

**CETESB**

**COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL**

---

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

TEORES DE MATERIAL PARTICULADO  
FINO, GROSSO, INALÁVEL E TOTAL  
NA ATMOSFERA DA GRANDE SÃO PAULO  
ECA/GSP Nº1

São Paulo  
Julho/88

031649 *ex. 2*

B210  
AL721 (RCET)  
031649

<b>CETESB</b>	<b>FICHA TÉCNICA BIBLIOGRÁFICA</b>
---------------	------------------------------------

DOCUMENTO				
TIPO Relatório Técnico	DATA Julho-88	ORIGEM DAMAR	Nº PÁGINA/V. 36	Nº MAPAS

TÍTULO DO DOCUMENTO	AUTOR RESPONSÁVEL
"Teores de material particulado Fino, Grosso, Inalável e Total na Atmosfera da Grande São Paulo - ECA/GSP nº1-"	ASSINATURA / CARIMBO / DATA

AUTORES / ENTIDADES OU UNIDADES A QUE PERTENCEM	DOCUMENTO AUTORIZADO POR
Claudio Darwin Alonso        -DAMAR Jesuino Romano                -DAMAR Maria Helena R.B.Martins    -DAMAR Roberto Codinho               -GQAR	ASSINATURA / CARIMBO / DATA

DOCUMENTO REVISADO
ASSINATURA / CARIMBO / DATA

CLASSIFICAÇÃO DE SEGURANÇA
<input checked="" type="checkbox"/> EXTERNA <input type="checkbox"/> INTERNA  <input type="checkbox"/> RESERVADA

PALAVRAS CHAVES
Material Particulado Poluição Atmosférica

CÓDIGO E TÍTULO DO PROJETO
Estudo de caracterização dos aerossóis da Grande São Paulo

DISTRIBUIÇÃO INTERNA
ÁREAS / Nº DE CÓPIAS  DAMAR / GQAR / PROCOP

USO DA BIBLIOTECA		
CLASSIFICAÇÃO DE ASSUNTO	Nº DOCUMENTO	VISTO / CARIMBO / DATA

## SUMARIO

1. Introdução.....	1
2. Considerações iniciais.....	2
3. Metodologia do estudo.....	5
3.1. Rede de amostragem.....	5
3.1.1. Aparelhagem utilizada.....	5
3.1.2. Altura de captação da amostra.....	6
3.1.3. Localização das estações.....	6
3.1.4. Período do estudo, frequência e duração de amostragem.....	6
3.2. Análises laboratoriais.....	7
4. Dados obtidos.....	8
4.1. Validação dos dados.....	8
4.2. Apresentação dos dados.....	9
5. Análise dos dados.....	9
5.1. Padrões de qualidade do ar para material particulado.....	9
5.1.1. Padrões considerados.....	9
5.1.2. Comparação com padrões.....	16
5.2. Estudo do tamanho de partículas.....	18
5.3. Estudo de sazonalidade.....	22
6. Conclusões e recomendações.....	28
7. Referências bibliográficas.....	30
8. Anexo.....	32

SECRETARIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

### LISTA DE ABREVIATURAS

PROCOP.....	Programa de Controle de Poluição
FAT/PROCOP.....	Programa de Assistência Técnica do Procop
ECA/GSP.....	Estudo de Caracterização dos Aerossóis da Grande São Paulo
EPA.....	Environmental Protection Agency
MP.....	Material Particulado
D <sub>50</sub> .....	Diâmetro de corte
PTS.....	Poeira Total em Suspensão
PI.....	Partículas inaláveis
PF.....	Partículas finas
PG.....	Partículas grossas
>10µm .....	Partículas maiores que 10µm
INV.....	Inverno
VOP.....	Verão, Outono e Primavera

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

No.	TITULO	PAG
1	Localização dos pontos de amostragem.....	06
2	Parâmetros estatísticos dos critérios.....	08
3	Resumo dos dados da estação S.Caetano.....	14
4	Resumo dos dados da estação D.Pedro.....	14
5	Resumo dos dados da estação Ibirapuera.....	15
6	Resumo dos dados da estação Osasco.....	15
7	Padrões de qualidade do ar para material particulado.....	16
8	Dados de PTS em relação ao padrão.....	17
9	Dados de PI em relação ao padrão.....	17
10	Sobredose de PTS e PI em relação ao padrão anual	18
11	Composição percentual dos tamanhos de partícula em relação a PTS.....	19
12	Composição percentual dos tamanhos de partícula em relação a PI.....	21
13	Dados estatísticos para estudo de sazonalidade..	23
14	Sazonalidade observada.....	24
15	Concentrações médias sazonais.....	27
16	Percentuais de acréscimo das concentrações em INV em relação à VOP.....	27
Anexo		
	Valores individuais de concentração mássica estação S.Caetano.....	33
	Valores individuais de concentração mássica estação D.Pedro.....	34
	Valores individuais de concentração mássica estação Ibirapuera.....	35
	Valores individuais de concentração mássica estação Osasco.....	36

## LISTA DE FIGURAS

No.	TITULO	PAG
1	Distribuição típica do tamanho de partículas....	04
2	Concentrações mássicas do particulado fino.....	10
3	Concentrações mássicas do particulado grosso ...	11
4	Concentrações mássicas do particulado inalável..	12
5	Concentrações mássicas do particulado total.....	13
6	Percentagem de PF, PG e >10µm em relação à PTS...	19
7	Percentagem de Pf e PG em relação à PI.....	21
8	Faixas de níveis - S.Caetano.....	25
9	Faixas de níveis - D.Pedro.....	25
10	Faixas de níveis - Ibirapuera.....	26
11	Faixas de níveis - Osasco.....	26

TEORES DE MATERIAL PARTICULADO  
FINO, GROSSO, INALAVEL E TOTAL  
NA ATMOSFERA DA GRANDE SAO PAULO  
ECA/GSP N°1

## 1. INTRODUÇÃO

As medições de material particulado em suspensão na atmosfera da grande São Paulo tem mostrado que este poluente apresenta violações de padrão na maioria das estações medidoras, sendo hoje o tipo de poluente que tem merecido a maior atenção. Tanto assim que a CETESB estabeleceu um programa de controle das emissões de fontes estacionárias que vem sendo implantado nestes últimos anos, e que tem como meta uma redução de 78,5% das emissões estimadas em 1979. Tal plano de controle é parte integrante do PROCOP - Programa de Controle de Poluição - que possui sustentação econômica tanto nacional como internacional.

O Programa de Assistência Técnica do Procop -PAT/PROCOOP- possui entre outros, o sub-programa "Estudo de Caracterização dos Aerossóis da Grande São Paulo" - ECA/GSP - que na sua proposta inicial<sup>(1)</sup> apresenta como objetivos:

a) conhecer as características físicas dos aerossóis quanto ao tamanho de partículas nas seguintes categorias:

- Poeira Total em Suspensão (menores que 30  $\mu\text{m}$ )
- Poeiras Inaláveis (menores que 10  $\mu\text{m}$ )
- Poeiras Inaláveis Grossas (entre 2,5 e 10  $\mu\text{m}$ )
- Poeiras Inaláveis Finas (menores que 2,5  $\mu\text{m}$ )

b) caracterizar as poeiras quanto à composição química.

c) identificar e quantificar os elementos tóxicos presentes nos aerossóis.

- d) identificar quais as principais fontes emissoras de material particulado bem como quantificar suas participações na formação da poluição em S.Paulo, com o uso de modelo receptor.

O presente relatório é o primeiro da série ECA-GSP e apresenta os resultados da caracterização física dos aerossóis, conforme estabelecido no item a.

## 2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.

O material particulado (MP) - muitas vezes também chamado de "poeira em suspensão" ou "aerossol" - é um termo genérico para uma grande classe de substâncias químicas que existem na atmosfera como partículas. Fisicamente se apresentam, como sólidos ou gotículas líquidas e sob uma extensa gama de tamanhos. São provenientes das mais variadas fontes fixas bem como de fontes móveis. Podem tanto ser emitidos diretamente pelas fontes (particulados primários) bem como serem formados na atmosfera a partir da transformação de gases e vapores em particulados (particulados secundários) por exemplo pela transformação do gás  $SO_2$  no particulado sulfato.

Dada a diversidade de origem, características químicas e físicas das poeiras atmosféricas um estudo aprofundado desse tipo de poluição exige a aplicação de um grande conjunto de técnicas de investigação bem como conhecimentos de seus possíveis danos ao meio ambiente. Assim a caracterização química permite investigar a presença de componentes tóxicos, bem como a verificação da origem dos materiais com a aplicação de modelos receptores.

A caracterização física, que é o objetivo do presente

estudo, é importante para a verificação do grau de agressividade dos aerossóis presentes na atmosfera a nível da penetração no trato respiratório das pessoas.

Inicialmente os padrões de qualidade do ar foram estabelecidos para a Poeira Total em Suspensão (PTS) 2,3,4 e se referiam as partículas presentes na atmosfera com diâmetro de corte ( $D_{50}$ ) menores que aproximadamente  $30\mu\text{m}$ . Nos últimos 15 anos um grande avanço no conhecimento dos aerossóis atmosféricos e seus efeitos adversos à saúde humana e ainda uma paralela melhoria nas técnicas de medição, fez com que se concluísse que os padrões de qualidade deveriam se referir à concentração de material particulado nas faixas de tamanho de partículas que efetivamente tem efeito deletério à saúde via trato respiratório.

A recente publicação<sup>5</sup> de novos padrões de material particulado na atmosfera adotados nos Estados Unidos pela EPA, resume os conhecimentos que foram levados em conta no estabelecimento destes padrões e que são:

- 1 - Os riscos à saúde provocados por partículas inaladas são influenciados tanto pela penetração como pela deposição das partículas nas várias regiões do trato respiratório e pelas respostas biológicas a estes materiais depositados. Partículas maiores se depositam na região extra-torácica, com partículas menores se depositando na região traqueobronquial. Partículas ainda menores podem atingir as partes mais profundas dos pulmões (região alveolar).
- 2 - Os riscos de efeitos adversos à saúde associados com a deposição típica de partículas atmosféricas finas e grossas no tórax são marcadamente maiores que aquelas associadas com a deposição na região extra-torácica. A máxima penetração de partículas na região torácica ocorre durante

a respiração oronasal ou apenas oral.

