



# PANDEMIA DE COVID 19

## REFLEXOS NA POLUIÇÃO DO AR NA

### REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

---



Governo do Estado de São Paulo  
Rodrigo Garcia - Governador do Estado de São Paulo

Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente  
Fernando Chucre - 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  
Aruntho Savastano Neto - 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



# PANDEMIA DE COVID 19

## REFLEXOS NA POLUIÇÃO DO AR NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

CETESB COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

2021

São Paulo ■ 2022

# Dados Internacionais de Catalogação

(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

C418p      CETESB (São Paulo)  
Pandemia de COVID 19 [recurso eletrônico] : reflexos na poluição do ar na região metropolitana de São Paulo 2021 / CETESB ; Elaboração Jesuino Romano ; Equipe de trabalho Dirce Maria Pellegatti Franco ... [et al.] ; Colaboração Claudio Darwin Alonso. -- São Paulo : CETESB, 2022.  
1 arquivo de texto (30 p.) : il. color., PDF ; 2 MB

Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>>.  
ISBN 978-65-5577-033-9

1. Ar – qualidade – controle 2. Ar – poluição 3. COVID 19 4. Pandemia 5. RMSP (SP)  
I. Título.

CDD (21.ed. Esp.) 363.739 263 816 1      CDU (2.ed. Port.) 502.175:614.71/.72 (815.6)  
628.53 816 1      614.71:616-036.21 (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 2022.  
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 Lucia G. Guardani

### ***Setor de Amostragem e Análise do Ar***

Cristiane F. Fernandes Lopes

### ***Elaboração***

Jesuino Romano

### ***Equipe De Trabalho***

Dirce Maria Pellegatti Franco

Maria Cristina N de Oliveira

Thiago de Russi Colella

Yoshio Yanagi

### ***Colaboração***

Claudio Darwin Alonso

### ***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 novo Coronavírus SARS-CoV-2, causador da COVID-19, exigiu reduções de atividades no mundo todo inclusive na Região Metropolitana de São Paulo – RMSP. A forte redução inicial resultou na restrição de atividades comerciais, educacionais e de lazer, apenas com a abertura mais livre de farmácias e mercados. Como consequência ocorreu uma sensível redução de tráfego de veículos, fato este de especial interesse para a poluição do ar, por serem os veículos um dos maiores agentes causadores da poluição do ar na RMSP.

Por ser evento inédito cuja intensidade de restrição de tráfego dificilmente se repetirá, mas, por não ser planejado, nem todos os dados quantitativos desejáveis puderam ser obtidos. Mesmo sem uma quantificação precisa de redução da frota circulante, os dados quantitativos de qualidade do ar foram associados às informações de redução de trânsito e de forma a se extrair conhecimentos sólidos do significado da diminuição das emissões veiculares.

O comportamento de poluentes na atmosfera depende não apenas das emissões pelas fontes mas também das condições meteorológicas – chuvas e ventos. Por essa razão os estudos foram realizados em vários períodos para que se tenha o mínimo de influência da meteorologia e portanto, permitindo verificar o efeito da redução das emissões. O estudo analisou o comportamento dos dados em 3 períodos, centralizando sempre no de máxima restrição de 24 de março a 23 de abril de 2020. Para efeito de comparação, foram considerados os comportamentos dos 3 anos anteriores, bem como dos doze meses posteriores.

Os poluentes analisados foram o monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO e NO<sub>2</sub>), material particulado em dois tamanhos (MP<sub>2,5</sub> e MP<sub>10</sub>) e ozônio (O<sub>3</sub>).

Como principal objetivo do estudo foi verificar a que níveis de poluição se atinge com a forte redução de frota, foram tomados como valores referência as metas de redução de poluição estabelecidas legalmente. Em ordem decrescente tais níveis são MI1, MI2, MI3 e PF. (metas intermediárias 1,2,3 e padrão final).

Os dados de São Paulo também foram comparados com dados internacionais e demonstraram similar comportamento. Nos períodos de maior redução de tráfego ocorreu queda nas concentrações de material particulado, nos dois tamanhos, dióxido de nitrogênio e monóxido de carbono e acréscimo de ozônio nas atmosferas de São Paulo, Cidade do México, Londres e Delhi (este último com queda também do ozônio). O aumento do ozônio é teoricamente explicado pelas complexas reações fotoquímicas que ocorrem na atmosfera.

De uma forma geral pode-se afirmar que na RMSP distinguiu-se três comportamentos das concentrações dos poluentes no período da pandemia:

- Demonstraram redução: os emitidos principalmente pelos veículos, CO, NO e NO<sub>2</sub>. Não só ocorreram reduções das concentrações no período de maior restrição das atividades (24/03 a 23/04 de 2020) mas também quando se compara com concentrações em relação ao mesmo período nos anos anteriores (2017 a 2019), do mesmo modo, houve uma leve diminuição das concentrações anuais. Este é um bom indicativo que para estes poluentes, as reduções de emissões impostas pela pandemia são adequadas como meta de controle a ser perseguida.
- Demonstrou aumento: o ozônio foi o único poluente que teve aumento de suas concentrações durante a pandemia, em relação aos anos anteriores. Atribui-se que este comportamento se deve à diminuição da geração do NO pois este poluente consome o ozônio. Como já dito, comportamento observado em várias cidades pesquisadas.

- Demonstraram estabilidade: As concentrações médias anuais em 2020 foram praticamente iguais às de 2019, tanto para  $MP_{10}$  como o  $MP_{2,5}$ . As médias observadas no período de maior restrição em relação ao imediatamente anterior, em 2020, foram também praticamente iguais. Entretanto, comparando-se os períodos referentes ao de maior restrição de 2020 com o de 2017 a 2019, nota-se uma queda das concentrações médias em 2020, diminuição também observada no número de ultrapassagens do PF.

As ultrapassagens das metas diárias em 2020, em relação ao ano anterior, mantiveram-se praticamente nos mesmos patamares.

Apesar dos veículos representarem na RMSP uma fonte importante de emissão de material particulado, uma parcela significativa deste material é formada por aerossóis secundários e no caso do  $MP_{10}$  por poeira ressuspensa do solo. Desta forma, em que pese a diminuição do tráfego e da emissão de material particulado, os efeitos nas concentrações atmosféricas não foram tão marcantes.

## Lista de Figuras

### Figuras

Figura 1 - Estimativa de emissões relativas por tipo de fonte - RMSP .....	10
Figura 2 - Índice de isolamento social na cidade de São Paulo.....	10
Figura 3 - Mobilidade na cidade de São Paulo – Porcentagem de mudança relativamente à linha base.....	11
Figura 4 - Precipitação diária nos períodos ANTES e DURANTE de 2020, e nos mesmos períodos de 2017, 2018 e 2019 da estação Mirante de Santana do INMET .....	14
Figura 5 - Percentual diário de calmaria e velocidade média dos ventos - RMSP - 2017 a 2020 .....	15
Figura 6 - Diferenças percentuais dos poluentes ANTES e DURANTE, em 2020, e nos mesmos períodos entre 2017 e 2019, em estações de microescala .....	18
Figura 7 - Diferenças percentuais dos poluentes ANTES e DURANTE, em 2020, e nos mesmos períodos entre 2017 e 2019, em estações não micro .....	18
Figura 8 - MP <sub>10</sub> Concentrações médias diárias e precipitação, em 2020, nas estações de microescala (a) e não micro (b).....	19
Figura 9 - MP <sub>2,5</sub> - Concentrações médias diárias e precipitação, em 2020, nas estações de microescala (a) e não micro (b).....	20
Figura 10 - CO, NO, NO <sub>2</sub> e O <sub>3</sub> - Diferenças percentuais dos poluentes ANTES e DURANTE, em 2020, e nos mesmos períodos entre 2017 e 2019, em estações não micro .....	21
Figura 11 - MP <sub>10</sub> – Média das concentrações diárias nas estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020.....	22
Figura 12 - MP <sub>2,5</sub> – Média das concentrações diárias nas estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020.....	23
Figura 13 - CO – Média das concentrações máximas diárias (médias de 8 horas) nas estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020.....	24
Figura 14 - NO – Média das concentrações máximas diárias (média de 1 h) nas estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020.....	24
Figura 15 - NO <sub>2</sub> – Médias das concentrações máximas diárias (média de 1 h) nas estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020.....	25
Figura 16 - .....	25
Figura 17 - MP <sub>10</sub> – Perfil horário médio das estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020 .....	26
Figura 18 - MP <sub>2,5</sub> – Perfil horário médio das estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020 .....	26
Figura 19 - CO – Perfil horário médio das estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020 .....	27
Figura 20 - NO – Perfil horário médio das estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020 .....	27
Figura 21 - NO <sub>2</sub> – Perfil horário médio das estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020 .....	28
Figura 22 - O <sub>3</sub> – Perfil horário médio das estações, de 2017 a 2020 .....	28
Figura 23 - Índice de isolamento social na cidade de São Paulo - média mensal.....	29



## Lista de Tabelas

### Tabelas

Tabela 1 - Estações de monitoramento da RMSP .....	13
Tabela 2 - Número de dias e total de precipitação nos períodos ANTES e DURANTE de 2020, e nos mesmos períodos de 2017 a 2019 da estação Mirante de Santana do INMET .....	15
Tabela 3 - Percentual de calmaria e velocidade média dos ventos nos períodos ANTES e DURANTE na RMSP - 2017 a 2020 .....	16
Tabela 4 - Concentrações médias dos poluentes ANTES e DURANTE em estações de microescala ....	17
Tabela 5 - Concentrações médias dos poluentes ANTES e DURANTE em estações não micro .....	17
Tabela 6 - MP <sub>10</sub> - Número de ultrapassagens das metas de curto prazo e médias de concentração, nos períodos ANTES e DURANTE dos anos 2017 a 2020, para as estações não micro (a) e micro (b). 30	
Tabela 7 - MP <sub>10</sub> – Número de ultrapassagens das metas de curto prazo e médias de concentração, nos períodos de abril de 2019 a março de 2020 e de abril de 2020 a março de 2021.....	30
Tabela 8 - MP <sub>2,5</sub> – Número de ultrapassagens das metas de curto prazo e médias de concentração, nos períodos ANTES e DURANTE dos anos 2017 a 2020, para as estações não micro (a) e micro (b). 31	
Tabela 9 - MP <sub>2,5</sub> – Número de ultrapassagens das metas de curto prazo e médias de concentração, nos períodos de abril de 2019 a março de 2020 e de abril de 2020 a março de 2021, para as estações micro e não micro .....	31
Tabela 10 - NO <sub>2</sub> – Número de ultrapassagens das metas de curto prazo e médias de concentração, nos períodos de abril de 2019 a março de 2020 e de abril de 2020 a março de 2021, para as estações e micro e não micro .....	32
Tabela 11 - O <sub>3</sub> – Número de ultrapassagens das metas de curto prazo nos períodos ANTES e DURANTE dos anos 2017 a 2020 .....	32
Tabela 12 - O <sub>3</sub> – Número de ultrapassagens das metas de curto prazo e médias de concentração, nos períodos de abril de 2019 a março de 2020 e de abril de 2020 a março de 2021 .....	33
Tabela 13 - Comparação das médias de concentração de MP <sub>2,5</sub> , MP <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> , CO e O <sub>3</sub> , na Cidade do México, Londres, Delhi com RMSP, entre 2017 e 2020.....	34
Tabela 14 - Padrões Estaduais de Qualidade do Ar (Decreto Estadual nº 59.113).....	37

## Lista de Abreviaturas e Siglas

### Lista de Abreviaturas

CETESB	– Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
OMS	– Organização Mundial da Saúde
RMSP	– Região Metropolitana de São Paulo
IEMA	– Instituto de Energia e Meio Ambiente

### Lista de Símbolos

CO	– monóxido de carbono
HC	– hidrocarbonetos
MP <sub>10</sub>	– partículas inaláveis
MP <sub>2,5</sub>	– partículas inaláveis finas
NO <sub>2</sub>	– dióxido de nitrogênio
NO <sub>x</sub>	– óxidos de nitrogênio
NO	– monóxido de nitrogênio
O <sub>3</sub>	– ozônio
SO <sub>2</sub>	– dióxido de enxofre
SO <sub>x</sub>	– óxidos de nitrogênio
µg/m <sup>3</sup>	– micrograma por metro cúbico
µm	– micrômetro
ppm	– parte por milhão

# SUMÁRIO

<b>1 Introdução</b> .....	<b>9</b>
1.1 Decreto n º 64.881 .....	9
1.2 Caracterização da Região Metropolitana de São Paulo.....	9
1.3 Reflexo das Medidas de Restrição Sobre o Tráfego na Cidade de São Paulo.....	10
<b>2. Objetivo</b> .....	<b>11</b>
<b>3. Metodologia</b> .....	<b>11</b>
3.1 Parâmetros Avaliados .....	12
<b>4. Resultados e Discussão</b> .....	<b>13</b>
4.1 Meteorologia .....	13
4.2 Poluentes - Concentrações Médias.....	16
4.3. Perfis Diários .....	22
4.4 Perfis Horários.....	26
<b>5. Qualidade do Ar em Relação as Metas Legais</b> .....	<b>28</b>
<b>6. Comparação com Outros Estudos</b> .....	<b>33</b>
<b>7. Conclusão</b> .....	<b>34</b>
<b>8. Comentário Final</b> .....	<b>35</b>
<b>9. Referências</b> .....	<b>36</b>
<b>APÊNDICE</b> .....	<b>37</b>

## 1 Introdução

O novo Coronavírus SARS-CoV-2, causador da COVID-19, surgiu na cidade de Wuhan, China, espalhando-se para outros países a partir de dezembro de 2019 (VEGA, 2021). O primeiro caso de COVID-19 no Brasil foi confirmado em 26 de fevereiro de 2020. Em 11 de março de 2020, a Organização Mundial da Saúde - OMS declarou o COVID-19 como pandemia. Em 24 de março do mesmo ano o Governo do Estado de São Paulo ordenou a restrição parcial das atividades provocando o fechamento do comércio, exceto serviços essenciais, restaurantes, lojas comerciais, academias de ginástica, escolas e universidades ou seja, uma redução significativa das atividades na Região Metropolitana de São Paulo – RMSP (SÃO PAULO, 2020).

