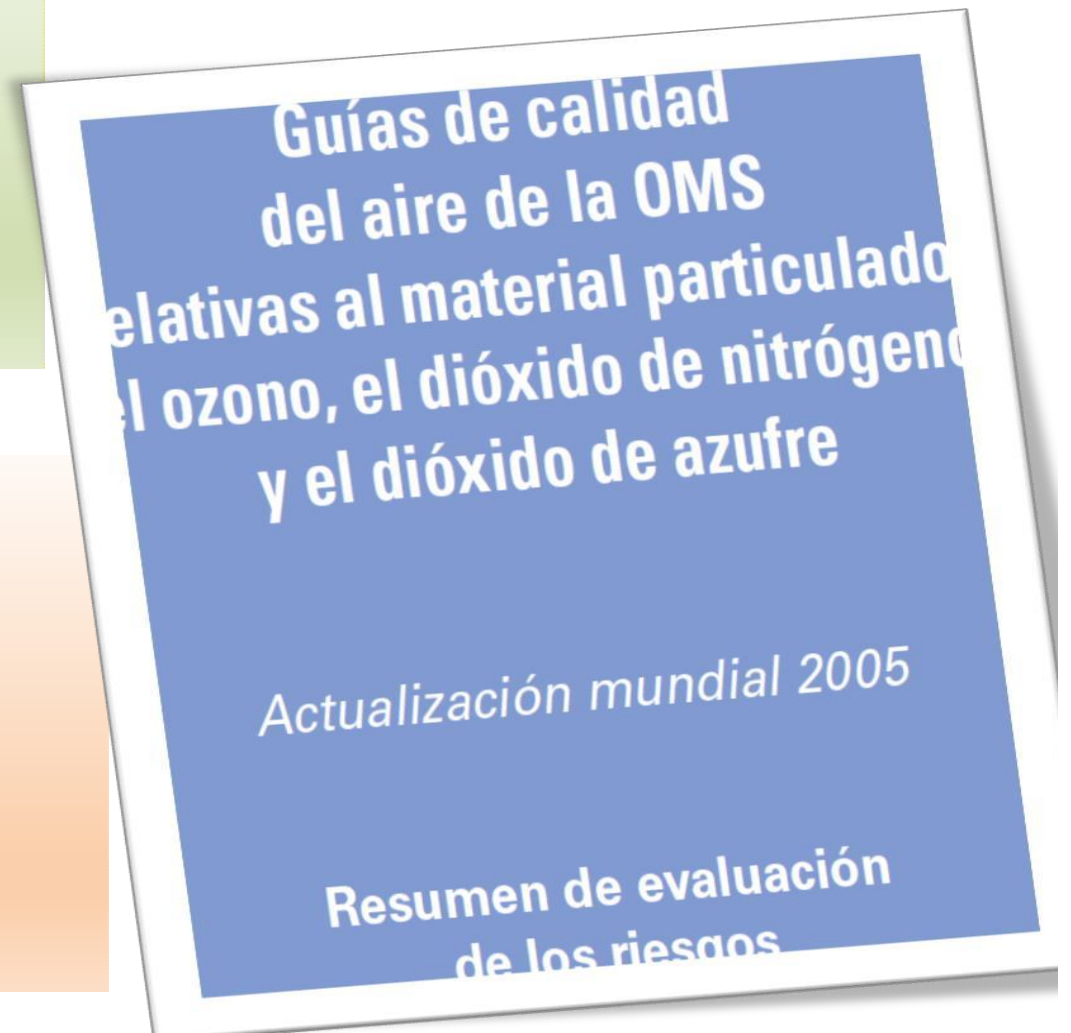
**I. - padrões de qualidade do ar intermediários - PI:** padrões estabelecidos como **valores temporários** a serem cumpridos em etapas; e

**I. - padrão de qualidade do ar final - PF:** valores guia definidos pela Organização Mundial da Saúde - **OMS** em 2005.

padrões de qualidade do ar intermediários - PI: padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas

padrão de qualidade do ar final - PF: valores guia definidos pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2005

## PADRÕES DE QUALIDADE DO AR CONAMA 491/2018





# PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

| RES. 03/1990        |                    |       |     | RES. 491/2018       |                     |       |       |       |       |     |
|---------------------|--------------------|-------|-----|---------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-----|
| POLUENTE            | PERÍODO            | µg/m³ | ppm | POLUENTE            | PERÍODO             | PI-1  | PI-2  | PI-3  | PF    | ppm |
|                     |                    |       |     |                     |                     | µg/m3 | µg/m3 | µg/m3 | µg/m3 |     |
| MP10                | 24 h               | 150   | —   | MP10                | 24 h                | 120   | 100   | 75    | 50    | —   |
|                     | Anual <sup>1</sup> | 50    | —   |                     | Anual <sup>1</sup>  | 40    | 35    | 30    | 20    | —   |
| MP 2.5              | 24 h               | —     | —   | MP 2.5              | 24 h                | 60    | 50    | 37    | 25    | —   |
|                     | Anual <sup>1</sup> | —     | —   |                     | Anual <sup>1</sup>  | 20    | 17    | 15    | 10    | —   |
| SO2                 | 24 h               | 365   | —   | SO2                 | 24 h                | 125   | 50    | 30    | 20    | —   |
|                     | Anual <sup>1</sup> | 80    | —   |                     | Anual <sup>1</sup>  | 40    | 30    | 20    | —     | —   |
| NO2                 | 1 h <sup>2</sup>   | 320   | —   | NO2                 | 1 hora <sup>2</sup> | 260   | 240   | 220   | 200   | —   |
|                     | Anual <sup>1</sup> | 100   | —   |                     | Anual <sup>1</sup>  | 60    | 50    | 45    | 40    | —   |
| O3                  | 1 h <sup>2</sup>   | 160   | —   | O3                  | 8 h <sup>3</sup>    | 140   | 130   | 120   | 100   | —   |
| Fumaça              | 24 h               | 150   | —   | Fumaça              | 24 h                | 120   | 100   | 75    | 50    | —   |
|                     | Anual <sup>1</sup> | 60    | —   |                     | Anual <sup>1</sup>  | 40    | 35    | 30    | 20    | —   |
| CO                  | 8 h                | —     | 9   | CO                  | 8 h <sup>3</sup>    | —     | —     | —     | —     | 9   |
|                     | 1 h                | —     | 35  |                     | —                   | —     | —     | —     | —     | —   |
| PTS                 | 24 h               | 240   | —   | PTS                 | 24 h                | —     | —     | —     | 240   | —   |
|                     | Anual <sup>4</sup> | 80    | —   |                     | Anual <sup>4</sup>  | —     | —     | —     | 80    | —   |
| Chumbo <sup>5</sup> | Anual <sup>1</sup> | —     | —   | Chumbo <sup>5</sup> | Anual <sup>1</sup>  | —     | —     | —     | 0,5   | —   |

1 - média aritmética anual

2 - média horária

3- máxima média móvel obtida no dia 4 -

média geométrica anual

5 - medido nas partículas totais em suspensão

# episódios agudos de poluição do ar

- pequena duração, de minutos a alguns dias;
- provocam graves consequências

**ANEXO III**  
**NÍVEIS DE ATENÇÃO, ALERTA E EMERGÊNCIA PARA POLUENTES E SUAS CONCENTRAÇÕES**

| Nível             | Poluentes e concentrações                              |                                                         |                                                          |                                  |                                                            |                                                       |
|-------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                   | SO <sub>2</sub><br>µg/m <sup>3</sup><br>(média de 24h) | Material Particulado                                    |                                                          | CO<br>ppm<br>(média móvel de 8h) | O <sub>3</sub><br>µg/m <sup>3</sup><br>(média móvel de 8h) | NO <sub>2</sub><br>µg/m <sup>3</sup><br>(média de 1h) |
|                   |                                                        | MP <sub>10</sub><br>µg/m <sup>3</sup><br>(média de 24h) | MP <sub>2,5</sub><br>µg/m <sup>3</sup><br>(média de 24h) |                                  |                                                            |                                                       |
| <b>Atenção</b>    | 800                                                    | 250                                                     | 125                                                      | 15                               | 200                                                        | 1.130                                                 |
| <b>Alerta</b>     | 1.600                                                  | 420                                                     | 210                                                      | 30                               | 400                                                        | 2.260                                                 |
| <b>Emergência</b> | 2.100                                                  | 500                                                     | 250                                                      | 40                               | 600                                                        | 3.000                                                 |

SO<sub>2</sub> = dióxido de enxofre; MP10 = material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 µm;

MP<sub>2,5</sub> = material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 µm; CO = monóxido de carbono;

O<sub>3</sub> = ozônio; NO<sub>2</sub> = dióxido de nitrogênio µg/m<sup>3</sup>; ppm = partes por milhão.

# Providências tomadas conforme nível de poluição

|        |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estado | Atenção    | <ul style="list-style-type: none"><li>CO ou O<sub>3</sub>: É solicitado restrição voluntária dos veículos</li><li>MP ou SO<sub>2</sub><ul style="list-style-type: none"><li>Limpeza de caldeiras das 12:00 às 16:00 hs</li><li>Uso de incineradores das 12:00 às 16:00 hs</li><li>Proibido queima de qualquer material ao ar livre</li></ul></li></ul>                                                     |
|        | Alerta     | <ul style="list-style-type: none"><li>CO ou O<sub>3</sub>: Restringido o acesso de veículos à zona atingida das 6:00 às 21:00hs</li><li>MP ou SO<sub>2</sub><ul style="list-style-type: none"><li>Ficam proibidas de funcionar as fontes estacionárias</li><li>Proibido circulação de veículos Diesel emitindo fumaça preta à zona atingida</li><li>Todas as medidas anteriores também</li></ul></li></ul> |
|        | Emergência | <ul style="list-style-type: none"><li>CO ou O<sub>3</sub>: Proibido a circulação de veículos à zona atingida</li><li>MP ou SO<sub>2</sub><ul style="list-style-type: none"><li>Fica proibido processos industriais que emitam poluentes</li><li>Fica proibido a queima de combustíveis</li><li>Ficam proibido de circular os veículos Diesel</li></ul></li></ul>                                           |



**LEGISLAÇÃO E PROGRAMAS  
DE CONTROLE DE  
EMISSIONES DE VEÍCULOS  
NOVOS E EM USO -  
PROCONVE, INSPEÇÃO  
VEICULAR AMBIENTAL,  
FISCALIZAÇÃO DE  
EMISSIONES DE VEÍCULOS  
EM VIAS PÚBLICAS**



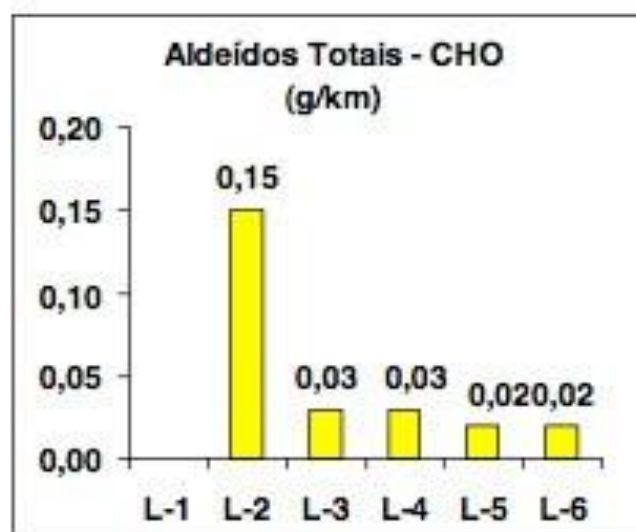
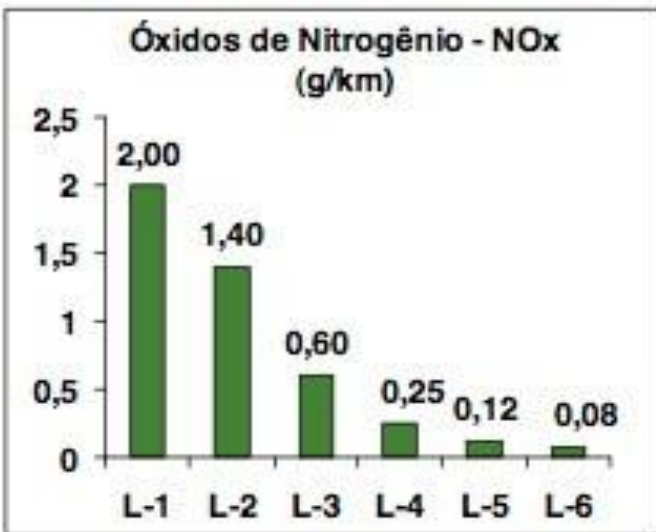
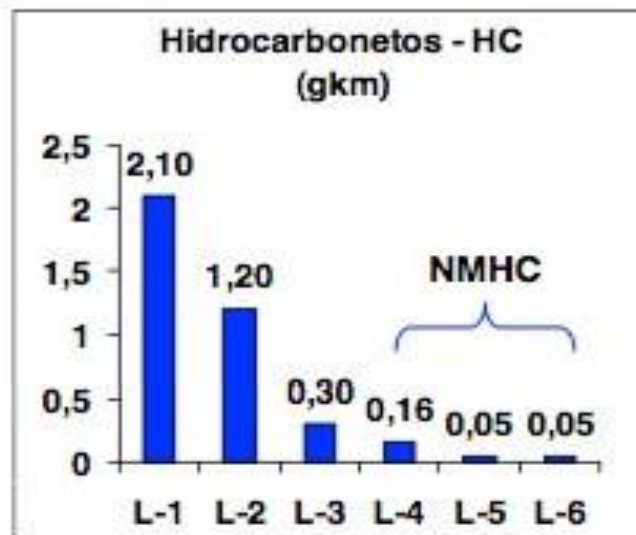
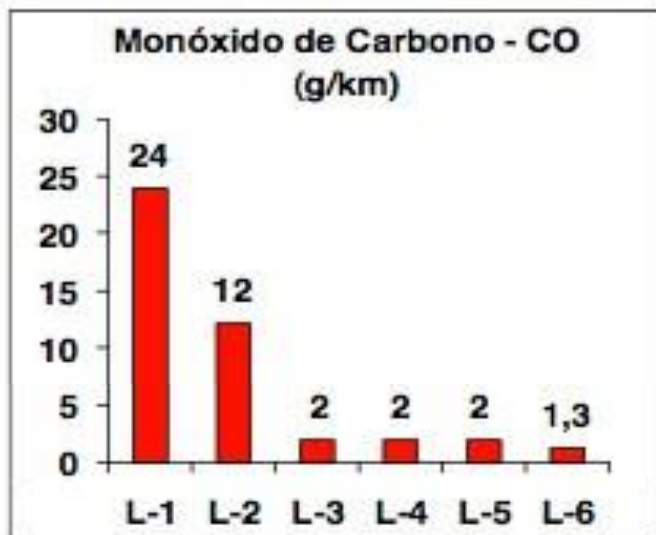
# PROCONVE – legislação

- PROCONVE: Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - Resolução CONAMA 18 de 1986 (4-rodas)
- Lei Federal 8.723 de 1993
- Resoluções complementares CONAMA:
  - <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano.cfm?codlegitipo=3>
  - <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/manualproconveingles.pdf>

- n° 01 / 1993;
- n° 08 / 1993;
- n° 15 / 1995;
- n° 20 / 1996;
- n°241 / 1998;
- n°251 / 1999;
- n°291 / 2001;
- n°299 / 2001;
- n°354 / 2004;
- n°414 / 2009;
- n° 418 / 2009;

- n° 07 / 1993;
- n° 14 / 1995;
- n° 16 / 1995;
- n°226 / 1997;
- n°242 / 1998;
- n°282 / 2001;
- n°297 / 2002;
- n°315 / 2002;
- n°403 / 2008;
- n°415 / 2009;
- n°426 / 2010.

# PROCONVE – Evolução dos limites de emissão – veículos leves



## Datas de Exigência:

- L-1 = 1988
- L-2 = 1992
- L-3 = 1997
- L-4 = 2005 ( 40%)  
2006 ( 70%)  
2007 (100%)
- L-5 = 2009
- L-6 = 2013 (Diesel Leve)\*  
2014 (Otto Novos Mod.)  
2015 (Otto 100%)

(\*)- 2012 p/ Acordo Judicial

**Ponto fraco:** durabilidade de catalisadores no Brasil é de apenas 80.000 km, metade do requisito dos EUA e outros países. Montadoras resistem em incluir o assunto da agenda do Conama. Padrões de deterioração das emissões nos veículos em uso no Brasil são maiores do que os observados em outros países.

# PROCONVE – Evolução dos limites de emissão – veículos leves

| Categ.                                           | Comb. <sup>(7)</sup>                                        | Modelo                               | Classif.        | Fase                                                                               | Data Aplicação                                                                     | Limites de Emissões |                     |                                                  |                                                  |                              |                               |                                  |                          | Durab. Emissões <sup>(6)</sup><br>(km) |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------------------------|
|                                                  |                                                             |                                      |                 |                                                                                    |                                                                                    | CO<br>(g/km)        | HC<br>(g/km)        | NMHC<br>(g/km)                                   | NOx<br>(g/km)                                    | CHO <sup>(2)</sup><br>(g/km) | M.P. <sup>(3)</sup><br>(g/km) | EVAP <sup>(2)</sup><br>(g/teste) | CO <sup>(2)</sup><br>(%) |                                        |
|                                                  |                                                             |                                      |                 |                                                                                    |                                                                                    | Ciclo NBR-6601      |                     |                                                  |                                                  |                              |                               | SHED                             | M.Lenta                  |                                        |
| Veículos Leves (PBT ≤ 3.856 kg e MOM ≤ 2.720 kg) | Gasolina (E22), Etanol (E100), Diesel <sup>(4)</sup> or GNV | Automóveis                           | L5              | 1/1/2009                                                                           | 2,0                                                                                | 0,30 <sup>(1)</sup> | 0,05                | 0,12 <sup>(2)</sup><br>or<br>0,25 <sup>(3)</sup> | 0,02                                             | 0,05                         | 2,0                           | 0,5                              | 80.000                   |                                        |
|                                                  |                                                             |                                      | L6              | - Veículos Diesel:<br>1/1/2013<br>- Veículos Otto:<br>NM: 1/1/2014<br>TM: 1/1/2015 | 1,30                                                                               | 0,30 <sup>(1)</sup> | 0,05                | 0,08                                             | 0,02                                             | 0,025                        | 1,5 <sup>(5)</sup>            | 0,2                              | 80.000                   |                                        |
|                                                  |                                                             | Veículos Comerciais Leves & Off-Road | MVE. < 1.700 kg | L5                                                                                 | 1/1/2009                                                                           | 2,0                 | 0,30 <sup>(1)</sup> | 0,05                                             | 0,12 <sup>(2)</sup><br>or<br>0,25 <sup>(3)</sup> | 0,02                         | 0,05                          | 2,0                              | 0,5                      | 80.000                                 |
|                                                  |                                                             |                                      |                 | L6                                                                                 | - Veículos Diesel:<br>1/1/2013<br>- Veículos Otto:<br>NM: 1/1/2014<br>TM: 1/1/2015 | 1,30                | 0,30 <sup>(1)</sup> | 0,05                                             | 0,08                                             | 0,02                         | 0,030                         | 1,5 <sup>(5)</sup>               | 0,2                      | 80.000                                 |
|                                                  |                                                             |                                      | MVE > 1.700 kg  | L5                                                                                 | 1/1/2009                                                                           | 2,7                 | 0,50 <sup>(1)</sup> | 0,06                                             | 0,25 <sup>(2)</sup><br>or<br>0,43 <sup>(3)</sup> | 0,04                         | 0,06                          | 2,0                              | 0,5                      | 80.000                                 |
|                                                  |                                                             |                                      |                 | L6                                                                                 | - Veículos Diesel:<br>1/1/2013<br>- Veículos Otto:<br>NM: 1/1/2014<br>TM: 1/1/2015 | 2,0                 | 0,50 <sup>(1)</sup> | 0,06                                             | 0,25 <sup>(2)</sup><br>or<br>0,35 <sup>(3)</sup> | 0,03                         | 0,040                         | 1,5 <sup>(5)</sup>               | 0,2                      | 80.000                                 |

Legenda:

- (1) - Somente para veículos movidos a GNV;
- (2) - Somente para veículos movidos a gasolina ou etanol;
- (3) - Somente para veículos movidos a diesel;
- (4) - Atualmente, automóveis diesel não são permitidos no Brasil;
- (5) - A partir de 1/1/2012, estes limites são exigidos para os novos modelos (novas homologações);
- (6) - Para menos de 15.000 unidades por ano é aceito a aplicação de 10% de DF para todos os poluentes;
- (7) - Para veículos Flex Fuel é necessário testar com E22, E100 e 50% E22 + 50% E100;

MVE = Massa do Veículo para Ensaio (= MOM + 136 kg);  
MOM = Massa em Ordem de Marcha;  
PBT = Peso Bruto Total;  
Gasolina E22 = Gasolina misturada com 22% de etanol;  
Etanol E100 = 100% Etanol Hidratado;  
GNV = Gás Natural;