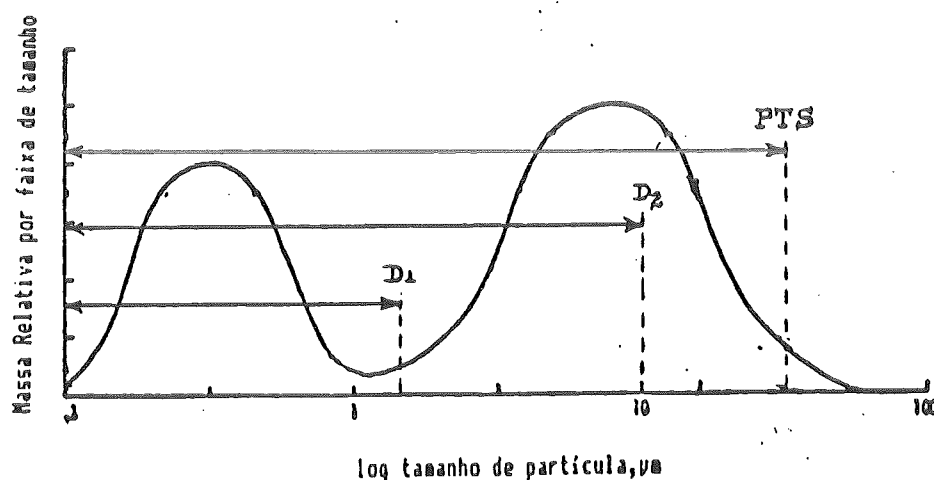
3 - O novo indicador baseado no tamanho da partícula deve apresentar aquelas que pelo seu pequeno tamanho atingem efetivamente a região torácica, tanto a traqueobronquial como a alveolar. Os riscos à saúde representados pela deposição de partículas na região extra-torácica é suficientemente baixo para permitir a exclusão dessas partículas do indicador.

Estas conclusões em conjunto com outras provenientes de estudos da composição dos poluentes atmosféricos levaram a EPA a adotar um padrão de qualidade do ar para partículas com diâmetros de corte de 10  $\mu\text{m}$ .

Informações sobre as características físicas dos aerossóis, onde a principal é a distribuição do tamanho de partículas devem ser levadas em conta.

A distribuição típica de tamanho de partícula de um aerossol urbano é representada na figura 1 a seguir:

Figura 1 - Distribuição típica do tamanho de partículas



Verifica-se na figura a existência de uma primeira moda entre 0,1 e 1,0  $\mu\text{m}$  e uma segunda a partir de 1,0  $\mu\text{m}$  com um máximo em aproximadamente 10  $\mu\text{m}$ .

Combinando-se as informações sobre risco à saúde com aquelas referentes a distribuição típica de tamanho de partículas na atmosfera urbana, verificou-se a necessidade de medições das concentrações dos aerossóis da grande São Paulo em 3 faixas de tamanho a saber:

$D_1$  = Partículas finas (PF) tamanho  $< 2,5\mu\text{m}$

$D_2$  = Partículas grossas (PG) tamanho entre 2,5 $\mu\text{m}$  e 10 $\mu\text{m}$

PTS = Partículas totais em suspensão - tamanho  $< 30 \mu\text{m}$

### 3 - METODOLOGIA DE ESTUDO

#### 3.1. Rede de amostragem

##### 3.1.1. Aparelhagem utilizada

Cada estação da rede de amostragem foi constituída de 1 amostrador de grandes volumes - para avaliação de PTS - e 1 amostrador dicotômico para medição de PI sendo que este último ainda divide as PI em duas frações PF  $< 2,5 \mu\text{m}$  e PG entre 2,5 e 10  $\mu\text{m}$ . O amostrador de grandes volumes foi calibrado com um dispositivo de placas de orifício devidamente aferido pela metodologia padrão (uso de Roots-Meter). Os dois fluxos do amostrador dicotômico foram calibrados com um medidor úmido de volumes (Wet-Test Meter). Recalibrações foram efetuadas toda vez que ocorreram manutenções e troca de peças de qualquer amostrador.

### 3.1.2. Altura de captação da amostra

Em todas as estações os equipamentos foram colocados a 3 metros do solo, seguindo-se regras internacionais e obtendo-se uniformidade de amostragem.

### 3.1.3. Localização das estações

O estudo foi realizado em 4 pontos de amostragem espalhados na região metropolitana da grande São Paulo, de forma a se obter dados em regiões de diferente uso de solo. Os pontos de amostragem estão descritos no quadro 1.

QUADRO 1 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

NOME	ENDEREÇO	USO DO SOLO
SAO CAETANO	Praça Italia S.Caetano do Sul	Industrial/ misto
FARQUE D. PEDRO	P.D.Pedro II São Paulo	Comercial
IBIRAPUERA	Parque do Ibirapuera São Paulo	Residencial
OSASCO	Praça 31 de Março Osasco	Industrial/ misto

### 3.1.4. Período do estudo, frequência e duração de amostragem

O estudo se desenvolveu entre novembro de 1986 e outubro de 1987. Foram coletadas amostras com a frequência de 1 amostra a cada 6 dias. Cada amostra foi coletada por um período contínuo de 24 horas.

### 3.2. Análises laboratoriais

As análises laboratoriais consistiram na determinação gravimétrica do material coletado, e para tanto pesaram-se os filtros antes e após a amostragem. O amostrador de grandes volumes utiliza filtros de fibra de vidro que são condicionados por 24 horas em uma estufa especial onde a temperatura permanece na faixa de 20 a 25°C e a umidade relativa em torno de 40%. Este tratamento foi aplicado aos filtros tanto antes como após a amostragem. A pesagem foi efetuada em uma balança Torball com sensibilidade de 0,1 mg. O controle de qualidade da pesagem foi efetuado pela verificação de zero antes e após a pesagem de cada 12 filtros.

O amostrador dicotômico utiliza filtros de Teflon que também foram condicionados em local com umidade relativa controlada - 40% - e temperatura entre 20 e 25°C. Neste caso tanto os filtros como a balança são colocados dentro de uma campânula de acrílico onde o controle da umidade é efetuado com o auxílio de sílica gel. A pesagem foi efetuada em uma microbalança Mettler com sensibilidade de 1µg. Imediatamente antes da pesagem os filtros tiveram suas cargas eletrostáticas anuladas pela ação de fonte alfa de Po. Um rigoroso controle de qualidade foi efetuado para garantia dos resultados que neste caso é crítico visto as massas amostradas serem muito pequenas, da ordem de microgramas. Diariamente foi efetuada a calibração da balança utilizando-se os recursos que ela possui. Um filtro não amostrado foi utilizado como referência durante todo o estudo, servindo para demonstrar se a balança não possuía variabilidade de pesagem durante a operação. Tal filtro era pesado antes e após o conjunto

de filtros que seriam pesados em cada partida. Uma variação maior que 10µg entre a pesagem inicial e final do filtro controle implicaria numa repesagem do lote inteiro.

#### 4. DADOS OBTIDOS

##### 4.1. Validação dos dados

Os dados das diversas frações de poeira usados neste trabalho, passaram por um processo de validação que consistiu da verificação da aquisição de amostras segundo os procedimentos estabelecidos (horário inicial, duração da amostragem, controle de fluxo e característica do material coletado no filtro ) assim como a sua consistência interna em relação aos outros dados. A verificação da consistência interna foi efetuada com as mesmas diretrizes que mostraram um trabalho da EPA<sup>6</sup>, porém adaptando-se os números para o conjunto de dados de São Paulo. As relações utilizadas para a elaboração dos critérios foram:

$$\text{Critério 1} = \frac{PG}{PTS - PI}$$

$$\text{Critério 2} = \frac{PI}{PTS}$$

$$\text{Critério 3} = \frac{PG}{FF}$$

Foram efetuadas estas relações para todas as amostras e retiradas as médias e os desvios padrão da relações, cujos resultados são apresentados no quadro 2.

QUADRO 2 -PARAMETROS ESTATISTICOS DOS CRITERIOS

CRITERIO	MEDIA	DESVIO (s)	1,965s	3,095s
1	0,291	0,068	0,133	0,210
2	0,50	0,10	0,20	0,31
3	0,73	0,31	0,61	0,96

Utilizou-se a seguir procedimentos de controle de qualidade. Dessa maneira todos os valores que se encontraram na faixa da média  $\pm 1,965s$  foram aceitos. Amostras cujos valores estivessem entre a média  $\pm 1,965s$  e média  $\pm 3,095s$  foram rigorosamente reverificados, desde as anotações de amostragem e pesagem, observação dos filtros e refeitos todos os cálculos. Após este procedimento os dados foram aceitos. Amostras cujos valores fossem maiores que a média  $\pm 3,095s$  também passaram pelos mesmos procedimentos de reverificação, sendo finalmente rejeitados caso persistissem em se afastar da média além dos  $3,095s$  estabelecidos.

#### 4.2. Apresentação dos dados

Dada a grande quantidade de dados obtidos, os mesmos são apresentados em forma gráfica na figuras 2 a 5 a seguir. Os valores discretos dos dados obtidos se encontram nas tabelas do anexo.

Um resumo dos dados obtidos em cada estação é apresentado nos quadros 3, 4, 5, 6.

### 5. ANALISE DOS DADOS

#### 5.1 Padrões de qualidade do ar para material particulado

##### 5.1.1 Padrões considerados

A legislação brasileira tanto federal<sup>2</sup> como estadual<sup>3</sup> estabelece padrões de qualidade de Ar para MP tanto para períodos

