

foto Jesuino Romano



Evolução das concentrações de Carbono Orgânico e Carbono Elementar no $MP_{2,5}$ na atmosfera de São Paulo (Cerqueira César)

.....



| Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente

Governo do Estado de São Paulo
João Doria - Governador do Estado de São Paulo

Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente
Marcos Penido - Secretário de Estado

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Patrícia Iglecias - Diretora-Presidente

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Diretoria de Gestão Corporativa
Clayton Paganotto - Diretor

Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental
Gláucio Attorre Penna - Diretor

Diretoria de Avaliação de Impacto Ambiental
Domenico Tremaroli - Diretor

Diretoria de Engenharia e Qualidade Ambiental
Carlos Roberto dos Santos - Diretor

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO



Evolução das concentrações de Carbono Orgânico e Carbono Elementar no MP_{2,5} na atmosfera de São Paulo (Cerqueira César)

CETESB COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

São Paulo ▪ 2021

Dados Internacionais de Catalogação

(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

C418e CETESB (São Paulo)
Evolução das concentrações de carbono orgânico e carbono elementar no MP_{2,5} na atmosfera de São Paulo (Cerqueira César) [recurso eletrônico] / CETESB ; Elaboração Cristiane F. Fernandes Lopes (Coordenação técnica), Jesuíno Romano ; Equipe de trabalho Daniele P.R. de Carvalho ... [et al.] ; Colaboração Claudio Darwin Alonso, Yoshio Yanagi. - - São Paulo : CETESB, 2021.
1 arquivo de texto (32 p.) : il. color., PDF ; 2 MB

Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>>.
ISBN 978-65-5577-017-9

1. Ar – qualidade – controle 2. Ar – poluição 3. Carbono elementar 4. Carbono orgânico 4. Material particulado 5. Partículas inaláveis finas 6. São Paulo (SP) I. Título.

CDD (21.ed. Esp.) 363.739 263 816 1 CDU (2.ed. Port.) 502.175:614.71/.72 (815.6)
614.71:543.632.42 (815.6)

Catalogação na fonte: Margot Terada - CRB 8.4422

Direitos reservados de distribuição e comercialização.
Permitida a reprodução desde que citada a fonte.

© CETESB 2021.
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345
Pinheiros – SP – Brasil – CEP 05459900

Ficha Técnica

Diretoria de Engenharia e Qualidade Ambiental

Carlos Roberto dos Santos

Departamento de Qualidade Ambiental

Maria Helena R. B. Martins

Divisão de Qualidade do Ar

Maria Lúcia Gonçalves Guardani

Setor de Amostragem e Análise do Ar

Cristiane F. Fernandes Lopes

Elaboração

Cristiane F. Fernandes Lopes (**Coordenação Técnica**)

Jesuíno Romano

Equipe de Trabalho

Daniele P. R. de Carvalho

Giacomo C. Grizzo Cuoco

Graziela Mônaco Locchi

Jesuíno Romano

Maria Cristina N. de Oliveira

Nelson Álamo Filho

Sheila de Castro

Viviane A. de Oliveira Ferreira

Colaboração

Claudio Darwin Alonso

Yoshio Yanagi

Capa

Vera Severo

Produção Editorial e Distribuição

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

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

São Paulo - SP - Brasil - 05459-900

Telefone: +55 11 3133.3000

<http://www.cetesb.sp.gov.br>

Resumo

O material carbonáceo em ambientes urbanos e remotos é um dos mais importantes componentes do material particulado com diâmetro aerodinâmico de corte de $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{MP}_{2,5}$) e está relacionado com o impacto do aerossol na saúde, visibilidade e clima. A fração carbonácea do material particulado consiste em carbono elementar (C.E.) e uma variedade de carbonos orgânicos (C.Org).

Os aerossóis de carbono orgânico formam-se durante a combustão incompleta, que representa a principal fonte primária de emissão. Também podem ser formados por meio de reações fotoquímicas entre compostos orgânicos voláteis e espécies oxidativas na atmosfera e subsequente conversão gás-partícula sendo denominado carbono orgânico secundário.

O carbono elementar tem uma estrutura similar ao grafite e é emitido diretamente para a atmosfera em processos de combustão, desta forma, possui apenas fontes primárias de emissão.

Os teores de carbonos orgânico e elementar, nas partículas inaláveis finas ($\text{MP}_{2,5}$), foram medidos na estação Cerqueira César, pertencente a rede de avaliação da qualidade do ar da CETESB, nos anos de 2009, 2010, 2011, 2012, 2015 e 2016. As amostragens foram realizadas a cada seis dias durante 24 horas.

Foram realizadas análises de evolução das médias anuais, análises utilizando *boxplot*, correlação de dados diários obtidos entre as frações de carbono e com $\text{MP}_{2,5}$, razão entre C.Org e C.E., análise de médias mensais, variações de acordo com as estações do ano e comparação com dados de outras localidades.

Observou-se que as médias anuais de $\text{MP}_{2,5}$ apresentaram tendência de queda ao longo dos anos, a partir de 2010, o que não foi observado no caso das concentrações de carbono, que se mantiveram num patamar mais constante. A porcentagem média de C.T., no $\text{MP}_{2,5}$, observada, na estação Cerqueira César, no período monitorado foi de 53% representando praticamente a metade da concentração das partículas inaláveis finas. O comportamento sazonal do C.Org e C.E. é semelhante ao do $\text{MP}_{2,5}$, ou seja, ocorreu um aumento das médias mensais no período do inverno, quando as condições meteorológicas são mais desfavoráveis à dispersão de poluentes primários no município de São Paulo.

O conjunto total dos dados medidos no período de 2009 a 2012 e 2015 e 2016 mostrou correlação moderada entre as concentrações de $\text{MP}_{2,5}$ e C.E. e forte correlação entre $\text{MP}_{2,5}$ e carbono orgânico.

De maneira geral, há uma forte correlação entre C.Org. e C.E., indicando que as fontes de poluição de ambos são similares. Maiores razões C.Org/C.E. foram observadas na primavera, seguida do inverno, outono e as menores razões obtidas no verão.

Os valores de C.Org em São Paulo foram, de maneira geral, da mesma ordem de grandeza dos obtidos em cidades dos EUA e da União Europeia. Os teores de C.E. foram, em geral, maiores que os medidos nessas outras cidades.

Palavras chaves: Partículas Inaláveis Finas, $\text{MP}_{2,5}$, Carbono Orgânico, Carbono Elementar, Poluição do Ar, Qualidade do Ar

Listas de Ilustrações e Tabelas

MAPA

| | |
|--|----|
| Mapa 1 - Mapa do entorno da Estação Cerqueira César..... | 13 |
|--|----|

FIGURA

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Estação Cerqueira César | 12 |
| Figura 2 - Analisador Termo-óptico de Carbono | 14 |

GRÁFICO

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 – Perfil das concentrações médias anuais de MP _{2,5} , carbono orgânico, carbono elementar e carbono total de 2009 a 2012, 2015 e 2016. | 16 |
| Gráfico 2 – Porcentagem de Carbono total no MP _{2,5} | 17 |
| Gráfico 3 – Diagrama de distribuição (Boxplot) dos dados de MP _{2,5} , C.Org, C.E e C.T. | 18 |
| Gráfico 4 - Correlação de MP _{2,5} em função do C.Org e C.E. no período de estudo. | 19 |
| Gráfico 5 – Correlação entre carbono orgânico e elementar - Cerqueira César | 20 |
| Gráfico 6 - Perfil das médias mensais de MP _{2,5} , C.Org e C.E. no período monitorado. | 21 |
| Gráfico 7 – Correlação entre carbono orgânico e elementar, em Cerqueira César, por estação do ano considerando todo o período de monitoramento. | 22 |

TABELA

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Concentrações médias anuais de MP _{2,5} , carbono orgânico, elementar e total, e relações entre carbono orgânico e elementar, de 2009 a 2012, 2015 e 2016..... | 16 |
| Tabela 2 - Porcentagem de carbono total (%) no MP _{2,5} | 17 |
| Tabela 3 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) do MP _{2,5} e frações de carbono | 19 |
| Tabela 4 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) | 20 |
| Tabela 5 - Razão C.Org./C.E. e o desvio padrão obtido por estação do ano..... | 22 |
| Tabela 6 - Concentrações médias de C.Org, C.E. e C.T. obtidas em diferentes locais | 23 |

Lista de Abreviaturas e Siglas

| | |
|--------|---|
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo |
| C. E. | carbono elementar |
| C.Org | carbono orgânico |
| COV | compostos orgânicos voláteis |
| C.T. | carbono total |
| HPA | Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos |
| MP | Material Particulado |
| N | número de dias com representação diária dos dados |
| RMSP | Região Metropolitana de São Paulo |

Lista de Símbolos

| | |
|-------------------|-----------------------------|
| °C | graus Celsius |
| MP _{2,5} | partículas inaláveis finas |
| CO ₂ | dióxido de carbono |
| CH ₄ | metano |
| CuO | óxido de cobre |
| He | hélio |
| O ₂ | oxigênio |
| µg | micrograma |
| µm | micrometro |
| µg/m ³ | micrograma por metro cúbico |
| L/min | litros por minuto |
| mm | milímetros |
| MnO ₂ | óxido de manganês |
| cm ² | centímetro quadrado |
| r | coeficiente de correlação |

Sumário

| | |
|---|-----------|
| 1 Introdução | 11 |
| 2 Objetivo | 11 |
| 3 Toxicidade..... | 11 |
| 4 Amostragem e Análise..... | 12 |
| <i>4.1 Coleta de Amostras</i> | <i>12</i> |
| 4.1.1 Local de Amostragem | 12 |
| 4.1.2. Amostragem | 13 |
| <i>4.2. Metodologia de Análise</i> | <i>13</i> |
| 4.2.1. Gravimetria | 13 |
| 4.2.2. Análise do material carbonáceo do aerossol | 14 |
| 5 Resultados e Discussão..... | 15 |
| 6 Comparação com dados ambientais de outros locais | 23 |
| 7 Conclusões | 24 |
| Referências | 25 |

1 Introdução

O material carbonáceo em ambientes urbanos e remotos é um dos mais importantes componentes do material particulado com diâmetro aerodinâmico de corte de 2,5 μm ($\text{MP}_{2,5}$) e está relacionado com o impacto do aerossol na saúde, visibilidade e clima. A fração carbonácea do material particulado consiste em carbono elementar (C.E.) e uma variedade de carbonos orgânicos (C.Org).