# PROCONVE – testes de certificação de emissões de veículos leves, motos e motores diesel



# PROCONVE – câmara SHED de testes de certificação de emissões evaporativas – veículos leves



Câmara SHED

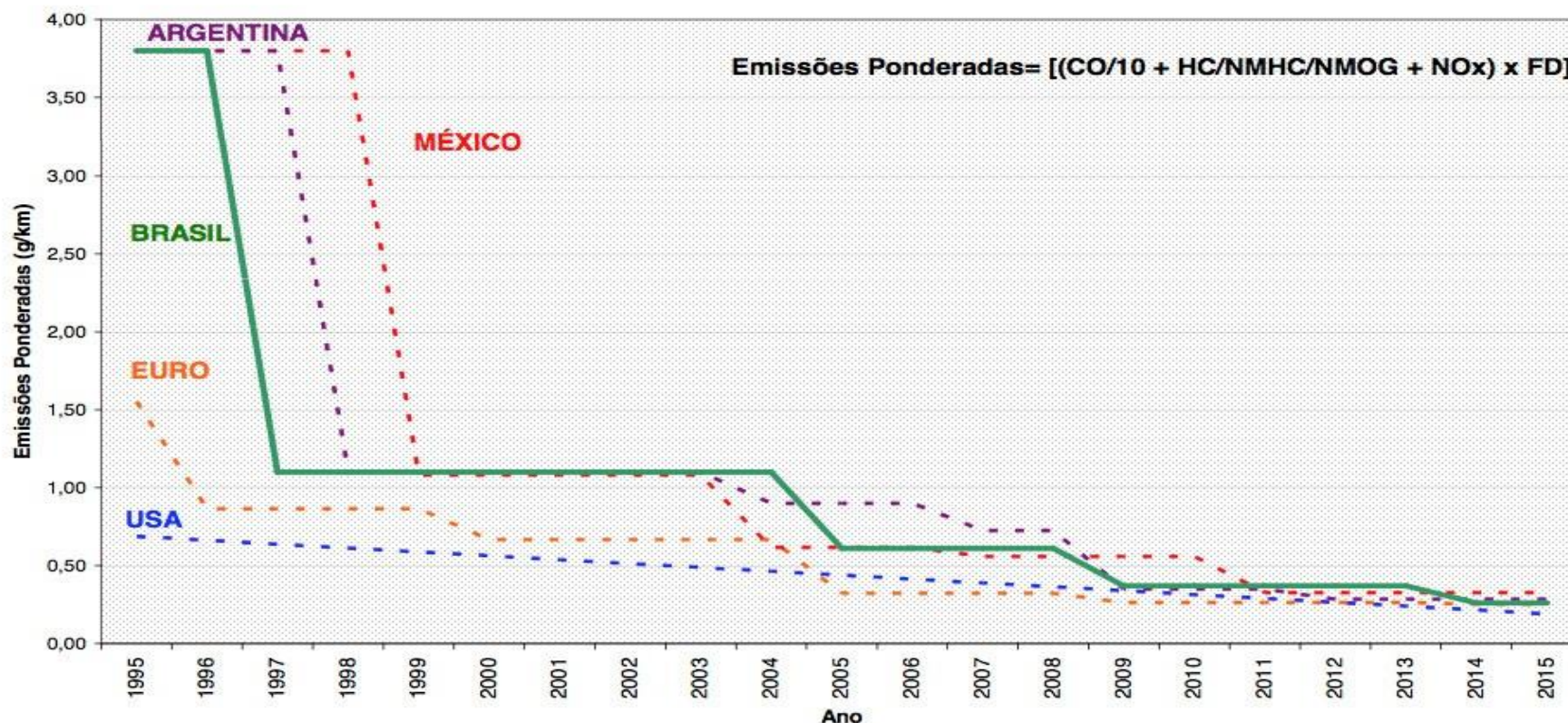


# Comparação da evolução dos limites de emissão de veículos leves novos entre países

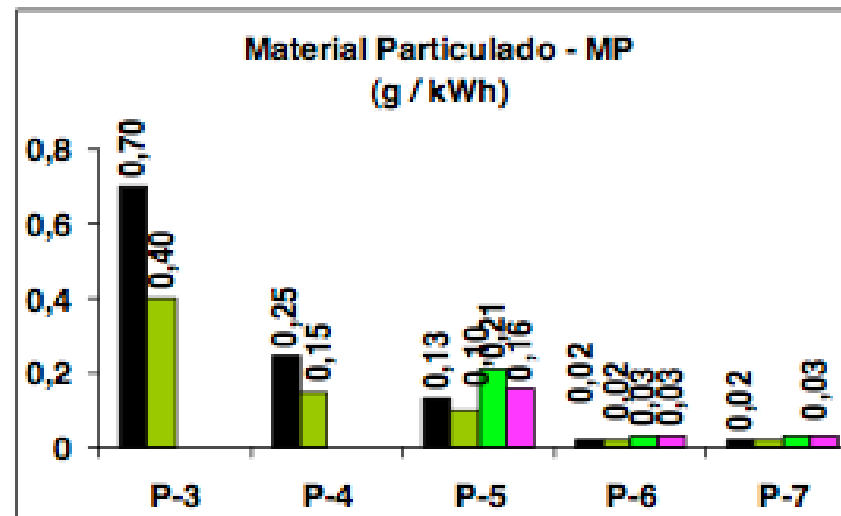
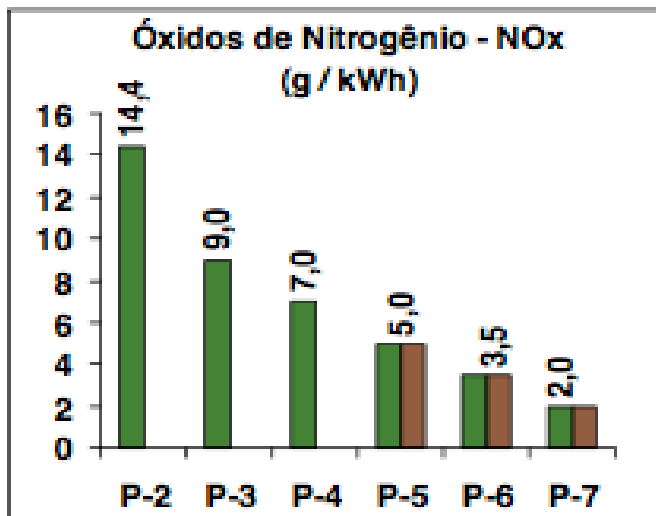
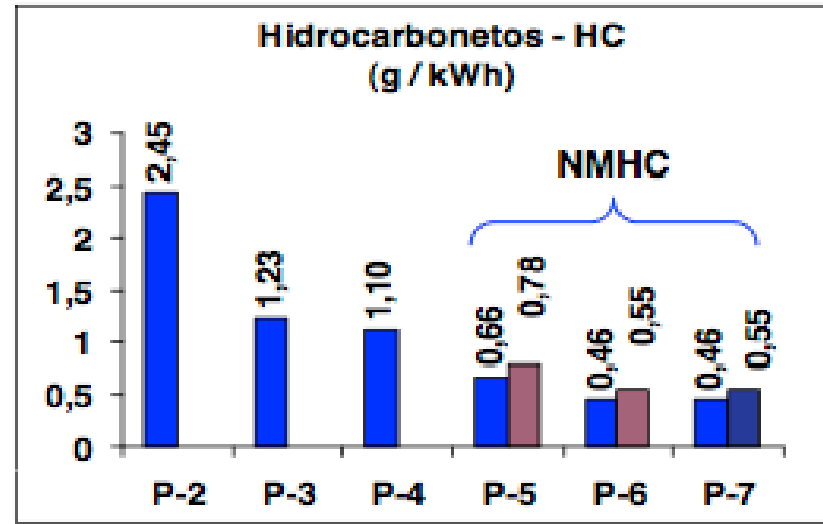
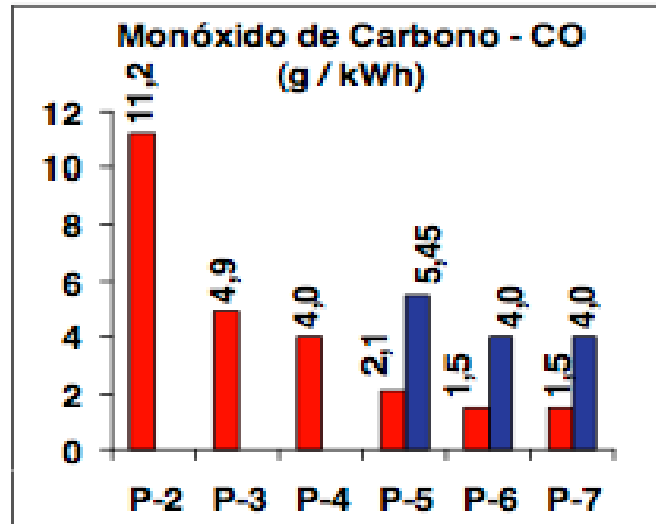
## Limites de Emissões - Veículos Leves



Limites Internacionais



# PROCONVE – Evolução dos limites de certificação de veículos e motores a diesel novos



## Datas de Exigência:

- P-1 = 1987 (Ônibus Urbano)  
1989 (100%)
- P-2 = 1994 ( 80%)  
1996 (100%)
- P-3 = 1994 (Ônibus Urbano)  
1996 ( 80%)  
2000 (100%)
- P-4 = 1998 (Ônibus Urbano)  
2000 ( 80%)  
2002 (100%)
- P-5 = 2004 (Ônibus Urbano)  
2005 (Micro Ônibus)  
2005 ( 40%)  
2006 (100%)
- P-6 = 2009 (100%)
- P-7 = 2012 (100%)



# PROCONVE – Evolução dos limites de certificação de veículos e motores a diesel novos

| Category                                                                       | Fuel                                             | PROCONVE Phase | Effective Date | Emission Limits                     |               |                |                                   |                                    |                           |                               |                 |                               |                |                                   |                           |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|---------------|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|----------------|-----------------------------------|---------------------------|
|                                                                                |                                                  |                |                | Test Cycle ESC / ELR <sup>(6)</sup> |               |                |                                   |                                    |                           | Test Cycle ETC <sup>(6)</sup> |                 |                               |                |                                   |                           |
|                                                                                |                                                  |                |                | CO<br>(g/kWh)                       | HC<br>(g/kWh) | NOx<br>(g/kWh) | P.M. <sup>(3)</sup><br>(g/kWh)    | SMOKE<br>ELR<br>(m <sup>-1</sup> ) | NH3<br>(ppm)<br>(average) | CO<br>(g/kWh)                 | NMHC<br>(g/kWh) | CH4 <sup>(1)</sup><br>(g/kWh) | NOx<br>(g/kWh) | P.M. <sup>(3)</sup><br>(g/kWh)    | NH3<br>(ppm)<br>(average) |
| Heavy Vehicles<br>(G.V.W. > 3.856 kg or C.W. > 2.720 kg or Over 12 passengers) | Gasohol (E22), Ethanol (E100), Diesel (d) or CNG | P5             | 1/1/2005       | 2,1                                 | 0,66          | 5,0            | 0,10<br>or<br>0,13 <sup>(7)</sup> | 0,8                                | n.r.                      | 5,45                          | 0,78            | n.r.                          | 5,0            | 0,16<br>or<br>0,21 <sup>(7)</sup> | n.r.                      |
|                                                                                |                                                  | P6             | 1/1/2009       | 1,5                                 | 0,46          | 3,5            | 0,02                              | 0,5                                | n.r.                      | 4,00                          | 0,55            | n.r.                          | 3,5            | 0,03                              | n.r.                      |
|                                                                                |                                                  | P7             | 1/1/2012       | 1,5                                 | 0,46          | 2,00           | 0,02                              | 0,5                                | 25                        | 4,00                          | 0,55            | 1,10                          | 2,00           | 0,03                              | 25                        |

Remarks:

(1) - Only for CNG fueled vehicles;

(3) - Only for diesel fueled vehicles;

(6) - According to Directive 1999/96/EEC

(7) - For engines less than 0,75 dm<sup>3</sup> swept volume per cylinder and rated power speed of more than 3000 m<sup>-1</sup>;

C.W. = Curb Weight;

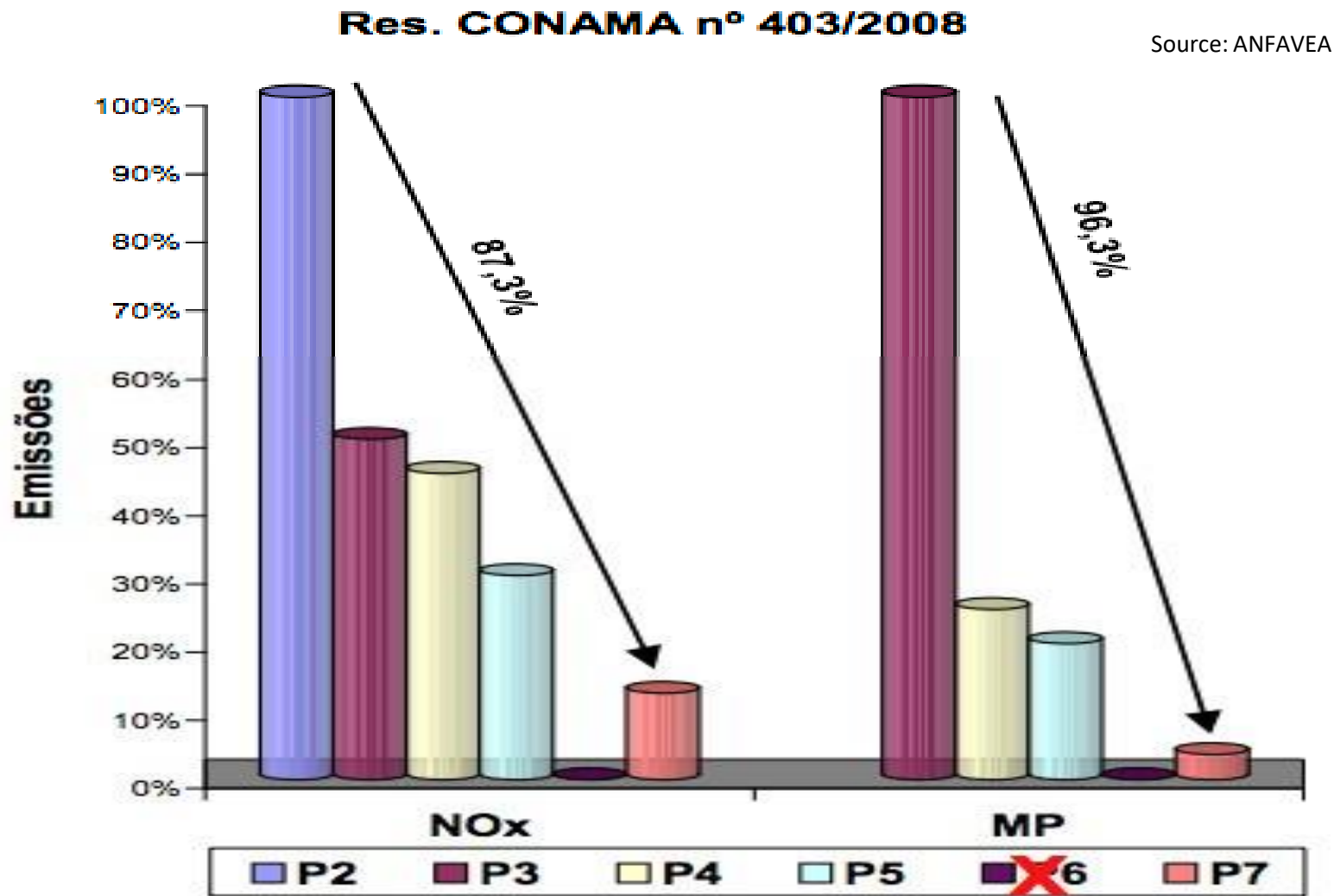
G.V.W. = Gross Vehicle Weight;

CNG = Compressed Natural Gas;

n.r. = Not required

*The ESC test cycle has been introduced, together with the ETC (European Transient Cycle) and the ELR (European Load Response) tests, for emission certification of heavy-duty diesel engines in Europe starting in the year 2000 (Directive 1999/96/EC of December 13, 1999). The ESC is a 13-mode, steady- state procedure that replaces the R-49 test. The ELR engine test has been introduced by the Euro III emission regulation, effective year 2000, for the purpose of smoke opacity measurement from heavy-duty diesel engines [Directive 1999/96/EC of December 13, 1999].*

# PROCONVE – Evolução dos limites de certificação de veículos e motores a diesel novos



## **Proconve-Diesel fase P6 – um buraco no programa de controle da poluição**

- A fase P6 6a. fase do Proconve-diesel prevista para Jan 2009 não aconteceu;
- Petrobras não disponibilizou o diesel com 50 ppm de enxofre conforme previa a lei (Resol Conama 315/2002);
- Os fabricantes não disponibilizaram os modelos atendendo P6 equipados com sistemas avançados de controle de emissões por medo que ocorressem danos nesses sistemas (500 ppm nas áreas Metropolitanas e 1800 ppm no interior);

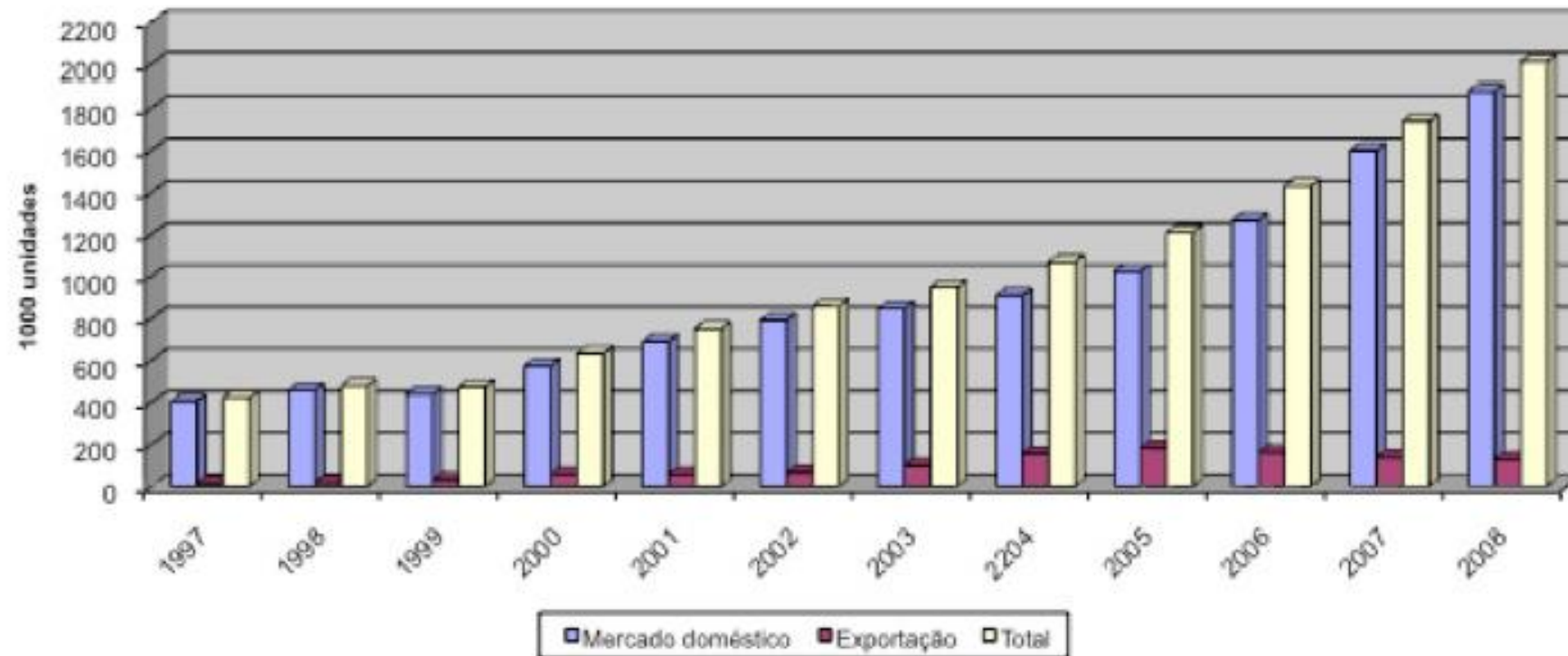
## **Proconve-Diesel fase P6 – um buraco no programa de controle da poluição**

- Algumas instituições processaram a ANP, Petrobras, e os fabricantes de veículos;
- Um termo de ajuste de conduta foi feito (incluindo construção de um novo laboratório para a Cetesb);
- A fase P7, mais restritiva que P6, foi antecipada de 2014 para 2012;
- Petrobras se comprometeu a distribuir o diesel 50 ppm e 10 ppm diesel conforme plano de distribuição pré-estabelecido para capitais e interior.



# PROMOT – Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares - Evolução das vendas de motocicletas no Brasil

Gráfico 1 - Evolução das vendas de motocicletas no Brasil



Fonte: [www.abraciclo.com.br](http://www.abraciclo.com.br) - Set 2009

# PROMOT – Limites de certificação para motocicletas novas

**Tabela 2 - Limites máximos de emissão do PROMOT para motocicletas novas <sup>1</sup>**

| ANO                    | MOTOR (cm <sup>3</sup> ) | CO (g/Km) | HC (g/Km) | NO <sub>x</sub> (g/Km) | CO-ML (g/Km)                         |
|------------------------|--------------------------|-----------|-----------|------------------------|--------------------------------------|
| jan 03                 | todos                    | 13,0      | 3         | 0,3                    | 6,0 <sup>2</sup> ou 4,5 <sup>3</sup> |
| jan 05/06 <sup>4</sup> | <150                     | 5,5       | 1,2       | 0,3                    | 6,0 <sup>2</sup> ou 4,5 <sup>3</sup> |
|                        | ≥ 150                    | 5,5       | 1,0       | 0,3                    | 6,0 <sup>2</sup> ou 4,5 <sup>3</sup> |
| jan 09                 | <150                     | 2,0       | 0,8       | 0,15                   | 6,0 <sup>2</sup> ou 4,5 <sup>3</sup> |
|                        | ≥ 150                    | 2,0       | 0,3       | 0,15                   | 6,0 <sup>2</sup> ou 4,5 <sup>3</sup> |

1- Conforme Resolução CONAMA N° 297/02. Medições conforme a diretiva da Comunidade Europeia N° 97/24EC, anexo II.

2- Para deslocamento volumétrico ≤250 centímetros cúbicos.

3- Para deslocamento volumétrico > 250 centímetros cúbicos.

4- Para veículos derivados de três ou quatro rodas há limites específicos nesta fase, a saber (CO = 7,0 g/Km; HC= 1,5 g/Km e NO<sub>x</sub> = 0,4 g/Km).

Fonte: Relatório do Ar do Estado de São Paulo 2008.

Resolution CONAMA 342/2003 complemented Resolution 297/2002 with limits equivalent to EURO III for motorcycles produced as of 2009.

## PROMOT Phase 4 – Proposal for more stringent limits and requirements - certification of new motorcycles

|             | 2014       |             |              |  | 2016       |             |              |
|-------------|------------|-------------|--------------|--|------------|-------------|--------------|
|             | < 130 km/h | >= 130 km/h | Ciclomotores |  | < 130 km/h | >= 130 km/h | Ciclomotores |
| CO          | 2,00       | 2,00        | 1,00         |  | 2,00       | 2,00        | 1,00         |
| HC          | 0,80       | 0,30        | 0,80         |  | 0,56       | 0,25        | 0,80         |
| NOx         | 0,15       | 0,15        | 0,15         |  | 0,13       | 0,17        | 0,15         |
| Evaporativa |            |             |              |  | 1,00       | 1,00        | 1,00         |

- **WMTC - Worldwide Motorcycle Test Cycle – conforme 2006/72/EC;**
- **Evaporativa: Fase quente da Norma ABNT NBR 11481.**

- Comprovação de durabilidade de emissões definida pelo Conama: 18.000km até 130 km/h; and 30.000 km acima de 130km/h;
- Motofrete (250 mil motos pequenas em São paulo) rodam mais de 20 mil km/ano – requisito de durabilidade é incompatível;

## **PROMOT Phase 4 – Proposal for more stringent limits and requirements - certification of new motorcycles**

- Comprovação de durabilidade de emissões definida pelo Conama: 18.000km até 130 km/h; and 30.000 km acima de 130km/h;
- Motofrete (250 mil motos pequenas em São paulo) rodam mais de 20 mil km/ano – requisito de durabilidade é incompatível;
- Situação se agrava pelo não cumprimento por parte dos governos estaduais da obrigatoriedade de implementação da inspeção veicular;
- A partir de 2016 motocicletas deverão demonstrar cumprimento de requisito de emissão evaporativa de 1g/test (hot soak sem aquecimento do combustível);
- Controle estatístico de produção para as motocicletas será exigido no futuro – em discussão.



Catalisador  
original





Carcaça  
original

Tubo soldado

Não é um  
silencioso

Não é um  
catalisador

# Catalisador falso



palha de aço

# **Monitoramento da eficiência de catalisadores em SP – levantamento de campo - 2006**

**(amostra: 426 veículos ao acaso em postos de serviço de suspensão)**

|                             |                            |
|-----------------------------|----------------------------|
| <b>Ano/modelo 1992-1996</b> | <b>(71 % não operante)</b> |
| <b>1997-1999</b>            | <b>(34 % não operante)</b> |
| <b>2000-2002</b>            | <b>(29 % não operante)</b> |
| <b>2003-2006</b>            | <b>(11 % não operante)</b> |



# Inspeção veicular em São Paulo

| BALANÇO DO EXERCÍCIO 2010 - PREFEITURA DE SÃO PAULO - INSPEÇÃO VEICULAR AMBIENTAL |                                                              |                           |      |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------|------|-------------|
| Categoria                                                                         | Frota alvo<br>(estimada pela PMSP por<br>critérios próprios) | Veículos<br>inspecionados | %    | % aprovados |
| AUTOM.                                                                            | 3.896.972                                                    | 2.662.482                 | 68,3 | 96,4        |
| Motocicl.                                                                         | 567.443                                                      | 266.205                   | 46,9 | 93,4        |
| Diesel Leve                                                                       | 89.103                                                       | 55.018                    | 61,7 | 93,5        |
| Ônibus                                                                            | 31.073                                                       | 20.961                    | 67,4 | 95,4        |
| Caminhões                                                                         | 119.817                                                      | 58.816                    | 49,1 | 85,2        |
| TOTAL                                                                             | 4.704.407                                                    | 3.063.482                 | 65,1 | 96,2        |

| Categoria    | Reprovados 1ª inspeção | Reprovados 2ª inspeção |
|--------------|------------------------|------------------------|
| Automóveis   | 21,51%                 | 8,5%                   |
| Motocicletas | 32,54%                 | 15,31%                 |
| Diesel Leve  | 42,93%                 | 19,36%                 |
| Ônibus       | 31,91%                 | 15,74%                 |
| Caminhões    | 53,88%                 | 30,08%                 |

*35% da frota não compareceu.  
Frota irregular em circulação é  
provavelmente a mais poluente.*

- Só Estado do Rio de Janeiro e Município de São Paulo, cancelado pela Prefeitura em 2014 alegando irregularidades no contrato;
- Não há inspeção de segurança – prevista em lei desde 1997 (Lei Federal 9503/1997);
- Inspeção ambiental regulamentada desde 1993 pelo CONAMA; revisada pela Resolução 418/2009;
- Inspection mode: Marcha Lenta e 2500 rpm s/ carga (automóveis) ou Opacidade (Diesel) + visual + ruído estacionário (se o veículo for selecionado para o teste);
- Custo: cerca de R\$ 50,00 pago antecipadamente – primeira reinspeção grátis;
- Agendamento da inspeção – sem filas;
- Não há iniciativas de autoridades para combater a evasão do licenciamento e da inspeção;
- Outros estados tiveram seus processos licitatórios interrompidos, muitos problemas com a justiça.





T- 8.000  
L- 14.500  
B- 22.500

**Inspeção veicular de fumaça  
diesel - opacímetro – método  
da aceleração livre**

Foto: Cetesb

**Método da aceleração livre tb  
pode ser opcionalmente  
utilizado para Fiscalização de  
Rua como alternativa à Escala  
Ringelmann no Estado de SP**



# **Fiscalização de fumaça preta no Estado de São Paulo Lei 997/76 - Regulamentada pelo Decreto 8468/76 - Decreto 54.487 de 2009**

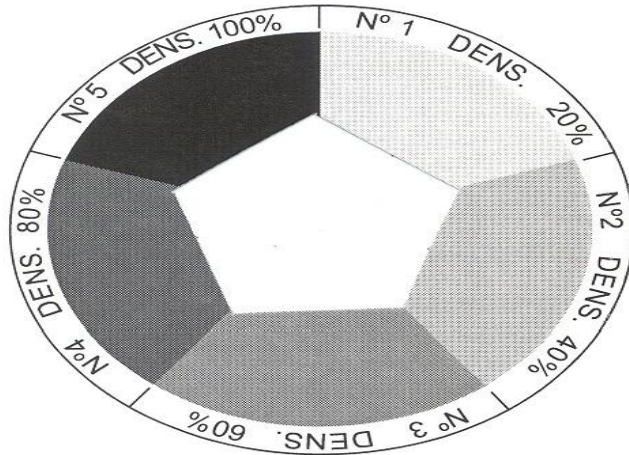
Nenhum veículo automotor de uso rodoviário com motor do ciclo diesel poderá circular ou operar no território do Estado de São Paulo emitindo poluentes pelo tubo de descarga:

- I.- com densidade colorimétrica superior ao Padrão 2 da Escala de Ringelmann, ou equivalente, por mais de 5 (cinco) segundos consecutivos;
- II.- com níveis de opacidade superiores aos limites estabelecidos nas Resoluções nº 8, de 31 de agosto de 1993, nº 16, de 13 de dezembro de 1995, e nº 251, de 7 de janeiro de 1999, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.