FIG.2 CONC. MASSICA-PARTICULADO FINO

FIG. 2A - SAO CAETANO

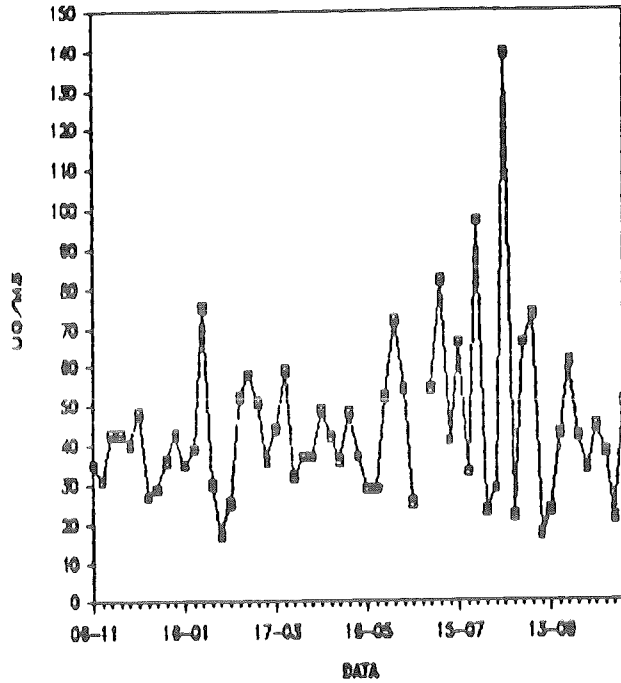


FIG. 2B - D.PEDRO

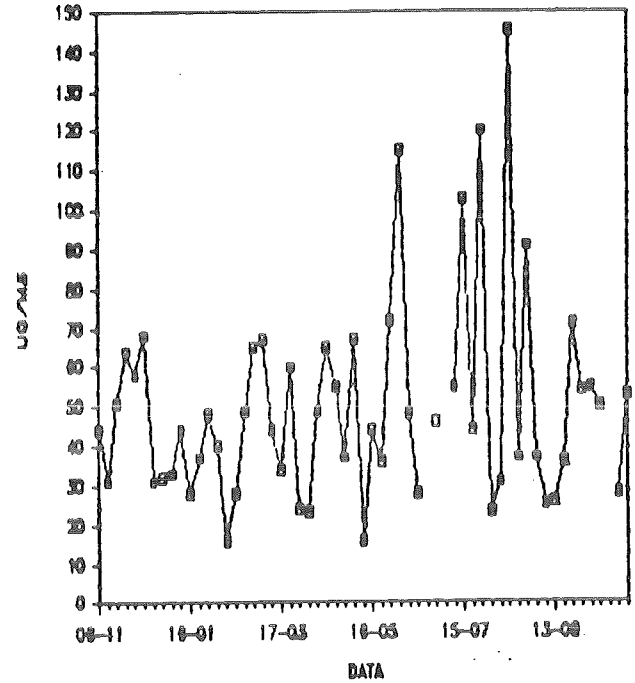


FIG. 2C - IBIRAPUERA

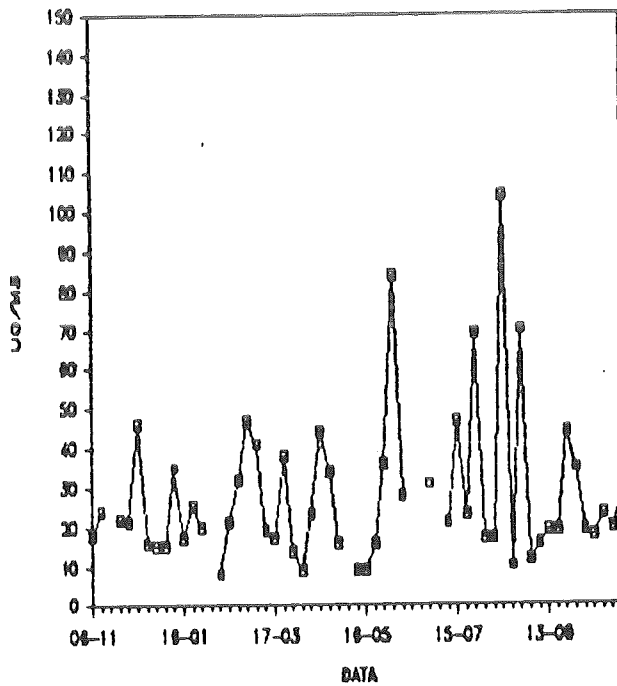
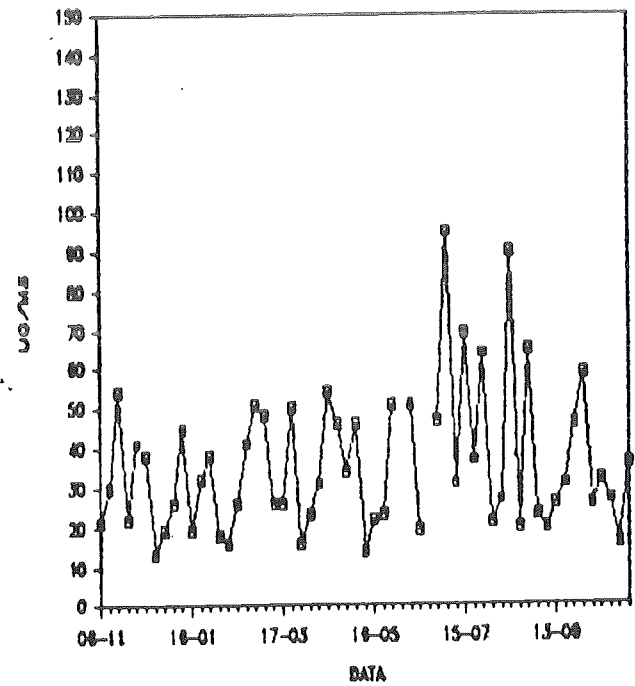


FIG. 2D - OSASCO



### FIG.3 CONC. MASSICA-PARTICULADO GROSSO

FIG. 3A - SAO CAETANO

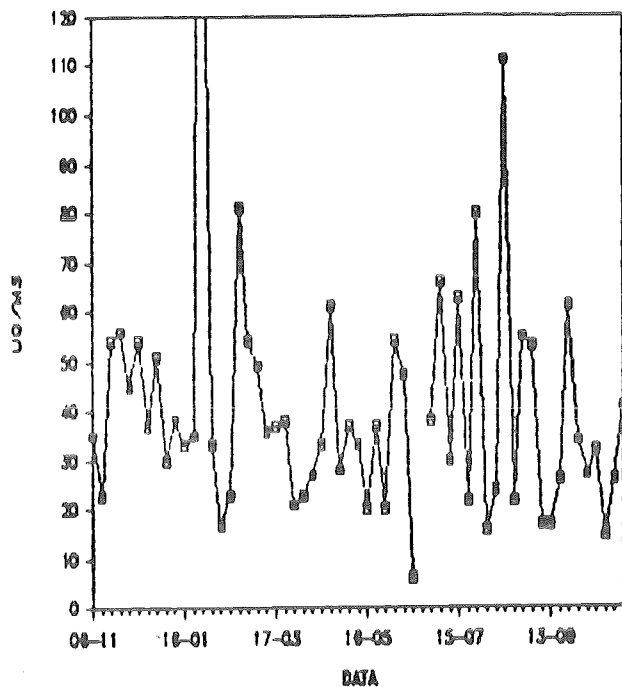
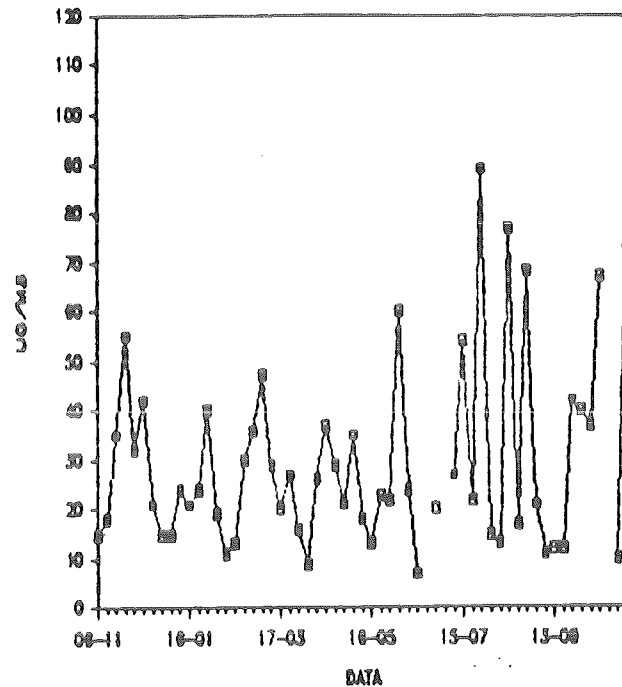


FIG. 3B - D.PEDRO



CETESB - CIA. DE RECURSOS DE MANEJO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