Os aerossóis de carbono orgânico formam-se durante a combustão incompleta, que representa a principal fonte primária de emissão. Também podem ser formados por meio de reações fotoquímicas entre compostos orgânicos voláteis e espécies oxidativas na atmosfera e subsequente conversão gás-partícula sendo denominado carbono orgânico secundário (SAMARA, 2014).

O carbono elementar tem uma estrutura similar ao grafite e é emitido diretamente para a atmosfera em processos de combustão (WANG, 2019), desta forma, possui apenas fontes primárias de emissão.

No primeiro levantamento e estudo do material carbonáceo na Região Metropolitana de São Paulo, realizado pela CETESB, em 1986/87, constatou-se que o material carbonáceo era o principal componente do $\text{MP}_{2,5}$ (CETESB, 1988).

2 Objetivo

O objetivo deste estudo é estruturar uma base de dados que permita identificar possíveis alterações nas relações entre carbono orgânico e elementar na fração fina do material particulado ($\text{MP}_{2,5}$), bem como a evolução das concentrações de material carbonáceo. Também verificar se a alteração dos teores de carbono nos particulados resultaram em alterações das concentrações totais de $\text{MP}_{2,5}$. Tais informações são valiosas para que se identifique sua relação com a mudança do perfil das fontes, tais como tipo de combustível, reformulação dos combustíveis, idade da frota, número de veículos, presença de dispositivos para redução das emissões nos sistemas de exaustão, etc.

3 Toxicidade

A determinação do teor de material carbonáceo nas partículas inaláveis é importante do ponto de vista toxicológico. Em áreas urbanas, o carbono elementar é emitido principalmente por veículos a diesel (ESTADOS UNIDOS, 2002). A capacidade de adsorção destas partículas pode contribuir para que gases tóxicos e elas associados sejam levados aos pulmões, podendo, ainda, atuar como catalisador na conversão de gases a aerossóis (WHO, 2005). Além do risco de câncer decorrente destas emissões, estudos recentes sugerem que a exposição à fumaça de diesel pode agravar a reação do corpo a alérgenos comuns, provocando um aumento significativo na resposta imunológica (SILVERMAN, 2018).

De maneira geral, os perfis de emissão de compostos orgânicos gasosos são diferentes para veículos a diesel e veículos do ciclo Otto (ignição por centelhamento). Os do ciclo Otto emitem mais hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e alcanos de baixo peso molecular. Os alcanos mais pesados ($>\text{C}_{10}$) e os HPAs de elevado peso molecular são mais característicos das emissões de veículos a diesel. Alguns destes compostos que ficam adsorvidos no material particulado são carcinogênicos, a exemplo de alguns HPAs (ESTADOS UNIDOS, 2002).

4 Amostragem e Análise

4.1 Coleta de Amostras

4.1.1 Local de Amostragem

As amostras foram coletadas no Bairro Cerqueira Cesar, na Faculdade de Saúde Pública, localizada na Av. Dr. Arnaldo, 725, a 7 metros desta avenida. Os equipamentos foram colocados na estação de avaliação da qualidade do ar da CETESB (**Figura 1**).

Figura 1 – Estação Cerqueira César



Nas proximidades da estação não existem fontes fixas com potencial de emissão representativo, uma vez que a região é estritamente urbano-residencial. Por ser uma região com restrições impostas pela lei de zoneamento municipal, nessa área são encontradas apenas pequenas fontes estacionárias tais como: postos de abastecimento de combustíveis e fornos de restaurantes, padarias e pizzarias. Grande parte da área ao redor da estação é ocupada pelos cemitérios do Araçá e Redentor, pela Faculdade de Saúde Pública e pelo Complexo do Hospital das Clínicas.

As fontes móveis mais importantes no entorno da estação concentram-se em poucas vias de tráfego. A avenida mais próxima, e fonte linear de emissão a causar impacto nessa área de avaliação, é a Av. Dr. Arnaldo, que se estende de noroeste a sudeste, passando em frente da estação, sendo o corredor de tráfego entre a região do Sumaré e as avenidas Paulista, Rebouças e Rua da Consolação. Duas outras vias têm contribuição significativa na emissão de poluentes, a Rua Teodoro Sampaio que liga a região de Pinheiros à Av. Dr. Arnaldo e a Rua Cardeal Arcoverde, no fluxo contrário, liga a Av. Dr. Arnaldo à região de Pinheiros (**MAPA 1**). Essas fontes são consideradas lineares e as mais importantes na região em estudo (CETESB, 2004).

Devido às características locais com vias de tráfego consideradas saturadas nas horas de pico e sem alterações significativas em termos de uso do solo ao longo do tempo, os níveis de concentração dos poluentes variam, sobretudo, em função das condições meteorológicas e de mudanças nas fontes veiculares, como renovação da frota, tecnologia de motores e qualidade dos combustíveis.

4.2.2. Análise do material carbonáceo do aerossol

4.2.2.1 Analisador Termo Óptico SUNSET

Para a análise das amostras de 2009 a 2012, 2015 e 2016, foi utilizado o analisador termo óptico Sunset, operando com protocolo de análise IMPROVE.

Para determinação dos teores de carbono, o filtro é retirado da geladeira e mantido na sala de análise para equilíbrio com a temperatura ambiente (22°C). Na primeira etapa, uma fração de 1,0 cm² ou 1,5 cm² do filtro é introduzida no forno da amostra, sob um fluxo de hélio puro (isento de O₂), e submetida a 4 etapas crescentes de temperatura (140°C, 280°C, 480°C e 580°C). Nessa fase, todo o carbono orgânico (C.Org), e os carbonatos, se presentes, são volatilizados e removidos do filtro. Ainda nessa primeira fase, a conversão pirolítica do C.Org é monitorada durante toda a análise através da transmitância de luz laser. Os C.Orgs vaporizados em cada temperatura da primeira fase são imediatamente oxidados a dióxido de carbono no forno de oxidação contendo MnO₂. Um fluxo de gás He com o CO₂ oxidado é conduzido ao metanizador, que reduz o CO₂ para CH₄, que em seguida alcança o detector de ionização de chama.

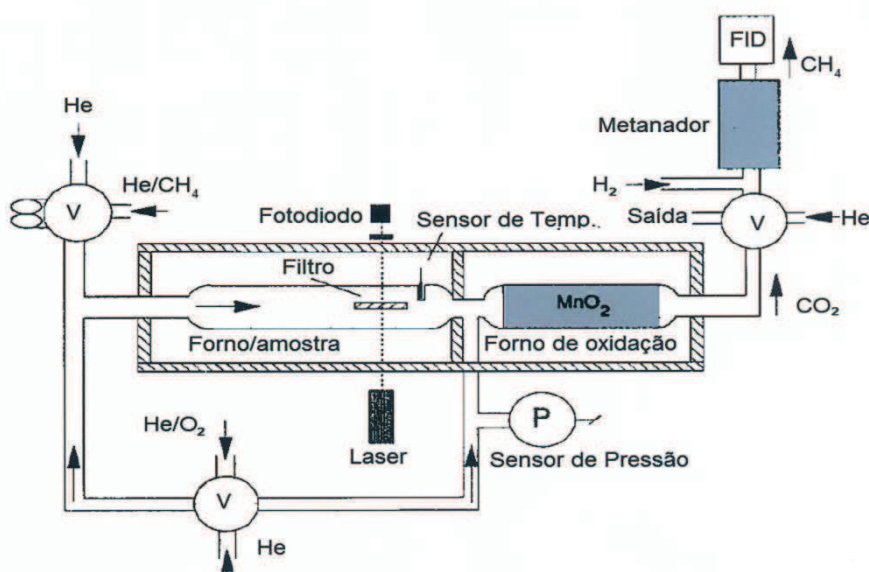
Na segunda fase, o forno é mantido a 580°C, o He puro no forno é substituído por uma mistura de 2% de O₂ em He e a amostra é aquecida novamente em 2 etapas (740°C e 840°C). Durante essa fase, tanto o Carbono Elementar (C.E.) originalmente presente na amostra, como o produzido piroliticamente, são analisados. O carbono liberado da amostra na segunda etapa da análise é oxidado a CO₂, pela presença de O₂, e como na primeira fase é transformado em CH₄ e medido no detector de ionização de chama.

Com o intuito de corrigir o erro produzido pela pirólise de C.Org, na primeira parte da análise, o escurecimento do filtro é monitorado através da transmitância de luz laser. O monitoramento da luz transmitida através do filtro permite separar o C.E. gerado piroliticamente do existente originalmente na amostra. O momento da análise em que o valor do laser iguala o sinal inicial é o ponto de separação entre o C.E. e o C.E. originado da pirólise.