# ESCALA DE RINGELMANN

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO  
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE  
CETESB  
COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL



CARTÃO - ÍNDICE DE FUMAÇA  
TIPO RINGELMANN REDUZIDO

## INSTRUÇÕES DE USO

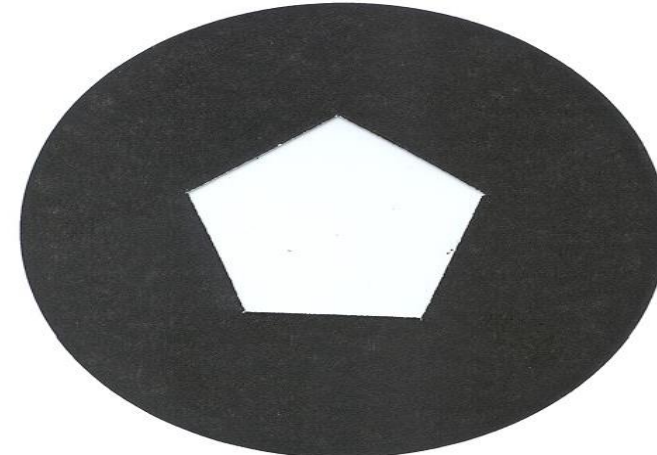
- 1º Posicione-se de costas para o sol e segure o cartão com o braço totalmente estendido.
- 2º Compare a fumaça (vista pelo orifício) com o padrão colorimétrico, determinando qual a tonalidade da escala que mais se assemelha com a tonalidade (densidade) da fumaça.
- 3º Para a medição de fumaça emitida por veículos, o observador deverá estar a uma distância de 20 metros a 50 metros do tubo de escapamento a ser observado.
- 4º Para a medição de fumaça emitida por chaminés, o observador deverá estar a uma distância de 30 metros a 150 metros da mesma.



## LEGISLAÇÃO, NORMAS E PADRÕES APLICÁVEIS

### I - FONTES ESTACIONÁRIAS:

- 1 - Legislação Estadual (SP):
  - 1.1 - Lei nº 997 de 31.05.76
  - 1.2 - Decreto nº 8468 de 08.09.76, cap. II, seção II, art. 31, alterado pelo Decreto nº 15.425 de 23.07.80.
- 2 - Norma CETESB L9.061 - Determinação de grau de enegrecimento de fumaça emitida por fontes estacionárias utilizando a Escala de Ringelmann reduzida.



- 3 - Padrão: O grau de enegrecimento da fumaça de fontes estacionárias não poderá exceder o padrão nº 1, salvo nas situações previstas na legislação acima.

### II - VEÍCULOS:

- 1 - Legislação Federal:
  - 1.1 - Resolução CONTRAM 510 de 15.02.77.
  - 1.2 - Portaria MINTER GM/Nº 100 de 14.07.80.
  - 1.3 - Instrução Normativa SEMA/SACT/CPAR Nº 01 de 12.06.81.
  - 1.4 - Padrões: O grau de enegrecimento da fumaça de veículos movidos a óleo diesel, em qualquer regime de funcionamento, não poderá exceder:  
Nº 2: para veículos em localidades até 500 (quinhentos) metros de altitude e veículos de circulação restrita a centros urbanos, em qualquer altitude.  
Nº 3: para veículos em localidades acima de 500 (quinhentos) metros de altitude.
- 2 - Normas Brasileiras:
  - 2.1 - NBR-6016 - Determinação do Grau de Enegrecimento da Fumaça emitida por Veículos Rodoviários Automotores com Motor Diesel, utilizando a Escala de Ringelmann Reduzida.
  - 2.2 - NBR-6065 - Determinação do Grau de Enegrecimento do gás de escapamento emitido por veículos equipados com motor diesel pelo método da aceleração livre.
  - 2.3 - NBR-7027 - Gás de escapamento emitido por motores diesel - Determinação do teor de fuligem em regime constante.
- 3 - Legislação Estadual (SP):
  - 3.1 - Lei nº 997 de 31.05.76.
  - 3.2 - Decreto nº 8468 de 08.09.76, cap. II, seção II, art. 32, alterado pelo Decreto nº 28313 de 04.04.88.
  - 3.3 - Padrão: O grau de enegrecimento da fumaça de veículos movidos a óleo diesel não poderá exceder o padrão nº 2 por mais de 5 (cinco) segundos consecutivos, exceto para a partida a frio.





Foto: Cetesb



Método da aceleração livre  
opcionalmente utilizado para  
Fiscalização de Rua como alternativa à  
Escala Ringelmann no Estado de SP –  
campanha no Ceagesp – Operação  
Inverno Cetesb

Foto: Cetesb





**INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES**  
**CQMA – CENTRO DE QUÍMICA E MEIO AMBIENTE**

# **Estudo dos Principais Precursores de Ozônio na Região Metropolitana de São Paulo**

**Aluna: Débora Souza Alvim**

**Orientadora: Dra. Luciana Vanni Gatti**

**Abril - 2013**



- Região Metropolitana de São Paulo:

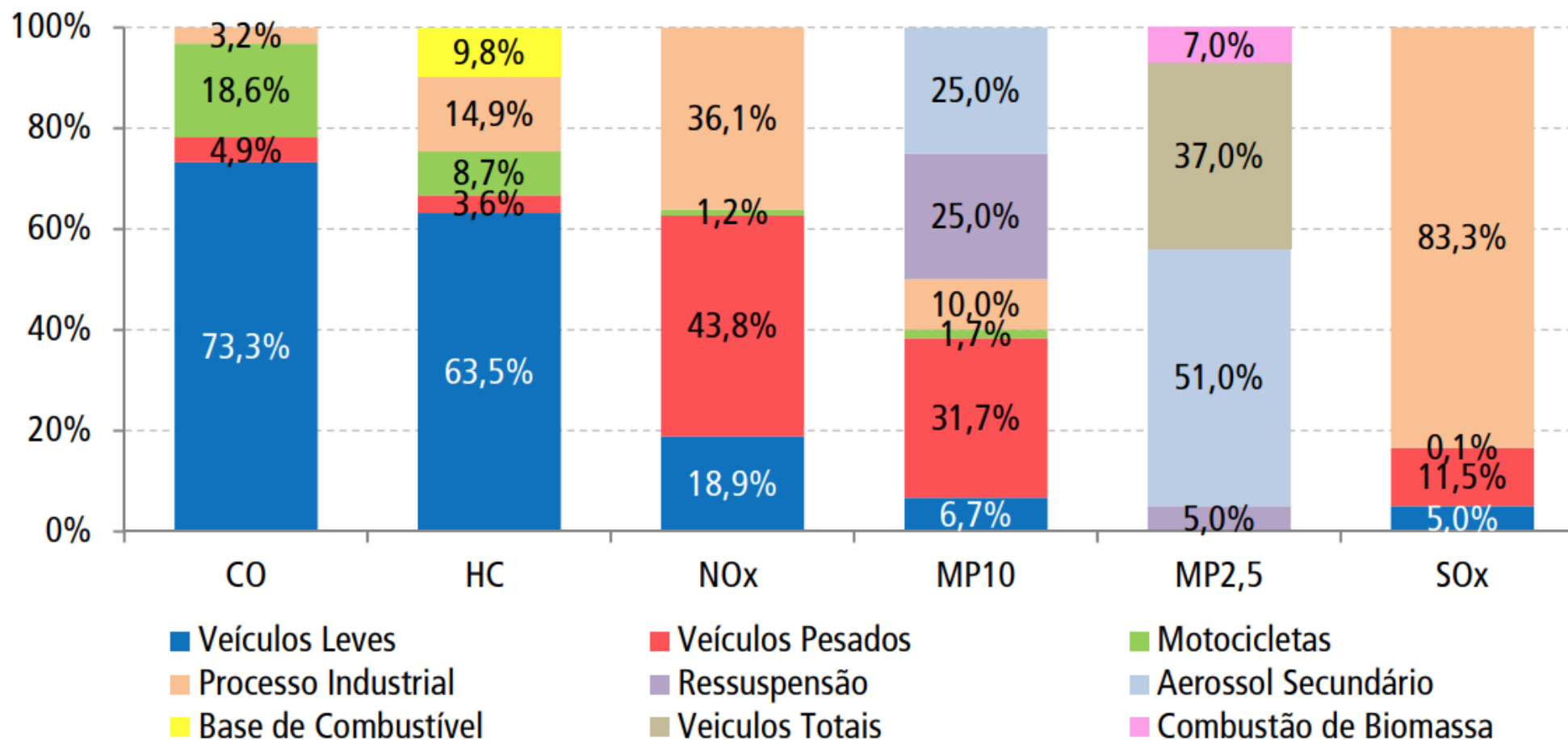
(CETESB 2019)

- 21,5 milhões de habitantes
- 7 milhões de veículos
- 1 veículo para cada 3 pessoas



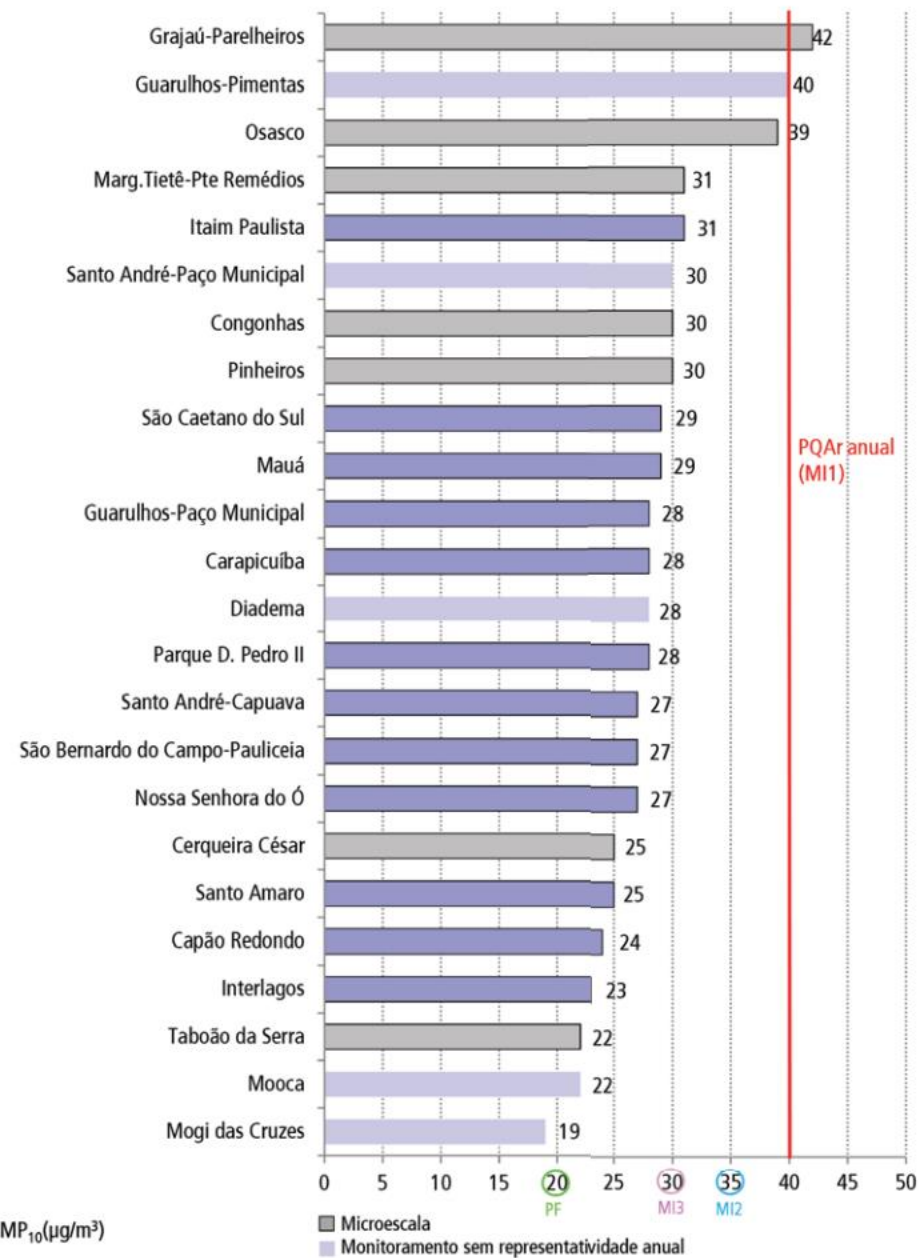


# Emissões relativas por tipo de fonte - RMSP



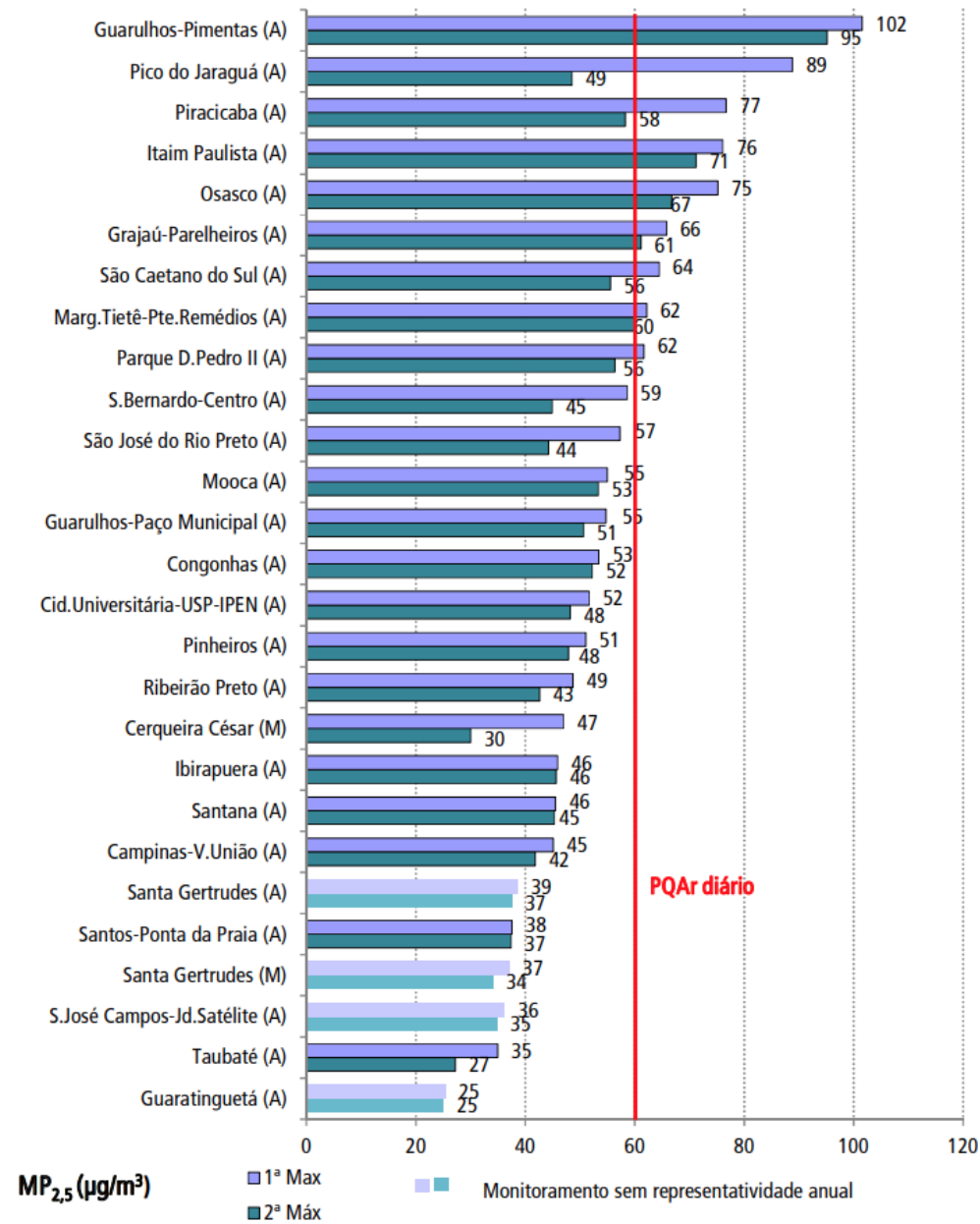
Fonte: CETESB (2019)

**Gráfico 9 – MP<sub>10</sub> – Concentrações médias anuais– RMSP – 2018**



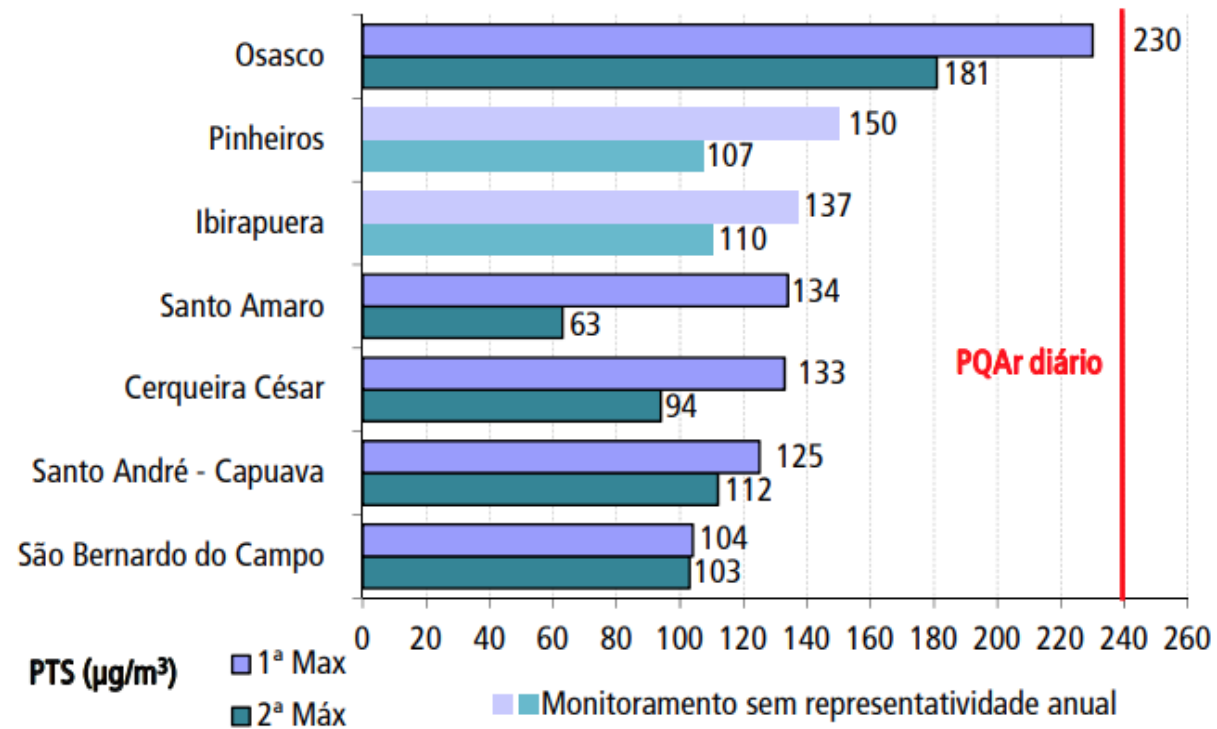
Fonte: CETESB (2019)

**Gráfico 23 – MP<sub>2,5</sub> – Classificação das concentrações máximas diárias – RMSP, Baixada Santista e Interior – 2018**



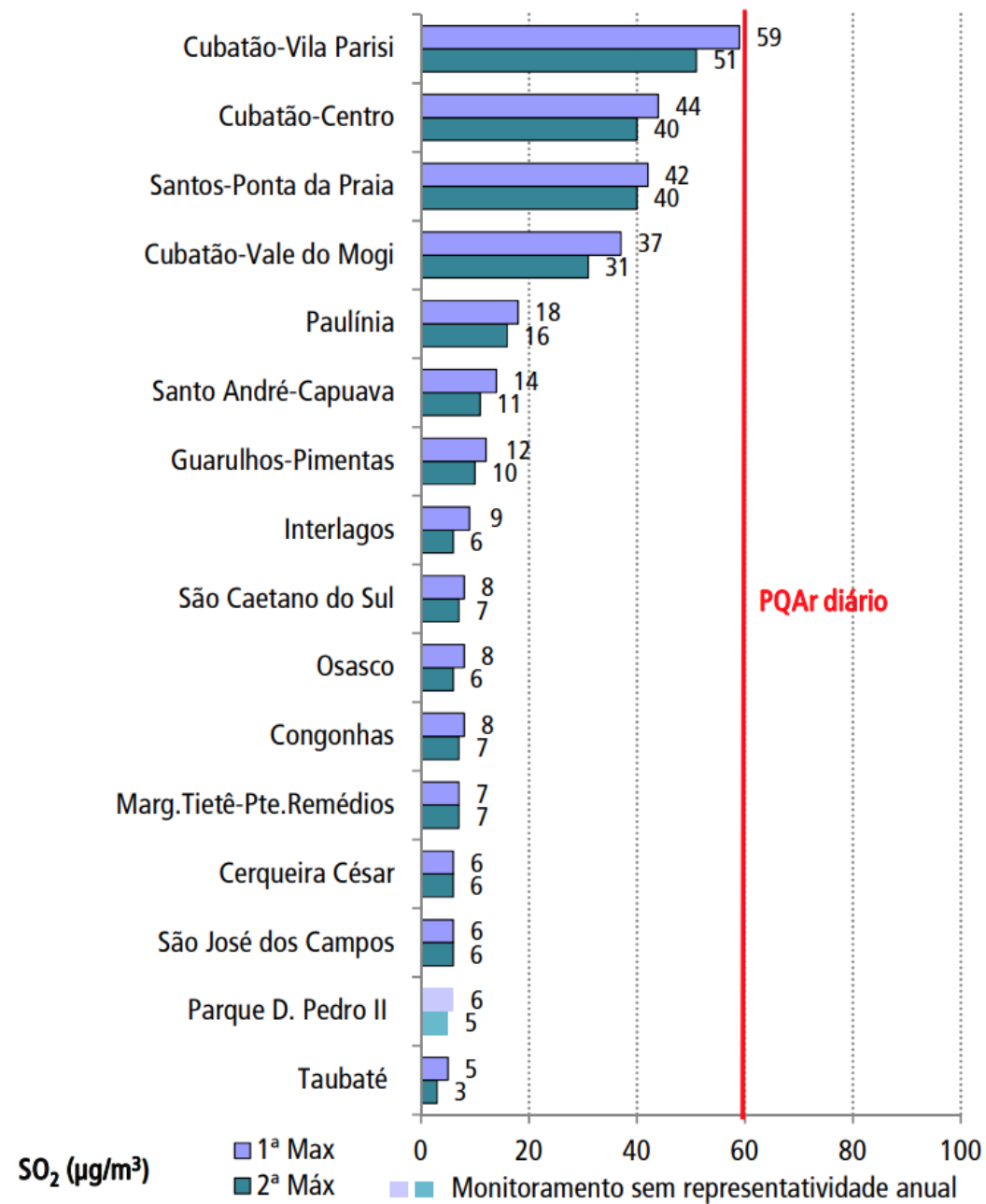
Fonte: CETESB (2019)

**Gráfico 32 – PTS – Classificação das concentrações máximas diárias – RMSP – 2018**



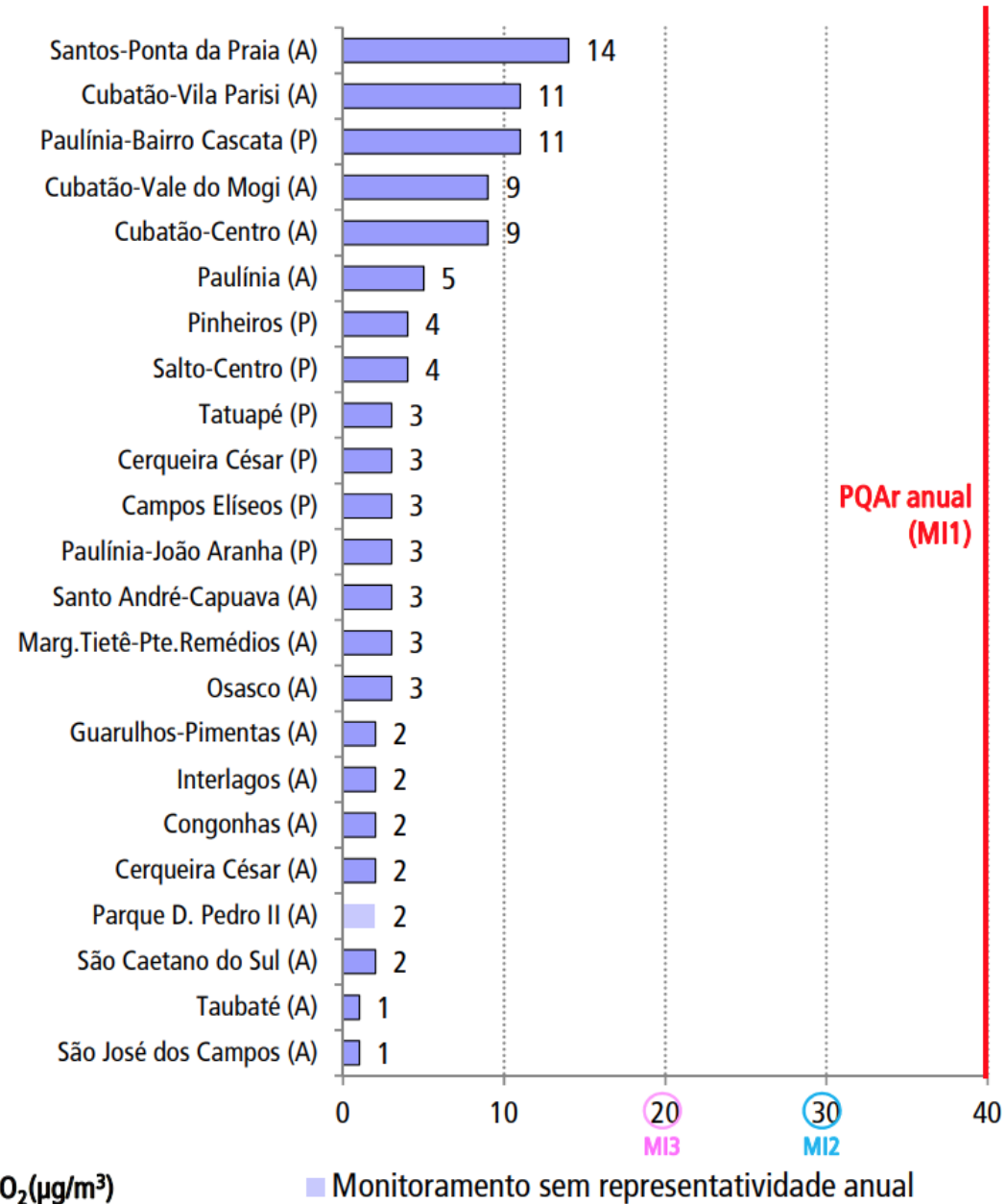
Fonte: CETESB (2019)