FIG. 3C - IBIRAPUERA

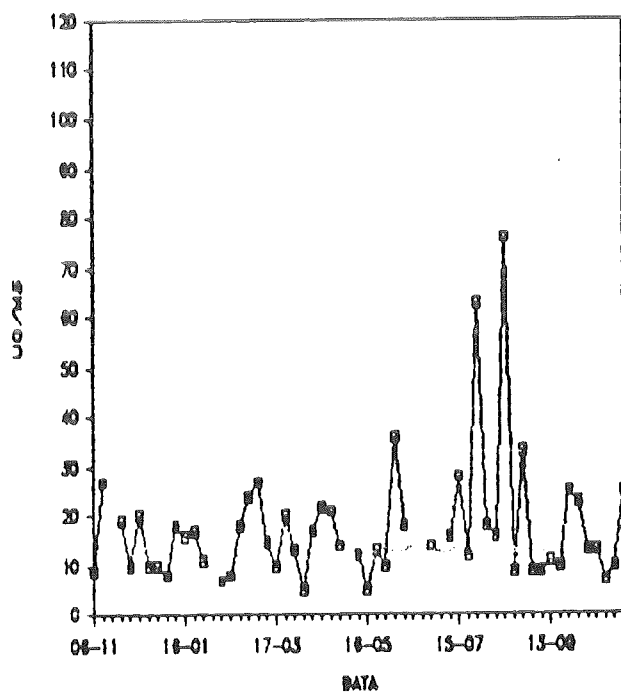


FIG. 3D - OSASCO

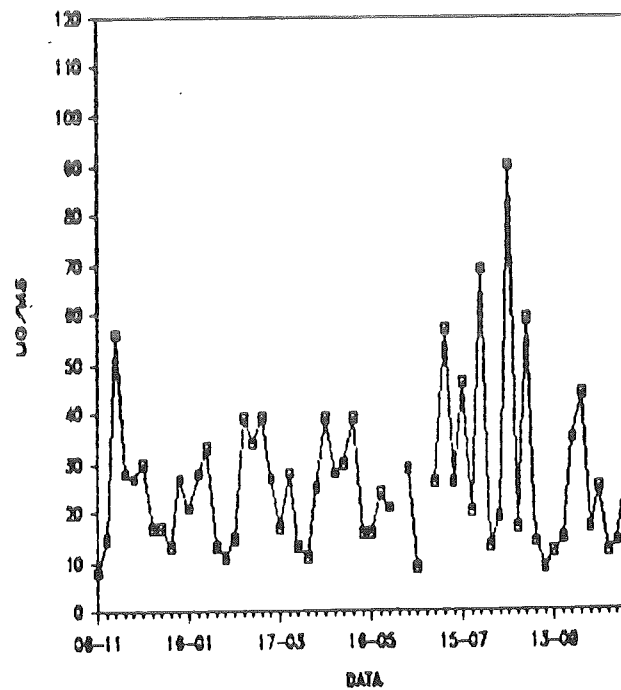


FIG.4 CONC.MASSICA-PARTICULADO INALVEL

FIG. 4A - SAO CAETANO

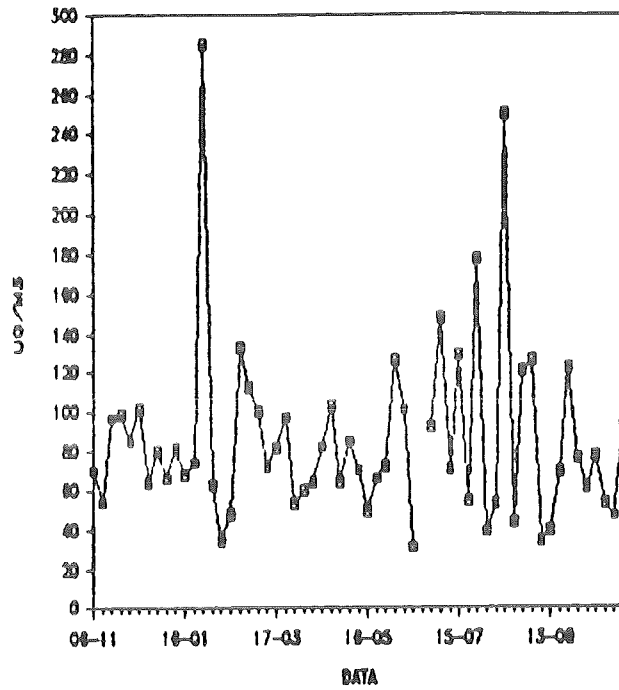


FIG. 4B - D.PEDRO

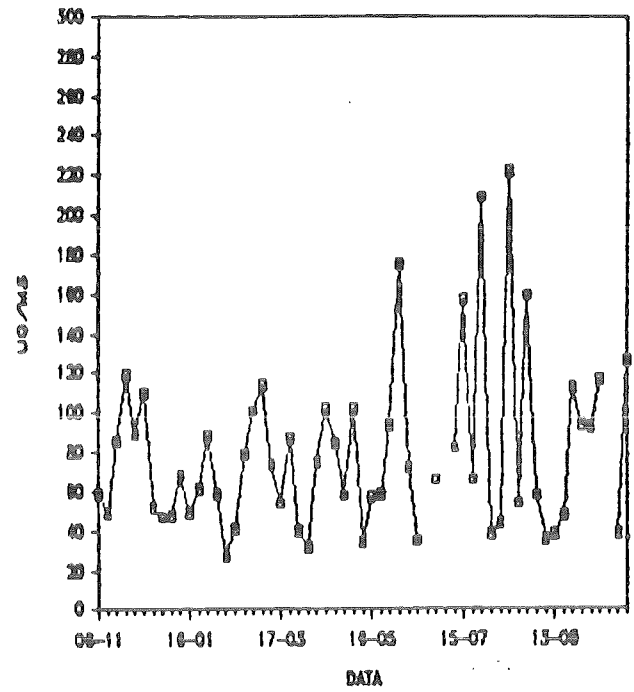


FIG. 4C - IBIRAPUERA

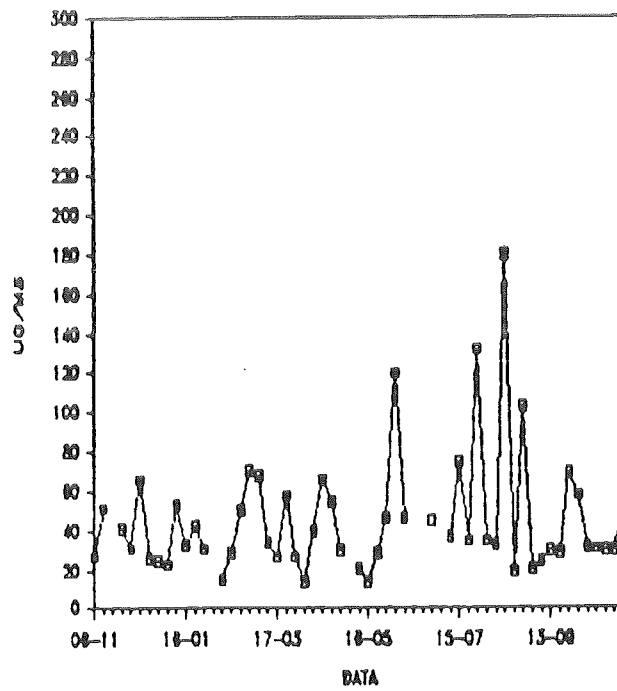


FIG. 4D - OSASCO

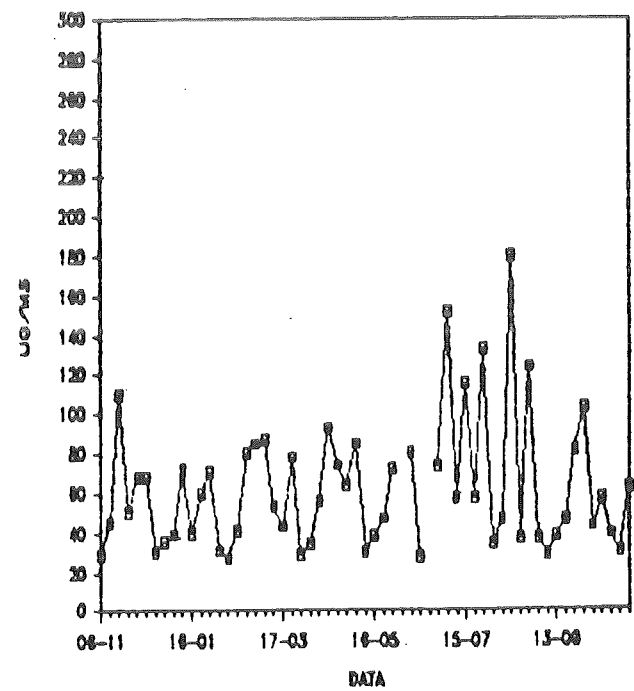


FIG.5 CONC. MASSICA-PARTICULADO TOTAL

FIG. 5A - SAO CAETANO

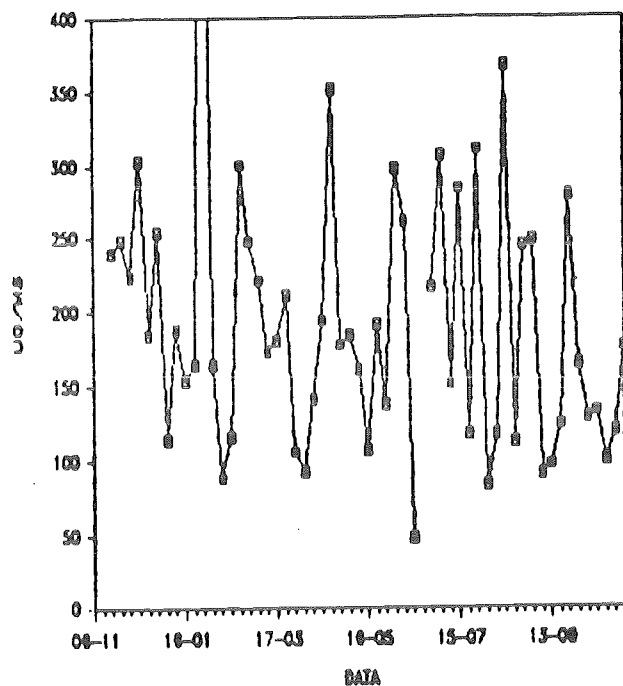


FIG. 5B - D.PEDRO

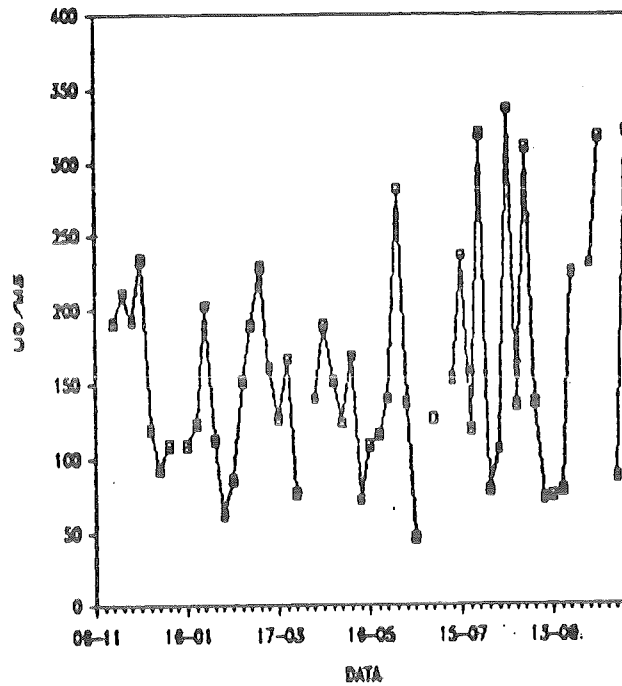


FIG. 5C - IBIRAPUERA

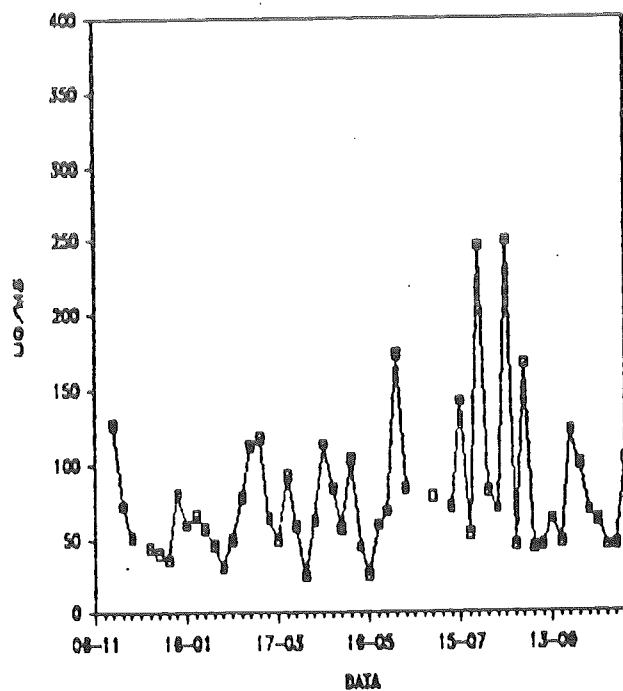
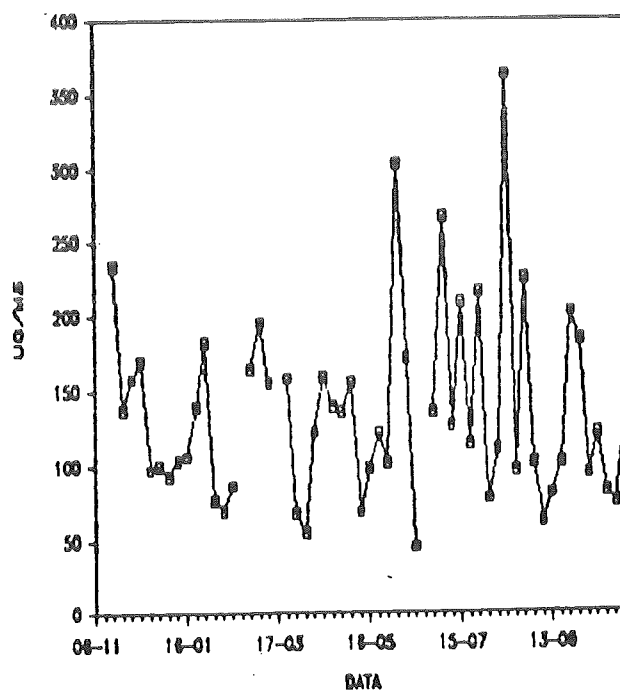