Na RMSP, as medidas de restrição impostas tiveram como consequência a diminuição de circulação de veículos automotores, principal tipo de fonte responsável pela deterioração da qualidade do ar.

### 1.1 Decreto n° 64.881

Além do Decreto n° 64.881 de 22/03/2020 (SÃO PAULO 2020) que estabelece quarentena no Estado de São Paulo, o Governo do Estado de São Paulo instituiu o Plano São Paulo pelo Decreto n° 64.994, de 28/05/2020, determinando quais atividades seriam permitidas ou suspensas de acordo com os níveis de saturação de leitos, com a fase em que se encontra (SÃO PAULO, 2020a). Dessa forma foram definidas 5 fases:

**Fase 1** (vermelha): alerta máximo – fase de contaminação com liberação apenas para serviços essenciais;

**Fase 2** (laranja): controle – fase de atenção com eventuais liberações;

**Fase 3** (amarela): flexibilização – fase controlada, com maior liberação de atividades;

**Fase 4** (verde): abertura parcial – fase decrescente, com menores restrições;

**Fase 5** (azul): normal controlado – fase de controle da doença e liberação de todas as atividades com protocolos

Durante o período de um ano a partir do início da quarentena, a RMSP passou por fases mais ou menos restritas, de acordo com os critérios de avaliação do Plano SP. Assim, no período de um ano, as mudanças de fase ocorreram nas seguintes datas:

- 03/06/2020: fase 2;
- 03/07/2020: fase 3;
- 30/11/2020: fase 4;
- 08/01/2021: fase 3;
- 29/01/2021: fase 2;
- 19/02/2021: fase 1;
- 11/03/2021: fase emergencial (esta fase impôs um aumento das restrições em relação à fase 1, vermelha)

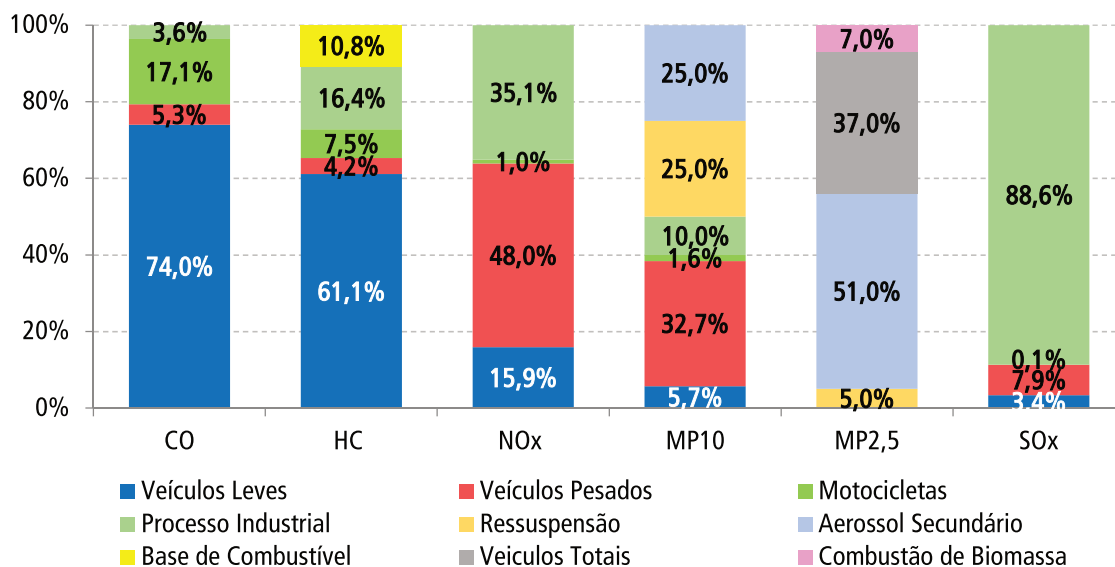
### 1.2 Caracterização da Região Metropolitana de São Paulo

A RMSP possui uma área de 8.051 km<sup>2</sup>, com uma população de 21,9 milhões de habitantes (IBGE, 2020), distribuída em uma área urbanizada de 1.747 km, de maneira desordenada.

Em 2019, a RMSP concentrava 48% da frota do estado, com 5.968.126 veículos do ciclo Otto e 444.288 diesel, em apenas 3,2% de seu território (CETESB, 2021).

Conforme estimativas de emissão por tipo de fonte, apresentadas na **Figura 1** (CETESB, 2021) para a RMSP, os veículos automotores constituem na principal fonte de emissão para a maioria dos poluentes.

**Figura 1 - Estimativa de emissões relativas por tipo de fonte - RMSP**

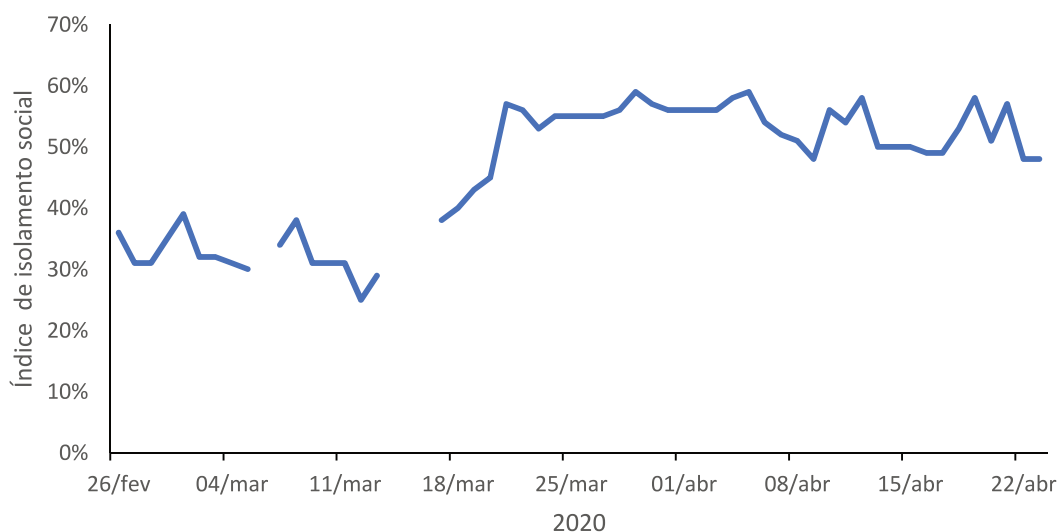


Fonte: CETESB (2021)

### 1.3 Reflexo das Medidas de Restrição Sobre o Tráfego na Cidade de São Paulo

De acordo com o Sistema de Monitoramento Inteligente de São Paulo (SIMI-SP), instituído pelo Decreto Estadual nº 64.963, foi verificado que o índice de isolamento social na cidade de São Paulo, que estava em torno de 35% em fevereiro, passou para 54%, em média, no período de 24 de março a 23 de abril de 2020, conforme se observa na **Figura 2** (SÃO PAULO, 2020b).

**Figura 2 - Índice de isolamento social na cidade de São Paulo**

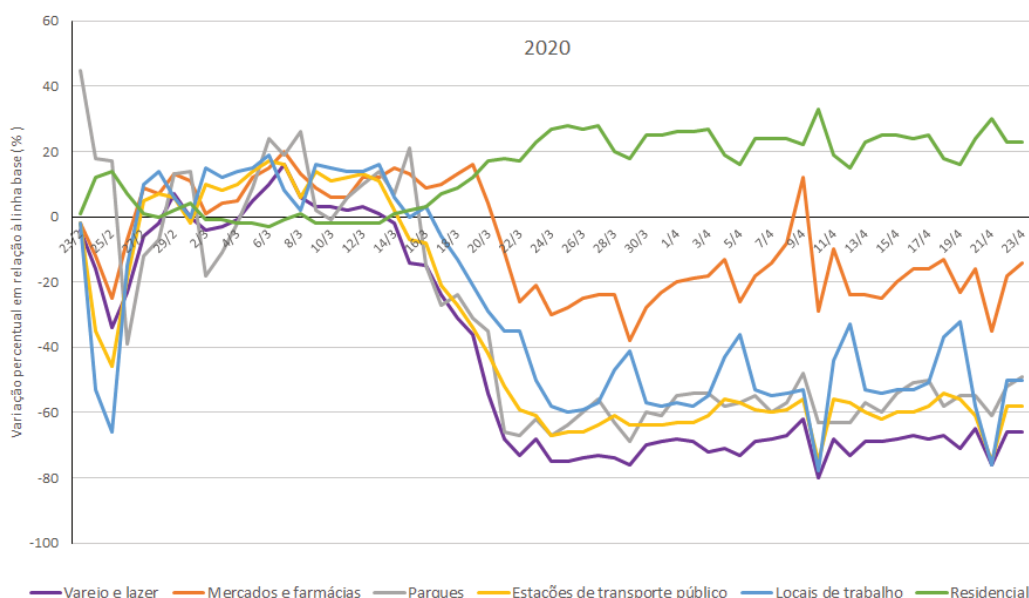


A plataforma do Google apresenta um relatório de mobilidade da comunidade (<https://www.google.com/covid19/mobility/>) com o objetivo de fornecer informações sobre o

que mudou em função das políticas criadas para enfrentar a COVID-19. Os dados obtidos a partir do histórico de localização, ativado pelos usuários do Google, mostraram as tendências de deslocamentos ao longo do tempo em diferentes categorias de locais, como varejo e lazer, mercados e farmácias, parques, estações de transporte público, locais de trabalho e áreas residenciais.

Para a cidade de São Paulo, o perfil de mobilidade no período de 24 de março a 23 de abril de 2020 e no mês imediatamente anterior pode ser visualizado na **Figura 3**.

**Figura 3 - Mobilidade na cidade de São Paulo – Porcentagem de mudança relativamente à linha base.**



A queda pronunciada ocorrida entre 23 e 25/02 corresponde ao Carnaval.

É notável a redução de deslocamento ocorrida nas diferentes atividades registradas no gráfico, mantendo pequena redução apenas nas atividades de compras de alimentos e farmácia.

Com a redução da circulação de automóveis, houve um aumento da velocidade média dos ônibus na capital paulista. Segundo dados da plataforma online Monitor de Ônibus SP, do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), a velocidade média na pré-pandemia oscilava próxima a um patamar de 15 km/h. Na primeira semana de quarentena oficial, a velocidade média dos ônibus no horário de pico (7h às 10h) atingiu 22 km/h, mais de 40% de acréscimo em relação à pré-pandemia (TSAI e BARCELLOS, 2020).

## 2. Objetivo

O objetivo deste estudo é avaliar o impacto na qualidade do ar da RMSP das medidas de restrição das atividades, ocorridas durante a pandemia de COVID19.

## 3. Metodologia

Inicialmente serão apresentados os estudos referentes ao período de 24/03/2020 a 23/04/2020 por ser o período em que as restrições foram mais fortes e onde se espera que as alterações sejam as mais significativas de todo o período.

Uma análise do período de 12 meses completos a partir de abril de 2020 a março de 2021 é apresentada no item 5.

### 3.1 Parâmetros Avaliados

São analisados dados meteorológicos dos períodos estudados e os dados de concentração dos poluentes obtidos na rede automática de avaliação da qualidade do ar da CETESB. As concentrações dos poluentes em 2020, no período de maior restrição das atividades (24 de março a 23 de abril), denominado neste relatório de DURANTE, foram comparadas com as concentrações dos 30 dias anteriores (24 de fevereiro a 23 de março), denominado de ANTES. Os resultados obtidos em 2020 também foram comparados com as médias dos mesmos períodos dos anos 2017, 2018 e 2019.