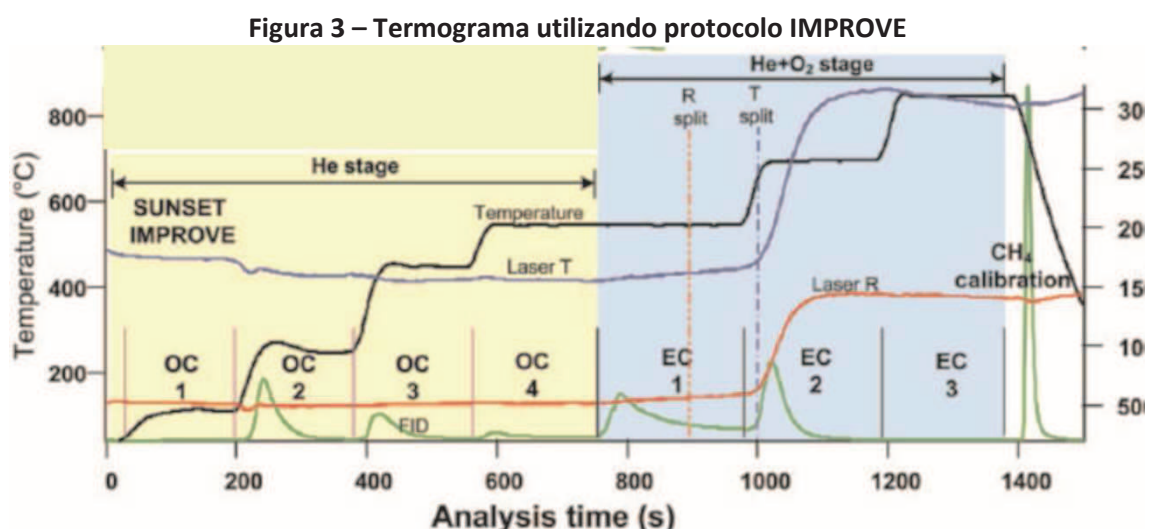
Após a evolução de todo o carbono da amostra, é injetado um volume conhecido de mistura de gás padrão com 5% de metano em He. Com base na resposta do detector de ionização de chama e na transmissão do laser, as quantidades de C.Org e C.E. são determinadas (KARANASIOU, 2015).

A **Figura 2** ilustra o funcionamento do analisador Sunset Laboratory.

Figura 2 - Analisador Termo-óptico de Carbono



A **Figura 3** mostra o termograma de uma amostra de $MP_{2,5}$, usando o protocolo IMPROVE.



4.2.2.2 Analisador de Carbono DHORMANN

A determinação dos teores de carbono das amostras de material particulado coletadas na década de 1980 consistiu na introdução de uma fração do filtro em um forno sob um fluxo de argônio com 2% de oxigênio, a 450°C, para a determinação de carbono orgânico, e a 700°C, para carbono elementar. A total oxidação do material carbonáceo é garantida pela passagem através de um leito de CuO sólido. O CO_2 gerado passa por um frasco lavador contendo solução de ácido fosfórico, sendo quantificado em um detector infravermelho não dispersivo. O aparelho utilizado para análise foi um Dhorman Carbon Analyzer, modelo DC-85, adaptado (CETESB, 2003). Este tipo de analisador não permitia a correção óptica do carbono resultante da carbonização dos compostos orgânicos que ocorre na primeira etapa do analisador Sunset.

5 Resultados e Discussão

Os resultados das análises das amostras coletadas de 2009 a 2012, 2015 e 2016, em Cerqueira César, são avaliados em termos das concentrações médias anuais de $MP_{2,5}$ e de carbono e das relações entre as frações de carbono orgânico, elementar e carbono total (C.T.). Os resultados encontrados na cidade de São Paulo são comparados com as concentrações médias detectadas em outros locais.

Resultados anteriormente obtidos em 1986/87 foram apresentados no relatório “Teores de Material Particulado Carbonáceo na Atmosfera da Grande São Paulo”, de junho de 1988 (CETESB, 1988).

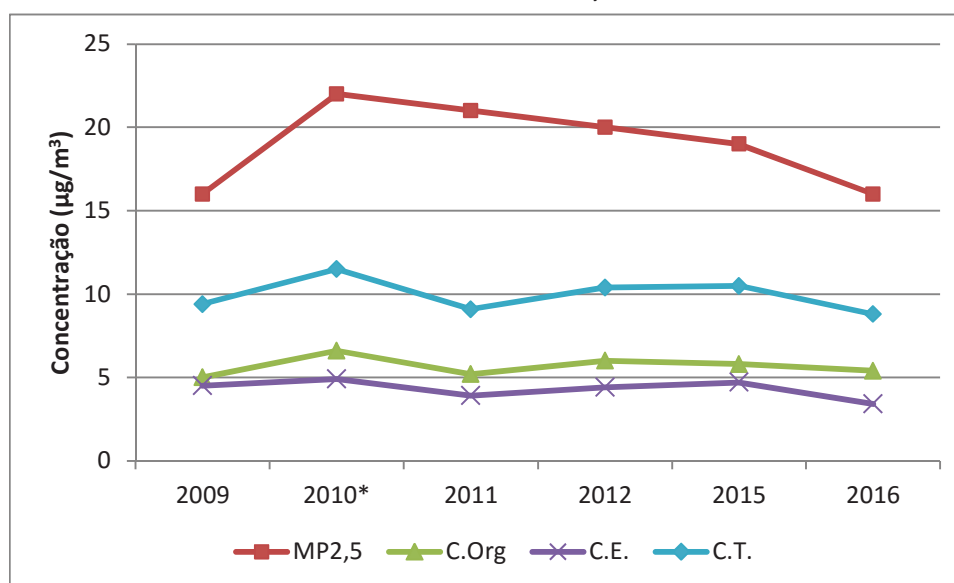
Os resultados das concentrações médias anuais de $MP_{2,5}$ e das diferentes frações de material carbonáceo, encontrados no presente estudo, são apresentados na **Tabela 1** e os perfis de concentração, no **Gráfico 1**.

Tabela 1 - Concentrações médias anuais de MP_{2,5}, carbono orgânico, elementar e total, de 2009 a 2012, 2015 e 2016.

| ANO | Nº dados | Concentração (µg/m ³) | | | |
|-------|----------|-----------------------------------|--------|------|------|
| | | MP _{2,5} | C. Org | C.E. | C.T. |
| 2009 | 40 | 16 | 5,0 | 4,5 | 9,5 |
| 2010* | 28 | 22 | 6,6 | 4,9 | 11,5 |
| 2011 | 37 | 21 | 5,2 | 3,9 | 9,1 |
| 2012 | 36 | 20 | 6,0 | 4,4 | 10,4 |
| 2015 | 42 | 19 | 5,8 | 4,7 | 10,5 |
| 2016 | 33 | 16 | 5,4 | 3,4 | 8,8 |

*Não atende ao critério de representatividade anual dos dados

Gráfico 1 – Perfil das concentrações médias anuais de MP_{2,5}, carbono orgânico, carbono elementar e carbono total de 2009 a 2012, 2015 e 2016.



*Não atende ao critério de representatividade anual dos dados

Observa-se que as médias anuais de MP_{2,5} apresentaram tendência de queda ao longo dos anos, a partir de 2010, o que não foi observado no caso das concentrações de carbono, que se mantiveram num patamar mais constante.

Em 2016, a concentração de C.Org se manteve no mesmo patamar dos anos anteriores, enquanto a concentração de C.E. apresentou ligeira queda, acompanhando a média anual do MP_{2,5}, como mostra o **Gráfico 1**. Observa-se uma queda nas concentrações de carbonos no ano de 2011, queda esta não observada no MP_{2,5}.

Para comparação das medições aqui apresentadas com as efetuadas na década de 1980 na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), são analisados somente os dados de carbono total, visto que nas análises dos dados de C.Org e C.E. foram utilizados diferentes metodologias de análise. Dados anteriores utilizados nessa comparação restringem-se às estações Parque D. Pedro e Osasco por possuírem características semelhantes com a de Cerqueira César uma vez que se localizam próximas a vias de tráfego.

Na **Tabela 2** e no **Gráfico 2** são apresentadas as porcentagens de carbono total (C.T.) no $MP_{2,5}$ obtidas nesse estudo e em estudos anteriores na RMSP.

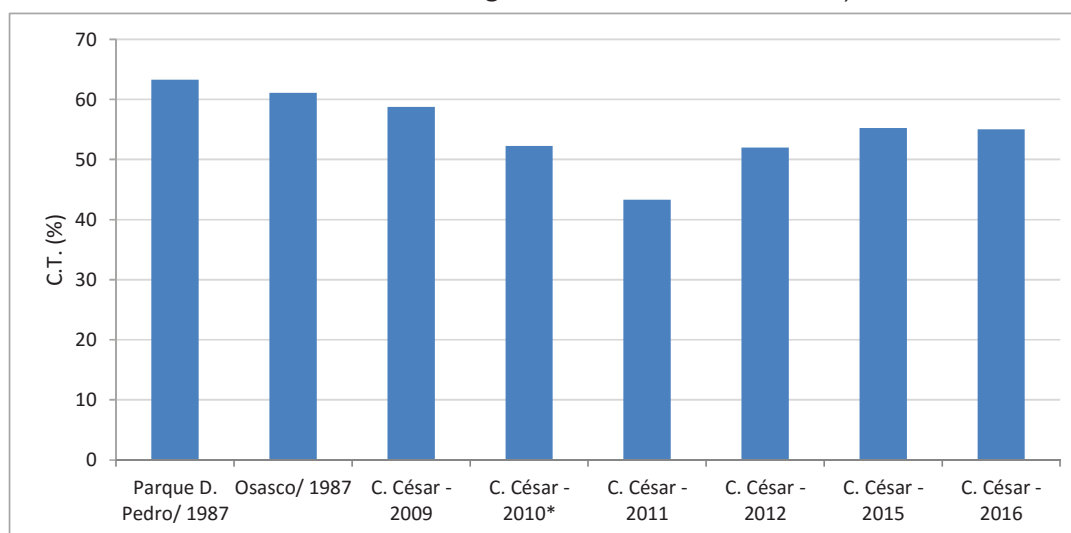
Tabela 2 - Porcentagem de carbono total (%) no $MP_{2,5}$

| Local/Ano | Nº dados | $MP_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | C.T. % |
|----------------|----------|--|--------|
| P.D.Pedro/1987 | 51 | 49 | 63 |
| Osasco/1987 | 56 | 38 | 61 |
| C. César/2009 | 40 | 16 | 59 |
| C. César/2010* | 30 | 22 | 52 |
| C. César/2011 | 37 | 21 | 43 |
| C. César/2012 | 36 | 20 | 52 |
| C. César/2015 | 43 | 19 | 55 |
| C. César /2016 | 33 | 16 | 55 |

*Não atende ao critério de representatividade anual dos dados

As porcentagens de C.T. no $MP_{2,5}$ no Parque D. Pedro II e em Osasco foram maiores que as obtidas na estação Cerqueira César. Na estação Cerqueira César, a porcentagem média de C.T., no $MP_{2,5}$, nesse estudo foi de 53% representando praticamente a metade da concentração das partículas inaláveis finas. No entanto ao longo dos anos essa porcentagem apresentou certa variação.