FIG. 5D - OSASCO



## QUADRO 3 - RESUMO DOS DADOS DA ESTACAO S. CAETANO

	PF ug/m <sup>3</sup>	PG ug/m <sup>3</sup>	PI ug/m <sup>3</sup>	PTS ug/m <sup>3</sup>
Media Aritmetica	44	41	85	197
Desvio Aritmetico	21	29	46	112
Media Geometrica	41	35	77	175
Desvio Geometrico	1.51	1.73	1.56	1.61
Maximo	139	210	285	818
Minimo	17	6	31	48
No. Dados	58	58	58	56

## QUADRO 4 - RESUMO DOS DADOS DA ESTACAO D.PEDRO

	PF ug/m <sup>3</sup>	PG ug/m <sup>3</sup>	PI ug/m <sup>3</sup>	PTS ug/m <sup>3</sup>
Media Aritmetica	50	30	79	159
Desvio Aritmetico	25	19	42	75
Media Geometrica	44	25	70	142
Desvio Geometrico	1.59	1.80	1.63	1.60
Maximo	145	89	222	336
Minimo	16	7	27	46
No. Dados	56	56	56	51

## QUADRO 5 - RESUMO DOS DADOS DA ESTACAO IBIRAFUERA

	PF ug/m <sup>3</sup>	PG ug/m <sup>3</sup>	PI ug/m <sup>3</sup>	PTS ug/m <sup>3</sup>
Media Aritmetica	28	18	45	79
Desvio Aritmetico	19	12	31	47
Media Geometrica	23	15	39	69
Desvio Geometrico	1.76	1.72	1.71	1.64
Maximo	104	76	180	250
Minimo	8	5	14	25
No. Dados	53	53	53	53

## QUADRO 6 - RESUMO DOS DADOS DA ESTACAO OSASCO

	PF ug/m <sup>3</sup>	PG ug/m <sup>3</sup>	PI ug/m <sup>3</sup>	PTS ug/m <sup>3</sup>
Media Aritmetica	36	26	62	136
Desvio Aritmetico	18	16	33	63
Media Geometrica	32	23	55	124
Desvio Geometrico	1.60	1.71	1.61	2
Maximo	95	90	180	363
Minimo	13	8	27	45
No. Dados	57	57	57	54

.16.

curtos de exposição - médias de 24 hs como para períodos longos -médias anuais- e se referem à PTS ou seja para partículas <30µm. A legislação dos Estados Unidos<sup>3</sup> adotou recentemente padrões tanto anuais como para 24 hs que se referem especificamente às partículas inaláveis (PI) ou seja para partículas < 10 µm. Os valores destes padrões se encontram no quadro 7.

QUADRO 7 - PADRÕES DE QUALIDADE DO AR PARA MATERIAL PARTICULADO

ORIGEM	POLUENTE	TEMPO DE ANOSTRAGEM	PADRAO µg/m <sup>3</sup>	CRITERIOS PARA EPISODIOS		
				ATENÇÃO	ALERTA	EMERGENCIA
BRASIL	Partículas Totais em Suspensão	24hs (1)	240	375 µg/m <sup>3</sup>	625 µg/m <sup>3</sup>	875 µg/m <sup>3</sup>
		MGA (2)	80			
U.S.A.	Partículas Inaláveis	24hs	150	não considerado		
		MAA (3)	50			

(1) Não deve ser excedido mais uma vez por ano

(2) MGA = Média geométrica anual

(3) MAA = Média aritmética anual

Neste trabalho utiliza-se os padrões brasileiros para análise de PTS e padrões dos Estados Unidos para a análise de PI.

### 5.1.2 Comparação com padrões

Os dados apresentados nos quadros 8 e 9 facilitam a comparação com os padrões que são utilizados conforme já descrito no item anterior.

QUADRO 8 - DADOS DE PTS EM RELAÇÃO AO PADRÃO

ESTAÇÃO	N	MGA $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ULTRAPASSAGEM DE PADRÃO Z DE DIAS					
			24 hs	Atenção	Alerta	Emergencia	1a.max - $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2a.max - $\mu\text{g}/\text{m}^3$
OSASCO	54	124	5,6%	-	-	-	363	303
IBIRAPUERA	53	69	3,8%	-	-	-	250	246
D. PEDRO	51	142	11,8%	-	-	-	336	321
S. CAETANO	56	175	28,6%	-	1,8	-	818	368

N = Número de medições

MGA = Média geométrica anual

1a. e 2a. máxima = Os dois maiores valores observados

QUADRO 9 - DADOS DE PI EM RELAÇÃO AO PADRÃO

ESTAÇÃO	N	MAA $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ULTRAPASSAGEM DE	1a.max	2a.max
			DE PADRÃO DE 24 HS.		
			Z DE DIAS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
OSASCO	57	62	3,7%	180	152
IBIRAPUERA	53	45	1,9%	180	132
D. PEDRO	56	79	8,9%	222	209
S. CAETANO	58	86	5,2%	285	250

N = Número de dados

MAA = Média aritmética anual

1a. e 2a. máx. = os dois maiores valores observados

No que diz respeito à PTS, observa-se que o padrão anual ( $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) é violado em todas as estações com exceção do Ibirapuera. Já em relação ao padrão diário a violação ocorre em todas as estações, sem exceção, e até mesmo níveis de alerta foram observados na estação de São Caetano. Em relação à PI, tomando-se com referência a legislação dos Estados Unidos, observa-se que o padrão anual ( $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) é violado em todas as estações, havendo aqui também exceção ao Ibirapuera. O padrão diário ( $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) é

violado em todas as estações.

O quadro a seguir permite verificar qual o nível em que os padrões estão sendo violados.

QUADRO 10 - SOBREDOSE DE PTS E PI EM RELAÇÃO AO PADRÃO ANUAL

ESTAÇÃO	SOBREDOSE PTS	SOBREDOSE PI
IBIRAPUERA	zero	zero
OSASCO	55%	24%
D. PEDRO	77,5%	58%
SAO CAETANO	118,7%	72%

Verifica-se que a sobredose (percentagem do que excede ao padrão) tanto na PTS como na PI é variável de acordo com as estações e se dá com menor intensidade na poeira inalável.

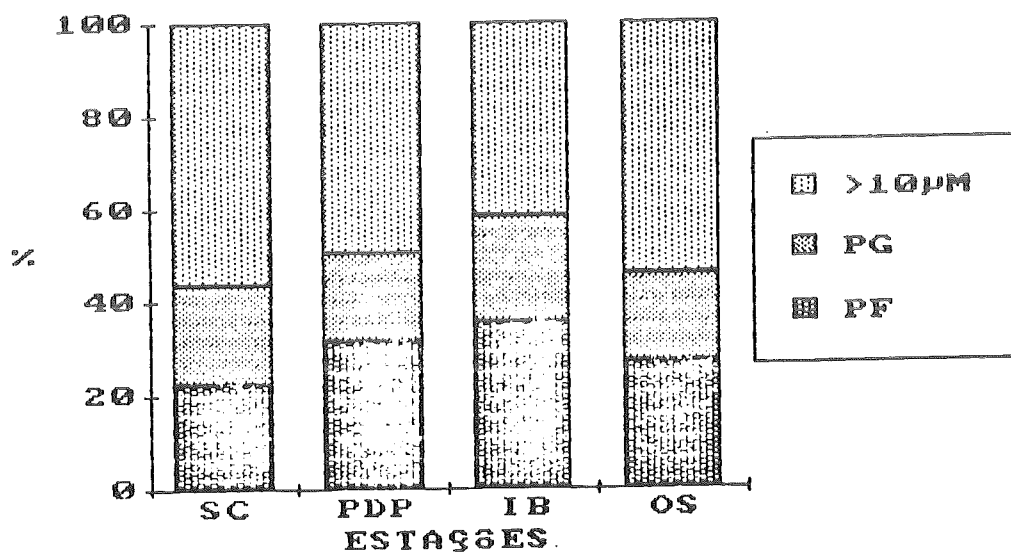
## 5.2. Estudo do tamanho de partículas

Os dados obtidos permitem que se verifique qual a composição dos aerossóis em termos de tamanho de partículas. O quadro 11 e figura 6 mostram a composição percentual do PF e PG em função do PTS.