Os perfis de concentração nos períodos ANTES e DURANTE foram avaliados para material particulado inalável -  $MP_{10}$  e inalável fino -  $MP_{2,5}$  com, respectivamente, diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10  $\mu m$  ( $MP_{10}$ ) e 2,5  $\mu m$  ( $MP_{2,5}$ ). Foram analisados também os poluentes gasosos: monóxido de carbono (CO), ozônio ( $O_3$ ) e óxidos de nitrogênio (NO e  $NO_2$ ).

A análise dos resultados levou em conta o conceito de escalas espaciais de representatividade das estações de monitoramento. Este conceito diz respeito à extensão da parcela de ar no entorno da estação que apresenta concentrações relativamente uniformes e similares às concentrações medidas na mesma. Foram usados os dados gerados tanto das estações de microescala quanto das estações de não microescala (não micro), incluindo-se aí as estações de média escala, escala de bairro e escala urbana. As concentrações de ozônio ( $O_3$ ) são obtidas apenas nas estações não micro.

É característica das estações de microescala da RMSP sofrerem maior influência das emissões de veículos automotores, que, de maneira geral, são as fontes preponderantes de emissão de poluentes atmosféricos nesta região.

As escalas de representatividade para as estações de monitoramento, estabelecidas no Decreto Estadual nº 59.113/2013 (SÃO PAULO, 2013), são:

**Microescala:** relativa à representatividade espacial de áreas de dimensão de poucos metros até 100 metros

**Média Escala:** relativa à representatividade espacial de blocos de áreas urbanas (poucos quarteirões com características semelhantes) com dimensões entre 101 e 500 metros

**Escala de Bairro:** relativa à representatividade espacial de áreas de bairros urbanos com atividade uniforme e dimensões entre 501 e 4000 metros

**Escala Urbana:** relativa à representatividade espacial de cidades ou regiões metropolitanas, da ordem de 4 a 50 km

A **Tabela 1** mostra os parâmetros monitorados em cada estação e a classificação quanto à escala de representatividade.

Tabela 1 - Estações de monitoramento da RMSP

UGRHI	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES	PARÂMETROS						
		MP <sub>2,5</sub>	MP <sub>10</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	CO	O <sub>3</sub>	MICRO
6	Capão Redondo		X				X	N
6	Carapicuíba		X			X	X	N
6	Cerqueira César		X	X	X	X		S
6	Cid. Universitária - USP - Ipen	X					X	N
6	Congonhas	X	X	X	X	X		S
6	Diadema		X				X	N
6	Grajaú-Parelheiros	X	X			X	X	S
6	Guarulhos - Paço Municipal	X	X				X	N
6	Guarulhos - Pimentas	X	X	X	X	X	X	N
6	Ibirapuera	X		X	X	X	X	N
6	Interlagos		X	X	X		X	N
6	Itaim Paulista	X	X	X	X		X	N
6	Itaquera						X	N
6	Marg. Tietê - Pte dos Remédios	X	X	X	X	X		S
6	Mauá	X	X				X	N
6	Moóca	X				X	X	N
6	Mogi das Cruzes - EM		X	X	X		X	N
6	Nossa Senhora do Ó		X				X	N
6	Osasco	X	X	X	X	X		S
6	Parque D. Pedro II	X	X	X	X	X	X	N
6	Perus	X	X				X	N
6	Pico do Jaraguá	X		X	X		X	N
6	Pinheiros	X	X	X	X	X	X	S
6	Santana	X					X	N
6	Santo Amaro		X	X	X	X	X	N
6	S. André - Capuava		X	X	X		X	N
6	S. André - Paço Municipal		X			X		N
6	S. Bernardo - Centro	X		X	X	X	X	N
6	S. Bernardo - Paulicéia		X					N
6	S. Caetano	X	X	X	X	X	X	N
6	Taboão da Serra		X			X		S

Fonte: CETESB (2021)

Legenda:

MP <sub>2,5</sub>	Partículas inaláveis finas	NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrogênio
MP <sub>10</sub>	Partículas inaláveis	CO	Monóxido de carbono
NO	Monóxido de nitrogênio	O <sub>3</sub>	Ozônio
NO <sub>2</sub>	Dióxido de nitrogênio	MICRO	Estação de microescala

Fonte: CETESB (2021)

## 4. Resultados e Discussão

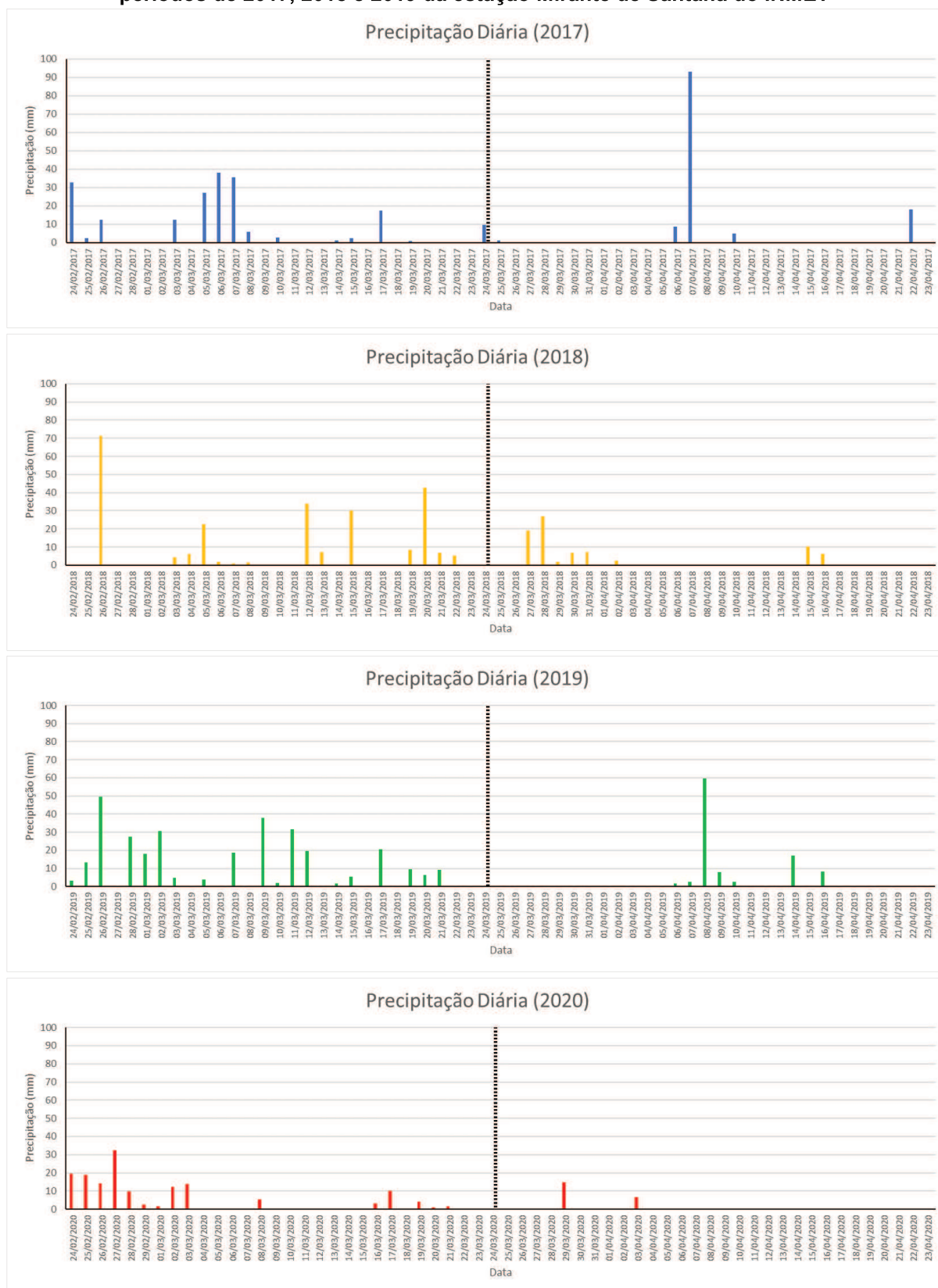
### 4.1 Meteorologia

Entre os fatores meteorológicos que determinam o comportamento dos poluentes primários na atmosfera, a precipitação pluviométrica é um dos que permite verificar qualitativamente se a atmosfera esteve mais ou menos estável, favorecendo ou não a dispersão desses poluentes.

A **Figura 4** mostra a precipitação diária observada na estação Mirante de Santana do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de 2017 a 2020, nos períodos ANTES e DURANTE, separados pelas barras tracejadas.



**Figura 4 - Precipitação diária nos períodos ANTES e DURANTE de 2020, e nos mesmos períodos de 2017, 2018 e 2019 da estação Mirante de Santana do INMET**



Os totais de precipitação, em milímetros, bem como os números de dias com ocorrência das mesmas, nos períodos ANTES e DURANTE, dos anos 2017 a 2020, são apresentados na **Tabela 2**.

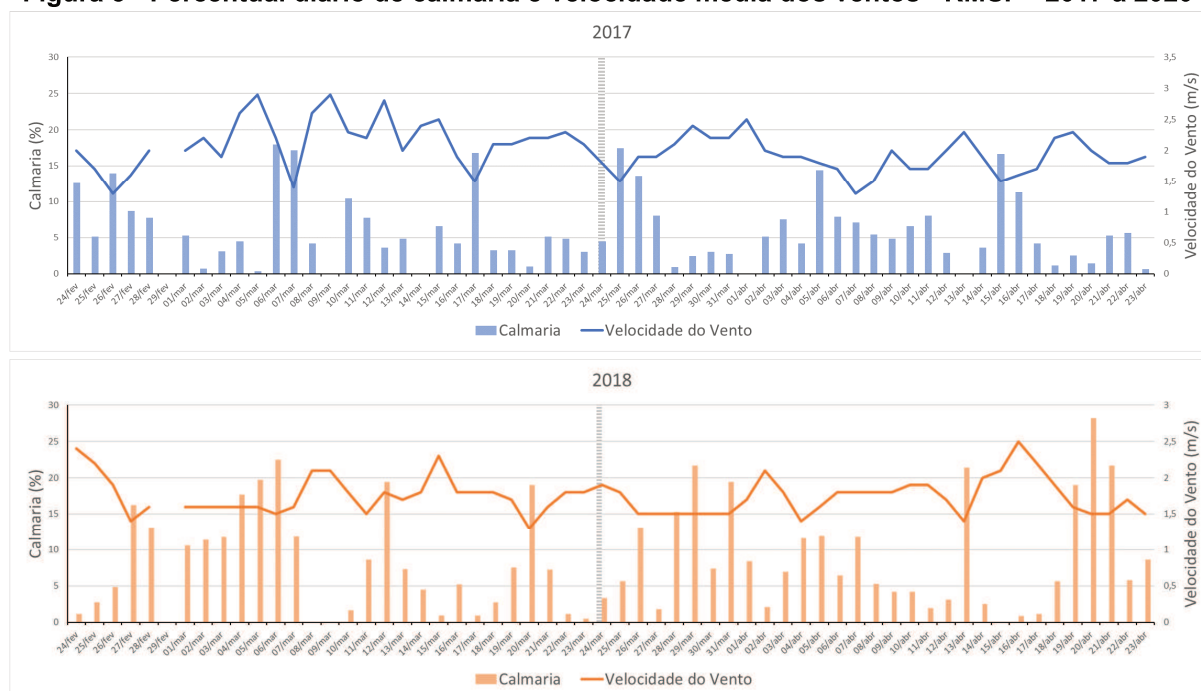
**Tabela 2 - Número de dias e total de precipitação nos períodos ANTES e DURANTE de 2020, e nos mesmos períodos de 2017 a 2019 da estação Mirante de Santana do INMET**

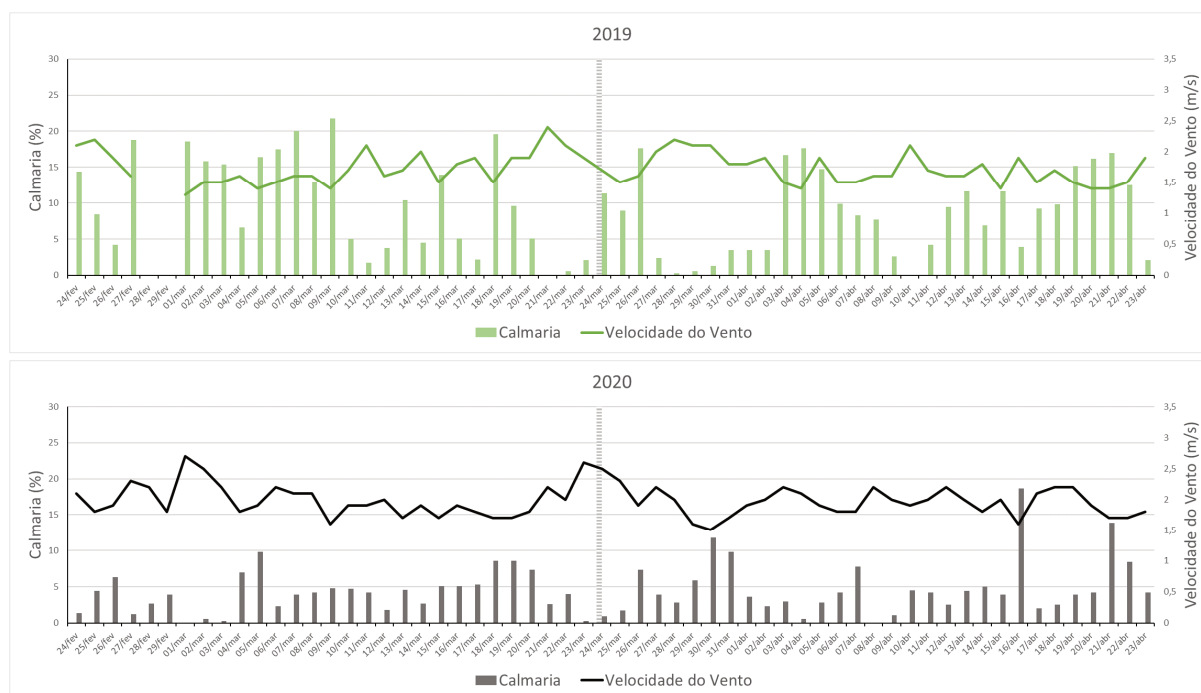
Período	2017		2018		2019		2020	
	Precipitação (mm)	Nº dias	Precipitação (mm)	Nº dias	Precipitação (mm)	Nº dias	Precipitação (mm)	Nº dias
ANTES	192	13	243	14	313	19	150	15
DURANTE	135	6	81	8	100	7	21	2

Pode-se observar que 2020 foi mais seco do que os outros anos, principalmente no período DURANTE, quando o acumulado de chuva, ou seja, o total de precipitação no período, foi bem menor do que o dos anos anteriores, com apenas dois dias de precipitação.