Fonte: CETESB (2019)

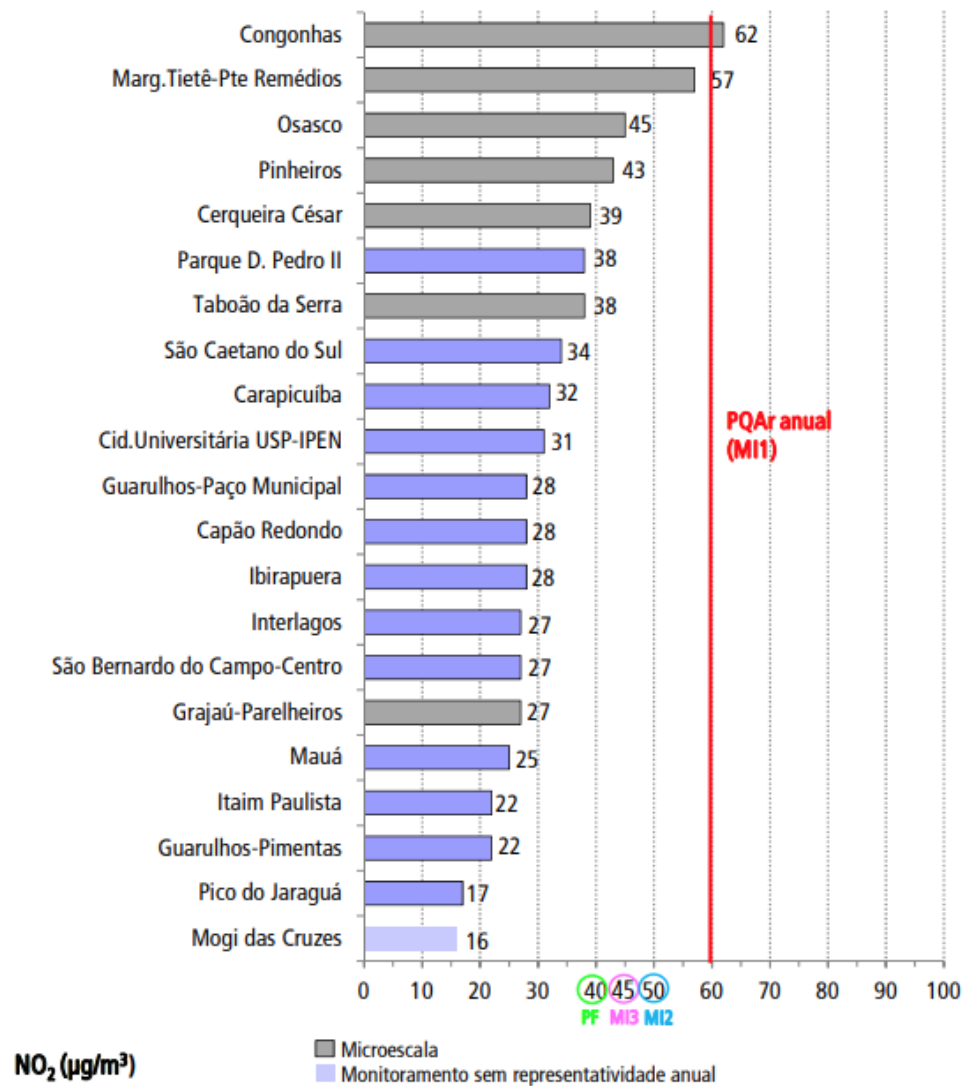
**Gráfico 52** – SO<sub>2</sub> – Concentrações médias anuais – RMSP, Baixada Santista e Interior – 2018



Fonte: CETESB (2019)

SO<sub>2</sub>(µg/m³)

**Gráfico 44** – NO<sub>2</sub> – Concentrações Médias Anuais – RMSP – 2018



Fonte: CETESB (2019)

Gráfico 57 – Benzeno – Classificação das concentrações máximas diárias – RMSP, Baixada Santista e Interior - 2018

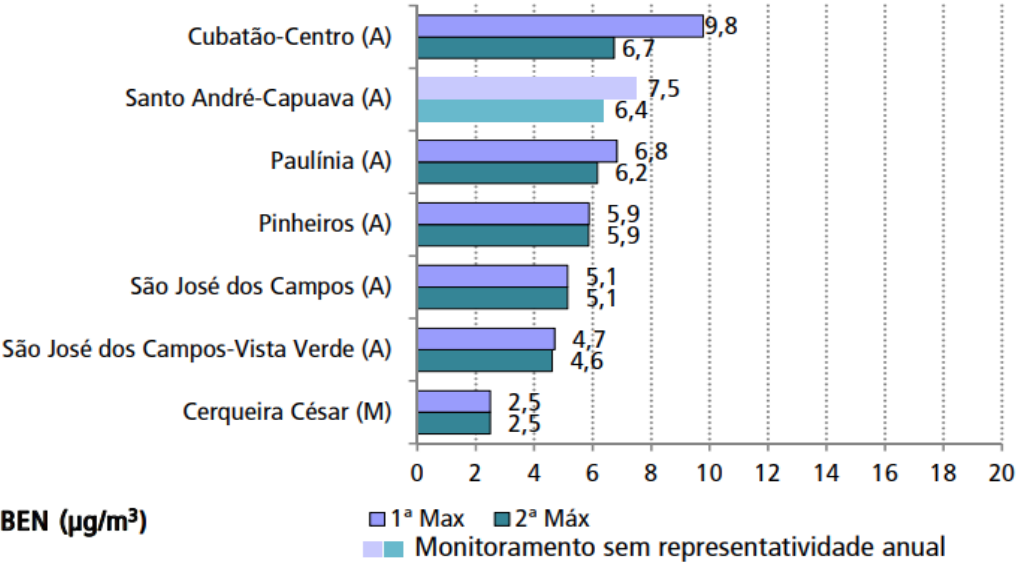
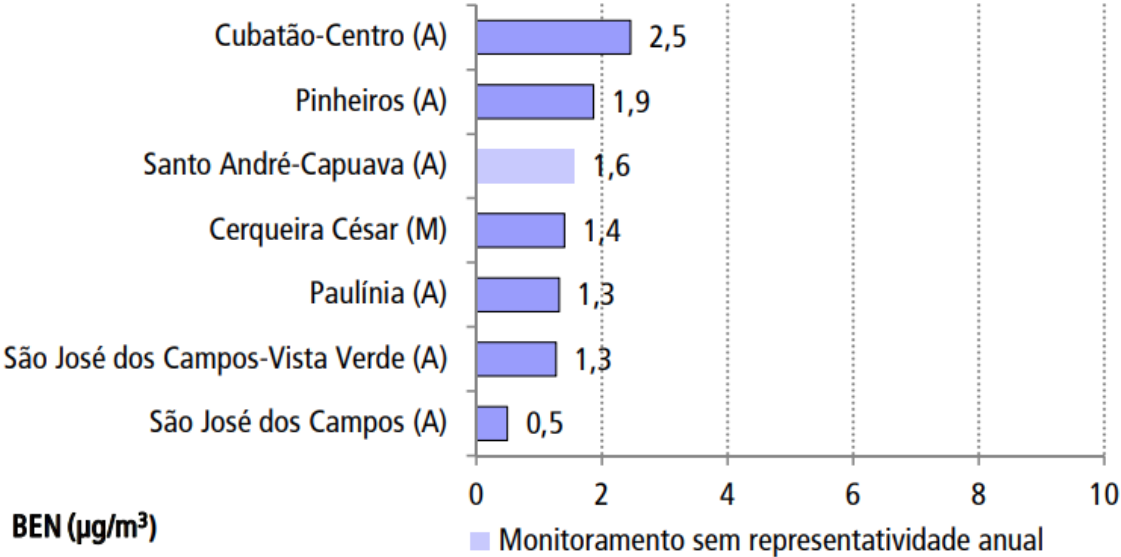


Gráfico 58 – Benzeno – Classificação das concentrações médias anuais – RMSP, Baixada Santista e Interior - 2018



Fonte: CETESB (2019)



Gráfico 59 – Tolueno - Classificação das concentrações máximas diárias – RMSP, Baixada Santista e Interior - 2018

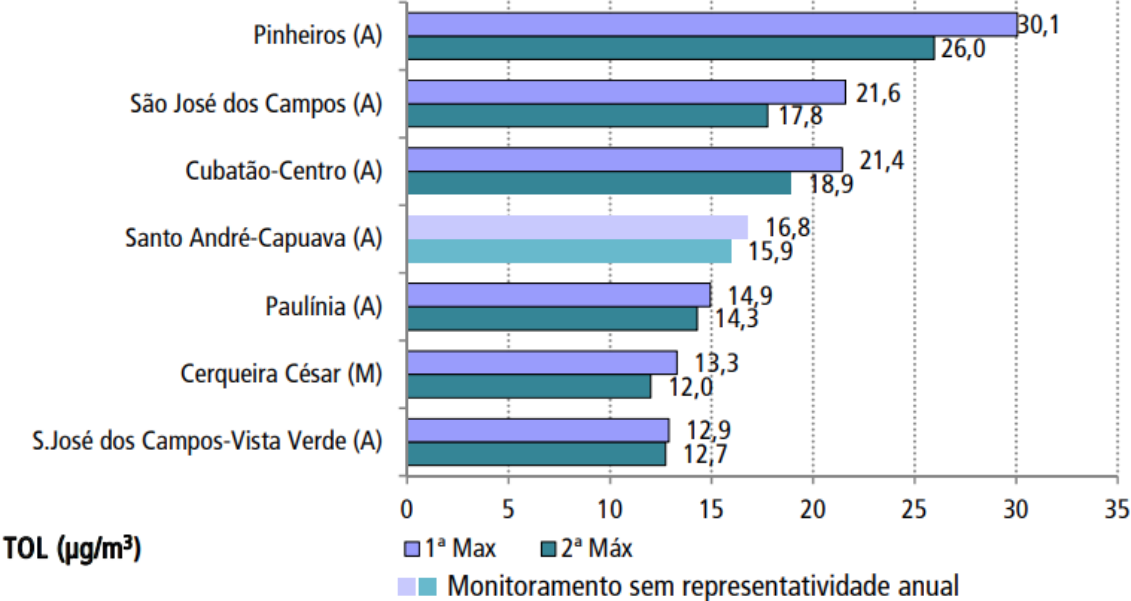
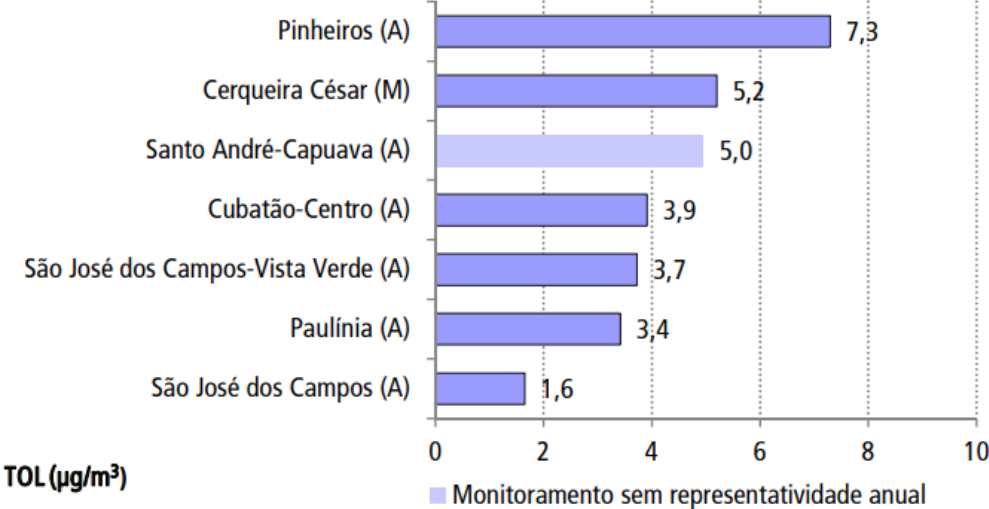


Gráfico 60 – Tolueno – Classificação das concentrações médias anuais – RMSP, Baixada Santista e Interior - 2018



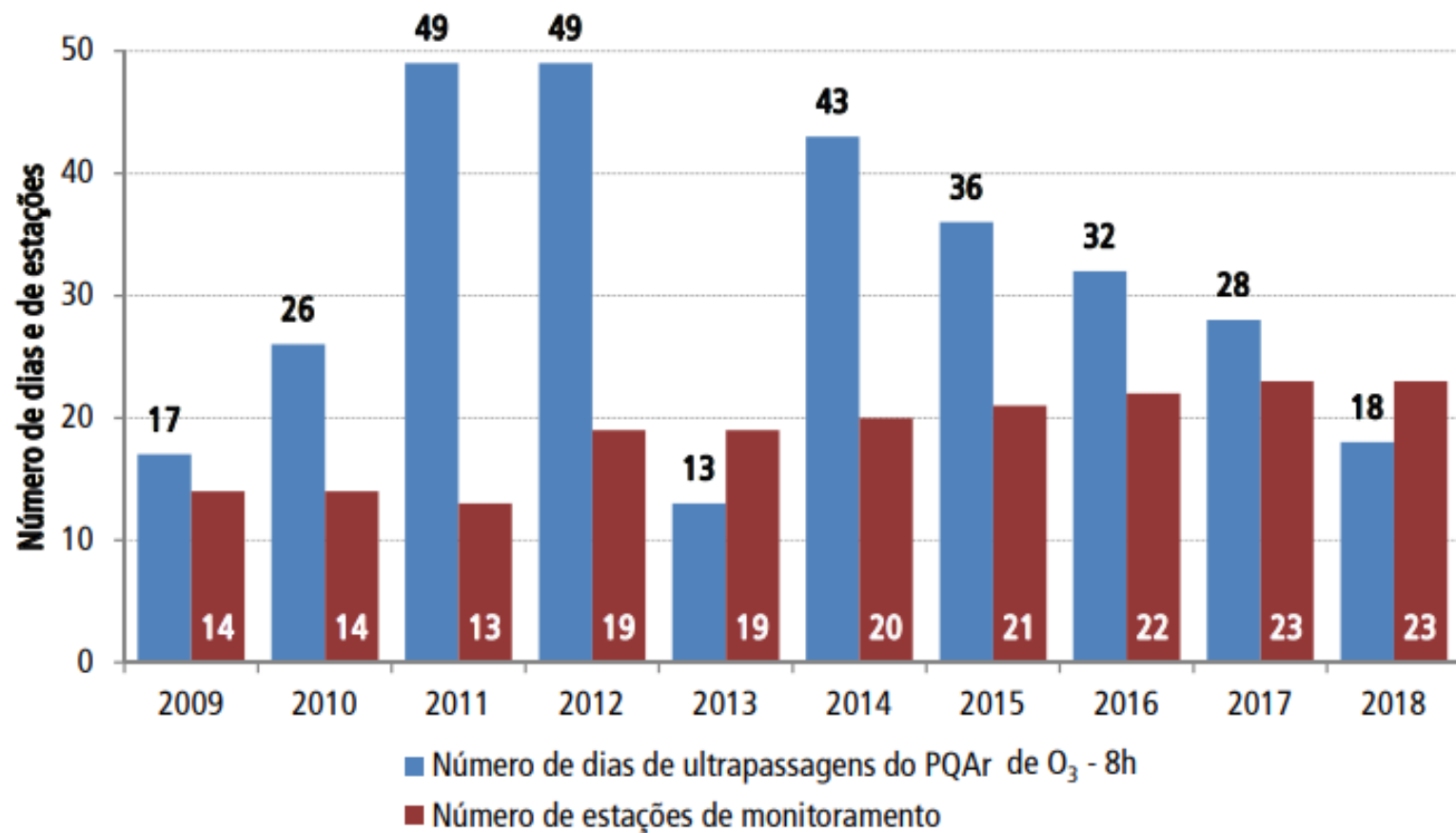
Fonte: CETESB (2019)

# Ozônio

O<sub>3</sub> principal problema de poluição da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

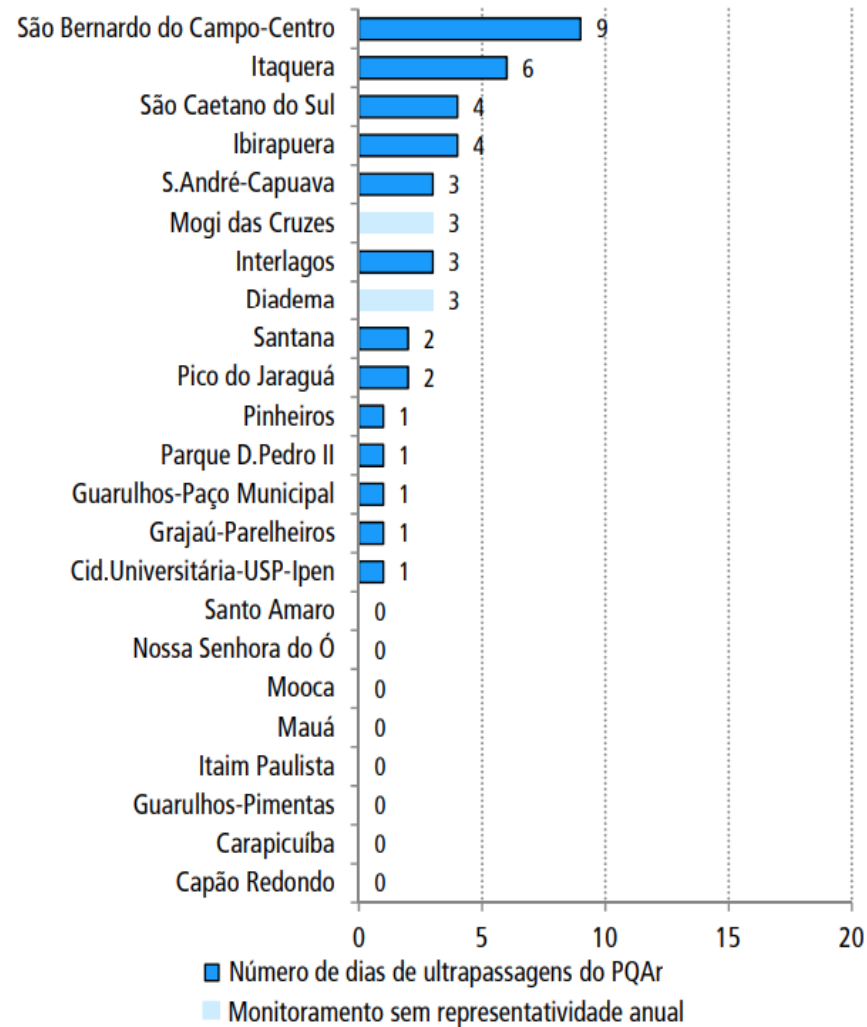
É formado na atmosfera através da fotólise do NO<sub>2</sub>.

# Número de dias com ultrapassagem do padrão de $160 \mu\text{g.m}^{-3}$ de $\text{O}_3$ na RMSP

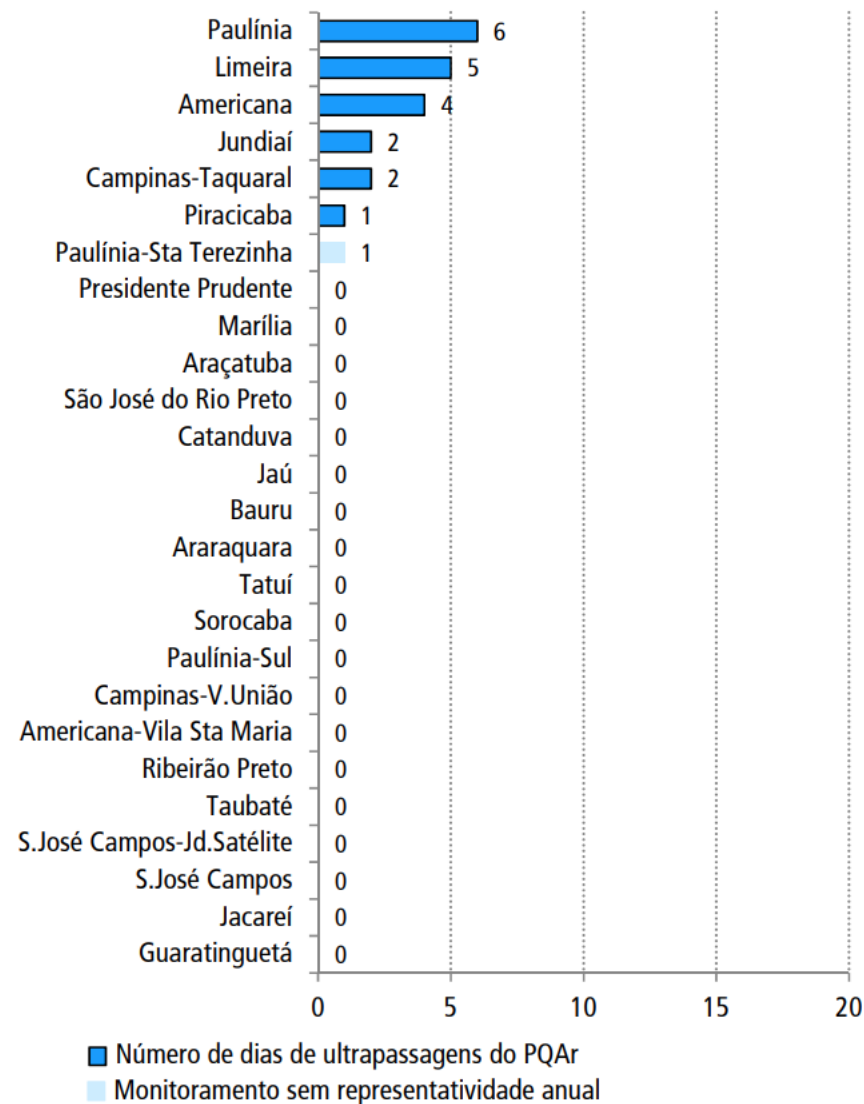


Fonte: CETESB (2019)

**Gráfico 36 – O<sub>3</sub> – Classificação do número de dias com ultrapassagens do padrão de 8h – RMSP – 2018**



**Gráfico 42 – O<sub>3</sub> – Classificação do número de dias de ultrapassagens do padrão de 8h – Interior – 2018**





# Ozônio

Irritação passageira do sistema respiratório:

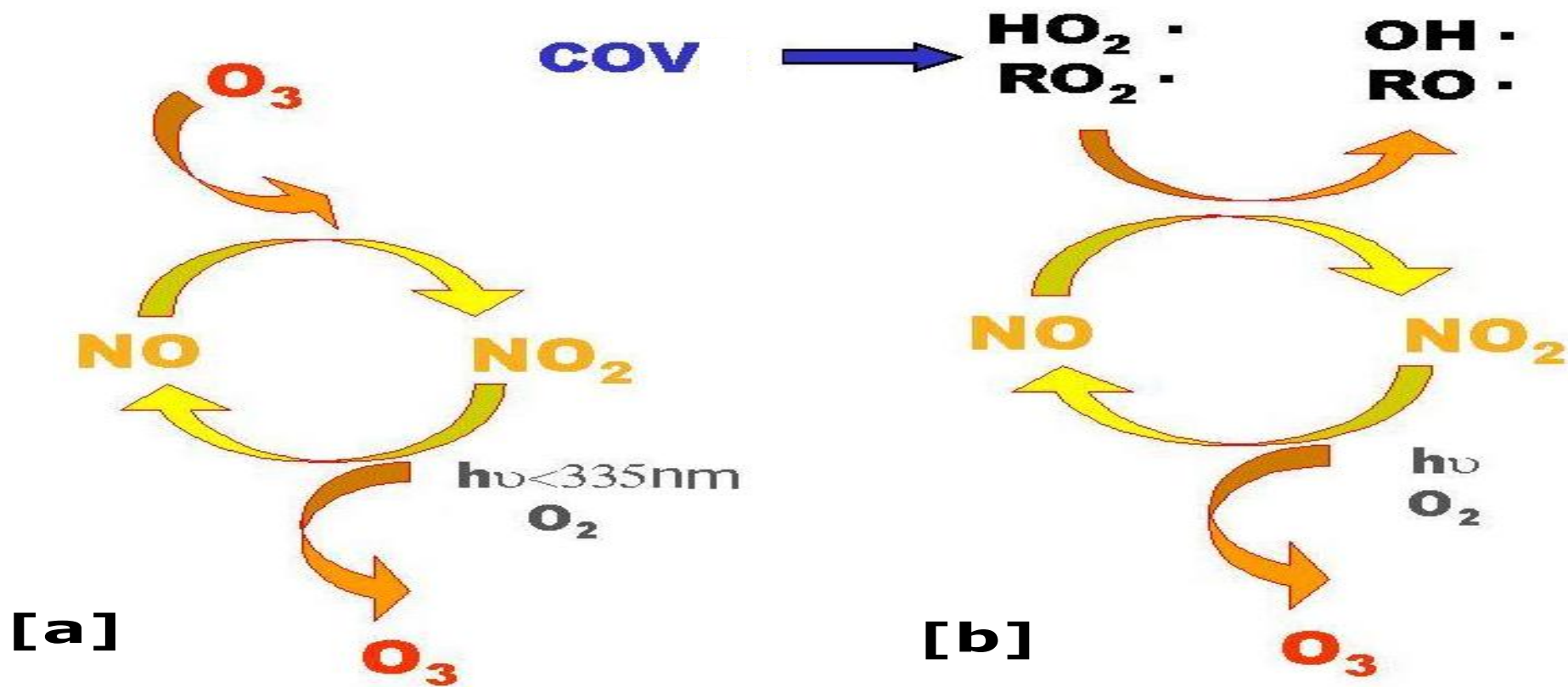
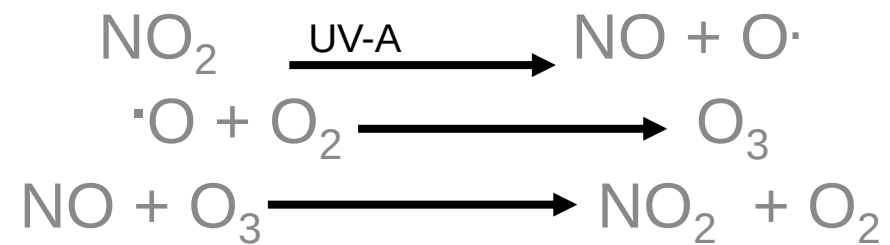
- tosse,
- irritação das mucosas,
- respiração ofegante,
- dor no peito durante a respiração profunda.