QUADRO 11 - COMPOSIÇÃO PERCENTUAL DOS TAMANHOS DE PARTICULA EM RELAÇÃO A PTS

ESTAÇÃO	PF %	PG %	PI %	>10 %
SAO CAETANO	22,3	20,8	43,1	56,9
D. PEDRO	31,4	18,9	50,3	49,7
IBIRAPUERA	35,4	22,8	58,2	41,8
OSASCO	26,5	19,1	45,6	54,4

FIGURA 6 - PERCENTAGENS DE PF, PG E &gt;10µm EM RELAÇÃO A PTS



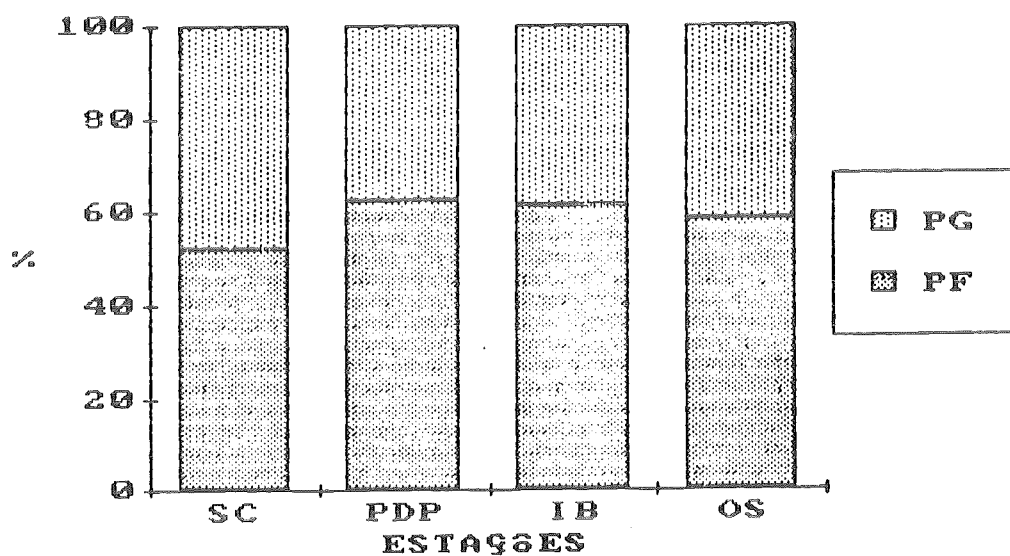
Deve-se ressaltar que no quadro a % de FI representa a soma de PF e PG e esta observação é obviamente também válida para o gráfico da figura 6. Observa-se que as partículas inaláveis contribuem em uma proporção variável entre 43,1 e 58,2% da poeira total em suspensão. O particulado fino entre <sup>22,3</sup> ~~18,7~~ e <sup>35,4</sup> ~~22,8~~ da PTS. Fato importante a se notar é que a estação Ibirapuera, sendo a única que não apresenta violação de padrão em termos de PTS, apresenta os maiores valores percentuais de particulados inaláveis. Este fato sugere que a estação é menos afetada por fontes locais e que o material, pelo fato de ser fino, pode ter sido transportado de fontes distantes. Esta hipótese vem ao encontro à expectativa inicial de que no Ibirapuera seria possível amostrar um "ar médio homogeneizado" que representaria a poluição média de São Paulo, onde seriam descontadas as interferências de fontes próximas.

O quadro 12 e figura 7, mostram de uma forma mais clara, a composição percentual do particulado inalável.

QUADRO 12 - COMPOSIÇÃO PERCENTUAL DOS TAMANHOS DE PARTICULA EM RELAÇÃO A PI

ESTAÇÃO	PF %	PG %
SAO CAETANO	51,8	48,2
D. PEDRO	62,5	37,5
IBIRAPUERA	60,9	39,1
OSASCO	58,1	41,9

FIGURA 7 - PERCENTAGENS DE PF E PG EM RELAÇÃO A PI



Em todas as estações nota-se que o particulado fino é maior constituinte do PI. Nota-se que enquanto as estações D. Pedro, Ibirapuera e Osasco apresentam praticamente a mesma percentagem de PF em relação à PI a estação São Caetano é mais pobre em PF é mais rica em PG. E também esta última estação a que apresenta maior percentagem de partículas  $>10\mu$  (figura 6).

A análise conjunta dos quadros 11 e 12 indicam que tanto as partículas inaláveis como as partículas grandes ( $>10\mu\text{m}$ ) devem merecer a mesma atenção em termos de ação de controle.

### 5.3. Estudo de sazonalidade

A caracterização da variação sazonal possui especial interesse dos organismos de controle visto que uma vez caracterizado um período do ano quando ocorrem maiores concentrações de um poluente, ações mais rígidas de controle devem ser efetuadas.

Para este estudo de sazonalidade efetuaram-se análises dos comportamentos das séries temporais bem como de valores médios observados.

Analisaram-se todas as frações medidas (PF, PG, PI e PTS) em cada uma das estações amostradoras em dois diferentes períodos:

INV - Junho a Agosto (aproximadamente período de inverno)

VOP - Novembro a Maio e Setembro a Outubro (aproximadamente verão, outono e primavera)

Os critérios para o estabelecimento destes períodos foram:

a) - a observação dos dados de poluição de São Paulo gerados pela CETESB nos últimos 20 anos, onde se constata significativo aumento nos períodos de inverno.

b) - Os dados destes estudos quando colocados em gráfico sugerem que os meses de junho, julho e agosto possuem maiores valores médios.

Para a determinação de sazonalidade não se deve apenas comparar as médias das concentrações de períodos pré-determinados, visto esta análise carecer de maior significado estatístico. A aplicação de testes "t" de Student seria viável caso as variâncias observadas nas duas séries fossem comparáveis, o que não foi observado neste conjunto de dados. Utilizou-se então a análise de série temporal, que leva em conta a autocorrelação existente entre os dados amostrados, e para tanto utilizou-se a metodologia de Box e Jenkins que faz parte do pacote estatístico "Statgraphics". Os resultados desta análise estão resumidos no quadro 13 a seguir. Nesse quadro são apresentados os valores dos níveis obtidos em cada série bem como os respectivos desvios padrão.

QUADRO 13 - DADOS ESTATÍSTICOS PARA ESTUDO DE SAZONALIDADE

Parâmetro/ Estação	P.F.		P.G.		P.I.		P.T.S.		
	VOP	INV	VOP	INV	VOP	INV	VOP	INV	
S.Caetano	(1)	40,51	57,50	39,95	43,53	80,22	101,77	192,89	227,44
	(2)	0,66	3,19	4,58	1,99	5,94	3,56	18,94	24,51
D.Pedro	(1)	44,06	65,95	27,51	36,93	71,43	103,16	154,03	178,74
	(2)	2,77	7,37	3,16	6,47	5,56	14,10	15,01	26,37
Ibirapuera	(1)	23,23	41,70	14,45	28,19	37,60	70,02	66,62	120,51
	(2)	1,98	5,29	1,19	3,86	3,06	9,28	5,36	15,89
Osasco	(1)	31,85	48,80	23,29	36,71	55,17	85,22	124,58	164,70
	(2)	2,09	4,28	2,08	5,87	4,02	7,42	8,49	16,69

(1) níveis

(2) desvio padrão

Para a análise da tabela anterior deve-se verificar se as séries são estatisticamente diferentes. O critério para se determinar a existência de diferenças significantes entre determinado par de níveis é o de verificar se há sobreposição ou

não das faixas dos níveis (nível  $\pm 1,98s$ ). Caso se sobreponham as duas séries são consideradas estatisticamente iguais, não se podendo afirmar que foi observada a sazonalidade. Caso não se sobreponham, as duas séries são consideradas estatisticamente diferentes, caracterizando assim a sazonalidade. Para uma fácil visualização da igualdade dos níveis, são apresentados as figuras 8 a 11 nas páginas a seguir.

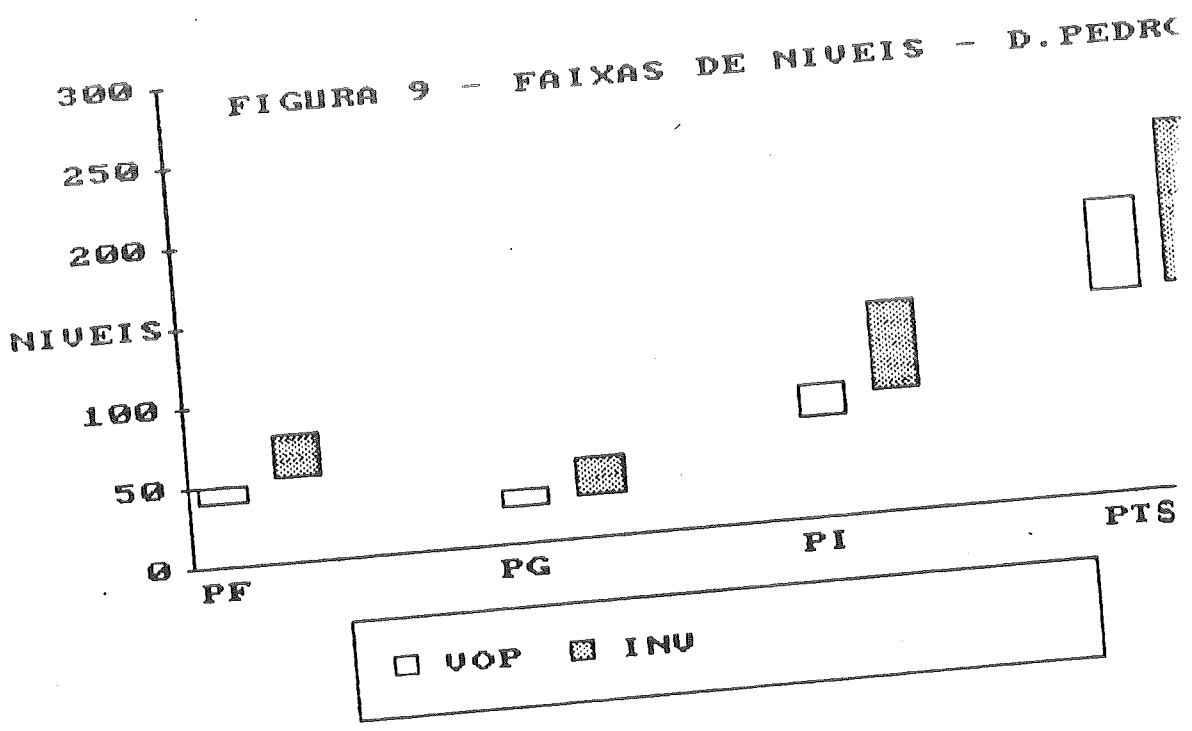
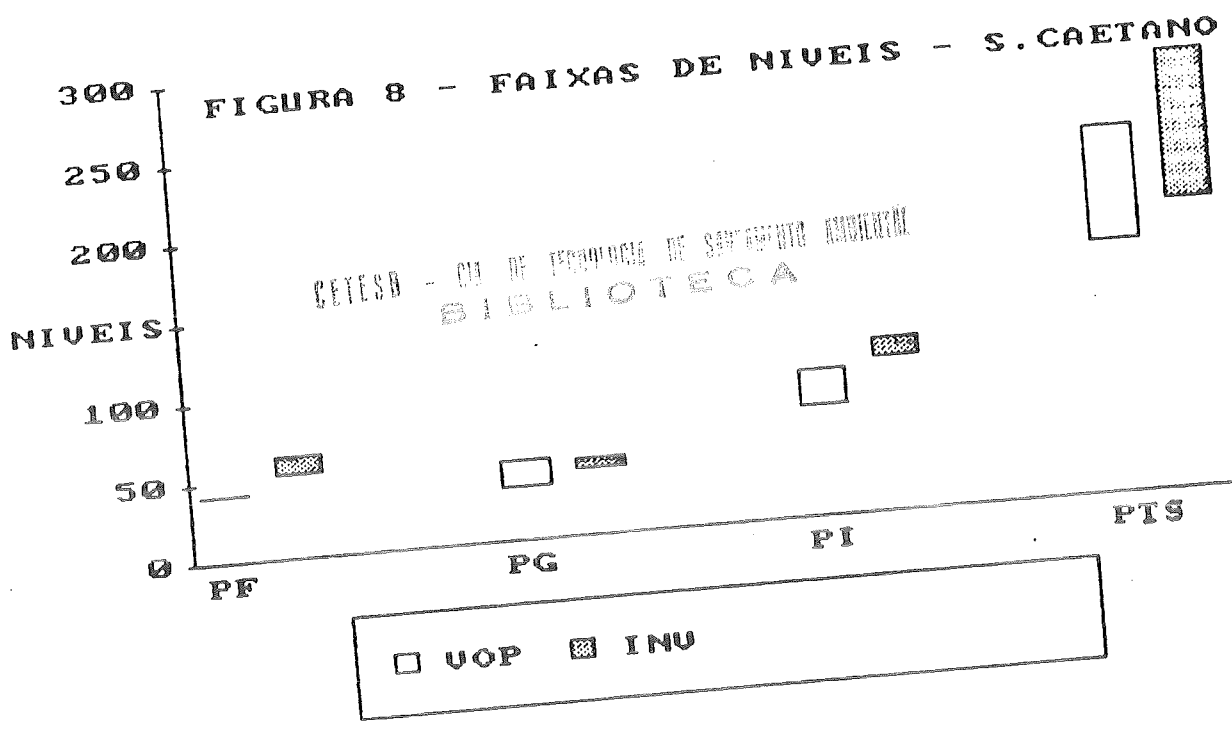
Com base nos dados apresentados pode-se concluir que foi estatisticamente comprovada a sazonalidade em vários parâmetros conforme resumo do quadro 14.