Outra variável meteorológica importante para a dispersão de poluentes primários é a ventilação. A **Figura 5** mostra o percentual diário de calmaria (velocidade do vento menor que 0,5 m/s) e velocidade média diária dos ventos, considerando todas as estações da CETESB na RMSP, de 2017 a 2020, nos períodos ANTES e DURANTE.

**Figura 5 - Percentual diário de calmaria e velocidade média dos ventos - RMSP - 2017 a 2020**





A **Tabela 3** apresenta os percentuais de calmaria e velocidade média dos ventos na RMSP, nos períodos ANTES e DURANTE de 2017 a 2020.

**Tabela 3 - Percentual de calmaria e velocidade média dos ventos nos períodos ANTES e DURANTE na RMSP - 2017 a 2020**

Período	2017		2018		2019		2020	
	Calmaria (%)	Vel. Vento (m/s)	Calmaria (%)	Vel. Vento (m/s)	Calmaria (%)	Vel. Vento (m/s)	Calmaria (%)	Vel. Vento (m/s)
ANTES	6,3	2,1	8,2	1,8	10,4	1,7	4,1	2,0
DURANTE	5,8	1,9	9,0	1,7	8,4	1,7	4,9	2,0

Observa-se que, quando comparado com os anos anteriores, 2020 apresenta os menores percentuais de calmaria, tanto no período ANTES quanto no DURANTE, e maiores médias das velocidades (2,0 m/s), com exceção de 2017, que teve médias de velocidades dos ventos um pouco maiores (2,1 m/s). Os dados meteorológicos indicam que em relação às precipitações pluviométricas, o ano de 2020 foi mais desfavorável à dispersão de poluentes do que os anos anteriores, por outro lado, em relação à ventilação, no período DURANTE, 2020 foi mais favorável.

De maneira geral, as precipitações influenciam mais na dispersão e remoção de particulados da atmosfera enquanto a ventilação influencia mais na dispersão de gases. Outro ponto a salientar é que os resultados das estações não micro, por estarem mais distantes das fontes de emissão, sofrem maior influência da ventilação do que as de microescala.

## 4.2 Poluentes - Concentrações Médias

As concentrações médias dos poluentes monitorados entre 24 de março a 23 de abril de 2020 (DURANTE) foram comparadas com as médias do mês imediatamente anterior (ANTES), de 24 de fevereiro e 23 de março.

Os dados de 2020 foram comparados com os obtidos nos mesmos períodos (de 2017 a 2019), conforme **Tabelas 4 e 5**, nas quais são apresentados os poluentes medidos nas estações de todas as escalas de representatividade espacial. As tabelas apresentam ainda as diferenças percentuais ( $\Delta\%$ ) considerando-se os poluentes monitorados no período de maior restrição (DURANTE) em relação ao mês anterior (ANTES), em 2020, e, para comparação, nos mesmos períodos de 2017 a 2019. Uma leitura global do comportamento dos poluentes é apresentada a seguir e será reapresentada parcialmente na análise individualizada por poluente, **Figuras 8 a 10**.

**Tabela 4 - Concentrações médias dos poluentes ANTES e DURANTE em estações de microescala**

Microescala	2017 a 2019			2020		
	ANTES	DURANTE	$\Delta\%$	ANTES	DURANTE	$\Delta\%$
			ANTES:DURANTE			ANTES:DURANTE
MP <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) média de 24h	23,7	26,6	11,8	23,6	23,7	0,4
MP <sub>2,5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) média de 24h	14	15,1	7,8	12,5	12,3	-1,6
CO (ppm) méd. máx. diárias de 8h	0,97	0,83	-14,4	0,64	0,47	-26,6
NO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) méd. máx. diárias de 1h	87,9	84,3	-4,1	60,5	47,3	-21,8
NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) méd. máx. diárias de 1h	65,6	65,8	0,3	56,2	47,5	-15,5

Fonte: CETESB

**Tabela 5 - Concentrações médias dos poluentes ANTES e DURANTE em estações não micro**

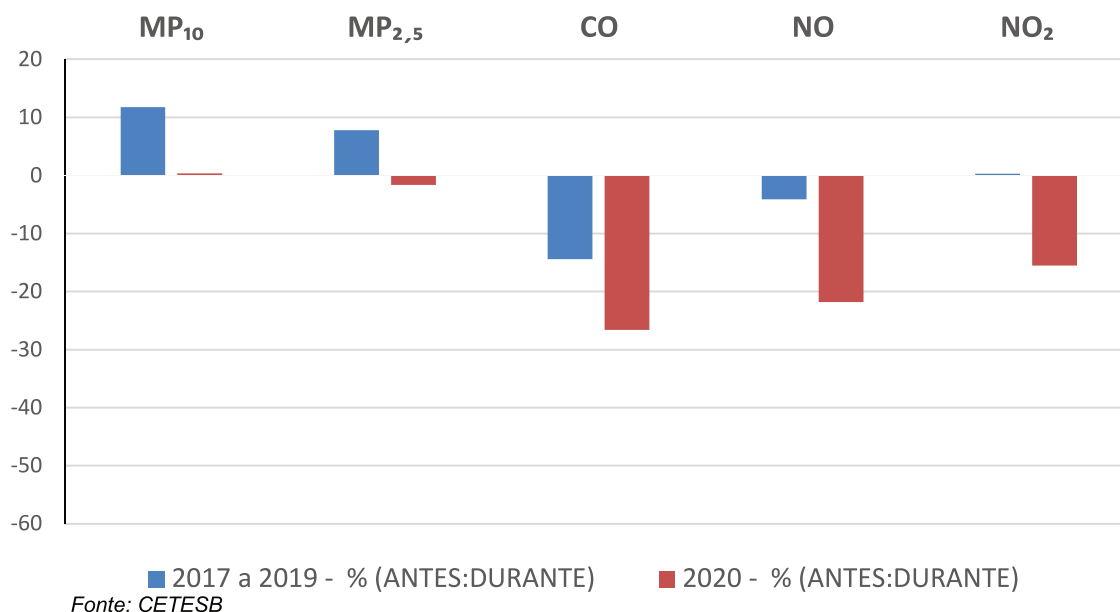
Não Microescala	2017 a 2019			2020		
	ANTES	DURANTE	$\Delta\%$	ANTES	DURANTE	$\Delta\%$
			ANTES:DURANTE			ANTES:DURANTE
MP <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) média de 24h	20,8	23,5	13	19,1	20,1	5,2
MP <sub>2,5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) média de 24h	12,4	14,1	13,7	11	11,3	2,7
CO (ppm) méd. máx. diárias de 8h	0,64	0,59	-7,8	0,4	0,34	-15
NO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) méd. máx. diárias de 1h	26,1	26,5	1,5	15,9	10,4	-34,6
NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) méd. máx. diárias de 1h	47,8	44,7	-6,5	32,4	28,2	-13
O <sub>3</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) méd. máx. diárias de 8h	65,9	65,6	-0,7	68,7	71,4	3,9

Fonte: CETESB

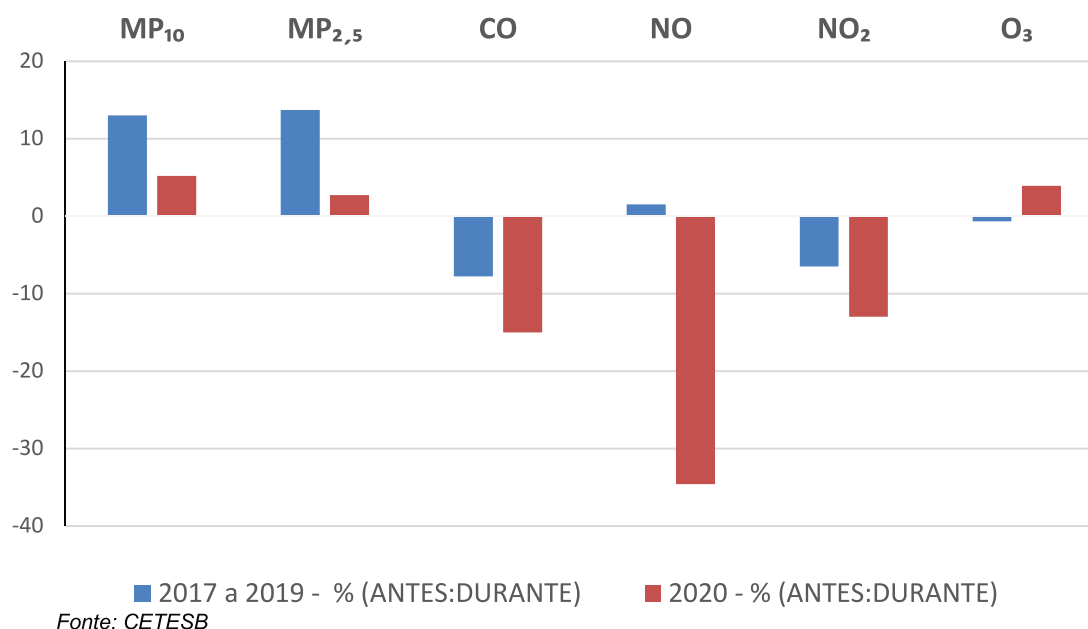
Nas **Tabelas 4 e 5** é importante enfatizar que as diferenças apresentadas se referem ao período considerado em relação ao período anterior do mesmo ano.

As diferenças percentuais entre concentrações dos poluentes medidos de 2017 a 2019 e em 2020, nos períodos DURANTE e ANTES, podem ser visualizadas nas **Figuras 6 e 7**, para as estações de microescala e demais estações com maiores áreas de abrangência espacial (não micro), respectivamente.