Ataque à culturas agrícolas: diminuição da taxa de fotossíntese

Ataque a materiais diversos: oxidante poderoso

# Fontes de Compostos Orgânicos Voláteis na RMSP

- Emissão veicular;
- Alguns processos industriais;
- Evaporação de solventes;
- Plantas



# Objetivo

Determinar os principais COV precursores de  $O_3$  na RMSP, utilizando o modelo de trajetórias OZIPR (*Ozone Isopleth Package for Research*) para identificar estes compostos e produzir uma escala de incremento de reatividade de  $O_3$  para a RMSP, a fim de prover dados que auxiliem a elaboração de estratégias para a redução deste poluente.



## Trabalhos Realizados

- 2006 - 78 coletas de **hidrocarbonetos** na estação CETESB IPEN/USP janeiro a dezembro de 2006
- 2011 - 66 amostragens de **hidrocarbonetos**, 62 de **aldeídos** e 42 de **etanol**, setembro de 2011 a agosto de 2012, das 7:00 às 9:00 h
- 35 coletas de hidrocarbonetos na estação CETESB Cerqueira César, localizada na Av. Dr. Arnaldo, agosto e setembro/2006 e 43 coletas em julho e agosto/2008, das 6:00 às 18:00 h, 2 horas de amostragem;

# Trabalhos Realizados

➤ Testes padronizados, segundo a norma NBR 6601, 5 veículos comerciais movidos a óleo diesel, 3 veículos a etanol, 2 a gasolina e 1 motocicleta.

# Especiação de COV

Hidrocarbonetos: CG/DIC (C2-C5), CG/MS/DIC (> 4C)



Etanol: CG/MS

Aldeídos e Cetona: CLAE/UV

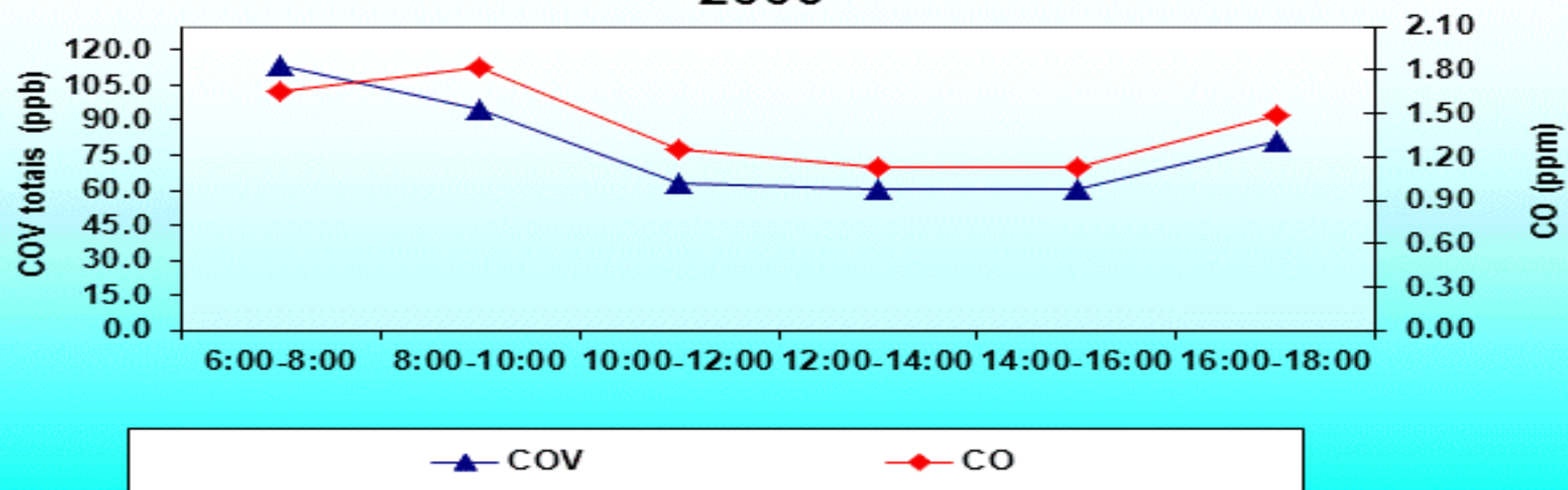
# Estação CETESB Cerqueira César:

localizada na Av. Dr. Arnaldo;  
35 coletas entre agosto e setembro de 2006;  
43 coletas entre julho e agosto de 2008;  
6:00 h às 18:00 h, a cada 2h de amostragem.

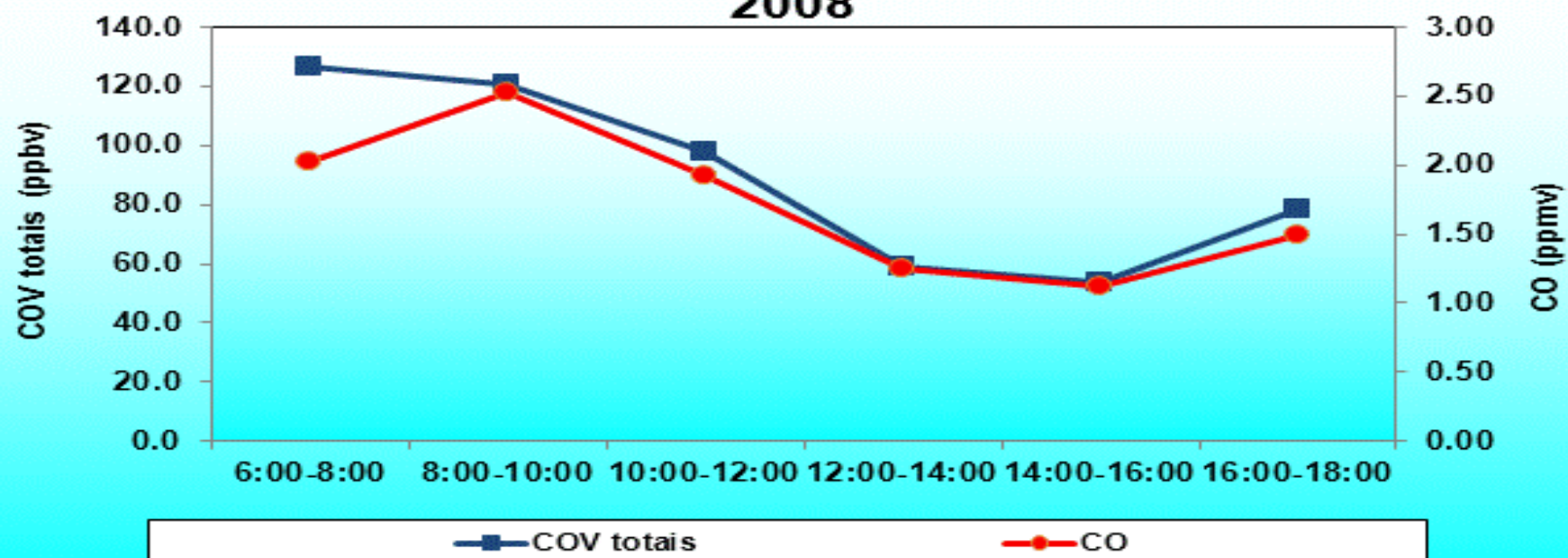




2006



2008



**Concentração dos 15 COV mais abundantes medidos na estação CETESB Cerqueira César, referente às médias das 36 amostragens realizadas em 2006 e das 43 em 2008.**

| <b>Compostos (2006)</b> | <b>Conc. (ppbv)</b> | <b>Compostos (2008)</b> | <b>Conc. (ppbv)</b> |
|-------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| isopentano              | 6,55±0,10           | eteno                   | 12,22±0,65          |
| eteno                   | 6,48±0,34           | propano                 | 8,83±0,11           |
| formaldeído             | 5,58±0,01           | etano                   | 5,76±0,15           |
| etano                   | 5,29±0,14           | formaldeído             | 5,70±0,01           |
| acetaldeído             | 5,04±0,01           | acetaldeído             | 5,64±0,01           |
| butano                  | 3,90±0,01           | butano                  | 4,71±0,02           |
| propano                 | 3,40±0,04           | tolueno                 | 4,40±0,18           |
| tolueno                 | 3,38±0,14           | isopentano              | 4,19±0,06           |
| but-1-eno               | 2,99±0,07           | pentano                 | 2,90±0,06           |
| pentano                 | 2,60±0,05           | propeno                 | 2,77±0,02           |
| propeno                 | 2,00±0,01           | isobutano               | 2,26±0,01           |
| isobutano               | 1,87±0,01           | but-1-eno               | 1,55±0,04           |
| 2-metilpentano          | 1,77±0,04           | hexano                  | 1,54±0,04           |
| p-xileno                | 1,59±0,14           | 1-metilciclopenteno     | 1,49±0,04           |
| 1,1-dimetilciclopropano | 1,49±0,03           | 2-metilpentano          | 1,49±0,04           |

# Modelo de OZIPR

## Dados de Entrada

Dados Meteorológicos Horários: Temperatura, Pressão, Umidade Relativa do Ar e Altura da Camada de Mistura.

Localização Geográfica e Data → índice de luz solar.

Emissões horárias de CO, NO<sub>x</sub> e COV (kg.km<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>).

Concentrações Iniciais de CO, NO<sub>x</sub> e COV totais (ppm).

Concentrações individuais dos diferentes COV presentes na mistura.

Coeficientes de Deposição.

Modelo Químico SAPRC.

## Dados de Saída

Concentrações médias horárias de CO, NO<sub>x</sub> e O<sub>3</sub>.

# SAPRC

- Desenvolvido por Willian Carter – Universidade de Riverside em 1990.
- Versão utilizada 3.0.1 de Janeiro de 2000. Ela foi recompilada na UERJ, para 500 reações e 200 espécies

Espécies de COV agrupadas em função da semelhança da estrutura e da reatividade:

- 5 Grupos de Alcanos;
  - 2 Grupos de Alcenos;
  - 2 Grupos de Aromáticos;
  - 1 grupo de Aldeídos
- Compostos mais importantes são mantidos explícitos.



## Obtenção dos dados de entrada para

$$1.557.100 \frac{ton}{ano} \times \frac{1000kg}{1ton} \times \frac{1}{1.747km^2} \times \frac{1ano}{313dias} \times \frac{1dia}{18h} = 158kg.km^{-2}.h^{-1}$$

Emissão de CO:

$NO_x/CO = 0,09$       Emissão =  $14 kg.km^{-2}.h^{-1}$  de  $NO_x$

$COV/CO = 0,27$       Emissão =  $43 kg.km^{-2}.h^{-1}$  de COV

# Estação CETESB Saúde Pública - 2008

## Composto ou Grupo

COV

NO<sub>x</sub>

CO

## Concentração Inicial

1,55 ppmC

0,27 ppm

2,04 ppm

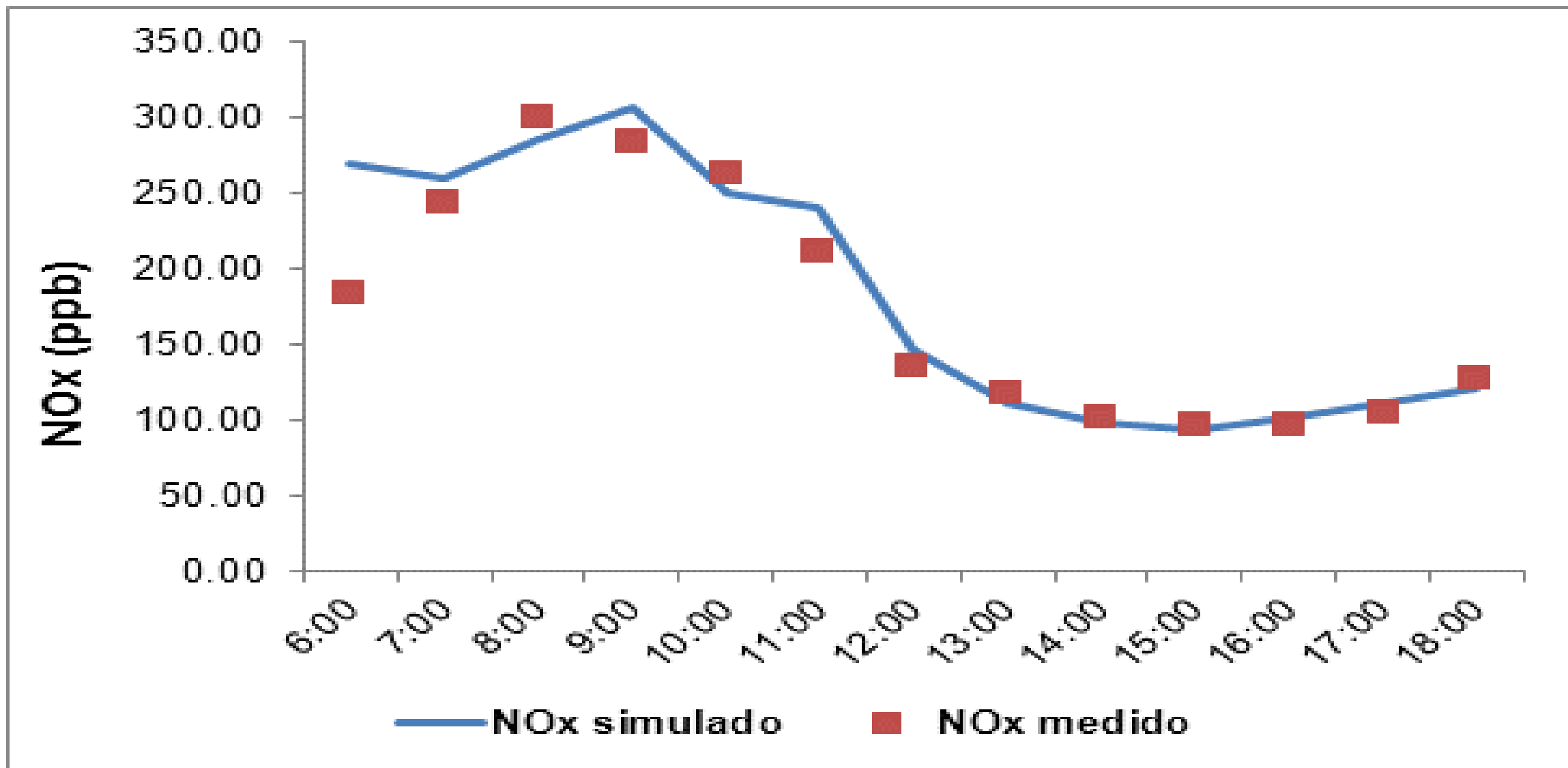
| <b>Hora</b> | <b>Temp. (°C)</b> | <b>UR (%)</b> | <b>Alt. Cam. Mist. (m)</b> |
|-------------|-------------------|---------------|----------------------------|
| 6:00        | 12                | 72,4          | 300                        |
| 7:00        | 12                | 73,1          | 300                        |
| 8:00        | 12                | 71,8          | 300                        |
| 9:00        | 14                | 68,2          | 300                        |
| 10:00       | 17                | 59,4          | 350                        |
| 11:00       | 20                | 42,8          | 380                        |
| 12:00       | 22                | 33,5          | 580                        |
| 13:00       | 24                | 27,8          | 700                        |
| 14:00       | 25                | 24,8          | 800                        |
| 15:00       | 26                | 22,8          | 900                        |
| 16:00       | 26                | 22,0          | 850                        |
| 17:00       | 25                | 23,3          | 550                        |
| 18:00       | 23                | 29,8          | 500                        |

Valores de Temperatura, Umidade Relativa do Ar (estação Pinheiros da CETESB ) e Altura da Camada de Mistura (CLA – IPEN).

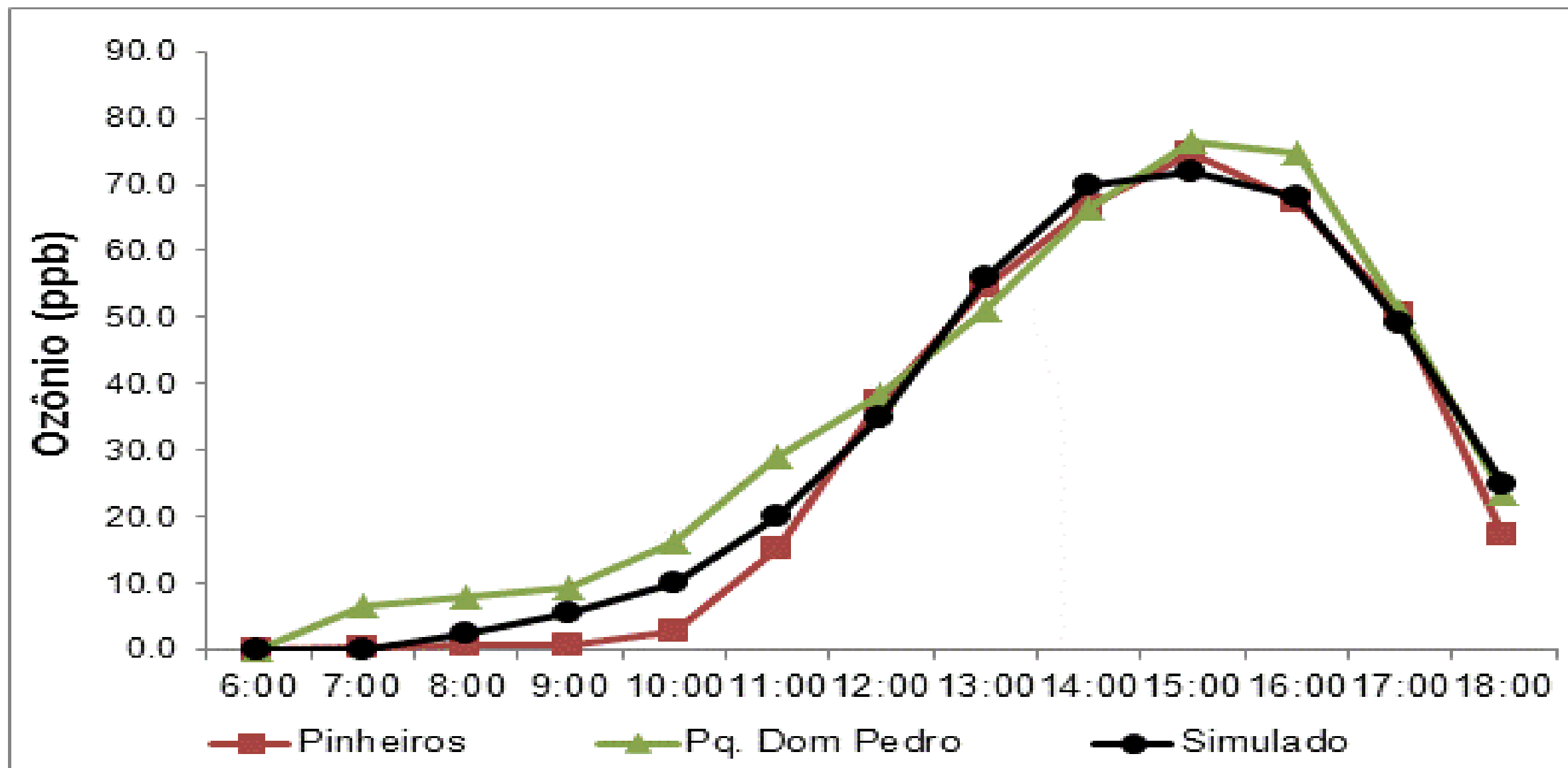
## Ajuste do Simulador

| Hora         | Emissões (kg.km <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup> ) |                 |           |
|--------------|--------------------------------------------------|-----------------|-----------|
|              | CO                                               | NO <sub>x</sub> | COV       |
| 06:00        | 27                                               | 7               | 37        |
| 07:00        | 150                                              | 20              | 124       |
| 08:00        | 290                                              | 15              | 107       |
| 09:00        | 280                                              | 5               | 28        |
| 10:00        | 140                                              | 11              | 28        |
| 11:00        | 135                                              | 4               | 28        |
| 12:00        | 83                                               | 3               | 17        |
| 13:00        | 95                                               | 11              | 23        |
| 14:00        | 75                                               | 19              | 31        |
| 15:00        | 110                                              | 20              | 36        |
| 16:00        | 150                                              | 21              | 37        |
| 17:00        | 225                                              | 21              | 37        |
| 18:00        | 300                                              | 26              | 57        |
| <b>Média</b> | <b>158</b>                                       | <b>14</b>       | <b>43</b> |





Comparação dos valores simulados com os valores médios obtidos para a concentração de NO<sub>x</sub> no período de julho e agosto de 2008 na Estação Cerqueira César.

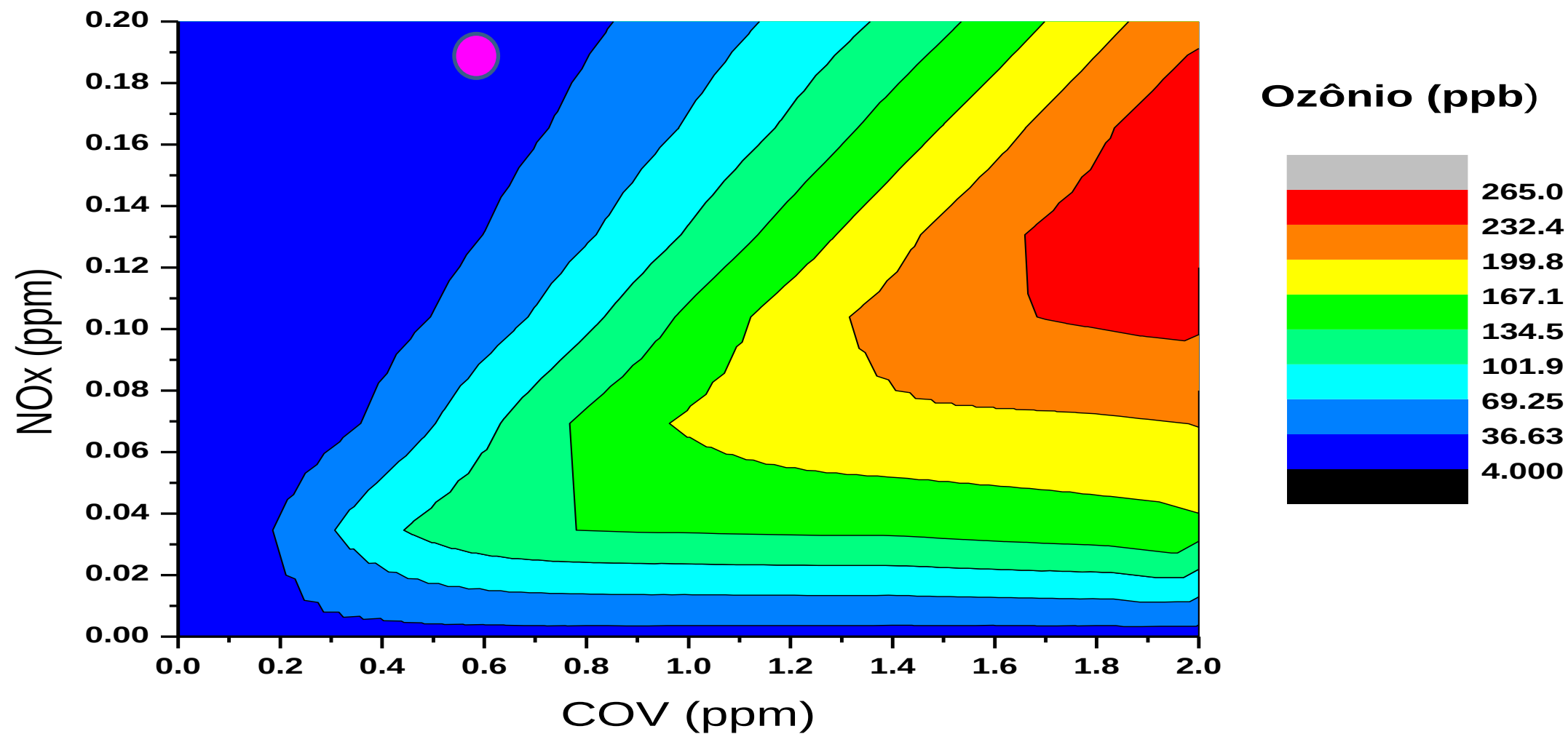


Comparação dos valores simulados na Estação Cerqueira César com os valores médios obtidos para a concentração de O<sub>3</sub> no período de julho e agosto de 2008 nas estações Pq. D. Pedro e Pinheiros.