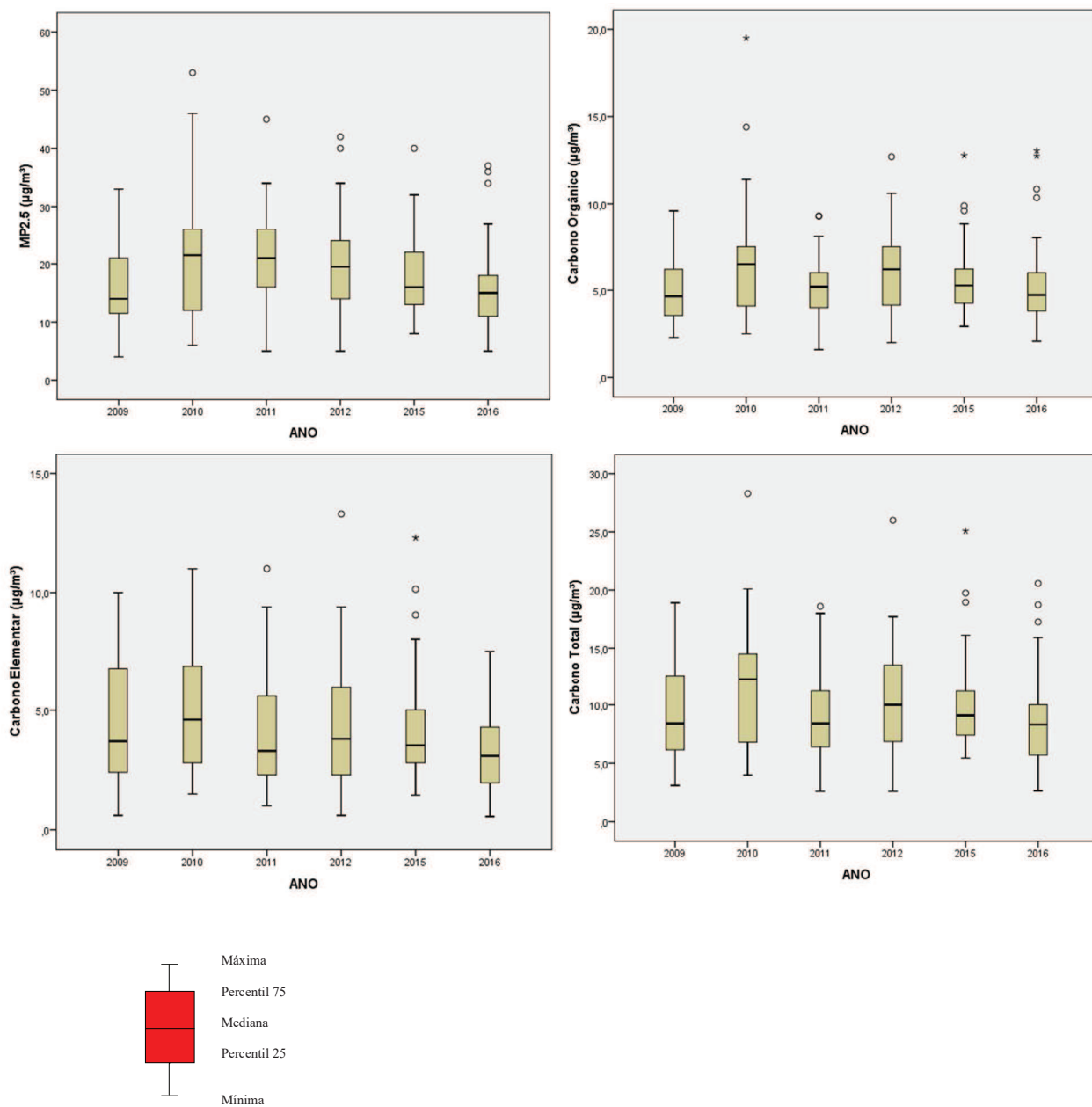
Gráfico 2 – Porcentagem de Carbono total no $MP_{2,5}$



*Não atende ao critério de representatividade anual dos dados

O **Gráfico 3** é um boxplot, diagrama que permite visualizar a distribuição dos dados (mediana, máxima, mínima e percentis 25% e 75%), nele são apresentados os dados de $MP_{2,5}$, carbono orgânico, elementar e total, medidos em Cerqueira César, por ano de monitoramento.

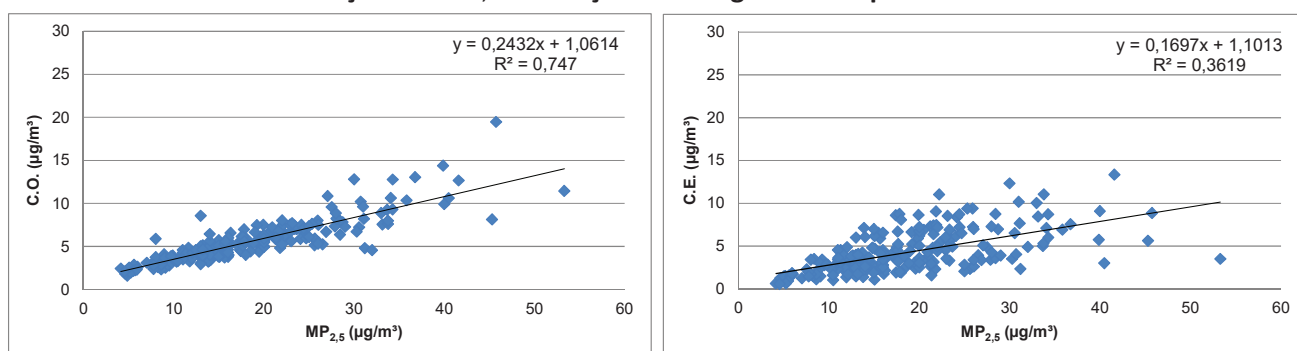
Gráfico 3 – Diagrama de distribuição (Boxplot) dos dados de MP_{2,5}, COrg, C.E e C.T.



Fonte: CETESB (2021)

A identificação das origens do material particulado na atmosfera é uma informação importante para direcionar o controle das suas emissões. A análise dos teores de material carbonáceo em relação ao material particulado auxilia na detecção da contribuição das fontes de combustão na formação do $MP_{2,5}$. Analisaram-se também as correlações de Pearson (MUKAKA, 2012), obtidas das regressões lineares (**Tabela 3**), com o intuito de facilitar um melhor entendimento do comportamento do MP. O **Gráfico 4**, apresenta a correlação entre os parâmetros $MP_{2,5}$ e as frações de C.Org, C.E. considerando todos os anos de monitoramento. Observa-se que há forte correlação ($r=0,86$) entre $MP_{2,5}$ e C.Org. Já a correlação obtida entre o $MP_{2,5}$ e carbono elementar foi moderada ($r=0,6$).

Gráfico 4 - Correlação de $MP_{2,5}$ em função do C.Org e C.E. no período de estudo.



Da mesma forma, as correlações obtidas, por ano de monitoramento, entre $MP_{2,5}$ e C.E., de maneira geral, estão entre fracas e moderadas, exceto os anos de 2009 e 2016, já as correlações entre $MP_{2,5}$ e C.Org mostram-se fortes ou muito fortes.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) do $MP_{2,5}$ e frações de carbono

| Variáveis | Coeficientes de correlação | | | | | |
|--------------------|----------------------------|-------|------|------|------|------|
| | 2009 | 2010* | 2011 | 2012 | 2015 | 2016 |
| $MP_{2,5}$ x C.Org | 0,95 | 0,87 | 0,87 | 0,96 | 0,68 | 0,97 |
| $MP_{2,5}$ x C.E. | 0,81 | 0,47 | 0,49 | 0,64 | 0,55 | 0,82 |

*Não atende ao critério de representatividade anual dos dados

Outra análise importante é a correlação entre o carbono orgânico e elementar. Segundo estudos recentes (WANG, 2019; QI, 2018), a correlação entre C.Org. e C.E. pode contribuir para diferenciar as fontes, se a correlação for significativa pode indicar que as fontes de poluição são similares.

O **Gráfico 5** apresenta a correlação entre carbono orgânico e elementar, em Cerqueira César, para cada ano de monitoramento.

Gráfico 5 – Correlação entre carbono orgânico e elementar - Cerqueira César



Na **Tabela 4**, são apresentados os coeficientes de correlação de Pearson obtidos das correlações de carbono orgânico e carbono elementar para cada ano de monitoramento.