**Figura 6 - Diferenças percentuais dos poluentes ANTES e DURANTE, em 2020, e nos mesmos períodos entre 2017 e 2019, em estações de microescala**



**Figura 7 - Diferenças percentuais dos poluentes ANTES e DURANTE, em 2020, e nos mesmos períodos entre 2017 e 2019, em estações não micro**



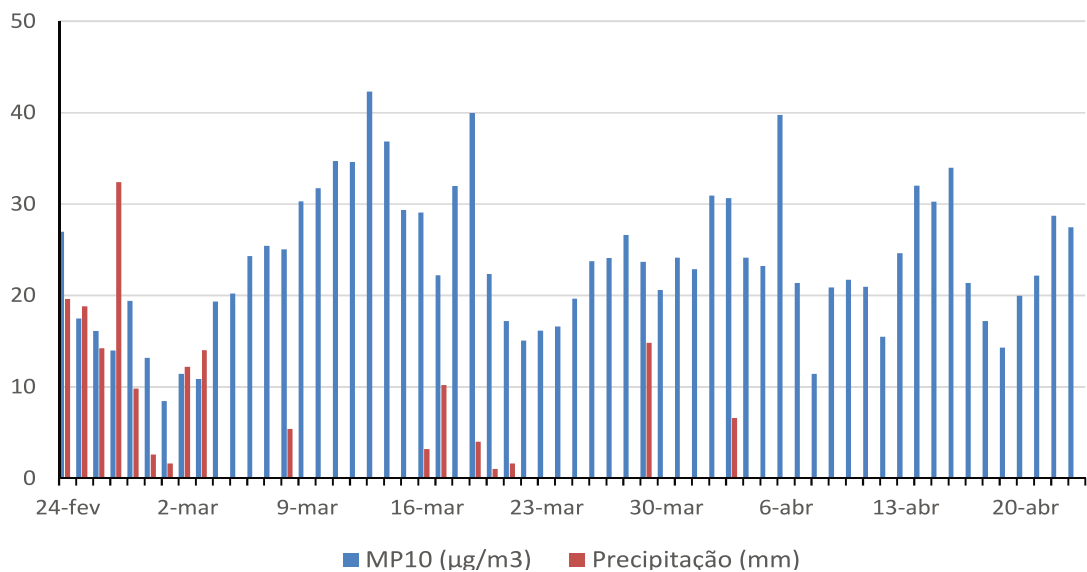
### MP<sub>10</sub> – MP<sub>2,5</sub>

O material particulado inalável na atmosfera urbana primordialmente provém de processos de combustão, sobretudo da exaustão de veículos automotores. Contribuem também, além dos processos industriais, outras fontes como formação de componentes secundários, ressuspensão de poeira de rua e fontes naturais como, por exemplo, pólen. No caso do

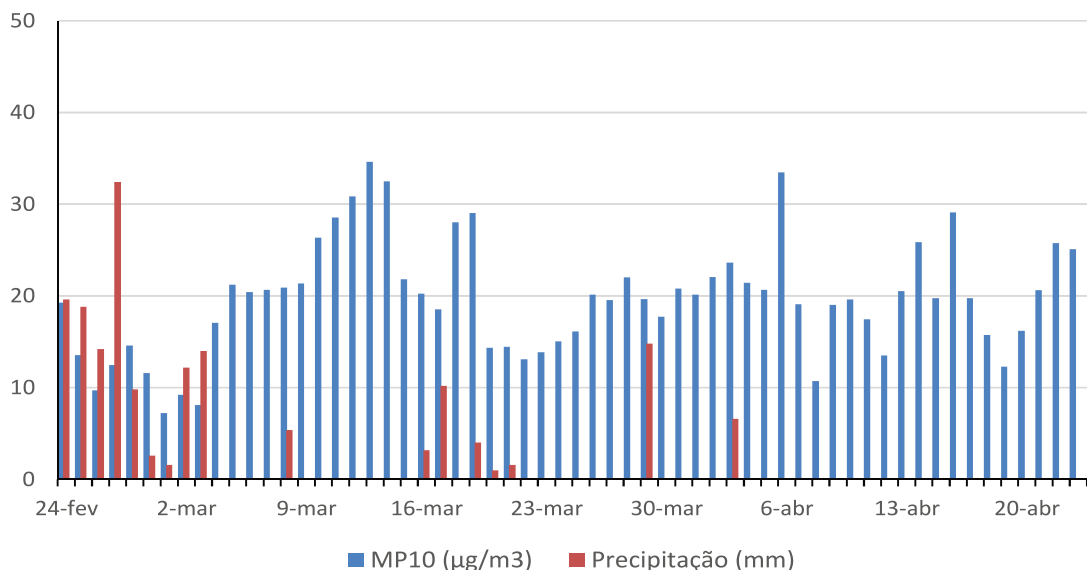
material inalável fino ( $MP_{2,5}$ ), adquirem especial importância os processos secundários, que resultam na formação de sulfatos, nitratos e material carbonáceo.

As **Figuras 6 e 7** indicam que, nos anos anteriores à pandemia, sempre ocorreram aumentos das concentrações de  $MP_{10}$  e de  $MP_{2,5}$  no período DURANTE em relação ao período ANTES. Tais aumentos também são observados no ano da pandemia, porém com intensidade bem menor, sempre atentando que neste último período as condições foram mais desfavoráveis à dispersão dos particulados pela menor intensidade de chuvas. Isto indica que houve um claro ganho na redução de circulação de veículos

**Figura 8 -  $MP_{10}$  Concentrações médias diárias e precipitação, em 2020, nas estações de microescala (a) e não micro (b)**

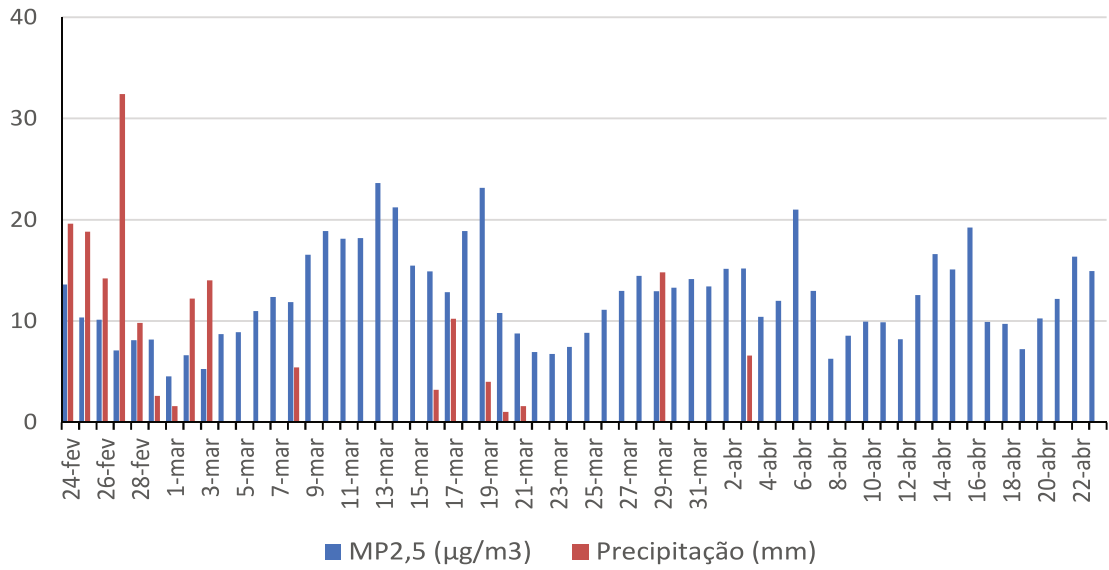


(a)

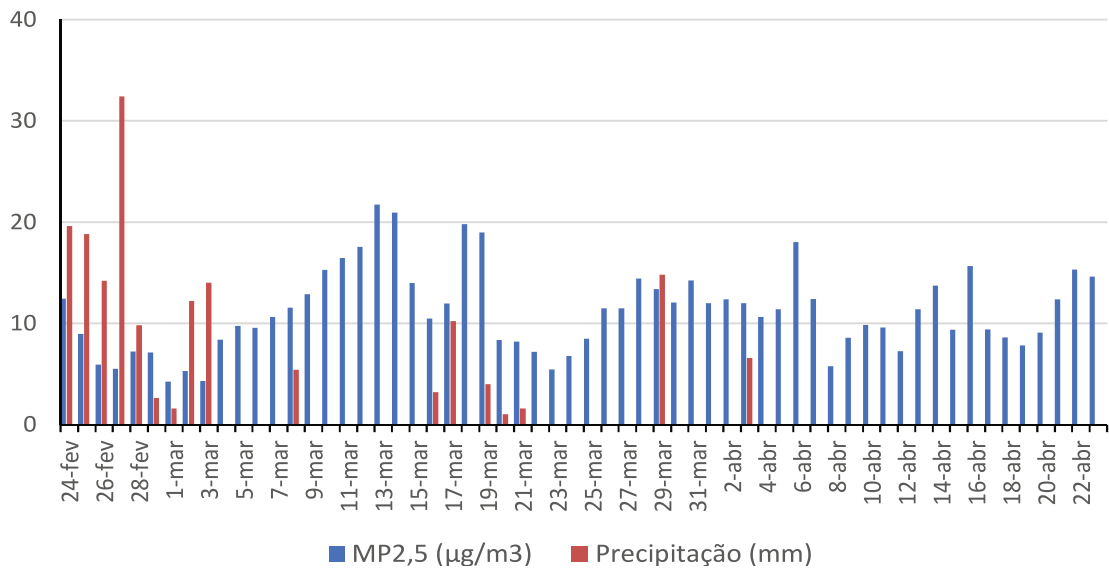


(b)

**Figura 9 - MP<sub>2,5</sub> - Concentrações médias diárias e precipitação, em 2020, nas estações de microescala (a) e não micro (b)**



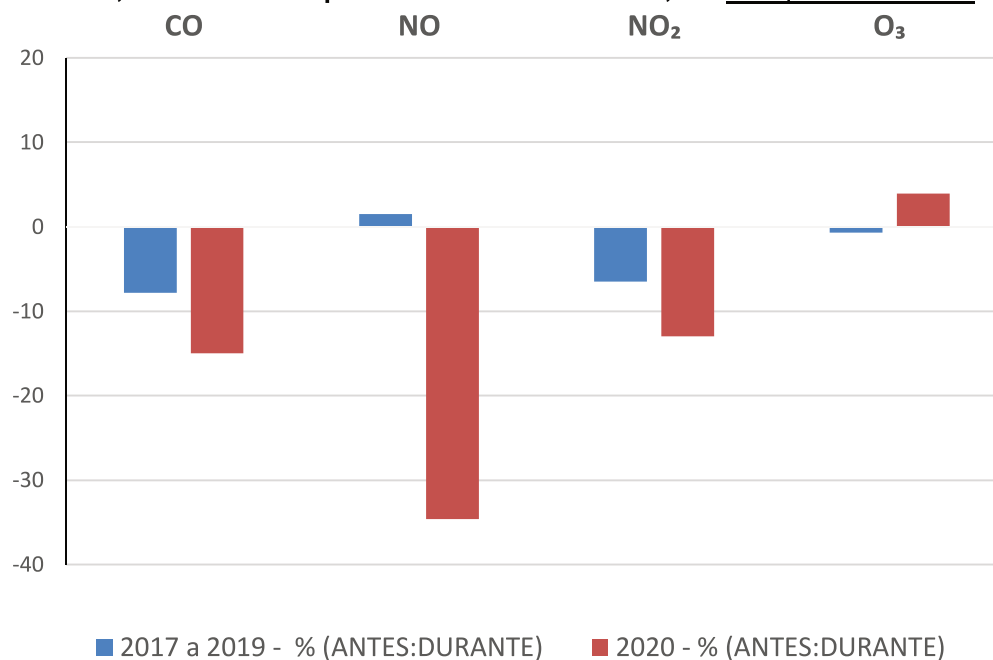
(a)



(b)

CO – NO – NO<sub>2</sub> – O<sub>3</sub>

**Figura 10 - CO, NO, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> - Diferenças percentuais dos poluentes ANTES e DURANTE, em 2020, e nos mesmos períodos entre 2017 e 2019, em estações não micro**



A avaliação dos poluentes gasosos CO, NO e NO<sub>2</sub>, que no ambiente urbano tem sua origem prioritariamente nos veículos automotores, evidencia o efeito das medidas implementadas, principalmente no período DURANTE. Assim observa-se na **Figura 10** que ocorreu uma queda significativa de concentração no período DURANTE, em que pese essa queda ocorrer também nos anos anteriores. Como comentado anteriormente, as condições de ventilação influenciam fortemente a dispersão dos poluentes gasosos.

Em 2020 verificou-se os menores percentuais de calmaria e maiores velocidades dos ventos, tanto no período ANTES quanto no período DURANTE, à exceção de 2017. Depreende-se daí que mesmo com as condições de ventilação mais favoráveis à dispersão dos poluentes que dos anos anteriores, no período DURANTE de 2020, a redução do tráfego de veículos automotores se refletiu claramente nas reduções de concentração destes poluentes na atmosfera.

Já no caso do ozônio, a situação mostra-se inversa, ou seja, um leve aumento de concentração. Verifica-se que no período DURANTE de 2020, ano da pandemia, há um aumento das concentrações de ozônio em relação ao mês anterior. Neste caso, é importante considerar que o O<sub>3</sub> não é um poluente emitido diretamente pelas fontes, mas formado na atmosfera mediante um complexo sistema de reações químicas, envolvendo compostos orgânicos voláteis e óxidos de nitrogênio, sempre na presença de luz solar. Assim também, fatores meteorológicos e topográficos exercem papel importante na sua formação.

Destaca-se, nas reações químicas de formação do ozônio, a propriedade do monóxido de nitrogênio (NO) de consumir o ozônio, em que pese o dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) resultante agir na sua formação. Assim, o aumento das concentrações de ozônio pode estar relacionado também à diminuição das concentrações de NO, que deixa de consumir o ozônio formado.