## Simulação de Redução nas Emissões

| <b>Diminuição das emissões</b> | <b>Variação de O<sub>3</sub> (%)</b> |                       |                             |
|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
|                                | <b>COV</b>                           | <b>NO<sub>x</sub></b> | <b>COV e NO<sub>x</sub></b> |
| 5%                             | - 6.1                                | + 4.1                 | - 2.8                       |
| 10%                            | - 13.5                               | + 6.1                 | - 7.9                       |
| 20%                            | - 25.4                               | + 14.3                | - 12.5                      |
| 30%                            | - 34.8                               | + 20.4                | - 19.0                      |

Variação do O<sub>3</sub> em função da diminuição das emissões horárias de COV totais e NO<sub>x</sub>, julho e agosto de 2008, Estação CETESB Cerqueira César 2008.



Isopletas de O<sub>3</sub> (em ppb) para diversas concentrações de COV e NO<sub>x</sub>, para a Estação CETESB Cerqueira César.

## Escala de Incremento de Reatividade para COV

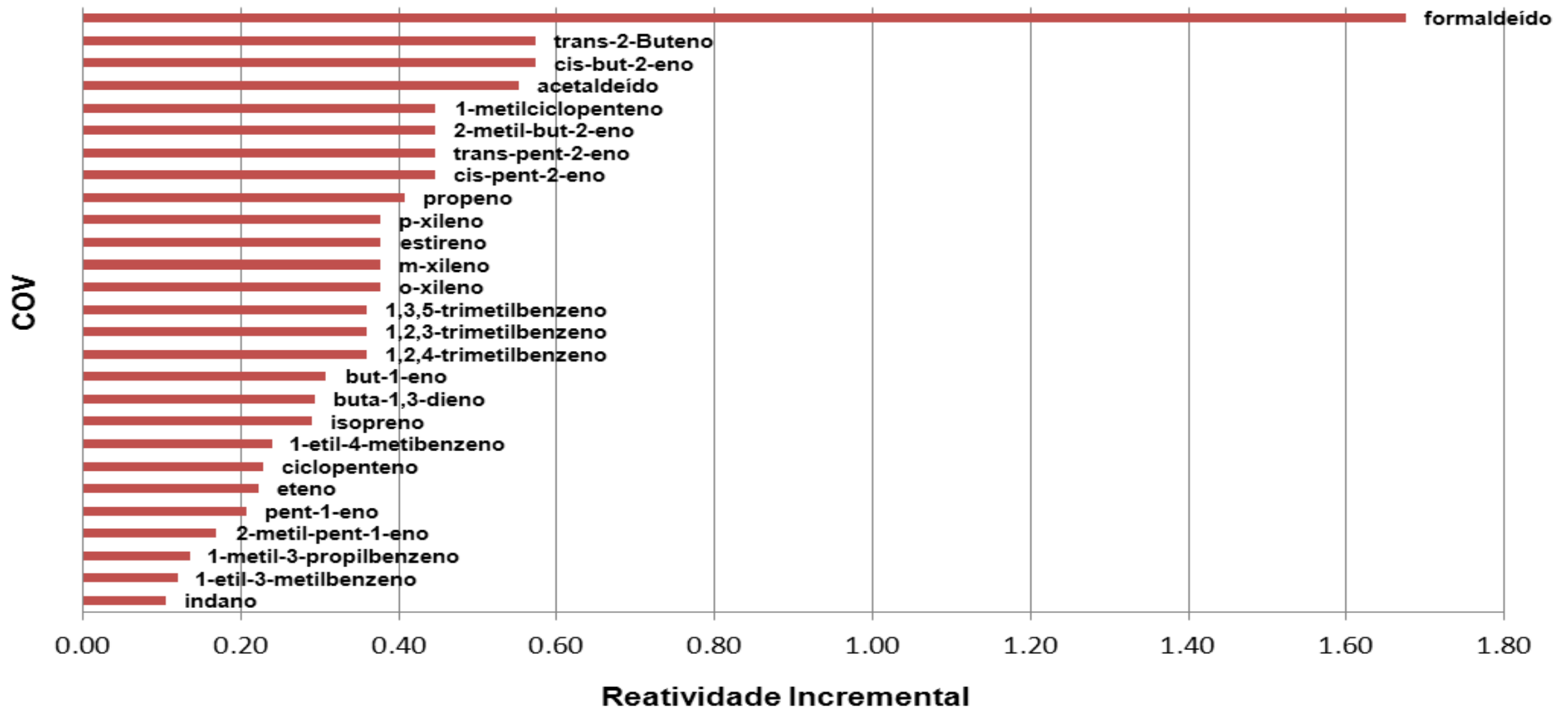
Baseada no ordenamento dos COV em função de seus potenciais de produção de  $O_3$ .

Acréscimo e um decréscimo de 0,2% dos COV totais a cada COV de interesse.

$$IR+ = \frac{[O_3+] - [O_3]_{base}}{[COV+] - [COV]_{inicial}} \quad IR- = \frac{[O_3-] - [O_3]_{base}}{[COV-] - [COV]_{inicial}}$$

$$IR = \frac{IR+ + IR-}{2}$$





Incremento de Reatividade (ppb de O<sub>3</sub>/pppC de COV) para os 30 principais precursores de O<sub>3</sub> na atmosfera de São Paulo – Estação CETESB Cerqueira César.

| Compostos             | Conc. x IR | % FO  |
|-----------------------|------------|-------|
| formaldeído           | 9,549      | 42,81 |
| acetaldeído           | 3,108      | 13,93 |
| eteno                 | 2,717      | 12,18 |
| propeno               | 1,129      | 5,06  |
| 1-metilciclopenteno   | 0,663      | 2,97  |
| p-xileno              | 0,528      | 2,37  |
| but-1-eno             | 0,477      | 2,14  |
| trans-pent-2-eno      | 0,422      | 1,89  |
| 2-metilbut-2-eno      | 0,388      | 1,74  |
| trans-but-2-eno       | 0,360      | 1,62  |
| tolueno               | 0,333      | 1,49  |
| 1,2,4-trimetilbenzeno | 0,316      | 1,42  |
| cis-but-2-eno         | 0,297      | 1,33  |
| cis-pent-2-eno        | 0,266      | 1,19  |
| m-xileno              | 0,245      | 1,10  |

| <b>Classes</b>    | <b>% formação<br/>de O<sub>3</sub></b> | <b>% em massa<br/>na atmosfera de COV</b> |
|-------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Aldeídos</b>   | <b>57%</b>                             | <b>13%</b>                                |
| <b>Alcenos</b>    | <b>32%</b>                             | <b>27%</b>                                |
| <b>Aromáticos</b> | <b>10%</b>                             | <b>14%</b>                                |
| <b>Alcadienos</b> | <b>1%</b>                              | <b>1%</b>                                 |
| <b>Alcanos</b>    | <b>0,03%</b>                           | <b>46%</b>                                |

# Estação CETESB IPEN/USP

localizada na Cidade Universitária

66 amostragens de HC, 62 de aldeídos e 42 de etanol em ago a dez de 2011/2012;

78 amostragens de HC, jan a fev de 2006;

horário de coleta 7:00 h às 9:00 h

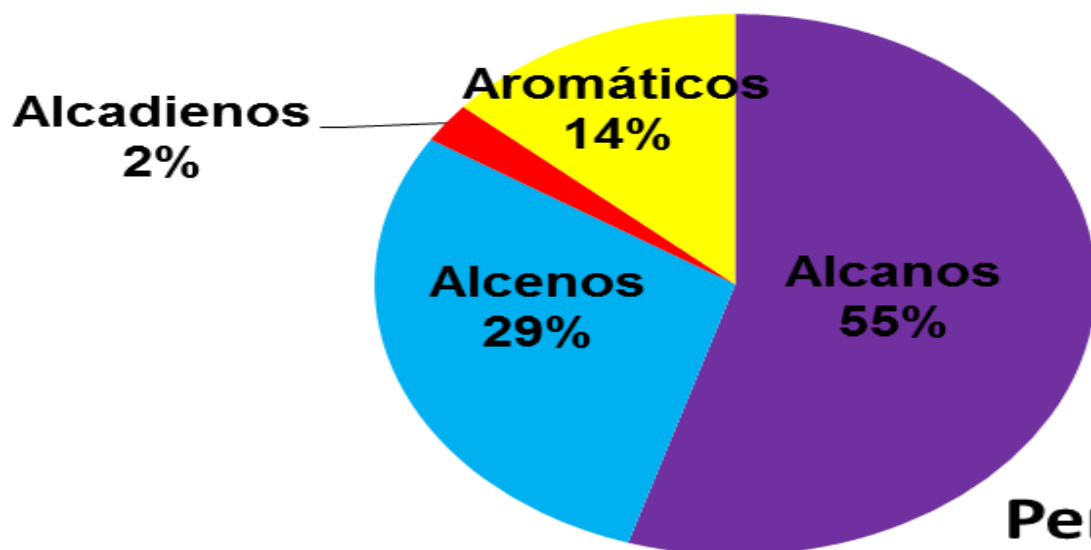


**Concentração dos 15 COV mais abundantes medidos na estação CETESB IPEN/USP, referente às médias das amostragens realizadas em 2006 e 2011/2012**

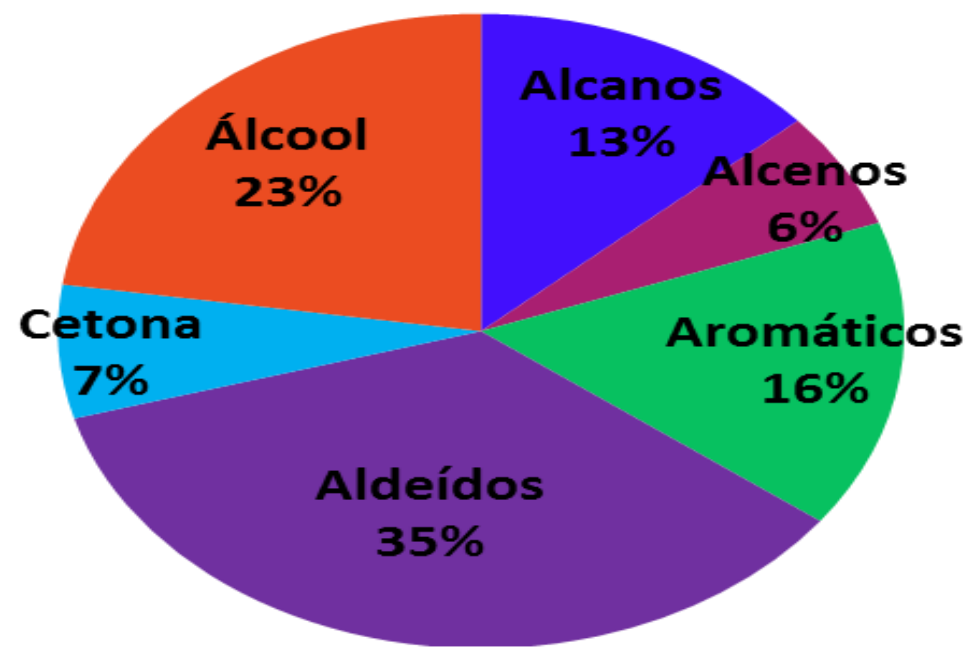
| <b>Compostos (2006)</b> | <b>Conc. (ppbv)</b> | <b>Compostos (2011/2012)</b> | <b>Conc. (ppbv)</b> |
|-------------------------|---------------------|------------------------------|---------------------|
| eteno                   | 6,25                | etanol                       | 36,3                |
| propano                 | 5,00                | Acetaldeído                  | 27,5                |
| butano                  | 4,11                | Formaldeído                  | 20,3                |
| hexano                  | 2,71                | Acetona                      | 10,9                |
| etano                   | 3,79                | propano                      | 5,56                |
| isobutano               | 3,51                | eteno                        | 4,84                |
| isopentano              | 3,36                | etano                        | 2,98                |
| but-1-eno               | 3,42                | butano                       | 2,94                |
| propeno                 | 3,14                | 1-etil-4-metilbenzeno        | 2,85                |
| tolueno                 | 3,02                | 1,2,4-trimetilbenzeno        | 2,43                |
| pentano                 | 2,01                | Propionaldeído               | 2,39                |
| 2-metilpentano          | 1,41                | 1,3,5-trimetilbenzeno        | 2,34                |
| 3-metilpentano          | 1,31                | 1-etil-3-metilbenzeno        | 2,33                |
| metilciclopentano       | 1,16                | 1,2,3-trimetilbenzeno        | 2,29                |
| p-xileno                | 1,08                | 1-etil-2-metilbenzeno        | 2,29                |



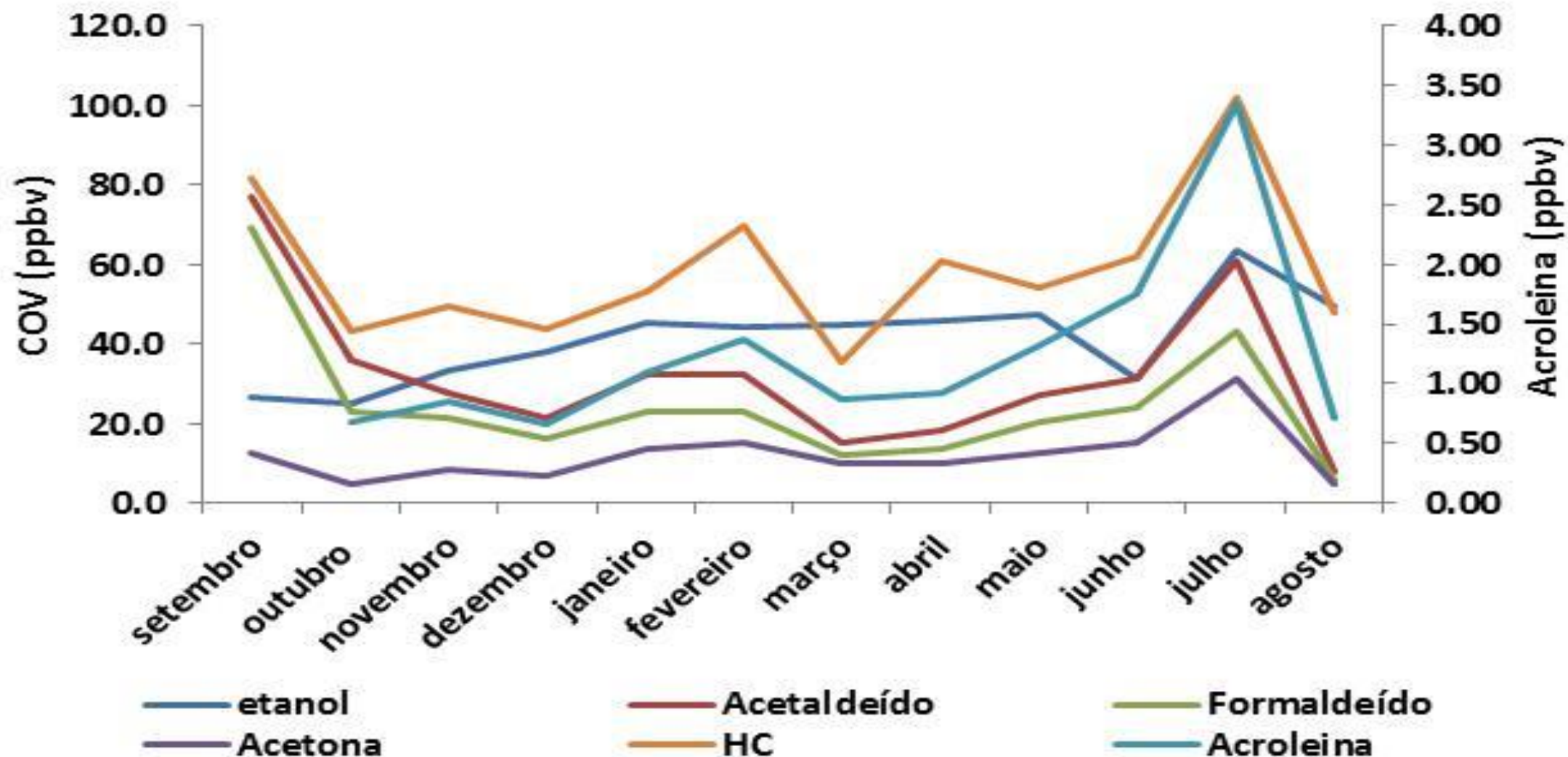
**Percentual de Hidrocarbonetos - Estação CETESB  
IPEN/USP - 2006**



**Percentual de COV - Estação IPEN/USP -  
2011/2012**



## Concentração (ppbv) de COV na estação IPEN/USP da CETESB 2011/2012



## Obtenção dos dados de entrada

Emissão de CO: (CETESB 2012)

$$160.610 \frac{ton}{ano} \times \frac{1000kg}{1ton} \times \frac{1}{2.209km^2} \times \frac{1ano}{304dias} \times \frac{1dia}{16h} = 15kg km^{-2} h^{-1}$$

Emissão = 13 kg.km<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> de NO<sub>x</sub> (Relatorio Gabriel Branco)

Emissão = 3 kg.km<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> de COV (CETESB 2012)

## **Concentrações Iniciais - Estação CETESB IPEN/USP – 2011/2012**

| <b>Composto</b>       | <b>Primavera</b> | <b>Verão</b>     | <b>Outono</b>    | <b>Inverno</b>   |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>COV</b>            | <b>0,74 ppmC</b> | <b>0,74 ppmC</b> | <b>0,67 ppmC</b> | <b>0,79 ppmC</b> |
| <b>NO<sub>x</sub></b> | <b>0,04 ppm</b>  | <b>0,06 ppm</b>  | <b>0,04 ppm</b>  | <b>0,07 ppm</b>  |
| <b>CO</b>             | <b>0,47 ppm</b>  | <b>0,36 ppm</b>  | <b>0,30 ppm</b>  | <b>0,45 ppm</b>  |

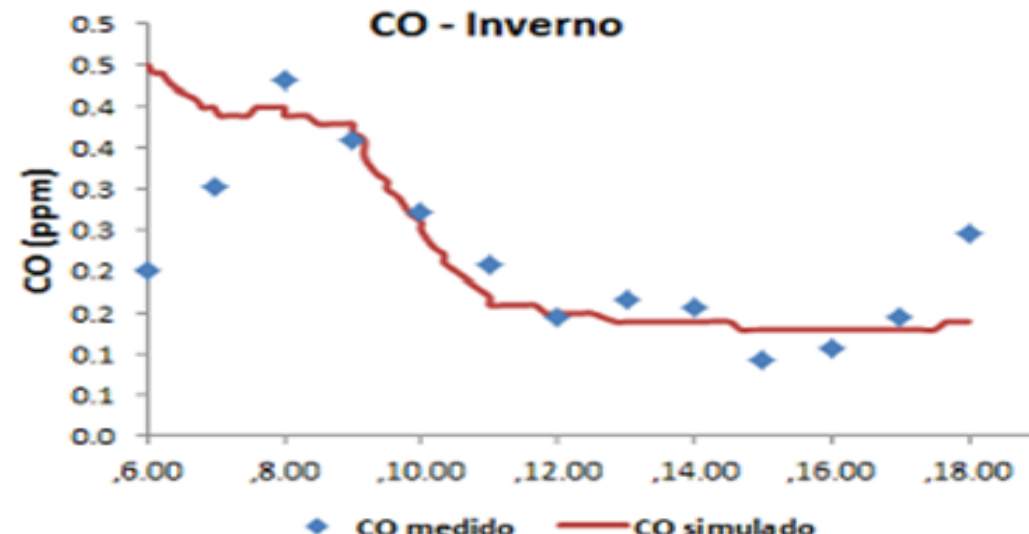
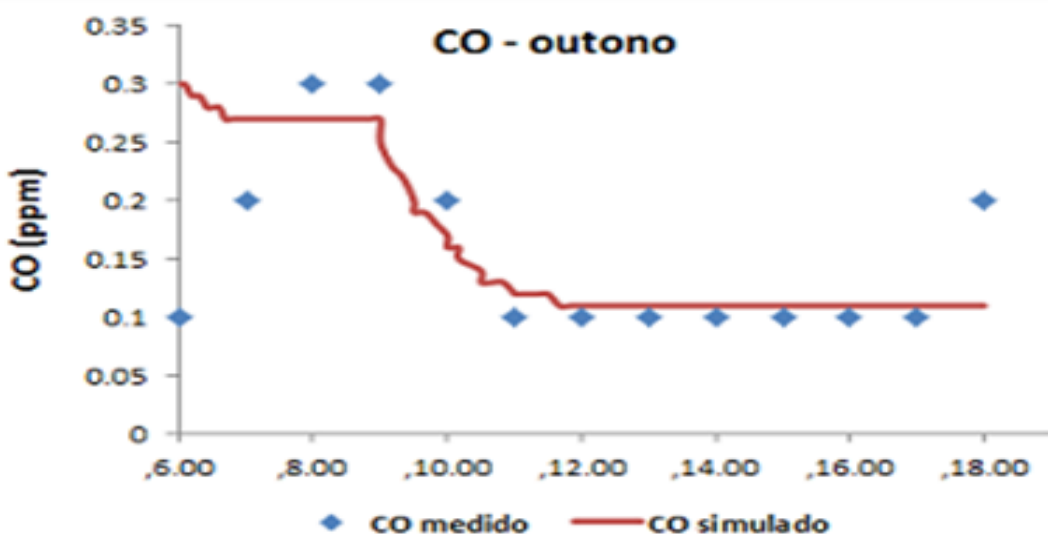
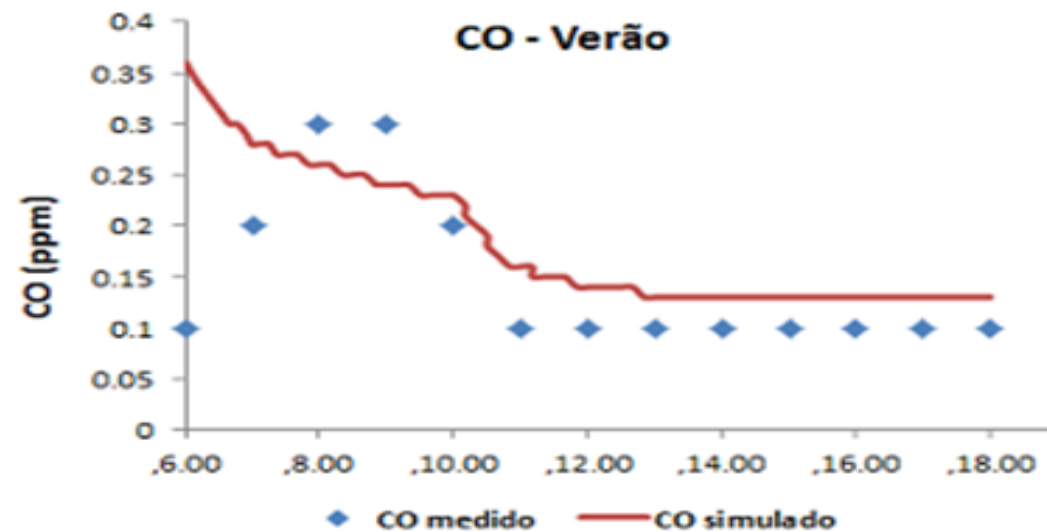
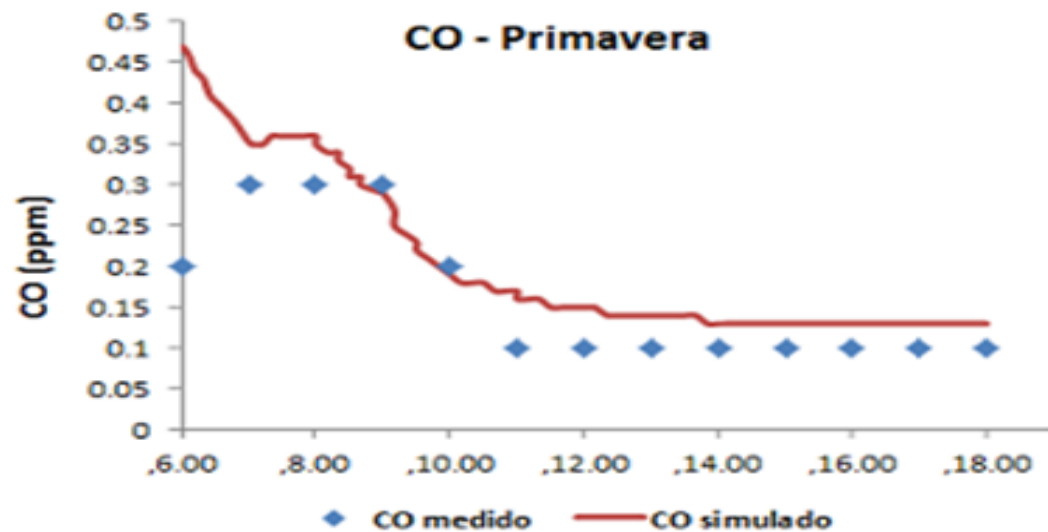
| Hora         | Temperatura (°C) |             |             |             |
|--------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
|              | Primavera        | Verão       | Outono      | Inverno     |
| <b>6:00</b>  | 17,2             | 19,6        | 16,9        | <b>14,4</b> |
| <b>7:00</b>  | 18,1             | 20,3        | 17,1        | <b>14,3</b> |
| <b>8:00</b>  | 19,3             | 21,5        | 18,0        | <b>15,5</b> |
| <b>9:00</b>  | 20,7             | 22,7        | 19,1        | <b>16,8</b> |
| <b>10:00</b> | 22,1             | 24,1        | 20,4        | <b>18,4</b> |
| <b>11:00</b> | 23,2             | 25,3        | 21,6        | <b>19,9</b> |
| <b>12:00</b> | 24,1             | 26,1        | 22,5        | <b>21,3</b> |
| <b>13:00</b> | 24,6             | 26,7        | 23,2        | <b>22,1</b> |
| <b>14:00</b> | 24,6             | 26,6        | 23,5        | <b>22,6</b> |
| <b>15:00</b> | 23,7             | 26,0        | 23,5        | <b>22,6</b> |
| <b>16:00</b> | 22,7             | 24,8        | 22,6        | <b>22,2</b> |
| <b>17:00</b> | 21,7             | 23,8        | 21,1        | <b>21,1</b> |
| <b>18:00</b> | <b>20,6</b>      | <b>22,8</b> | <b>19,7</b> | <b>19,5</b> |