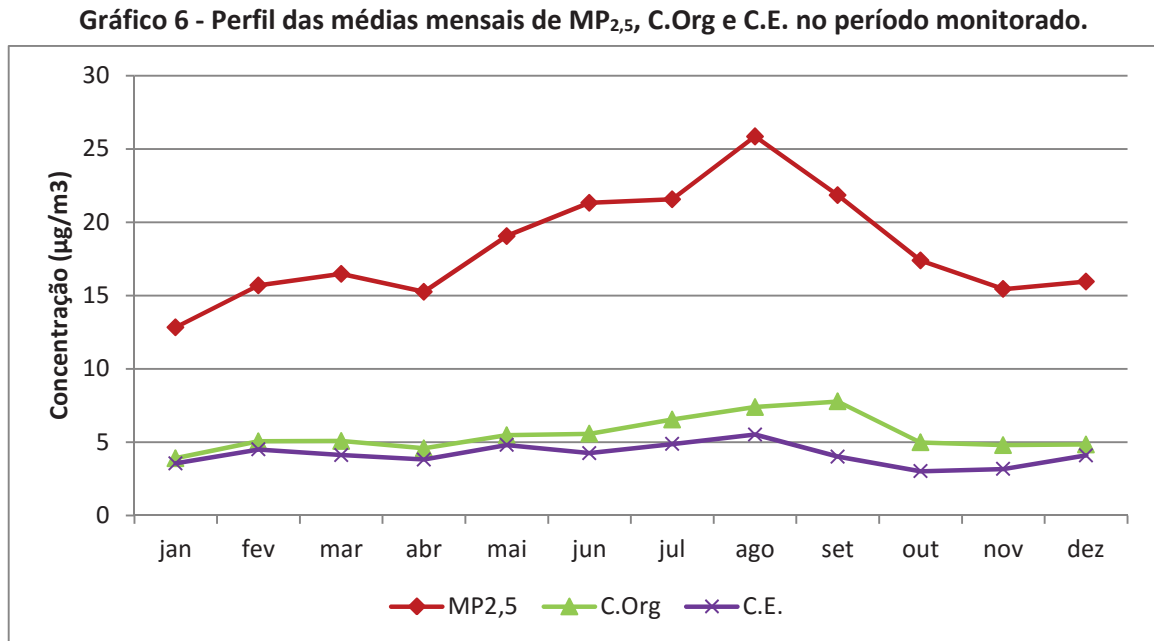
Tabela 4 - Coeficientes de correlação de Pearson (r)

| Variáveis | Coeficientes de correlação | | | | | |
|--------------|----------------------------|------|------|------|------|------|
| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2015 | 2016 |
| C.Org x C.E. | 0,77 | 0,64 | 0,6 | 0,7 | 0,71 | 0,86 |

Observa-se que, de maneira geral, há forte correlação entre C.Org. e C.E. principalmente por se tratar de dados ambientais, indicando que as fontes de poluição de ambos são similares.

As concentrações de $MP_{2,5}$ e, conseqüentemente, de C.Org e C.E. tendem a ser maiores nos períodos de inverno em função das condições meteorológicas, que em São Paulo se caracterizam pela diminuição da precipitação e ocorrência de períodos de grande estabilidade atmosférica, proporcionando com isso condições desfavoráveis à dispersão dos poluentes (CETESB, 2018).

No **Gráfico 6**, são apresentadas as médias mensais de $MP_{2,5}$, C.Org e C.E no período de 2009 a 2012 e 2015 e 2016.



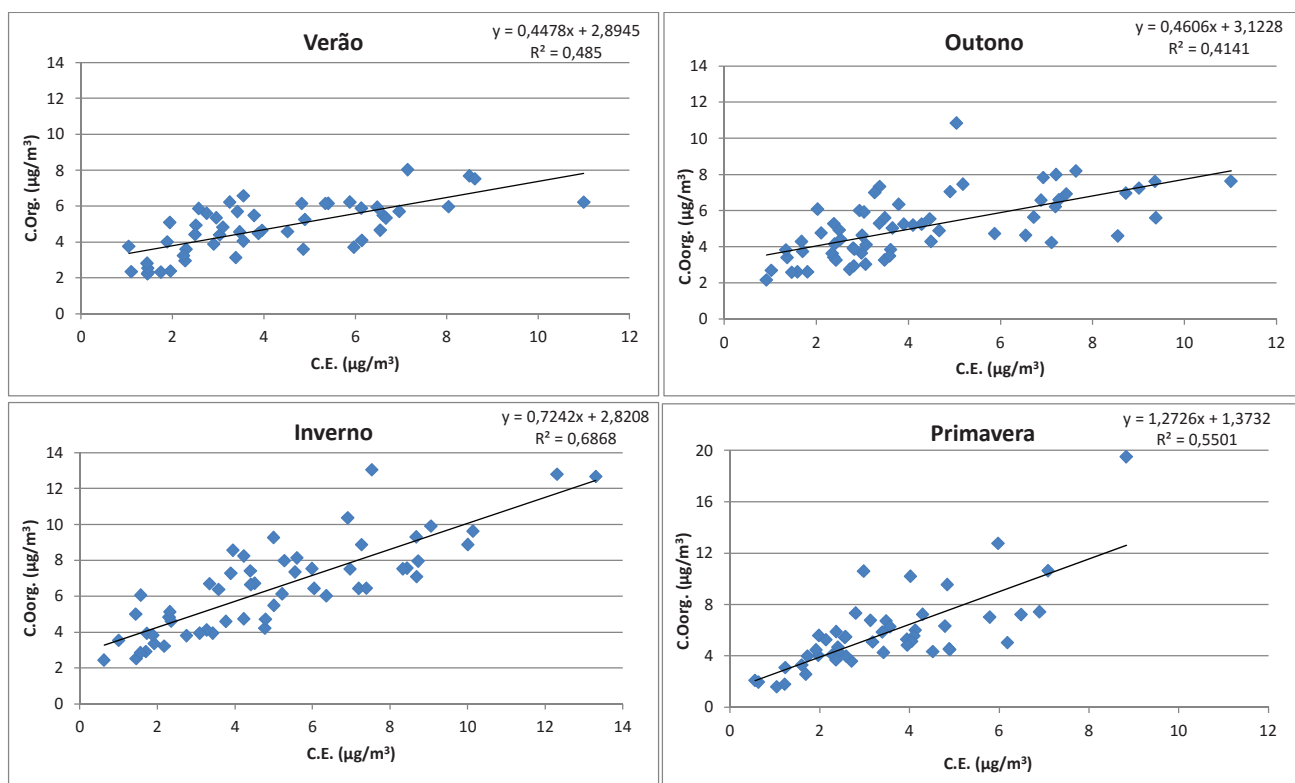
Fonte: CETESB (2021)

No **Gráfico 6**, observa-se aumento das concentrações de $MP_{2,5}$ e de carbono orgânico e elementar nos meses de inverno, entretanto, o carbono orgânico apresentou maior valor no início da primavera, enquanto o $MP_{2,5}$ e o C.E. apresentaram maiores valores médios no mês de agosto.

O **Gráfico 7** apresenta as correlações obtidas entre carbono orgânico e elementar, em Cerqueira César, por estação do ano considerando todo o período de monitoramento. As concentrações de C.Org e C.E. variaram de acordo com as estações do ano, o que é coerente com a literatura (WANG, 2019; GU, 2010).

Observa-se, considerando todo o período monitorado, que a correlação mais alta ($r=0,83$) foi obtida durante os meses de inverno seguida da primavera, verão e outono. Além da correlação, a análise das razões obtidas entre C.Org. e C.E. nas diferentes estações do ano, pode auxiliar na interpretação dos resultados.

Gráfico 7 – Correlação entre carbono orgânico e elementar, em Cerqueira César, por estação do ano considerando todo o período de monitoramento.



Fonte: CETESB (2021)

A **Tabela 5** mostra a relação entre carbono orgânico e carbono elementar obtida em todo o período de monitoramento.

Tabela 5 - Razão C.Org./C.E. e o desvio padrão obtido por estação do ano.

| Razão | Verão | Outono | Inverno | Primavera |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| C.Org./C.E. | $1,37 \pm 0,58$ | $1,44 \pm 0,60$ | $1,57 \pm 0,72$ | $1,84 \pm 0,66$ |

Conforme observado na **Tabela 5**, maiores razões C.Org./C.E. foram observadas na primavera, seguida do inverno, outono e as menores razões obtidas no verão.

Segundo a literatura (BEGUM, 2012) a razão C.Org./C.E. varia com a temperatura, assim, nos meses de verão, mais quentes, as razões são menores uma vez que as concentrações de compostos semivoláteis podem permanecer na fase gasosa, deixando de contribuir para a concentração do carbono orgânico no particulado, levando a uma correlação mais baixa em relação às demais estações do ano (**Gráfico 7**).

Razões maiores, como a observada na primavera, podem indicar contribuições diferentes de C.Org no aerossol, provenientes tanto de carbonos orgânicos primários como secundários, gerados por reações fotoquímicas dos compostos orgânicos voláteis (COV), mais comuns neste período do ano, o que está de acordo com a literatura (GU, 2010; SAMARA, 2014).

A maior correlação entre C.Org e C.E. obtida no inverno ($r = 0,83$) pode ter ocorrido por, neste período, o C.Org. não ser tão influenciado nem pelas altas temperatura nem pelas reações fotoquímicas, indicando serem essas as emissões mais próximas da fonte, que seria principalmente a combustão de veículos movidos a diesel e gasolina.