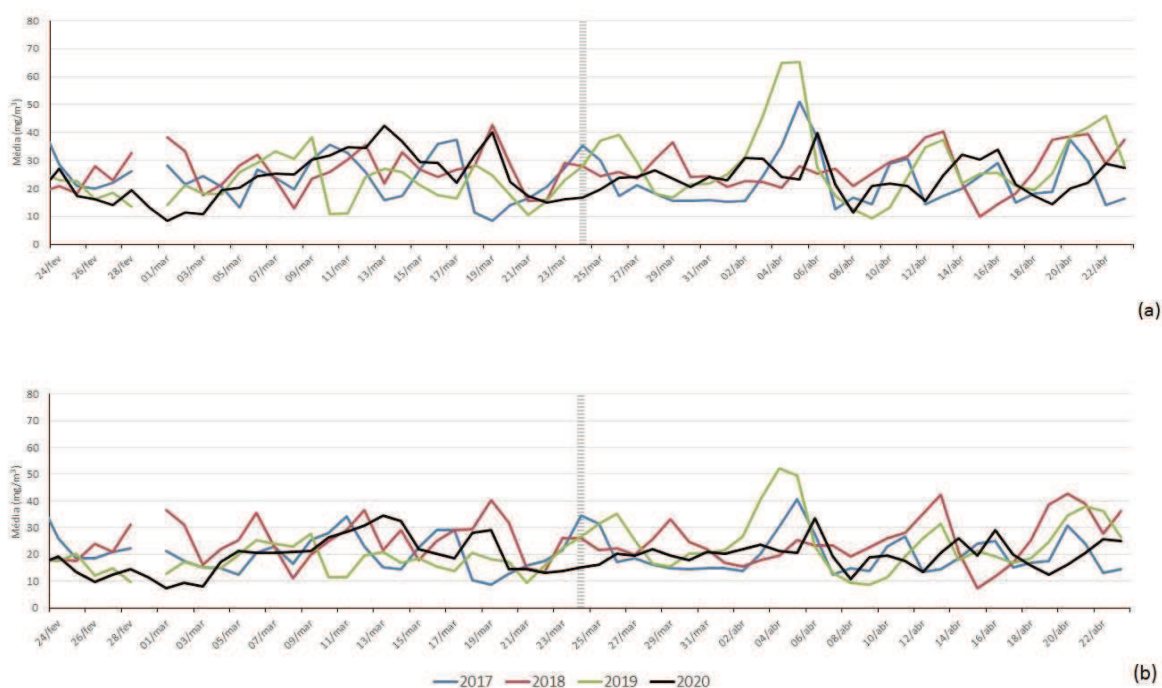


### 4.3. Perfis Diários

#### MP<sub>10</sub> – MP<sub>2,5</sub>

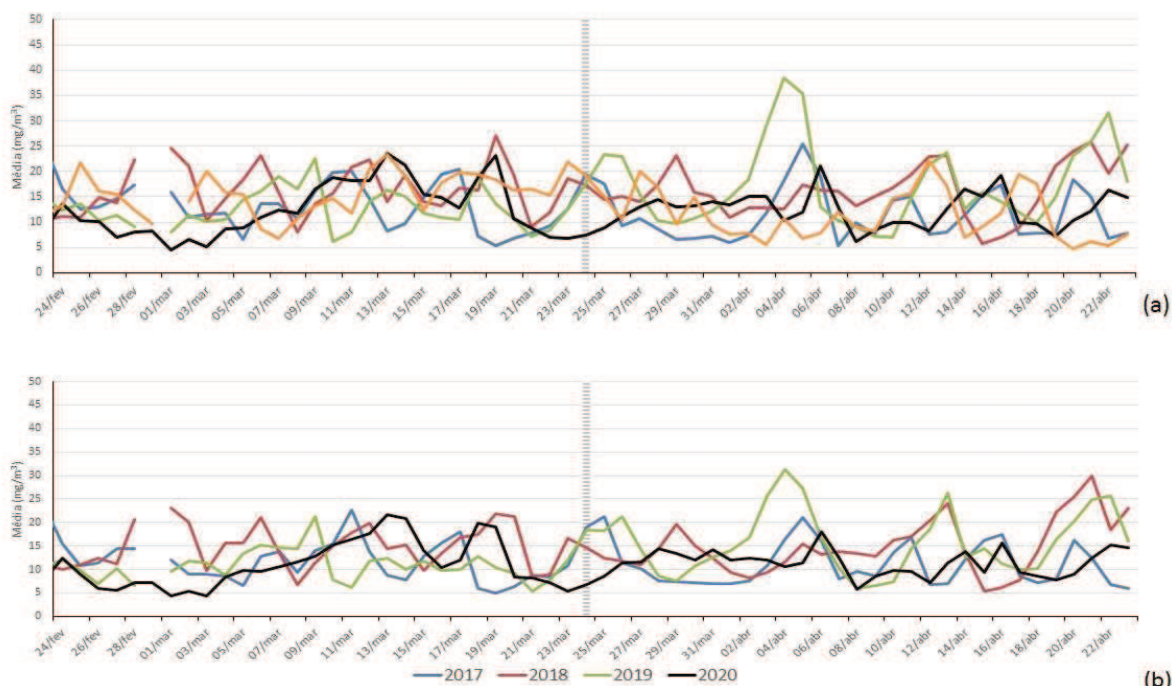
As **Figuras 11 e 12** mostram as concentrações médias diárias de MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub>, respectivamente, das estações de microescala (a) e não micro (b), nos períodos DURANTE e ANTES de 2020 e, para comparação, nos mesmos períodos de 2017, 2018 e 2019. Observa-se frequentemente a sobreposição das linhas de concentração desses poluentes nos períodos analisados. Dessa forma, evidencia-se que o impacto da restrição durante a pandemia nas concentrações médias diárias de MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub> resultou de um conjunto de fatores que contrabalançaram a redução das emissões diretas dos veículos automotores, como, por exemplo, fontes de ressuspensão de poeira, bem como a menor quantidade de precipitação pluviométrica durante o período mais restritivo.

**Figura 11 - MP<sub>10</sub> – Média das concentrações diárias nas estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020**



Fonte: CETESB

**Figura 12 - MP<sub>2,5</sub> – Média das concentrações diárias nas estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020**

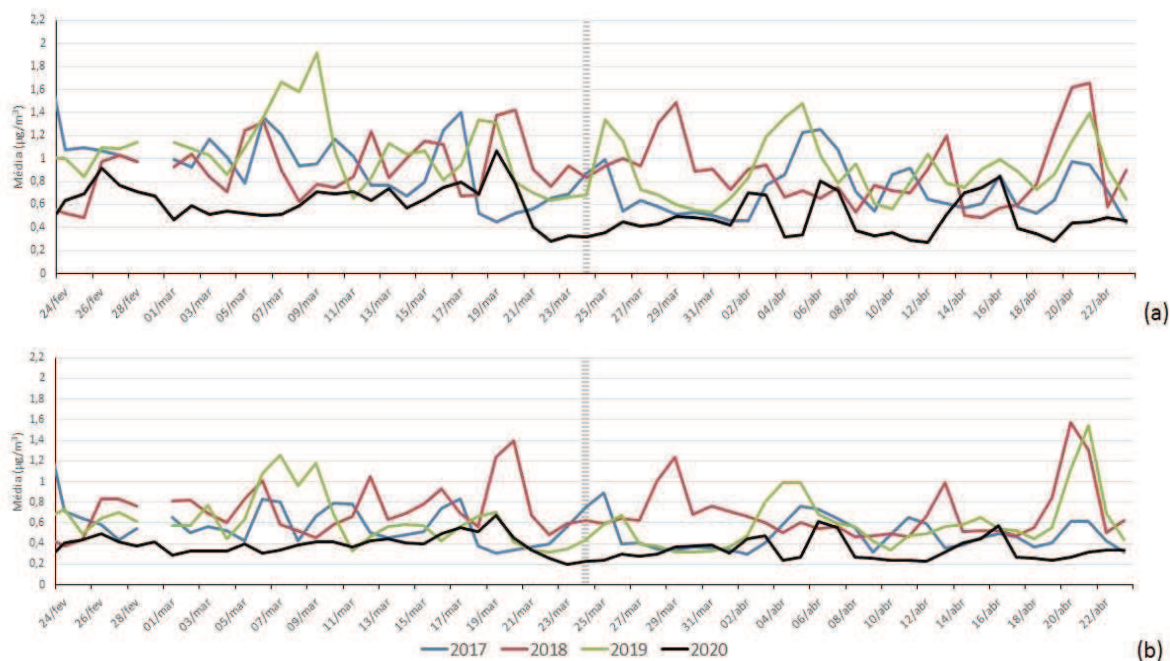


### CO - NO - NO<sub>2</sub>

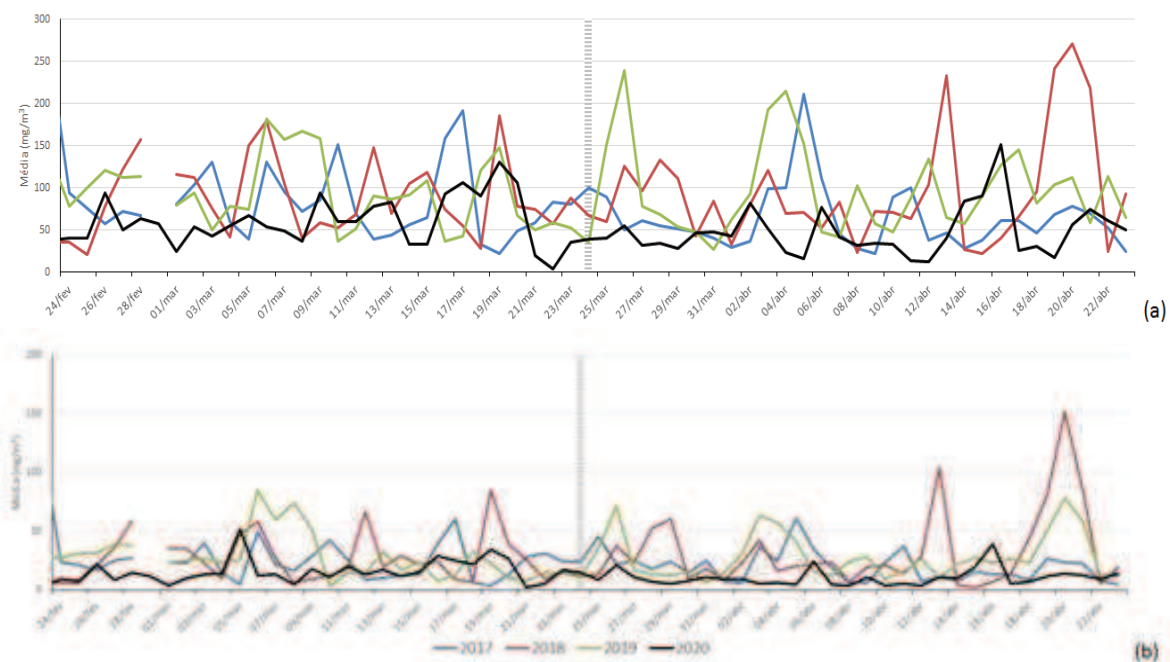
As **Figuras 13, 14 e 15** mostram as concentrações de CO (médias das máximas de 8 horas diárias), e de NO e NO<sub>2</sub> (médias das máximas de 1 hora diárias), respectivamente, para os mesmos períodos e escalas de representatividade das figuras anteriores. De maneira geral, observa-se que no período DURANTE de 2020, as concentrações foram menores do que no período ANTES. Da mesma forma, os dados de 2020 no período DURANTE também foram menores, em comparação com mesmos períodos dos anos anteriores, de 2017 a 2019.

O CO, por ser um gás inerte, geralmente é usado como traçador de emissão veicular. As menores concentrações de CO, principalmente nas estações de microescala (**Figura 6**), cujos resultados sofrem menos influência meteorológica, podem ser um indicio de que a restrição durante a pandemia teve impacto positivo na qualidade do ar.