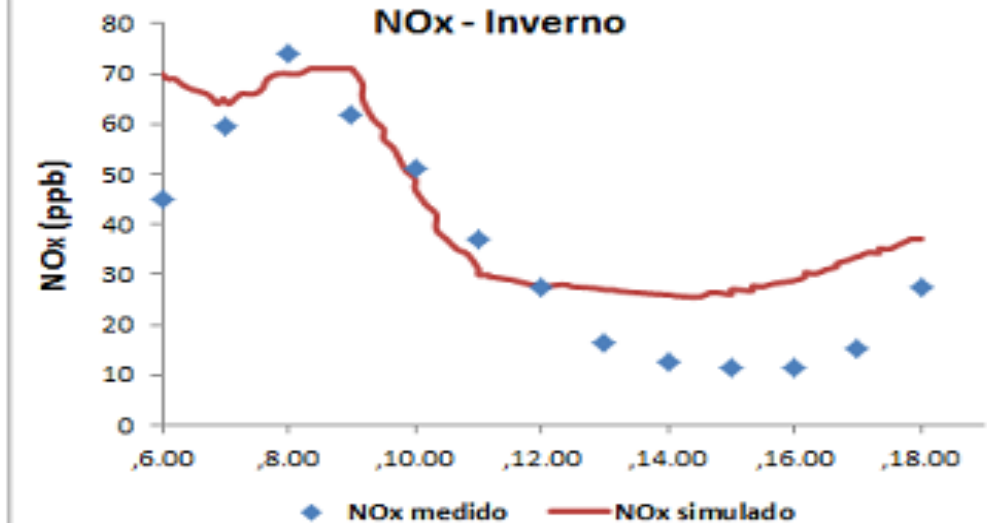
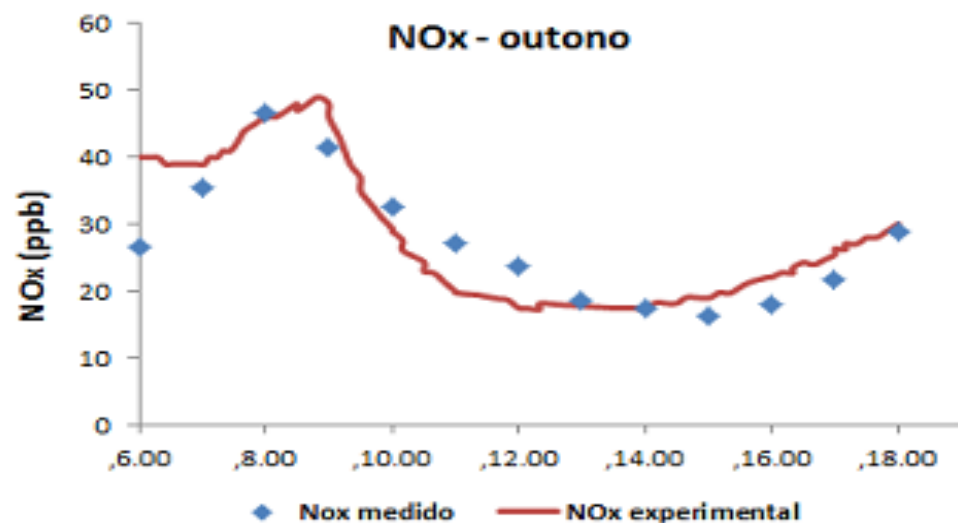
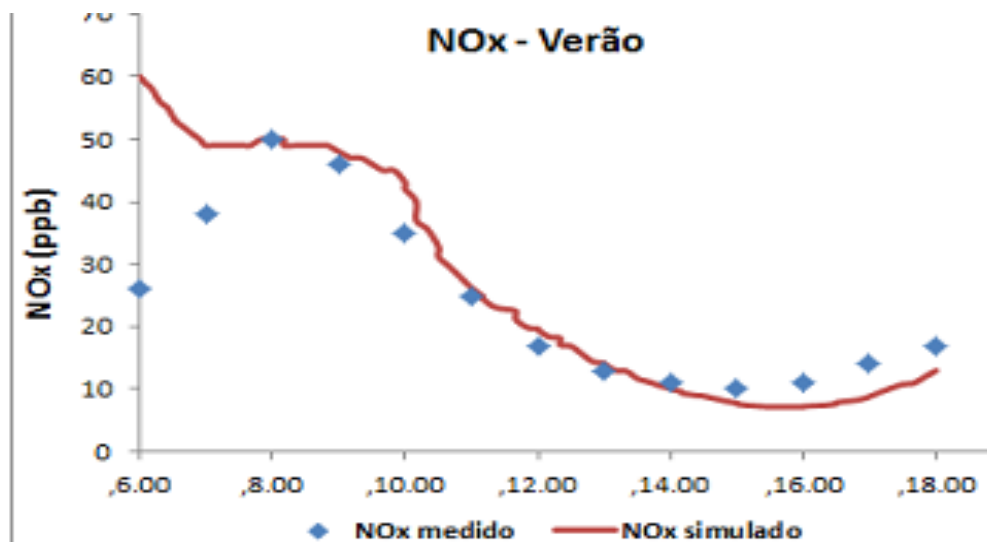
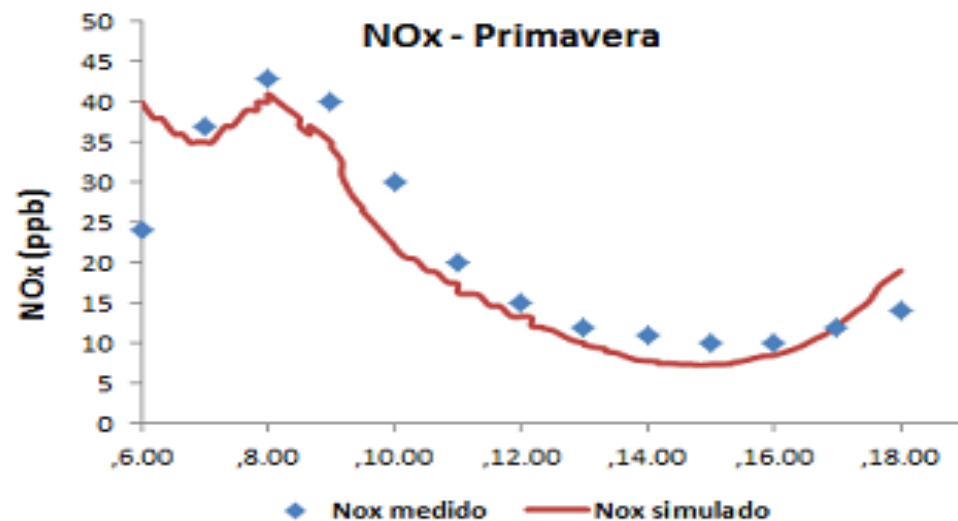
| Hora  | Umidade Relativa (%) |       |        |         |
|-------|----------------------|-------|--------|---------|
|       | Primavera            | Verão | Outono | Inverno |
| 6:00  | 90                   | 92    | 96     | 92      |
| 7:00  | 87                   | 90    | 92     | 92      |
| 8:00  | 82                   | 85    | 95     | 87      |
| 9:00  | 76                   | 78    | 87     | 81      |
| 10:00 | 70                   | 72    | 81     | 75      |
| 11:00 | 66                   | 67    | 76     | 68      |
| 12:00 | 62                   | 64    | 72     | 62      |
| 13:00 | 76                   | 62    | 68     | 58      |
| 14:00 | 62                   | 63    | 67     | 55      |
| 15:00 | 66                   | 66    | 68     | 56      |
| 16:00 | 70                   | 72    | 72     | 59      |
| 17:00 | 74                   | 78    | 79     | 64      |
| 18:00 | 78                   | 81    | 85     | 71      |

| Hora         | Camada de Mistura (m) |             |            |             |
|--------------|-----------------------|-------------|------------|-------------|
|              | Primavera             | Verão       | Outono     | Inverno     |
| <b>6:00</b>  | 300                   | 425         | 350        | <b>350</b>  |
| <b>7:00</b>  | 400                   | 550         | 400        | <b>400</b>  |
| <b>8:00</b>  | 400                   | 600         | 400        | <b>400</b>  |
| <b>9:00</b>  | 550                   | 700         | 450        | <b>450</b>  |
| <b>10:00</b> | 1000                  | 850         | 900        | <b>750</b>  |
| <b>11:00</b> | 1350                  | 1450        | 1500       | <b>1350</b> |
| <b>12:00</b> | 1600                  | 1700        | 1750       | <b>1500</b> |
| <b>13:00</b> | 1700                  | 1900        | 1800       | <b>1600</b> |
| <b>14:00</b> | 1750                  | 1950        | 1850       | <b>1650</b> |
| <b>15:00</b> | 1650                  | 1950        | 1850       | <b>1700</b> |
| <b>16:00</b> | 1550                  | 1800        | 1650       | <b>1450</b> |
| <b>17:00</b> | 1150                  | 1600        | 1350       | <b>1150</b> |
| <b>18:00</b> | <b>750</b>            | <b>1400</b> | <b>950</b> | <b>800</b>  |

| <b>Hora</b>  | <b>km de<br/>congestionamento</b> | <b>CO</b> | <b>NO<sub>x</sub></b> | <b>COV</b> |
|--------------|-----------------------------------|-----------|-----------------------|------------|
| <b>6:00</b>  | 2,0                               | 3         | 4                     | <b>1,0</b> |
| <b>7:00</b>  | 4,3                               | 5         | 7                     | <b>1,5</b> |
| <b>8:00</b>  | 10,1                              | 14        | 11                    | <b>2,8</b> |
| <b>9:00</b>  | 17,6                              | 25        | 15                    | <b>4,0</b> |
| <b>10:00</b> | 20,1                              | 23        | 16                    | <b>4,5</b> |
| <b>11:00</b> | 15,7                              | 15        | 14                    | <b>3,7</b> |
| <b>12:00</b> | 12,4                              | 12        | 13                    | <b>2,8</b> |
| <b>13:00</b> | 8,5                               | 12        | 12                    | <b>1,8</b> |
| <b>14:00</b> | 7,2                               | 12        | 12                    | <b>1,6</b> |
| <b>15:00</b> | 8,0                               | 13        | 13                    | <b>1,6</b> |
| <b>16:00</b> | 9,3                               | 15        | 14                    | <b>1,9</b> |
| <b>17:00</b> | 12,4                              | 18        | 15                    | <b>2,4</b> |
| <b>18:00</b> | 16,1                              | 23        | 17                    | <b>3,2</b> |
| <b>Média</b> |                                   | <b>15</b> | <b>13</b>             | <b>3,0</b> |

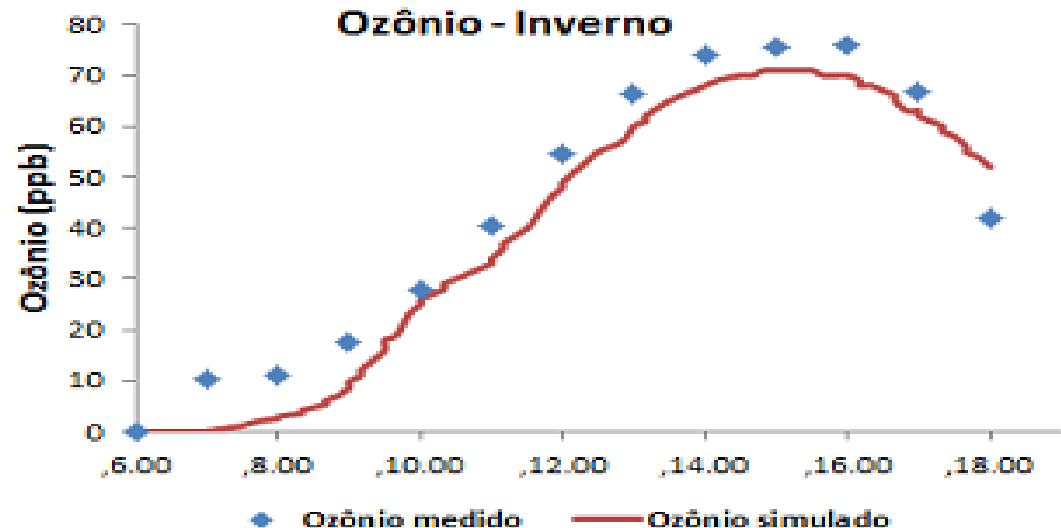
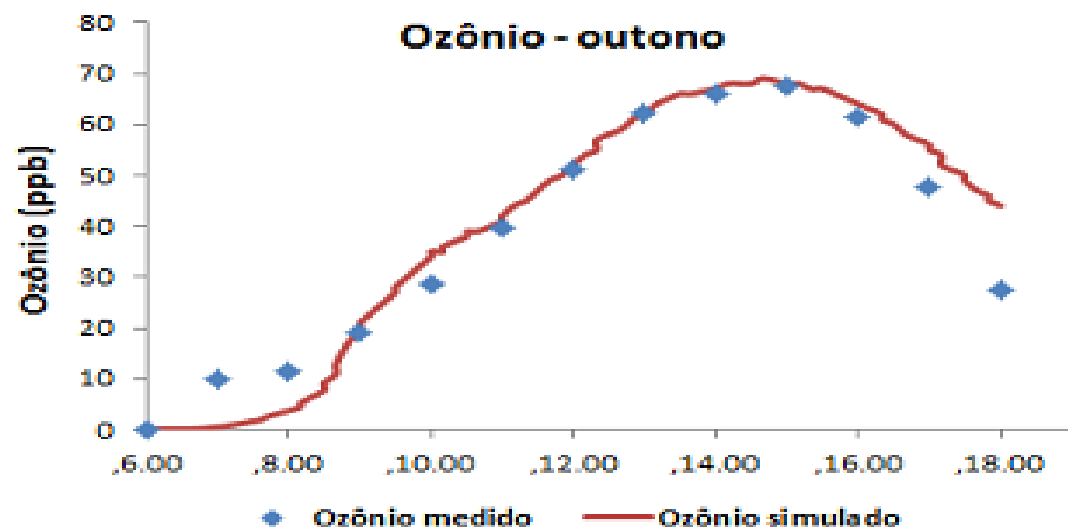
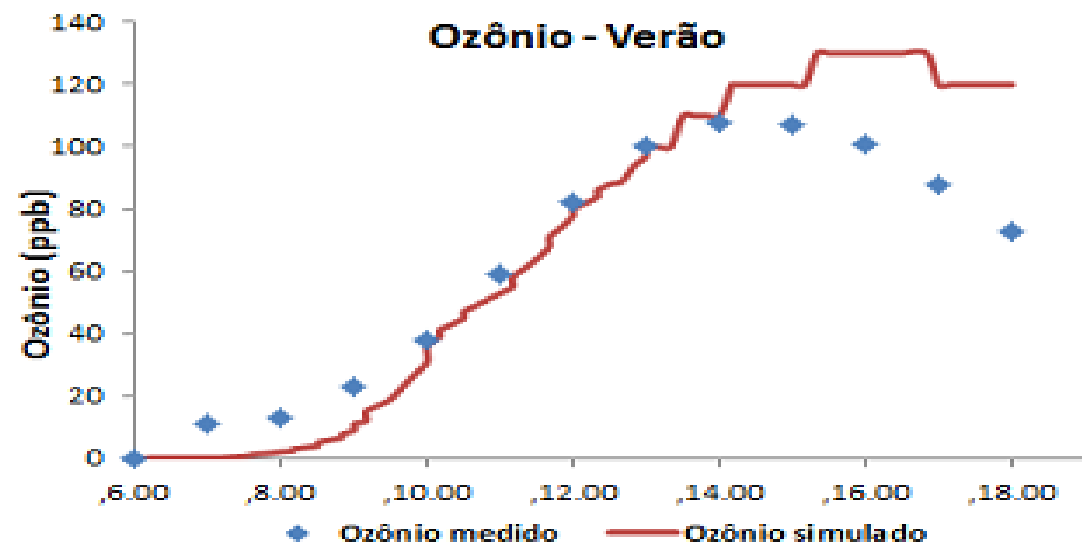
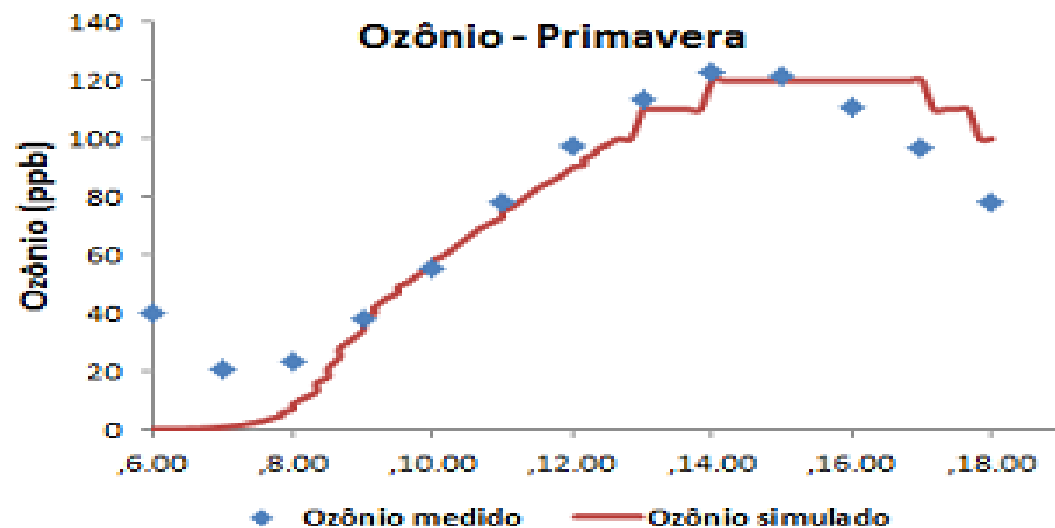


**Comparação dos valores simulados com os valores médios obtidos para a concentração de CO na Estação CETESB IPEN/USP**



**Comparação dos valores simulados com os valores médios obtidos para a concentração de NO<sub>x</sub> na Estação CETESB IPEN/USP**



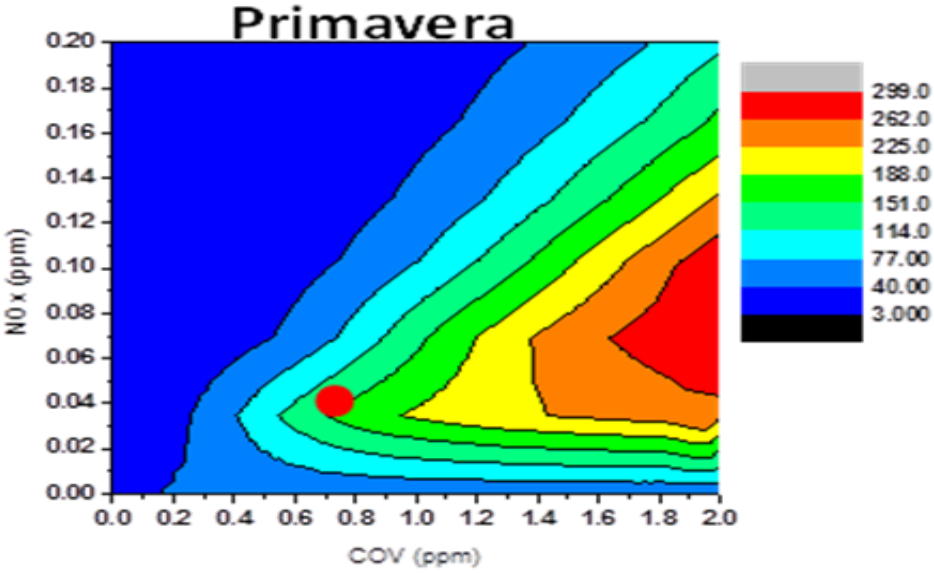


**Comparação dos valores simulados 2011/2012 com os valores médios obtidos para a concentração de O<sub>3</sub> na Estação IPEN/USP**

| Diminuição das Emissões |      | Variação de O <sub>3</sub> (%) |                 |          |                      |                       |
|-------------------------|------|--------------------------------|-----------------|----------|----------------------|-----------------------|
|                         | CO   | COV                            | NO <sub>x</sub> | CO e COV | CO e NO <sub>x</sub> | COV e NO <sub>x</sub> |
| <b>5%</b>               | 0,2  | 0,8                            | 2,9             | 0,4      | 3,1                  | 3,1                   |
| <b>10%</b>              | -3,9 | 0,1                            | 3,9             | -0,4     | 3,7                  | 2,8                   |
| <b>20%</b>              | -0,3 | -3,2                           | 6,8             | -3,5     | 6,6                  | 4,1                   |
| <b>30%</b>              | -0,7 | -3,0                           | 7,3             | -3,6     | 6,9                  | 5,1                   |

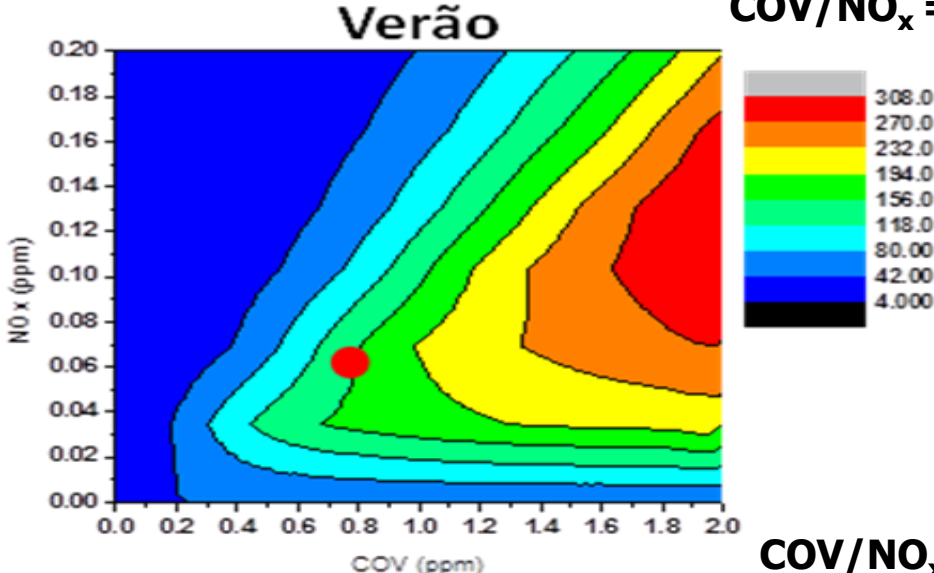
Variação do O<sub>3</sub> em função da diminuição das emissões horárias de CO, COV totais e NO<sub>x</sub>, Estação CETESB IPEN/USP 2011.