6 Comparação com dados ambientais de outros locais

A **Tabela 6** traz uma comparação dos resultados de C.Org, C.E. e C.T. obtidos neste estudo com valores encontrados em áreas urbanas de algumas cidades ao redor do mundo, em que pese a comparação dos resultados ser complexa uma vez que foram utilizadas diferentes condições, como métodos de amostragem e análise, limites de detecção e diferentes períodos de monitoramento, bem como locais de amostragem com características distintas.

Tabela 6 - Concentrações médias de C.Org, C.E. e C.T. obtidas em diferentes locais.

| LOCAL / ANO | C.Org ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | C.E. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | C.T. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | REFERÊNCIAS |
|--|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| S. Paulo, C.César - 2009 | 5,0 | 4,5 | 9,5 | estudo atual |
| S. Paulo, C.César - 2010 | 6,6 | 4,9 | 11,5 | estudo atual |
| S. Paulo, C.César - 2011 | 5,2 | 3,9 | 9,1 | estudo atual |
| S. Paulo, C.César - 2012 | 6,0 | 4,4 | 10,4 | estudo atual |
| S. Paulo, C.César - 2015 | 5,8 | 4,7 | 10,5 | estudo atual |
| S. Paulo, C.César - 2016 | 5,4 | 3,4 | 8,8 | estudo atual |
| Itália, Milão - 2002-2003 | 9,2 | 1,4 | 10,8 | (LONATI, 2007) |
| Holanda, Amsterdam - jul-ago 2005/ jan-fev 2006 | 5,3 | 1,8 | 7,1 | (VIANA, 2007) |
| Bélgica, Ghent - jun-jul 2004/ jan-fev 2005 | 4,1 | 1,0 | 5,1 | (VIANA, 2007) |
| Espanha, Barcelona jul-ago/2004, nov- dez /2005 | 5,3 | 2,1 | 7,4 | (VIANA, 2007) |
| Espanha, Bailen (industrial) - jun/2005- jun/2006 | 5,4 | 3,1 | 8,5 | (PIO, 2011) |
| Portugal, Porto - 2004 | 4,3 | 2,2 | 6,5 | (PIO, 2011) |
| EUA, Baltimore - 2002 | 5,7 | 1,1 | 6,8 | (PARK, 2002) |
| Grécia, Atenas - 2008-2013 | 2,0 | 0,5 | 2,5 | (PARASKEVOPOULOU, 2014) |
| China, Pequim- 2016 - 2017 | 11,0 | 3,4 | 14,4 | (DONGSHENG,2019) |
| China, Tianjin - 2016 - 2017 | 12,0 | 3,1 | 15,1 | (DONGSHENG,2019) |

Os valores de C.Org em São Paulo foram da mesma ordem de grandeza dos de outros locais, com exceção da China, Itália e Grécia. Os teores de C.E. foram, em geral, maiores que os medidos em outras cidades.

7 Conclusões

- Observa-se que as médias anuais de $MP_{2,5}$ apresentaram tendência de queda ao longo dos anos, a partir de 2010, o que não foi observado no caso das concentrações de carbono, que se mantiveram num patamar mais constante.
- A porcentagem média de C.T., no $MP_{2,5}$, observada, na estação Cerqueira César, no período monitorado foi de 53% representando praticamente a metade da concentração das partículas inaláveis finas. No entanto ao longo dos anos essa porcentagem apresentou certa variação.
- O comportamento sazonal do C.Org e C.E. é semelhante ao do $MP_{2,5}$, ou seja, ocorreu um aumento das médias mensais no período do inverno coincidindo com o período geralmente mais desfavorável à dispersão de poluentes primários no município de São Paulo, entretanto a máxima média mensal do C.Org foi no início da primavera.
- O conjunto total dos dados medidos no período de 2009 a 2012 e 2015 e 2016 mostrou correlação moderada entre as concentrações de $MP_{2,5}$ e C.E. e forte correlação entre $MP_{2,5}$ e carbono orgânico.
- De maneira geral, há uma forte correlação entre C.Org. e C.E., indicando que as fontes de poluição de ambos são similares.
- Maiores razões C.Org/C.E. foram observadas na primavera, seguida do inverno, outono e as menores razões obtidas no verão.
- Os valores de C.Org em São Paulo foram, de maneira geral, da mesma ordem de grandeza dos obtidos em cidades dos EUA e da União Europeia. Os teores de C.E. foram, em geral, maiores que os medidos nessas outras cidades.
- A CETESB dará continuidade do monitoramento em Cerqueira César nos próximos anos, para o acompanhamento da evolução dos teores de carbono no $MP_{2,5}$.

Referências

- Begum, B.A., Hossain, A., Nahar, N., Markwitz, A. and Hopke, P.K. Organic and Black Carbon in PM_{2.5} at an Urban Site at Dhaka, Bangladesh. **Aerosol Air Qual. Res.** 12: 1062-1072 (2012).
<https://doi.org/10.4209/aaqr.2012.05.0138>
- CETESB. **Teores de Material Particulado Carbonáceo na Atmosfera da Grande São Paulo**. São Paulo, 1988.
- CETESB - **Modelo Receptor - Estudo de Caracterização de Aerossóis na Região Metropolitana de São Paulo - Cerqueira César**. São Paulo, 2003 Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicações-e-relatórios>
- CETESB. **Caracterização das Redes Automáticas de Monitoramento da Qualidade do Ar na RMSP, Cerqueira Cesar**. São Paulo, 2004 Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicações-e-relatórios>
- CETESB. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2018**. São Paulo, 2019 Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicações-e-relatórios>
- Debra T Silverman, Diesel Exhaust and Lung Cancer—Aftermath of Becoming an IARC Group 1 Carcinogen, **American Journal of Epidemiology**, Volume 187, Issue 6, June 2018, Pages 1149–1152, <https://doi.org/10.1093/aje/kwy036>
- Dongsheng J., Meng G., Willy Maenhaut, J., Cheng W., Linjun C., Wenkang G., Yang S., Jiaren S., Jinyuan X., Lili W., Yuesi W., The carbonaceous aerosol levels still remain a challenge in the Beijing-Tianjin-Hebei region of China: Insights from continuous high temporal resolution measurements in multiple cities, **Environment International**, 126, 171-183 (2019)
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.02.034>.
- Gu, J., Bai, Z., Liu, A., Wu, L., Xie, Y., Li, W., Dong, H. and Zhang, X. Characterization of Atmospheric Organic Carbon and Element Carbon of PM_{2.5} and PM₁₀ at Tianjin, China. **Aerosol Air Qual. Research** 10: 167-176, (2010)
<https://doi.org/10.4209/aaqr.2009.12.0080>
- Lonati, G., Ozgen, S., Giugliano, M.. Primary and secondary carbonaceous species in PM_{2.5} samples in Milan (Italy), **Atmospheric Environment**, Volume 41 (22), 4599-4610 (2007)
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.03.046>.
- Karanasiou, A. & Minguillón, M. & Viana, M. & Alastuey, A. & Putaud, J. & Maenhaut, W. & Panteliadis, P. & Močnik, G. & Favez, O. & Kuhlbusch, T.A.J.. Thermal-optical analysis for the measurement of elemental carbon (EC) and organic carbon (OC) in ambient air a literature review. **Atmos. Meas Tech. Discuss.** 8. 9649-9712 (2015)
- Mukaka MM. Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. **Malawi Med J.**, 24(3):69-71 (2012)
- Paraskevopoulou, D., Liakakou, E., Gerasopoulos, E., Theodosi, C., and Mihalopoulos, N.: Long-term characterization of organic and elemental carbon in the PM_{2.5} fraction: the case of Athens, Greece, **Atmos. Chem. Phys.**, 14, 13313–13325, <https://doi.org/10.5194/acp-14-13313-2014> (2014)
- Park, S. S., Harrison, D., Pancras, J. P., and Ondov, J. M. (2005), Highly time-resolved organic and elemental carbon measurements at the Baltimore Supersite in 2002, **J. Geophys. Res.**, 110, D07S06, [doi:10.1029/2004JD004610](https://doi.org/10.1029/2004JD004610).
- Pio, C. & Cerqueira, M. & Harrison, R. & Nunes, T. & Mirante, F. & Alves, C. & Oliveira, C. & Verdona, A. M. & Artíñano, B & Matos, M.. (2011). OC/EC Ratio Observations in Europe: Re-thinking the Approach for Apportionment between Primary and Secondary Organic Carbon. **Atmospheric Environment**. 45. 6121-6132 (2011). [10.1016/j.atmosenv.2011.08.045](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.045).

Qi M, Jiang L, Liu Y, Xiong Q, Sun C, Li X, Zhao W, Yang X. Analysis of the Characteristics and Sources of Carbonaceous Aerosols in PM_{2.5} in the Beijing, Tianjin, and Langfang Region, China. **Int J Environ Res Public Health**. Jul 13;15(7):1483 (2018)

Samara, C., Voutsas, D., Kouras, A. et al. Organic and elemental carbon associated to PM₁₀ and PM_{2.5} at urban sites of northern Greece. **Environ Sci Pollut Res** 21, 1769–1785 (2014).
<https://doi.org/10.1007/s11356-013-2052-8>

UNITED STATES. EPA- Environmental Protection Agency
<http://views.cira.colostate.edu/fed/SiteBrowser/Default.aspx>, Acesso em 02/2020

UNITED STATES. EPA. - Health Assessment Document for Diesel Engine Exhaust-EPA/600/8-90/057F – May 2002

Viana, M., Maenhaut, W., ten Brink H.M., , Chi X., Weijers, E., Querol,X., Alastuey, A., Mikuška, P., Večeřa, Z.. Comparative analysis of organic and elemental carbon concentrations in carbonaceous aerosols in three European cities, **Atmospheric Environment**, 41 (28), 5972-5983 (2007).
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.03.035>.