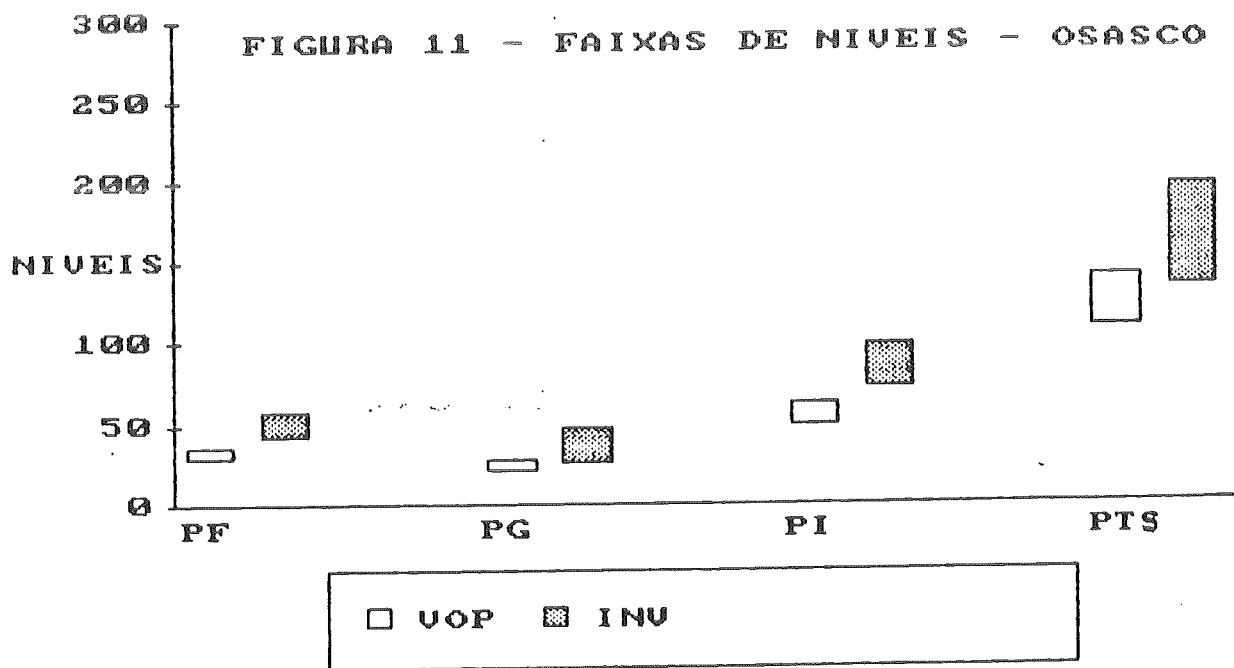
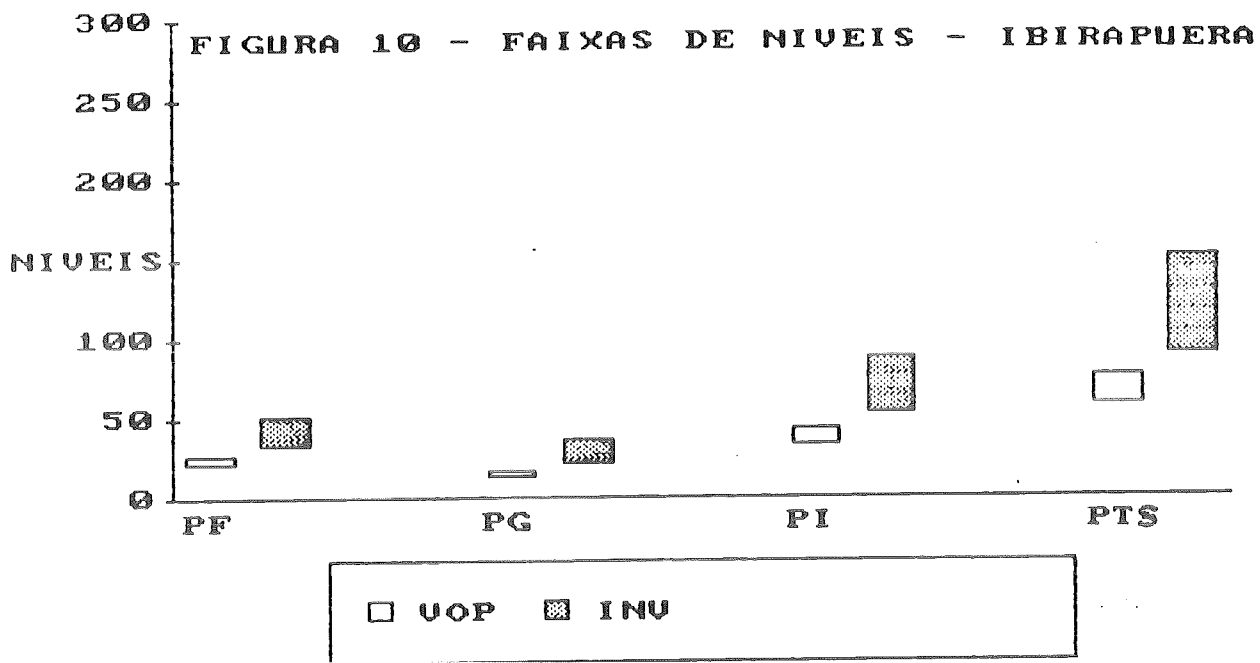
QUADRO 14 - SAZONALIDADE OBSERVADA

Parâmetro/ Estação	PF	PG	PI	PTS
São Caetano	+	-	+	-
D. Pedro	+	-	-	-
Ibirapuera	+	+	+	+
Osasco	+	-	+	-

(+) sazonalidade verificada  
 (-) sazonalidade não verificada

Os valores médios de concentração apresentados no quadro 15 mostram a exposição da população nos dois períodos considerados.





QUADRO 15 - CONCENTRAÇÕES MÉDIAS SAZONAIS

Parâmetro/ Estação	P.F. µg/m <sup>3</sup>		P.G. µg/m <sup>3</sup>		P.I. µg/m <sup>3</sup>		P.T.S. µg/m <sup>3</sup>	
	INV	VOP	INV	VOP	INV	VOP	INV	VOP
S. Caetano	57,4	40,3	45,3	39,9	102,6	80,2	208,5	192,9
D. Pedro	68,1	44,1	37,0	27,0	106,1	71,1	183,6	150,0
Ibirapuera	43,4	23,4	28,2	14,4	71,7	37,8	121,9	66,2
Osasco	48,9	31,9	36,9	23,4	85,8	55,2	166,0	122,2

Tais acréscimos em termos percentuais são apresentados no quadro 16.

QUADRO 16 - PERCENTUAIS DE ACRESCIMO DAS CONCENTRAÇÕES EN INV EN RELAÇÃO A VOP

Parâmetro/ Estação	PF %	PG %	PI %	PTS %
São Caetano	42,4	13,5	27,9	9,1
D. Pedro	54,4	37,0	49,2	22,4
Ibirapuera	85,5	95,8	89,7	84,1
Osasco	53,3	57,7	55,4	35,8

Os quadros 15 e 16 indicam um acentuado aumento de todos os tipos de particulado durante o período de inverno, principalmente na estação Ibirapuera, onde as concentrações praticamente dobraram. É interessante notar que tal aumento se dá sobretudo no particulado inalável (PF e PG), ficando a saúde da população ainda mais comprometida no período.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- Os níveis observados de PTS nas estações S.Caetano, D.Pedro e Osasco se encontram acima dos padrões anuais estabelecidos na legislação brasileira.
- Ocorrem violações dos padrões diários de PTS em todas as estações estudadas.
- Os padrões de PI estabelecidos na legislação dos Estados Unidos não são atendidos a nível anual nas estações S.Caetano, D.Pedro e Osasco.
- Em todas as estações foram observadas violações dos referidos padrões diários de PI.
- As sobredoses dos padrões anuais são bastante elevadas, observando-se em S.Caetano os maiores valores com 119% para PTS e 72% para PI.
- Em termos de controle tanto as partículas inaláveis quanto as  $>10\mu\text{m}$  merecem atenção, visto que cada fração contribue com cerca de 50% na formação da PTS.
- As partículas finas são as maiores componentes da PI, ressaltando-se o que ocorre na estação D.Pedro onde o padrão de PI fica totalmente comprometido com a referida fração.

- A sazonalidade já conhecida para diversos poluentes na região da Grande São Paulo, também foi verificada em praticamente todas as estações para os componentes PI e PF.
  