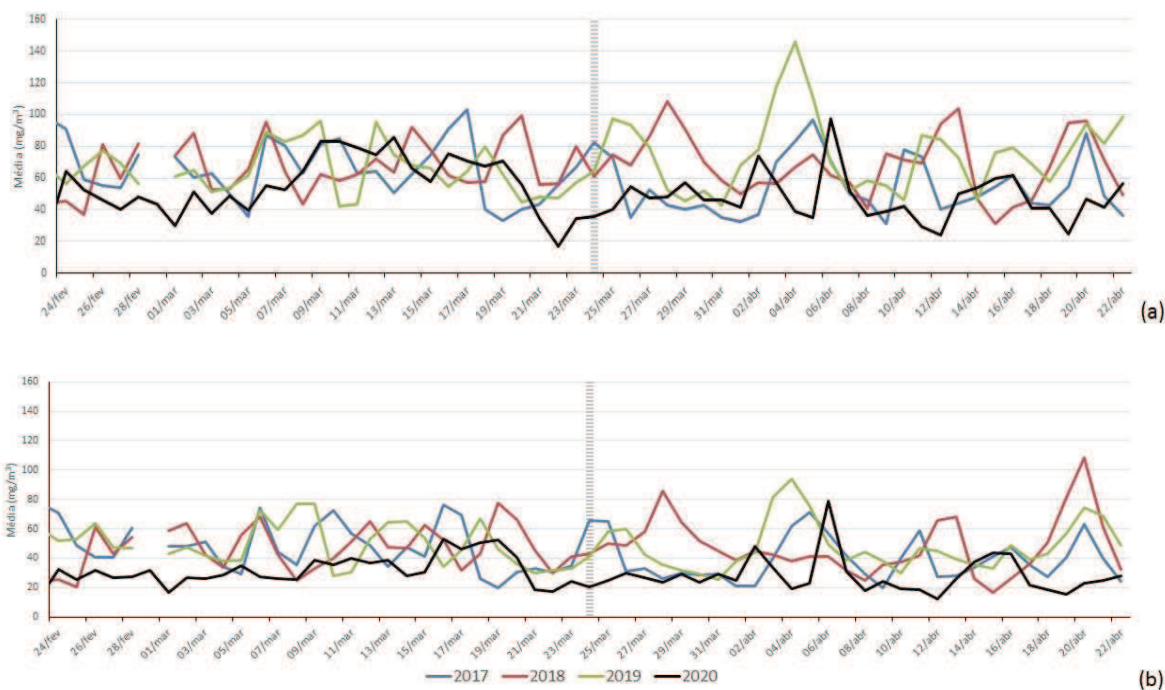
**Figura 13 - CO – Média das concentrações máximas diárias (médias de 8 horas) nas estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020**



**Figura 14 - NO – Média das concentrações máximas diárias (média de 1 h) nas estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020**



**Figura 15 - NO<sub>2</sub> – Médias das concentrações máximas diárias (média de 1 h) nas estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020**

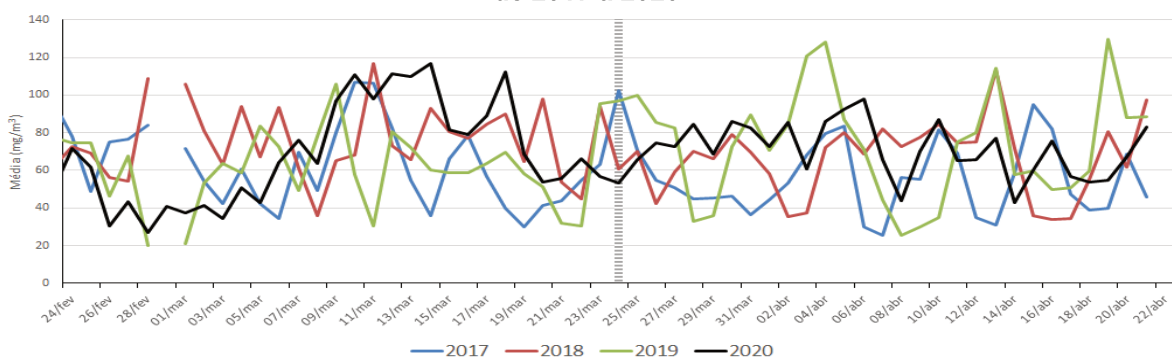


Fonte: CETESB

### O<sub>3</sub>

Quanto ao ozônio (**Figura 16**), observa-se que as concentrações das médias das máximas diárias, de maneira geral, foram maiores em 2020 do que as observadas nos anos anteriores (2017 a 2019).

**Figura 16 - O<sub>3</sub> – Média das concentrações máximas diárias (médias de 8 horas) nas estações, de 2017 a 2020**



Fonte: CETESB

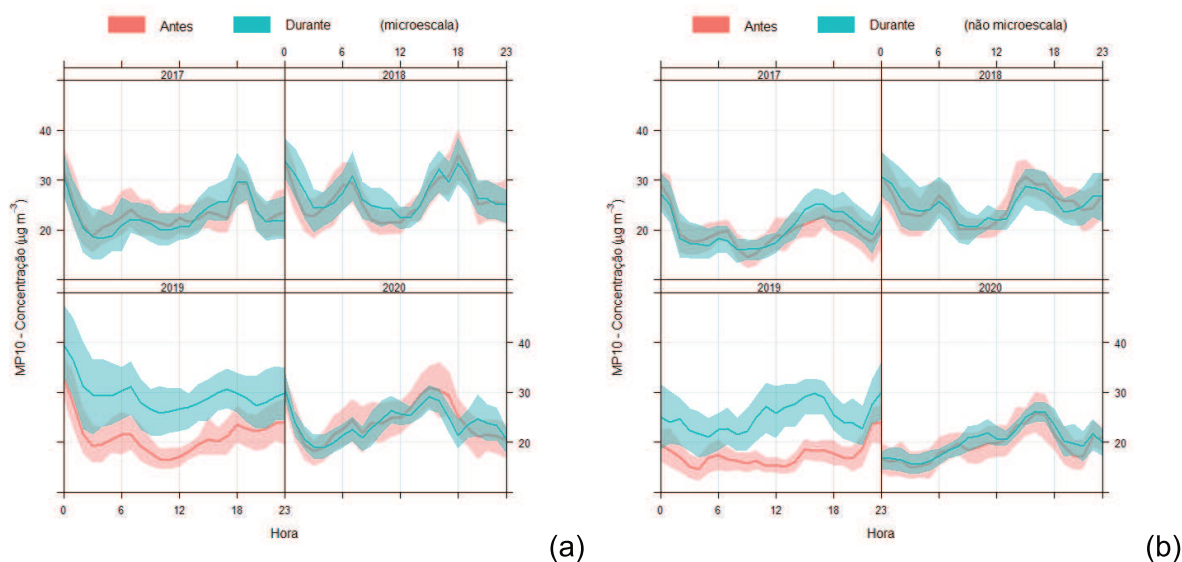
#### 4.4 Perfis Horários

As **Figuras 17 a 22** mostram as concentrações médias horárias de  $MP_{10}$ ,  $MP_{2,5}$ , CO, NO,  $NO_2$  e  $O_3$ , respectivamente, das estações de microescala (a) e não micro (b) nos períodos DURANTE (linha verde) e ANTES (linha vermelha) de 2020. Para comparação, apresentam-se os perfis de concentração nos mesmos períodos de 2017 a 2019. As áreas sombreadas indicam os intervalos de confiança de 95% da média de cada curva.

##### $MP_{10}$ - $MP_{2,5}$

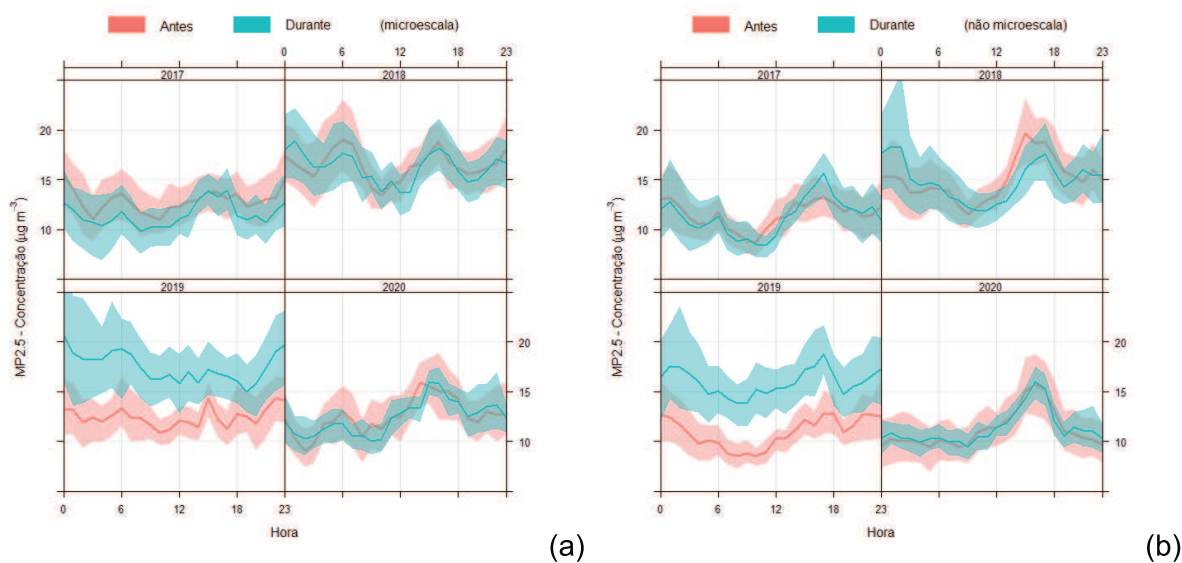
As concentrações médias horárias em 2020 de  $MP_{10}$  (**Figura 17**) e de  $MP_{2,5}$  (**Figura 18**), tanto no período DURANTE quanto no ANTES de 2020 foram mais baixas do que as respectivas curvas de 2017 a 2019, para ambas as escalas de representatividade (microescala (a) e não micro (b)). Nota-se também que as curvas se sobrepõem, indicando que as medidas de restrição não alteraram o perfil horário dos particulados, seja para o  $MP_{10}$  ou  $MP_{2,5}$ .

**Figura 17 -  $MP_{10}$  – Perfil horário médio das estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020**



Fonte: CETESB

**Figura 18 -  $MP_{2,5}$  – Perfil horário médio das estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020**



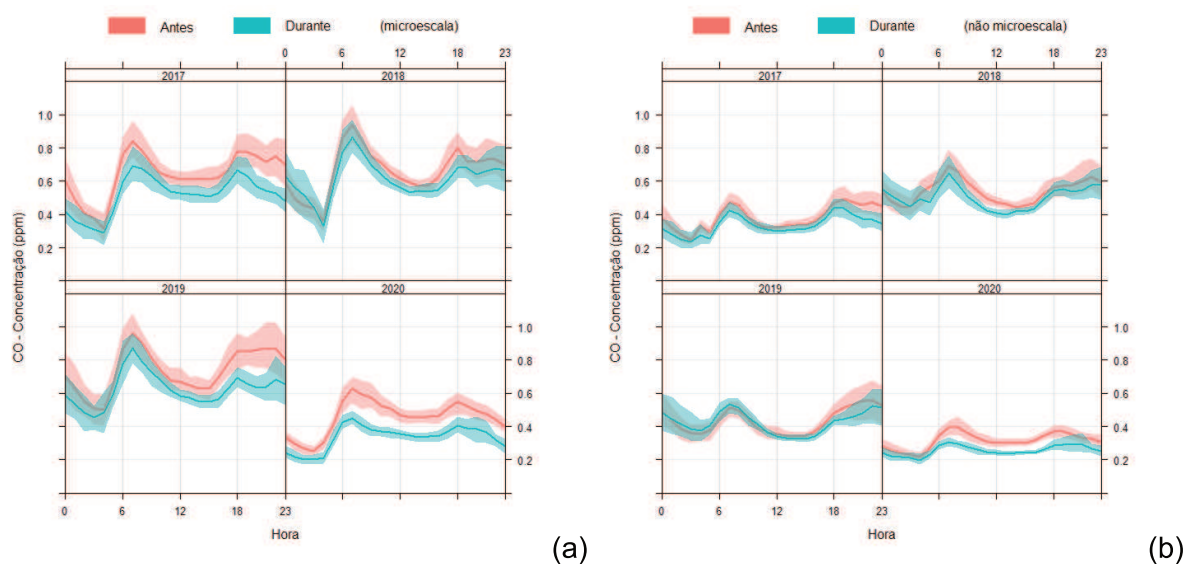
Fonte: CETESB

## CO - NO - NO<sub>2</sub>

Em relação ao CO (**Figura 19**), NO (**Figura 20**) e NO<sub>2</sub> (**Figura 21**), as concentrações médias horárias são consistentemente menores em 2020, principalmente no período DURANTE em comparação com as respectivas curvas dos anos anteriores. Além disso, os picos de concentrações observados nos horários da manhã e da tarde, que em geral coincidem com os picos de tráfego de veículos, são mais atenuados em 2020 no período de maior restrição, especialmente para o NO, em comparação com o período ANTES.