Wang, J.; Yu, A.; Yang, L.; Fang, C. Research on Organic Carbon and Elemental Carbon Distribution Characteristics and Their Influence on Fine Particulate Matter (PM_{2.5}) in Changchun City. **Environments** , 6, 21 (2019).

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Air Quality Guidelines, Summary of Risk Assessment – Global Update, 2005.

Apêndice

| Data da Amostragem | MP _{2,5} (µg/m ³) | C.Org (µg/m ³) | C.E. (µg/m ³) | C.T. (µg/m ³) |
|--------------------|---|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 14/01/2009 | 15 | 4,7 | 6,5 | 11,2 |
| 01/02/2009 | 13 | 4,4 | 2,5 | 6,9 |
| 07/02/2009 | 20 | 6,1 | 5,3 | 11,5 |
| 13/02/2009 | 9 | 3,1 | 3,4 | 6,5 |
| 25/02/2009 | 18 | 5,3 | 6,7 | 12,0 |
| 09/03/2009 | 14 | 4,2 | 7,1 | 11,3 |
| 15/03/2009 | 14 | 4,8 | 2,1 | 6,9 |
| 21/03/2009 | 15 | 4,9 | 4,7 | 9,6 |
| 27/03/2009 | 21 | 6,3 | 3,8 | 10,1 |
| 02/04/2009 | 11 | 3,8 | 3,6 | 7,5 |
| 08/04/2009 | 10 | 2,7 | 2,7 | 5,5 |
| 14/04/2009 | 17 | 4,6 | 8,6 | 13,2 |
| 20/04/2009 | 15 | 4,6 | 3,0 | 7,6 |
| 26/04/2009 | 6 | 2,6 | 1,8 | 4,4 |
| 02/05/2009 | 8 | 2,6 | 1,6 | 4,2 |
| 08/05/2009 | 31 | 8,2 | 7,6 | 15,8 |
| 14/05/2009 | 21 | 6,6 | 7,3 | 13,9 |
| 20/05/2009 | 14 | 3,4 | 2,4 | 5,8 |
| 26/05/2009 | 22 | 7,2 | 9,0 | 16,2 |
| 07/06/2009 | 10 | 3,5 | 1,0 | 4,5 |
| 25/06/2009 | 33 | 7,5 | 8,4 | 16,0 |
| 07/07/2009 | 33 | 8,9 | 10,0 | 18,9 |
| 13/07/2009 | 28 | 7,9 | 8,7 | 16,7 |
| 19/07/2009 | 4 | 2,4 | 0,6 | 3,1 |
| 25/07/2009 | 14 | 3,9 | 3,4 | 7,4 |
| 31/07/2009 | 14 | 3,3 | 1,9 | 5,3 |
| 18/08/2009 | 22 | 6,4 | 7,4 | 13,8 |
| 24/08/2009 | 15 | 4,7 | 4,8 | 9,5 |
| 05/09/2009 | 28 | 9,6 | 4,8 | 14,4 |
| 11/09/2009 | 14 | 4,7 | 2,4 | 7,1 |
| 05/10/2009 | 23 | 7,4 | 6,9 | 14,3 |
| 11/10/2009 | 15 | 5,4 | 2,6 | 8,0 |
| 17/10/2009 | 12 | 3,6 | 2,7 | 6,3 |
| 23/10/2009 | 13 | 4,0 | 2,0 | 6,0 |
| 29/10/2009 | 6 | 2,6 | 1,7 | 4,3 |
| 22/11/2009 | 13 | 5,1 | 4,1 | 9,2 |
| 28/11/2009 | 11 | 4,3 | 4,5 | 8,8 |
| 04/12/2009 | 5 | 2,3 | 1,5 | 3,8 |
| 10/12/2009 | 14 | 4,0 | 3,6 | 7,6 |
| 22/12/2009 | 22 | 6,1 | 5,4 | 11,6 |

| Data da Amostragem | MP _{2,5} (µg/m ³) | C.Org (µg/m ³) | C.E. (µg/m ³) | C.T. (µg/m ³) |
|--------------------|---|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 24/01/2010 | 11 | 3,9 | 2,9 | 6,8 |
| 05/02/2010 | 20 | 7,5 | 8,6 | 16,1 |
| 23/02/2010 | 22 | 6,2 | 11,0 | 17,2 |
| 07/03/2010 | 12 | 3,6 | 2,3 | 6,0 |
| 13/03/2010 | 22 | 6,9 | 7,4 | 14,4 |
| 19/03/2010 | 21 | 6,6 | 6,9 | 13,5 |
| 25/03/2010 | 28 | 7,3 | 3,4 | 10,7 |
| 31/03/2010 | 10 | 3,9 | 2,8 | 6,7 |
| 12/04/2010 | 8 | 3,3 | 3,5 | 6,8 |
| 18/04/2010 | 15 | 5,3 | 2,4 | 7,7 |
| 18/05/2010 | 26 | 8,0 | 7,2 | 15,2 |
| 24/05/2010 | 29 | 7,8 | 6,9 | 14,8 |
| 30/05/2010 | 19 | 7,5 | 5,2 | 12,6 |
| 23/06/2010 | 12 | 4,1 | 3,3 | 7,4 |
| 29/06/2010 | 20 | 4,6 | 2,4 | 7,0 |
| 05/07/2010 | 23 | 7,3 | 5,5 | 12,9 |
| 17/07/2010 | 9 | 2,5 | 1,5 | 4,0 |
| 23/07/2010 | 26 | 7,5 | 7,0 | 14,5 |
| 29/07/2010 | 24 | 6,4 | 7,2 | 13,6 |
| 10/08/2010 | 16 | 3,8 | 2,8 | 6,5 |
| 16/08/2010 | 6 | 2,8 | 1,6 | 4,4 |
| 28/08/2010 | 53 | 11,4 | 3,5 | 14,9 |
| 09/09/2010 | 9 | 4,1 | 2,3 | 6,4 |
| 15/10/2010 | 31 | 7,2 | 6,5 | 13,7 |
| 21/10/2010 | 30 | 6,7 | 3,5 | 10,2 |
| 20/11/2010 | 24 | 7,0 | 5,8 | 12,8 |
| 26/11/2010 | 12 | 4,8 | 4,0 | 8,8 |
| 20/12/2010 | 24 | 5,9 | 6,1 | 12,0 |

| Data da Amostragem | MP _{2,5} (µg/m ³) | C.Org (µg/m ³) | C.E. (µg/m ³) | C.T. (µg/m ³) |
|--------------------|---|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 14/01/2011 | 13 | 3,7 | 6,0 | 9,7 |
| 07/02/2011 | 18 | 5,5 | 3,8 | 9,3 |
| 13/02/2011 | 13 | 4,5 | 3,9 | 8,4 |
| 19/02/2011 | 21 | 5,9 | 2,6 | 8,4 |
| 25/02/2011 | 17 | 4,6 | 3,5 | 8,0 |
| 03/03/2011 | 12 | 3,3 | 2,4 | 5,7 |
| 02/04/2011 | 16 | 4,7 | 5,9 | 10,6 |
| 14/04/2011 | 26 | 5,6 | 9,4 | 15,0 |
| 08/05/2011 | 23 | 7,0 | 3,3 | 10,3 |
| 14/05/2011 | 14 | 3,4 | 1,4 | 4,8 |
| 20/05/2011 | 27 | 5,2 | 3,9 | 9,2 |
| 26/05/2011 | 34 | 7,6 | 11,0 | 18,6 |
| 01/06/2011 | 45 | 8,1 | 5,6 | 13,7 |
| 07/07/2011 | 22 | 4,8 | 2,3 | 7,1 |
| 19/07/2011 | 34 | 9,3 | 5,0 | 14,3 |
| 25/07/2011 | 22 | 6,0 | 6,4 | 12,4 |
| 31/07/2011 | 27 | 6,7 | 3,3 | 10,0 |
| 06/08/2011 | 34 | 9,3 | 8,7 | 18,0 |
| 12/08/2011 | 31 | 4,8 | 2,3 | 7,1 |
| 18/08/2011 | 28 | 6,4 | 3,6 | 9,9 |
| 24/08/2011 | 26 | 5,1 | 2,3 | 7,5 |
| 17/09/2011 | 17 | 4,5 | 1,9 | 6,4 |
| 23/09/2011 | 21 | 7,2 | 4,3 | 11,5 |
| 05/10/2011 | 21 | 6,3 | 4,8 | 11,1 |
| 11/10/2011 | 26 | 5,9 | 2,4 | 8,2 |
| 17/10/2011 | 5 | 1,6 | 1,0 | 2,6 |
| 23/10/2011 | 16 | 4,0 | 1,7 | 5,7 |
| 29/10/2011 | 26 | 5,5 | 2,6 | 8,1 |
| 04/11/2011 | 16 | 3,7 | 2,4 | 6,1 |
| 16/11/2011 | 5 | 1,8 | 1,2 | 3,0 |
| 22/11/2011 | 20 | 5,0 | 6,2 | 11,2 |
| 28/11/2011 | 16 | 5,3 | 2,1 | 7,4 |
| 04/12/2011 | 15 | 3,8 | 1,0 | 4,8 |
| 10/12/2011 | 5 | 2,5 | 1,5 | 4,0 |
| 16/12/2011 | 19 | 5,5 | 6,6 | 12,1 |
| 21/12/2011 | 25 | 5,9 | 6,5 | 12,4 |
| 28/12/2011 | 8 | 2,9 | 2,3 | 5,2 |