- Observou-se um grande acréscimo de concentrações durante o período de inverno, destacando-se a estação Ibirapuera onde os valores observados chegam praticamente a dobrar .
  
- Recomenda-se o estudo de viabilidade da adoção de padrões de qualidade do ar para poeiras inaláveis visto ser este parâmetro mais adequado para a proteção da saúde da população.

## 7.REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) GODINHO R.,ALONSO C.D.,COOPER J.A.. Estudo da Caracterização dos Aerossóis da Grande São Paulo: plano preliminar. São Paulo, CETESB, 1983. (Apresentado no Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental; 12. Camboriu, 1983).
- (2) BRASIL.Leis, decretos, etc. Ministério do Interior. Portaria MINTER no. 231 de 27 abr 1976. Estabelece padrões de qualidade do ar.In:Controle da poluição ambiental: legislação estadual e federal.São Paulo, CETESB, 1986. pt2,p.54-5.
- (3) SAO PAULO(Estado).Leis,decretos,etc. Decreto no.8468 de 08 set. 1976.aprova o regulamento da Lei 997 de 31 mai. 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. In:Controle da poluição ambiental: legislação estadual e federal.São Paulo, CETESB, 1986. pt1,p.08-66.
- (4) U.S.EPA. National Primary and Secondary Ambient Air Standards. Federal Register, 36(84):april,30,1971.
- (5) U.S.EPA. Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter:final rules.Federal Register, 52(126):jul.,1,1987.
- (6) WATSON, J.G.;CHOW,J.C.& SHAH,J.J. Analisis of Inhalable and Fine Particulate Matter Measurements. North Carolina,EPA,1981. p.i.(EPA 450/4-81-035 ).

**EQUIPE DE TRABALHO**

Claudio Darwin Alonso

Jesuino Romano

Maria Helena R.B. Martins

Roberto Godinho

Carlos Roberto Sachi

Hilton Barbosa Filho

Igino Pereira

Mario Negrini

**RELATORIO ELABORADO POR: Claudio Darwin Alonso**

Coordenação do Programa: Arlindo Philipi Jr

Coordenação do Projeto : Claudio Darwin Alonso

CETESB - CIA. DE TENDENCIAS DE SUAVIZADO AMBIENTAL  
BIBLIOTECA

ANEXO

ESTACAO SAO CAETANO  
 VALORES INDIVIDUAIS DE CONCENTRACAO MASSICA

DATA	PF ug/m <sup>3</sup>	PG ug/m <sup>3</sup>	PI ug/m <sup>3</sup>	PTS ug/m <sup>3</sup>	DATA	PF ug/m <sup>3</sup>	PG ug/m <sup>3</sup>	PI ug/m <sup>3</sup>	PTS ug/m <sup>3</sup>
06-11	35	35	70		10-05	37	33	70	161
16-11	31	23	54		16-05	29	20	49	107
22-11	43	54	97	240	22-05	29	37	66	192
28-11	43	56	99	249	28-05	52	20	72	138
04-12	40	45	85	224	03-06	72	54	126	297
10-12	48	54	102	303	09-06	54	47	101	262
16-12	27	37	64	184	15-06	25	6	31	48
22-12	29	51	80	254	27-06	54	38	92	216
29-12	36	30	66	114	03-07	82	66	148	307
10-01	43	38	81	188	09-07	41	30	71	151
16-01	35	33	68	153	15-07	66	63	129	284
22-01	39	35	74	164	21-07	33	22	55	118
28-01	75	210	285	818	27-07	97	80	177	311
03-02	30	33	63	164	02-08	23	16	39	83
09-02	17	17	34	88	08-08	29	24	53	117
15-02	25	23	48	116	14-08	139	111	250	368
21-02	52	81	133	300	20-08	22	22	44	112
27-02	58	54	112	248	26-08	66	55	121	245
05-03	51	49	100	221	01-09	73	53	126	249
11-03	36	36	72	174	07-09	17	17	34	91
17-03	44	37	81	180	13-09	23	17	40	97
23-03	59	38	97	211	19-09	43	26	69	124
28-03	32	21	53	106	25-09	61	61	122	279
04-04	37	23	60	93	01-10	42	34	76	165
10-04	37	27	64	141	07-10	34	27	61	128
16-04	49	33	82	194	13-10	45	32	77	133
22-04	42	61	103	352	19-10	38	15	53	100
28-04	36	28	64	178	25-10	21	26	47	120
04-05	48	37	85	184	31-10	51	41	92	176

ESTACAO D. PEDRO  
VALORES INDIVIDUAIS DE CONCENTRACAO MASSICA

DATA	PF ug/m3	PG ug/m3	PI ug/m3	PTS ug/m3	DATA	PF ug/m3	PG ug/m3	PI ug/m3	PTS ug/m3
06-11	44	15	59		04-05	67	35	102	169
16-11	31	18	49		10-05	16	18	34	72
22-11	51	35	86	192	16-05	44	13	57	108
28-11	64	55	119	212	22-05	36	23	59	116
04-12	58	32	90	193	28-05	72	22	94	140
10-12	68	42	110	235	03-06	115	60	175	282
16-12	31	21	52	119	09-06	48	24	72	137
22-12	32	15	47	92	15-06	28	7	35	46
29-12	33	15	48	108	27-06	46	20	66	127
10-01	44	24	68		09-07	55	27	82	153
16-01	28	21	49	108	15-07	103	54	157	237
22-01	37	24	61	123	21-07	44	22	66	120
28-01	48	40	88	203	27-07	120	89	209	319
03-02	40	19	59	112	02-08	23	15	38	78
09-02	16	11	27	62	08-08	31	13	44	106
15-02	28	13	41	85	14-08	145	77	222	336
21-02	49	30	79	152	20-08	37	17	54	136
27-02	65	36	101	189	26-08	91	68	159	310
05-03	67	47	114	229	01-09	37	21	58	137
11-03	44	29	73	161	07-09	25	11	36	73
17-03	34	20	54	126	13-09	26	12	38	74
23-03	60	27	87	167	19-09	36	12	48	78
28-03	24	16	40	76	25-09	71	42	113	226
04-04	23	9	32		01-10	54	40	94	
10-04	49	26	75	140	07-10	55	37	92	232
16-04	65	37	102	189	13-10	50	67	117	317
22-04	55	29	84	152	25-10	28	10	38	87
28-04	37	21	58	124	31-10	53	73	126	321

ESTACAO IBIRAPUERA  
 VALORES INDIVIDUAIS DE CONCENTRACAO MASSICA

DATA	PF ug/m <sup>3</sup>	PG ug/m <sup>3</sup>	PI ug/m <sup>3</sup>	PTS ug/m <sup>3</sup>	DATA	PF ug/m <sup>3</sup>	PG ug/m <sup>3</sup>	PI ug/m <sup>3</sup>	PTS ug/m <sup>3</sup>
06-11	18	9	27		04-05				103
16-11	24	27	51		10-05	9	12	21	45
22-11				126	16-05	9	5	14	26
28-11	22	19	41	72	22-05	16	13	29	59
04-12	21	10	31	51	28-05	36	10	46	68
10-12	46	20	66		03-06	84	36	120	174
16-12	16	10	26	44	09-06	28	18	46	84
22-12	15	10	25	41	27-06	31	14	45	78
29-12	15	8	23	36	09-07	21	16	37	71
10-01	35	18	53	81	15-07	47	28	75	142
16-01	17	16	33	59	21-07	23	12	35	53
22-01	25	17	42	66	27-07	69	63	132	246
28-01	20	11	31	56	02-08	17	18	35	82
03-02				46	08-08	17	16	33	70
09-02	8	7	15	31	14-08	104	76	180	250
15-02	21	8	29	49	20-08	10	9	19	46
21-02	32	18	50	78	26-08	70	33	103	167
27-02	47	24	71	112	01-09	12	9	21	44
05-03	41	27	68	117	07-09	16	9	25	46
11-03	19	15	34	64	13-09	19	11	30	63
17-03	17	10	27	49	19-09	19	10	29	47
23-03	38	20	58	93	25-09	44	25	69	122
28-03	14	13	27	58	01-10	35	23	58	99
04-04	9	5	14	25	07-10	19	13	32	68
10-04	23	17	40	62	13-10	18	13	31	62
16-04	44	22	66	113	19-10	23	7	30	45
22-04	34	21	55	83	25-10	20	10	30	46
28-04	16	14	30	57	31-10	27	25	52	103

ESTACAO OSASCO  
 VALORES INDIVIDUAIS DE CONCENTRACAO MASSICA

DATA	PF ug/m <sup>3</sup>	PG ug/m <sup>3</sup>	PI ug/m <sup>3</sup>	PTS ug/m <sup>3</sup>	DATA	PF ug/m <sup>3</sup>	PG ug/m <sup>3</sup>	PI ug/m <sup>3</sup>	PTS ug/m <sup>3</sup>
06-11	21	8	29		10-05	14	16	30	68
16-11	30	15	45		16-05	22	16	38	98
22-11	54	56	110	235	22-05	23	24	47	122
28-11	22	28	50	138	28-05	51	21	72	102
04-12	41	27	68	158	03-06				303
10-12	38	30	68	170	09-06	51	29	80	172
16-12	13	17	30	97	15-06	19	9	28	45
22-12	19	17	36	99	27-06	47	26	73	135
29-12	26	13	39	93	03-07	95	57	152	267
10-01	45	27	72	103	09-07	31	26	57	127
16-01	19	21	40	106	15-07	69	46	115	209
22-01	32	28	60	139	21-07	37	20	57	114
28-01	38	33	71	183	27-07	64	69	133	217
03-02	18	13	31	76	02-08	21	13	34	77
09-02	16	11	27	69	08-08	27	19	46	110
15-02	26	15	41	86	14-08	90	90	180	363
21-02	41	39	80		20-08	20	17	37	96
27-02	51	34	85	165	26-08	65	59	124	226
05-03	48	39	87	196	01-09	23	14	37	101
11-03	26	27	53	156	07-09	20	9	29	62
17-03	26	17	43		13-09	26	12	38	81
23-03	50	28	78	158	19-09	31	15	46	101
28-03	16	13	29	67	25-09	46	35	81	203
04-04	23	11	34	55	01-10	59	44	103	184
10-04	31	25	56	122	07-10	26	17	43	94
16-04	54	39	93	159	13-10	32	25	57	121
22-04	46	29	74	139	19-10	27	12	39	82
28-04	34	30	64	135	25-10	16	14	30	75
04-05	46	39	85	155	31-10	36	27	63	137

28/7/94

29/7/94