COV/NO<sub>x</sub> = 4

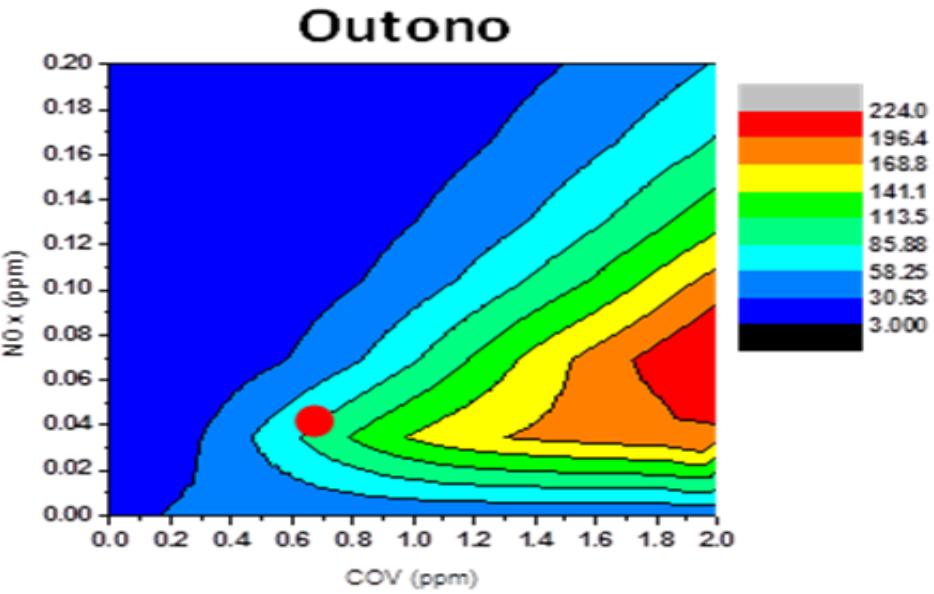


Verão

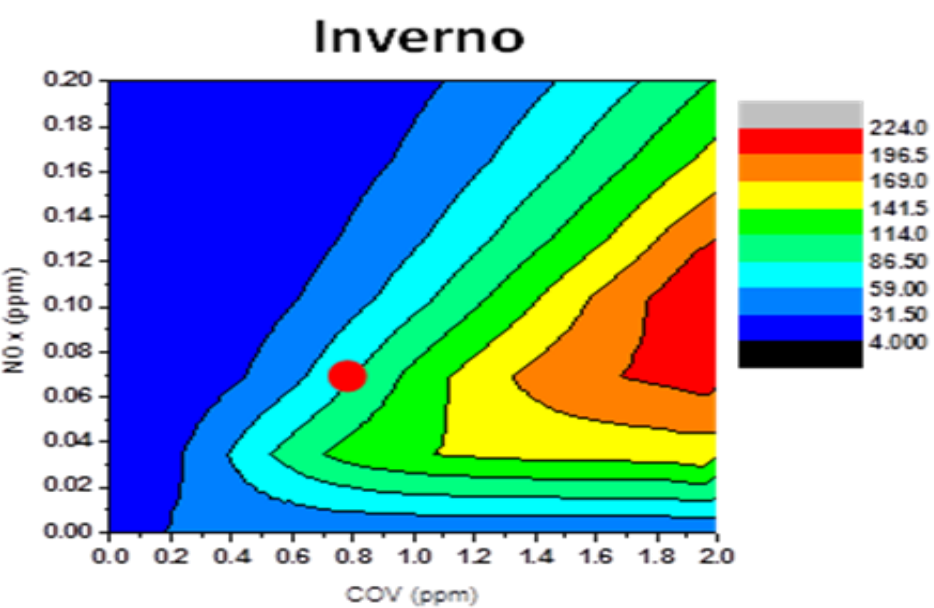
COV/NO<sub>x</sub> = 3



COV/NO<sub>x</sub> = 3



COV/NO<sub>x</sub> = 2



Isopletas de O<sub>3</sub> (em ppb) para diversas concentrações de COV e NO<sub>x</sub>, para a Estação CETESB IPEN/USP

## Incremento de Reatividade (ppb de O<sub>3</sub>/ppbC de COV) para os 20 principais precursores de O<sub>3</sub> – Estação CETESB IPEN/USP

| Compostos                       | Primavera | Verão   | Outono  | Inverno |
|---------------------------------|-----------|---------|---------|---------|
| <b>but-1-eno</b>                | 0.4218    | 0.0883  | 0.4359  | 0.1135  |
| <b>Butanal</b>                  | 0.4184    | 0.1970  | 0.3539  | 0.0567  |
| <b>Propionaldeído</b>           | 0.4252    | 0.2208  | 0.2683  | 0.1072  |
| <b>Acetaldeído</b>              | -0.0748   | 0.3906  | 0.2347  | 0.2018  |
| <b>Propeno</b>                  | 0.2313    | 0.2615  | -0.0484 | 0.2301  |
| <b>n-heptano</b>                | 0.5714    | 0.0374  | 0.1080  | -0.2837 |
| <b>3-metilexano</b>             | 0.5714    | 0.0374  | 0.1080  | -0.2837 |
| <b>metilcicloexano</b>          | 0.5714    | 0.0374  | 0.1080  | -0.2837 |
| <b>benzeno</b>                  | 0.3129    | 0.1800  | -0.2273 | 0.0883  |
| <b>1,2,4-trimetilbenzeno</b>    | 0.3163    | -0.0679 | 0.0484  | 0.0536  |
| <b>1,2,3-trimetilbenzeno</b>    | 0.3163    | -0.0679 | 0.0484  | 0.0536  |
| <b>1,3,5-trimetilbenzeno</b>    | 0.3163    | -0.0679 | 0.0484  | 0.0536  |
| <b>c9 benzeno dissustituído</b> | 0.3163    | -0.0679 | 0.0484  | 0.0536  |
| <b>n-propilbenzeno</b>          | 0.1905    | -0.1834 | 0.1714  | 0.0378  |
| <b>2-metilexano</b>             | 0.3367    | 0.0374  | 0.1080  | -0.2837 |
| <b>eteno</b>                    | 0.3095    | 0.1698  | -0.2198 | -0.0631 |
| <b>isopreno</b>                 | 0.0816    | 0.0476  | 0.0931  | -0.0599 |
| <b>tolueno</b>                  | 0.0238    | -0.0136 | 0.1118  | 0.0315  |
| <b>etilbenzeno</b>              | 0.0000    | 0.0272  | -0.0522 | 0.0788  |
| <b>cicloexano</b>               | -0.0272   | 0.0102  | 0.1006  | -0.1198 |

| <b>Compostos</b>                | <b>Conc. x IR</b> | <b>% Formação de O<sub>3</sub></b> |
|---------------------------------|-------------------|------------------------------------|
| <b>Acetaldeído</b>              | 5,40              | 61,2                               |
| <b>Propionaldeído</b>           | 0,61              | 6,92                               |
| <b>Butanal</b>                  | 0,52              | 5,85                               |
| <b>1-buteno</b>                 | 0,42              | 4,74                               |
| <b>C9 benzeno dissustituído</b> | 0,40              | 4,59                               |
| <b>Propeno</b>                  | 0,24              | 2,75                               |
| <b>Eteno</b>                    | 0,24              | 2,70                               |
| <b>1,2,4-trimetilbenzeno</b>    | 0,21              | 2,41                               |
| <b>1,3,5-trimetilbenzeno</b>    | 0,20              | 2,32                               |
| <b>1,2,3-trimetilbenzeno</b>    | 0,20              | 2,27                               |
| <b>n-propilbenzeno</b>          | 0.12              | 1.37                               |
| <b>tolueno</b>                  | 0.08              | 0.86                               |
| <b>benzeno</b>                  | 0.04              | 0.45                               |
| <b>n-heptano</b>                | 0.04              | 0.43                               |



| <b>Classes</b>    | <b>% formação de O<sub>3</sub></b> | <b>% em massa na atmosfera de COV</b> |
|-------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Aldeídos</b>   | <b>74%</b>                         | <b>35,3%</b>                          |
| <b>Aromáticos</b> | <b>14,5%</b>                       | <b>15,7%</b>                          |
| <b>Alcenos</b>    | <b>10,2</b>                        | <b>6,0%</b>                           |
| <b>Alcanos</b>    | <b>1,3%</b>                        | <b>13,5%</b>                          |
| <b>Alcadienos</b> | <b>0,03%</b>                       | <b>0,04%</b>                          |

# Ensaio Veicular conforme a norma NBR 6601

- **1.º Fase ou Fase Fria:**

- Inclui a partida com motor frio, tem duração de 505s e um percurso de 5,7 km, velocidade média ( $V_m$ ) de 41 km.h<sup>-1</sup>.

- **2.º Fase ou Fase estabilizada:**

- Duração de 866 segundos e um percurso de 6,2 km,  $V_m$  26 km.h<sup>-1</sup>.

Entre a segunda e a terceira fases há um tempo de 10 minutos, quando o veículo em teste fica parado com o motor desligado. Não há amostragem de gás nesse período.

- **3.º Fase ou Fase quente:**

- Inclui uma partida com motor aquecido e é igual à primeira fase.

## Fator de Emissão (FE) mg.km<sup>-1</sup>

| Compostos                              | Etanol FE | Gasolina FE | Diesel FE         | Moto FE |
|----------------------------------------|-----------|-------------|-------------------|---------|
| NO <sub>x</sub> (g.km <sup>-1</sup> )  | 0,08      | 0,64        | 0,78              | 0,07    |
| CO (g.km <sup>-1</sup> )               | 0,46      | 2,65        | 0,45              | 0,72    |
| COVNM (mg.km <sup>-1</sup> )           | 80,7      | 219         | 96,0              | 180     |
| CH <sub>4</sub> (mg.km <sup>-1</sup> ) | 37,0      | 32,0        | 5,2               | 16,0    |
| Aldeídos (mg.km <sup>-1</sup> )        | 12,6      | 6,2         | 58,6 <sup>a</sup> | -       |
| HCNM - IPEN (mg.km <sup>-1</sup> )     | 5,65      | 108         | 7,24              | 75,0    |

<sup>a</sup>Para veículos a diesel foram considerados os fatores de emissão de aldeídos (mg.km<sup>-1</sup>) do trabalho de Abrantes et. al. 2005.

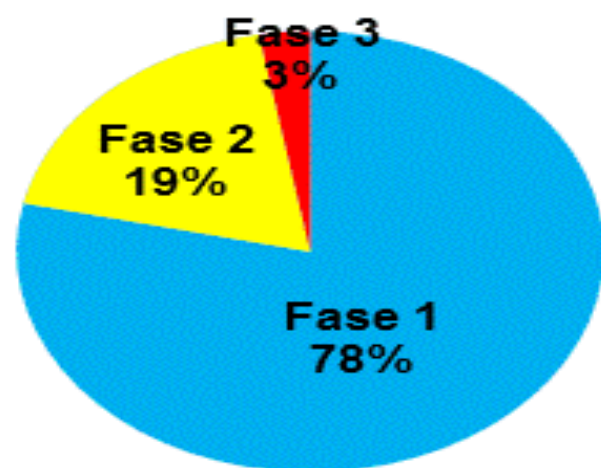
- Foram identificados e quantificados:
  - 64 COV nos veículos a etanol;
  - 89 COV nos veículos a gasolina;
  - 54 COV nos veículos a diesel;
  - 83 COV na motocicleta;

# Fator de Emissão (FE) mg.km<sup>-1</sup>

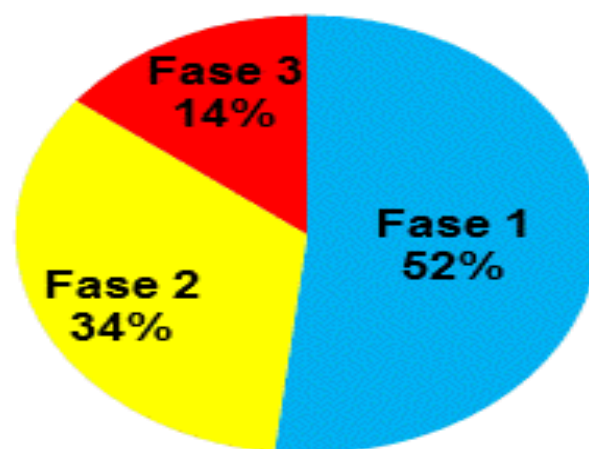
| Compostos                    | Etanol FE | Gasolina FE | Diesel FE         | Moto FE |
|------------------------------|-----------|-------------|-------------------|---------|
| <b>formaldeído</b>           | 1,97      | 1,55        | 43,1 <sup>a</sup> | -       |
| <b>acetaldeído</b>           | 10,7      | 4,85        | 15,5 <sup>a</sup> | -       |
| <b>isopentano</b>            | 0,80      | 10,33       | 0,15              | 4,56    |
| <b>pentano</b>               | 0,38      | 7,37        | 0,01              | 4,16    |
| <b>tolueno</b>               | 0,16      | 6,08        | 0,44              | 7,39    |
| <b>hexano</b>                | 0,29      | 5,49        | -                 | 2,25    |
| <b>benzeno</b>               | 0,15      | 5,31        | 1.74              | 4,12    |
| <b>2-metil-pentano</b>       | 0,35      | 5,00        | -                 | 2,24    |
| <b>1-buteno</b>              | 0,10      | 3,43        | 0,78              | 2,93    |
| <b>metilciclopentano</b>     | 0,24      | 3,31        | -                 | 0,82    |
| <b>p-xileno</b>              | 0,19      | 3,15        | 0,16              | 1,56    |
| <b>heptano</b>               | 0,13      | 2,92        | 0,02              | 0,97    |
| <b>3-metil-pentano</b>       | 0,19      | 2,90        | -                 | 1,45    |
| <b>1,2,4-trimetilbenzeno</b> | 0,16      | 2,41        | -                 | 2,30    |
| <b>butano</b>                | 0,09      | 2,40        | -                 | 0,62    |



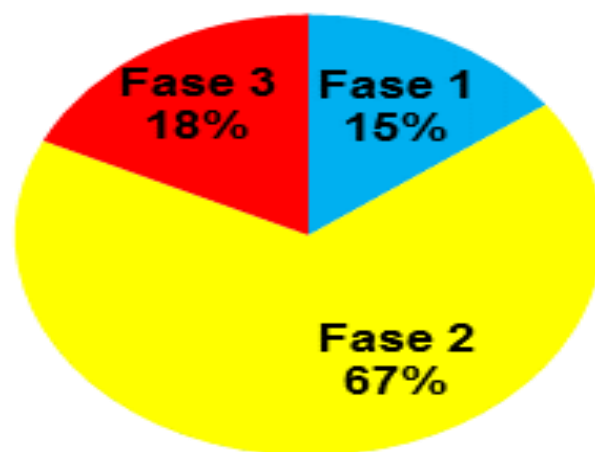
## Etanol



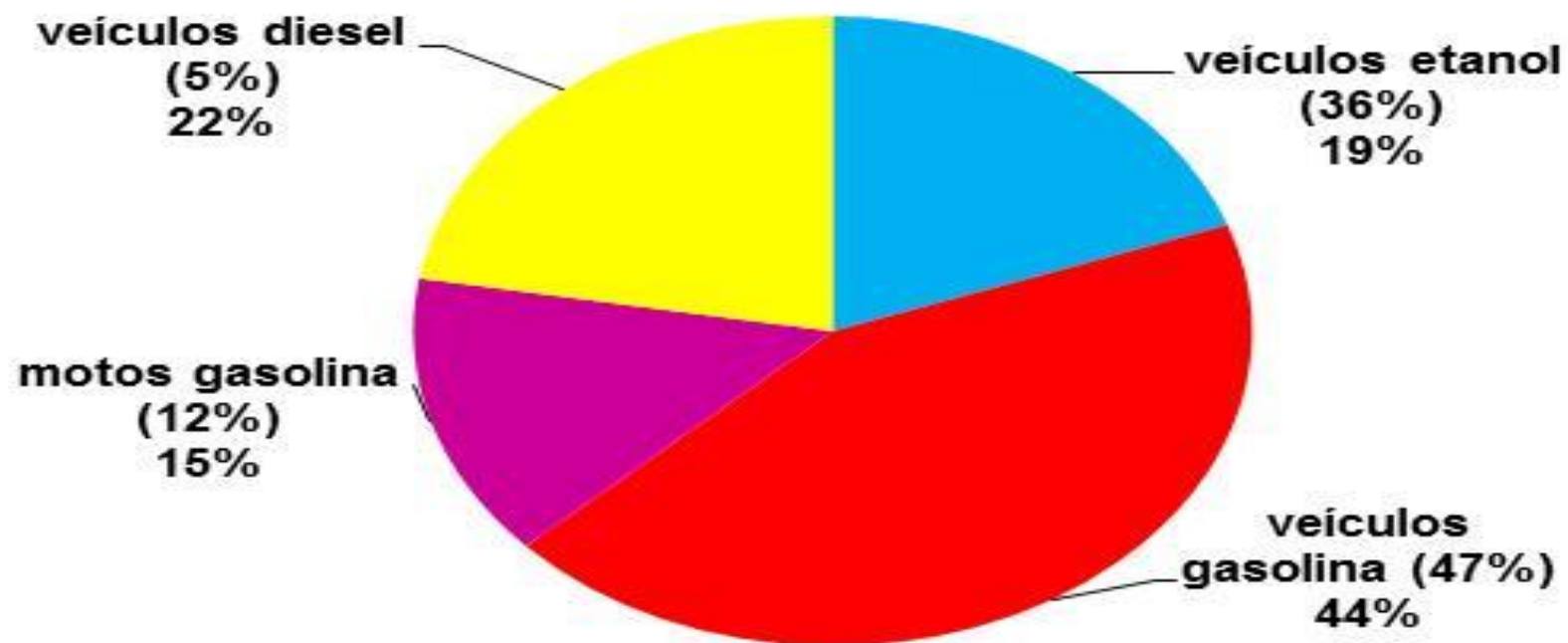
## Gasolina



## Diesel

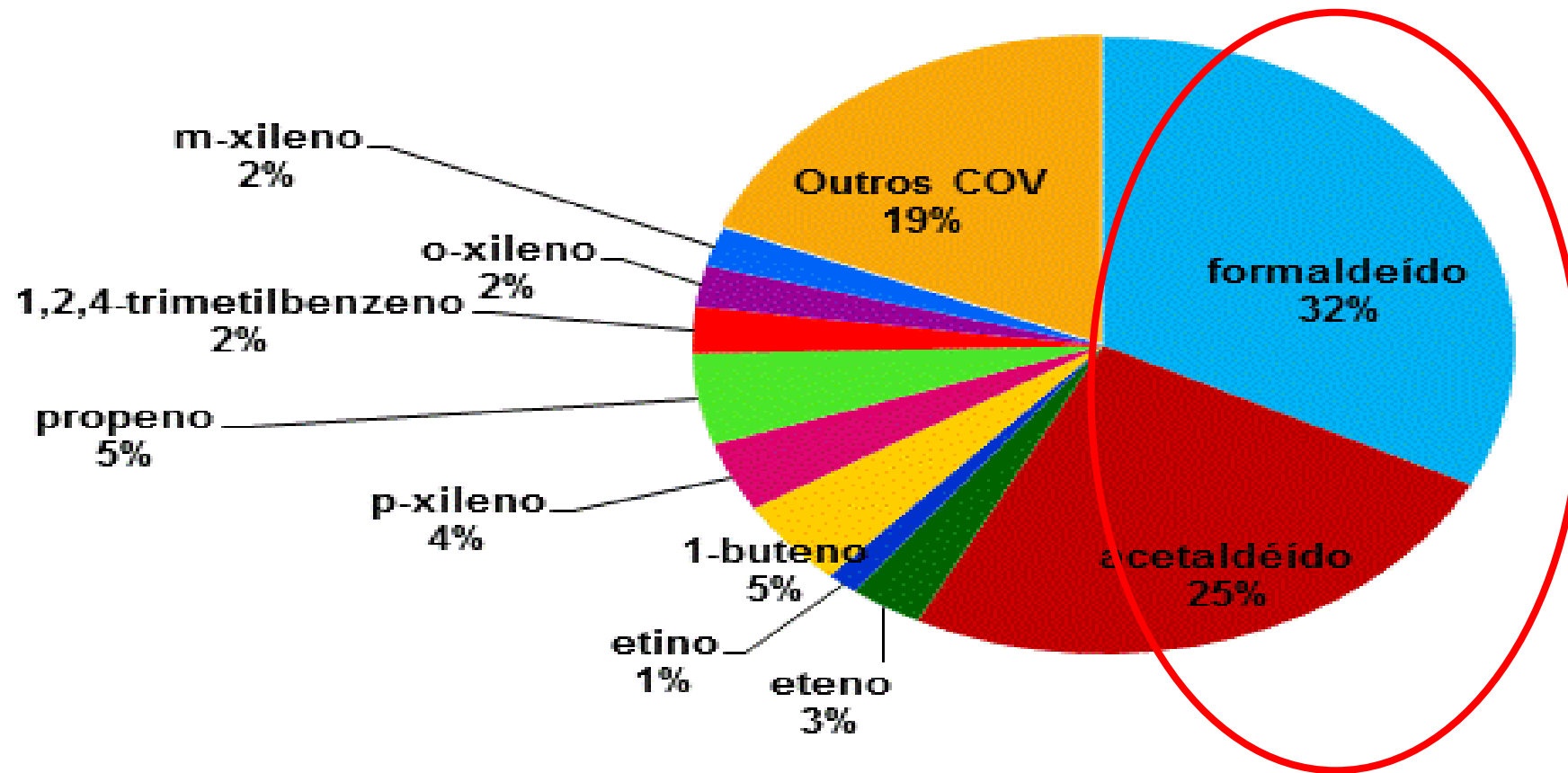


## Contribuição de Cada Classe de Veículos para Formação de O<sub>3</sub>

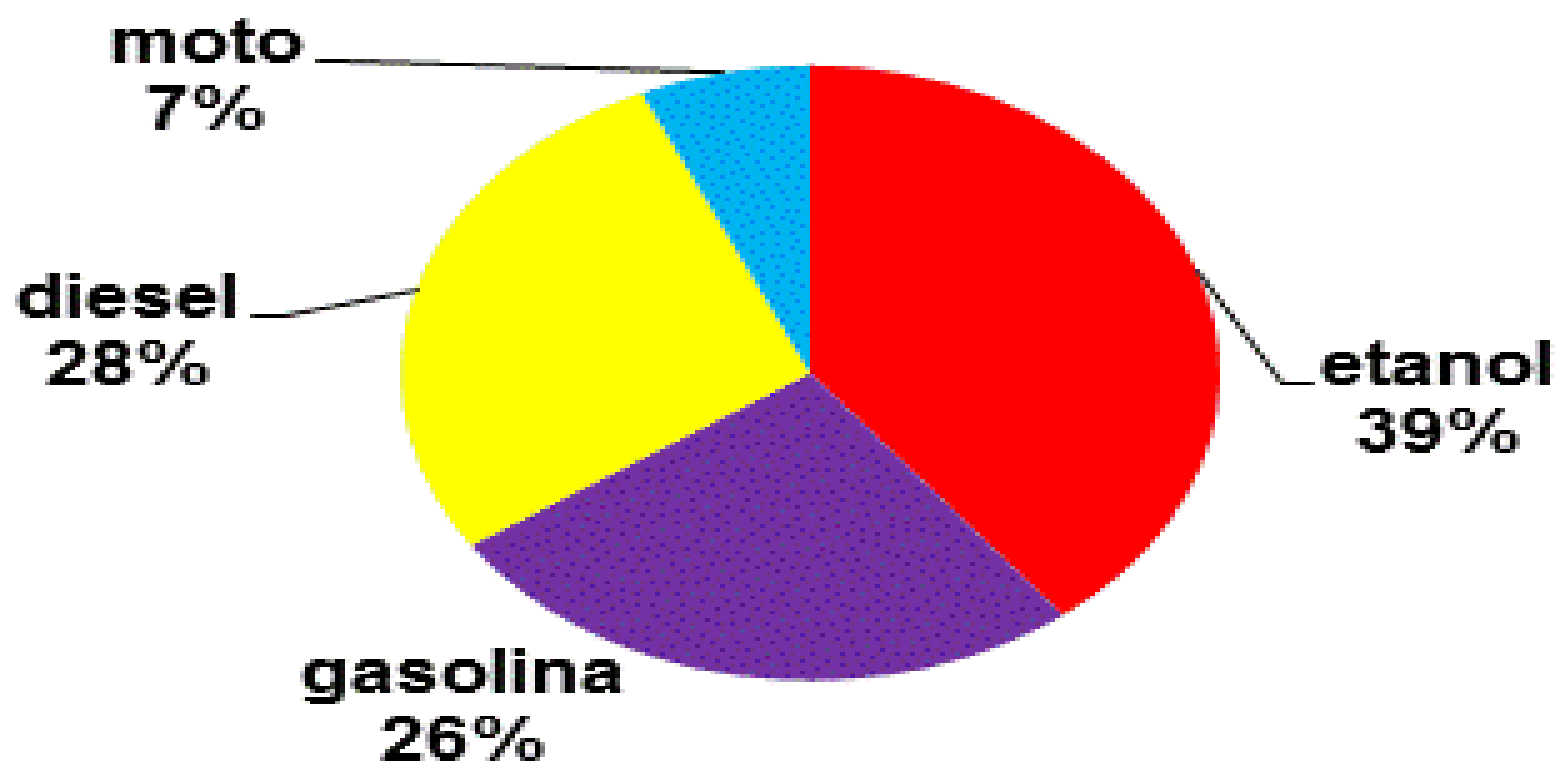


**Total de veículos: 6,5 milhões**

## Principais Precursores de O<sub>3</sub> considerando a contribuição de cada classe de veículos



# **Emissão de aldeídos por classe de veículos**



## Conclusões

- 10 COV mais abundantes encontrados na estação CETESB IPEN/USP: etanol, acetaldeído, formaldeído, acetona, propano, eteno, etano, butano, 1-etil-4-metilbenzeno e 1,2,4-trimetilbenzeno.
- Razões de COV/NO<sub>x</sub>: Primavera: 4, verão (3) , outono (3) e inverno (2).



- Classes formadores de  $O_3$ : 74% aldeídos, os aromáticos 14,5%, os alcenos 10,2%, os alcanos 1,3% e alcadienos (isopreno) 0,03%. Resultados para apontar quais medidas seriam eficientes no controle da formação de  $O_3$ .
- Reduzindo todos os aldeídos quantificados neste estudo a uma concentração desprezível na atmosfera ocorre uma redução nas concentrações de  $O_3$  em torno de 27%.
- Os aldeídos representam 69% dos COV emitidos em veículos a etanol em termos de massa ( $mg.km^{-1}$ ) e 88% nos veículos a diesel (dados utilizados de

Abrantes et al, .

- Os alcanos representaram 59% dos compostos emitidos em carros a gasolina e 34% da emissão em motocicletas.
- Os aldeídos são a principal classe de compostos na formação de  $O_3$  para emissão veicular, representando mais da metade da formação deste poluente.
- É necessário que seja estabelecido limite de emissão para aldeídos em veículos a diesel, pois estes emitem seis vezes a mais aldeídos do que veículos a etanol e gasolina, além de redução nos limites permitidos nos veículos a etanol e gasolina.

# Sugestões para Trabalhos Futuros

- Realizar mais estudos testando outros cenários de emissão e verificar o quanto isto altera os resultados obtidos pelo modelo OZIPR.
- Realizar mais campanhas de amostragens de COV em outros pontos da cidade de São Paulo e outras localidades da RMSP como: Guarulhos, São Bernardo do Campo, Santo André, Osasco e Mauá.

# Sugestões para Trabalhos Futuros

- Utilizar o modelo de trajetórias OZIPR (Ozone Isopleth Package for Research) para identificar os principais compostos precursores de  $O_3$  em outras regiões da região metropolitana de São Paulo.
- Realizar um número maior de ensaios veiculares para investigar quais são os tipos combustíveis que mais contribuem na emissão dos principais COV precursores de ozônio