| Data da Amostragem | MP _{2,5} (µg/m ³) | C.Org (µg/m ³) | C.E. (µg/m ³) | C.T. (µg/m ³) |
|--------------------|---|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 04/01/2012 | 19 | 4,4 | 3,0 | 7,4 |
| 09/01/2012 | 9 | 2,3 | 1,1 | 3,4 |
| 27/01/2012 | 6 | 2,2 | 1,5 | 3,7 |
| 04/02/2012 | 16 | 4,8 | 3,1 | 7,9 |
| 16/02/2012 | 20 | 6,2 | 3,3 | 9,5 |
| 22/02/2012 | 15 | 4,1 | 6,1 | 10,2 |
| 17/03/2012 | 12 | 3,8 | 1,3 | 5,2 |
| 23/03/2012 | 18 | 7,0 | 8,7 | 15,7 |
| 29/03/2012 | 14 | 5,0 | 3,7 | 8,7 |
| 04/04/2012 | 24 | 7,0 | 4,9 | 12,0 |
| 16/04/2012 | 8 | 2,6 | 1,5 | 4,0 |
| 22/04/2012 | 5 | 2,2 | 0,9 | 3,1 |
| 28/04/2012 | 19 | 4,4 | 2,5 | 6,9 |
| 10/05/2012 | 25 | 7,6 | 9,4 | 17,0 |
| 03/06/2012 | 14 | 3,2 | 2,2 | 5,4 |
| 15/06/2012 | 34 | 8,0 | 5,3 | 13,2 |
| 21/06/2012 | 15 | 4,2 | 4,8 | 9,0 |
| 03/07/2012 | 42 | 12,7 | 13,3 | 26,0 |
| 09/07/2012 | 9 | 2,9 | 1,7 | 4,6 |
| 15/07/2012 | 21 | 6,0 | 1,6 | 7,6 |
| 21/07/2012 | 24 | 7,5 | 8,3 | 15,8 |
| 27/07/2012 | 23 | 6,7 | 4,5 | 11,2 |
| 02/08/2012 | 24 | 7,1 | 8,7 | 15,8 |
| 08/08/2012 | 28 | 8,2 | 4,2 | 12,5 |
| 14/08/2012 | 22 | 7,4 | 4,4 | 11,8 |
| 20/08/2012 | 23 | 7,5 | 6,0 | 13,5 |
| 01/09/2012 | 34 | 10,6 | 7,1 | 17,7 |
| 07/10/2012 | 40 | 10,6 | 3,0 | 13,6 |
| 13/10/2012 | 5 | 2,0 | 0,6 | 2,6 |
| 19/10/2012 | 17 | 5,3 | 3,9 | 9,2 |
| 25/10/2012 | 22 | 6,8 | 3,1 | 9,9 |
| 24/11/2012 | 31 | 10,2 | 4,0 | 14,2 |
| 30/11/2012 | 13 | 4,3 | 2,4 | 6,8 |
| 06/12/2012 | 23 | 7,7 | 8,5 | 16,2 |
| 12/12/2012 | 16 | 6,6 | 3,6 | 10,1 |
| 18/12/2012 | 20 | 6,2 | 5,9 | 12,1 |






| Data da Amostragem | MP _{2,5} (µg/m ³) | C.Org (µg/m ³) | C.E. (µg/m ³) | C.T. (µg/m ³) |
|--------------------|---|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 09/01/2015 | 15 | 5,7 | 7,0 | 12,7 |
| 15/01/2015 | 16 | 4,9 | 2,5 | 7,4 |
| 21/01/2015 | 11 | 3,6 | 2,3 | 5,9 |
| 27/01/2015 | 12 | 3,6 | 4,9 | 8,4 |
| 08/02/2015 | 15 | 5,1 | 2,0 | 7,0 |
| 14/02/2015 | 14 | 5,6 | 2,8 | 8,3 |
| 20/02/2015 | 11 | 4,6 | 4,5 | 9,1 |
| 26/02/2015 | 18 | 6,0 | 8,0 | 14,0 |
| 04/03/2015 | 23 | 5,6 | 3,5 | 9,1 |
| 10/03/2015 | 13 | 3,0 | 3,1 | 6,1 |
| 16/03/2015 | 16 | 4,6 | 6,6 | 11,2 |
| 22/03/2015 | 8 | 3,7 | 1,7 | 5,4 |
| 28/03/2015 | 25 | 6,1 | 2,0 | 8,1 |
| 03/04/2015 | 13 | 2,9 | 2,8 | 5,8 |
| 09/04/2015 | 26 | 5,3 | 3,4 | 8,7 |
| 15/04/2015 | 20 | 5,6 | 6,7 | 12,4 |
| 27/04/2015 | 9 | 3,6 | 3,0 | 6,6 |
| 09/05/2015 | 20 | 4,9 | 2,5 | 7,4 |
| 15/05/2015 | 16 | 4,3 | 4,5 | 8,8 |
| 21/05/2015 | 17 | 5,2 | 4,1 | 9,3 |
| 27/05/2015 | 20 | 6,2 | 7,2 | 13,4 |
| 02/06/2015 | 11 | 3,9 | 3,1 | 7,0 |
| 02/07/2015 | 29 | 7,3 | 3,9 | 11,2 |
| 08/07/2015 | 13 | 8,6 | 4,0 | 12,5 |
| 20/07/2015 | 14 | 6,4 | 6,0 | 12,5 |
| 26/07/2015 | 13 | 5,0 | 1,5 | 6,4 |
| 01/08/2015 | 40 | 9,9 | 9,1 | 19,0 |
| 07/08/2015 | 30 | 12,8 | 12,3 | 25,1 |
| 13/08/2015 | 28 | 8,9 | 7,3 | 16,1 |
| 19/08/2015 | 19 | 6,6 | 4,4 | 11,1 |
| 25/08/2015 | 20 | 5,5 | 5,0 | 10,5 |
| 31/08/2015 | 31 | 9,6 | 10,1 | 19,8 |
| 30/09/2015 | 20 | 6,3 | 3,6 | 9,8 |
| 06/10/2015 | 14 | 4,0 | 2,6 | 6,6 |
| 30/10/2015 | 11 | 4,3 | 3,4 | 7,7 |
| 05/11/2015 | 13 | 4,5 | 4,9 | 9,4 |
| 11/11/2015 | 32 | 5,2 | 4,2 | 9,3 |
| 03/11/2015 | 25 | 5,9 | 3,4 | 9,3 |
| 29/11/2015 | 8 | 4,0 | 1,9 | 5,9 |
| 05/12/2015 | 18 | 5,7 | 3,4 | 9,1 |
| 11/12/2015 | 16 | 5,2 | 4,9 | 10,1 |
| 17/12/2015 | 22 | 5,9 | 3,2 | 9,1 |

| Data da Amostragem | MP _{2,5} (µg/m ³) | C.Org (µg/m ³) | C.E. (µg/m ³) | C.T. (µg/m ³) |
|--------------------|---|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 06/01/2016 | 19 | 5,4 | 3,0 | 8,3 |
| 18/01/2016 | 8 | 2,4 | 2,0 | 4,3 |
| 05/02/2016 | 18 | 6,1 | 4,8 | 11,0 |
| 11/02/2016 | 10 | 3,2 | 2,3 | 5,5 |
| 29/02/2016 | 6 | 2,3 | 1,8 | 4,1 |
| 18/03/2016 | 16 | 5,3 | 4,3 | 9,5 |
| 30/03/2016 | 18 | 5,5 | 4,5 | 10,0 |
| 05/04/2016 | 11 | 4,1 | 3,1 | 7,2 |
| 11/04/2016 | 21 | 6,0 | 2,9 | 8,9 |
| 17/04/2016 | 27 | 10,9 | 5,1 | 15,9 |
| 29/04/2016 | 13 | 4,1 | 2,4 | 6,6 |
| 05/05/2016 | 20 | 5,9 | 3,0 | 9,0 |
| 11/05/2016 | 10 | 3,9 | 2,8 | 6,7 |
| 17/05/2016 | 11 | 3,5 | 3,6 | 7,1 |
| 29/05/2016 | 12 | 4,3 | 1,7 | 6,0 |
| 04/06/2016 | 14 | 4,7 | 4,2 | 9,0 |
| 22/06/2016 | 12 | 4,6 | 3,8 | 8,3 |
| 28/06/2016 | 36 | 10,4 | 6,9 | 17,3 |
| 10/07/2016 | 37 | 13,0 | 7,5 | 20,6 |
| 28/07/2016 | 13 | 3,9 | 1,7 | 5,7 |
| 03/08/2016 | 15 | 3,8 | 1,9 | 5,7 |
| 09/08/2016 | 18 | 6,1 | 5,2 | 11,3 |
| 14/09/2016 | 34 | 12,8 | 6,0 | 18,7 |
| 20/09/2016 | 7 | 3,1 | 1,2 | 4,3 |
| 26/09/2016 | 10 | 3,3 | 1,6 | 4,9 |
| 20/10/2016 | 16 | 6,0 | 4,1 | 10,1 |
| 26/10/2016 | 16 | 5,6 | 4,1 | 9,7 |
| 07/11/2016 | 18 | 5,1 | 3,2 | 8,3 |
| 19/11/2016 | 5 | 2,1 | 0,6 | 2,6 |
| 25/11/2016 | 18 | 5,6 | 2,0 | 7,6 |
| 01/12/2016 | 8 | 2,8 | 1,5 | 4,3 |
| 07/12/2016 | 22 | 8,0 | 7,2 | 15,2 |
| 13/12/2016 | 13 | 4,6 | 4,0 | 8,6 |



| Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente

Acompanhe as redes sociais da CETESB:

-  Site: cetesb.sp.gov.br
-  Facebook: facebook.com/cetesbsp
-  LinkedIn: linkedin.com/company/cetesb
-  Instagram: instagram.com/cetesbsp
-  SoundCloud: soundcloud.com/cetesbsp