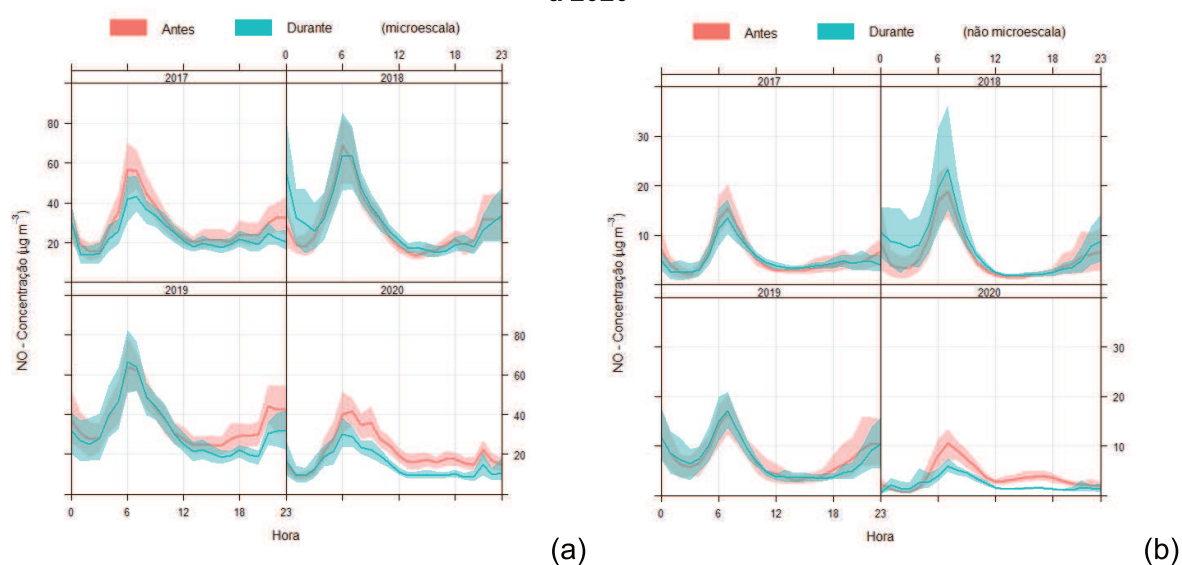
A separação entre as curvas, incluindo os intervalos de confiança, no ano de 2020, é bem evidente, estando as curvas do período DURANTE sempre abaixo das outras, o que não acontece nos outros anos (2017 a 2019). Considerando que houve pouca variação das condições de ventilação e menos precipitação no período DURANTE em relação ao ANTES em 2020, é razoável inferir que a restrição parcial de atividades tenha sido um fator significativo para explicar a diminuição observada nas concentrações desses poluentes.

**Figura 19 - CO – Perfil horário médio das estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020**



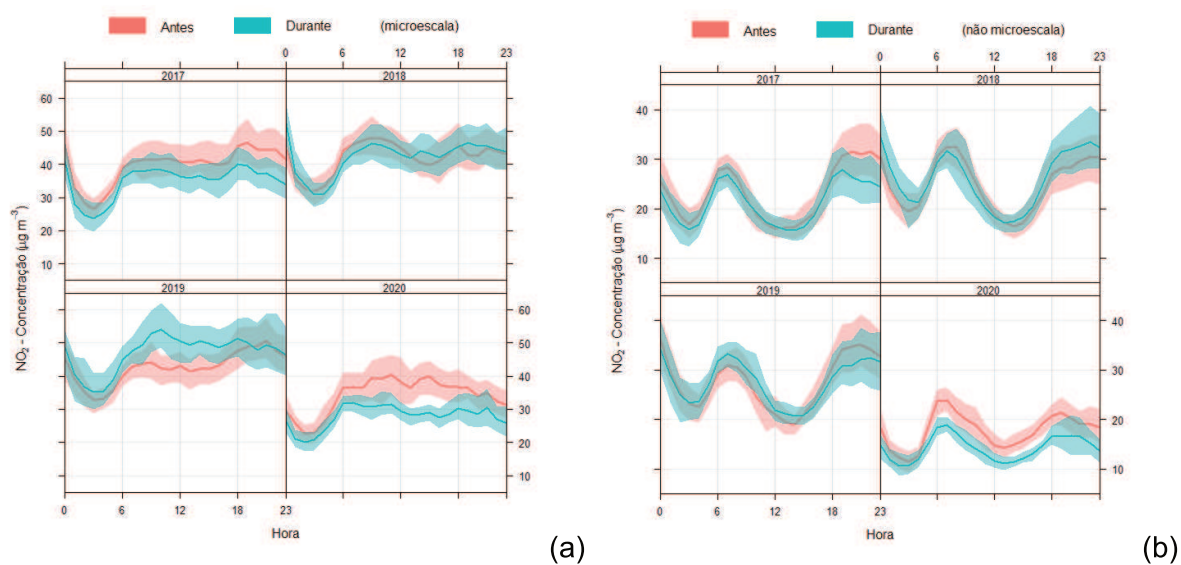
Fonte: CETESB

**Figura 20 - NO – Perfil horário médio das estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020**



Fonte: CETESB

**Figura 21 - NO<sub>2</sub> – Perfil horário médio das estações de microescala (a) e não micro (b), de 2017 a 2020**

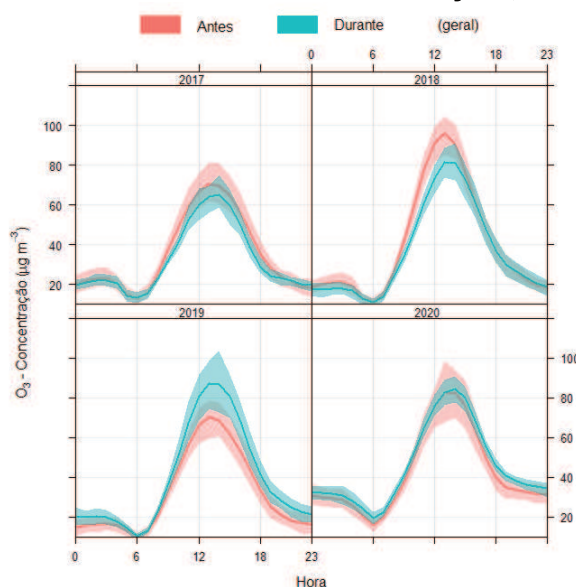


Fonte: CETESB

### O<sub>3</sub>

Na **Figura 22**, que mostra o perfil diário das concentrações médias horárias do O<sub>3</sub>, não se percebe padrão distinto para 2020, pelo menos durante o dia, comparando-se com os outros anos considerados. Em 2020 observa-se que as curvas para os dois períodos, considerando o intervalo de confiança, se sobrepõem, não havendo alteração significativa do perfil horário.

**Figura 22 - O<sub>3</sub> – Perfil horário médio das estações, de 2017 a 2020**



Fonte: CETESB

## 5. Qualidade do Ar em Relação as Metas Legais

O Decreto Estadual nº 59.113, de 23/04/2013, estabeleceu, com base nas diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS) – 2005, padrões de qualidade do ar, entendidos

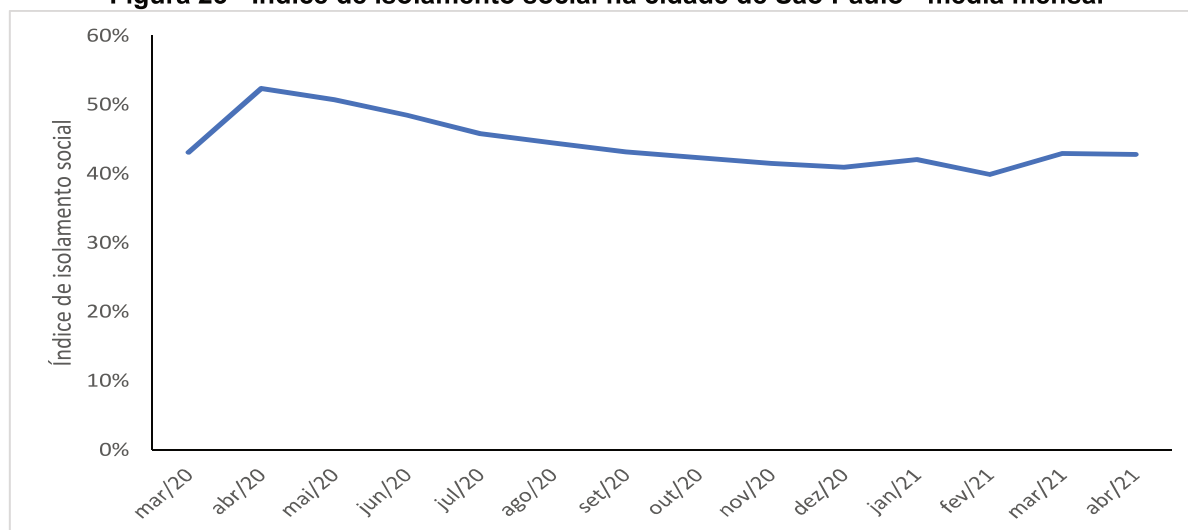
como um conjunto de metas gradativas e progressivas (MI1, MI2, MI3 e PF) para que a poluição atmosférica seja reduzida, ao longo do tempo. (Vide Apêndice).

Com o objetivo de verificar o quanto a diminuição das atividades, principalmente do tráfego, tem influência no atingimento das metas é apresentada, a seguir, a comparação do número de dias em que as metas para exposição de curto prazo estabelecidas no referido decreto foram ultrapassadas.

Inicialmente deve-se esclarecer que a meteorologia durante a pandemia, considerando todo o ano de 2020, apresentou situações mais desfavoráveis à dispersão de poluentes do que no ano anterior (2019). Os eventos meteorológicos desfavoráveis ocorreram principalmente de maio a setembro, meses em que houve uma maior flexibilização de alguns setores da economia, conforme definido pelo Plano SP (SÃO PAULO, 2020c). Em que pese não se dispor de dados quantitativos da redução de tráfego, foi notável sua diminuição uma vez que não houve aulas presenciais nas escolas, ocorreu um significativo aumento de trabalhos remotos, restrição do funcionamento de bares, restaurantes e atividades de lazer como cinemas, teatros e atividades esportivas.

É de se admitir que as emissões tenham aumentado no período flexibilização, estas porém, presumivelmente, não atingiram os patamares do ano anterior. Na **Figura 23** é apresentado o índice de isolamento social (SÃO PAULO, 2020b).

**Figura 23 - Índice de isolamento social na cidade de São Paulo - média mensal**



Serão apresentados a seguir o número de ultrapassagens dos níveis de qualidade do ar, para cada poluente, em relação às metas estabelecidas no Decreto Estadual nº 59.113/2013 (SÃO PAULO a).

#### **MP<sub>10</sub>**

A **Tabela 6** mostra que as médias de concentração nos períodos ANTES e DURANTE em ambos os tipos de estações variam em torno dos mesmos valores, não indicando uma clara diferenciação no período de menor tráfego. Demonstram também que houve uma significativa redução do número de ultrapassagens do PF. Esta observação é importante, pois embora as condições meteorológicas tenham sido mais desfavoráveis para dispersão do material particulado (menores índices pluviométricos), ainda que sendo mantidos os valores das médias, foram reduzidas as violações do PF que é numericamente igual ao valor-guia recomendado pela OMS em 2005. Estas observações indicam que as fortes reduções das emissões veiculares passam a ser importantes nas estratégias de controle.



**Tabela 6 - MP<sub>10</sub> - Número de ultrapassagens das metas de curto prazo e médias de concentração, nos períodos ANTES e DURANTE dos anos 2017 a 2020, para as estações não micro (a) e micro (b)**

Ano	Número de ultrapassagens de MP <sub>10</sub> (não micro)									
	ANTES					DURANTE				
	Média (µg/m <sup>3</sup> )	MI1 (PQAr)	MI2	MI3	PF	Média (µg/m <sup>3</sup> )	MI1 (PQAr)	MI2	MI3	PF
2017	20	0	0	0	0	20	0	0	0	1
2018	25	0	0	0	6	25	0	0	0	5
2019	17	0	0	0	0	25	0	0	1	6
2020	19	0	0	0	1	20	0	0	0	0

(a)

Ano	Número de ultrapassagens de MP <sub>10</sub> (microescala)									
	ANTES					DURANTE				
	Média (µg/m <sup>3</sup> )	MI1 (PQAr)	MI2	MI3	PF	Média (µg/m <sup>3</sup> )	MI1 (PQAr)	MI2	MI3	PF
2017	23	0	0	0	0	23	0	0	0	2
2018	26	0	0	0	4	27	0	0	0	6
2019	21	0	0	0	0	29	0	0	2	7
2020	24	0	0	0	3	24	0	0	0	2

(b)

Fonte: CETESB

Um quadro mais amplo é apresentado na **Tabela 7**, com o comportamento ocorrido em períodos de 12 meses.

**Tabela 7 - MP<sub>10</sub> – Número de ultrapassagens das metas de curto prazo e médias de concentração, nos períodos de abril de 2019 a março de 2020 e de abril de 2020 a março de 2021**

Período	Número de ultrapassagens de MP <sub>10</sub>									
	Microescala					Não micro				
	Média (µg/m <sup>3</sup> )	MI1 (PQAr)	MI2	MI3	PF	Média (µg/m <sup>3</sup> )	MI1 (PQAr)	MI2	MI3	PF
abr 2019 - mar 2020	31	0	3	63	327	26	0	1	39	305
abr 2020 - mar 2021	31	1	5	76	322	26	1	3	42	319

Fonte: CETESB

Foi notável a redução de tráfego, no ano de 2020, embora não tão acentuada como apenas no período DURANTE, pelas razões já apresentadas. Neste quadro de menor tráfego, mas com meteorologia desfavorável à dispersão de partículas, as médias anuais permaneceram iguais, porém houve aumento de ultrapassagens das metas M1, M2 e M3 e PF nas estações não micro, sendo notada uma pequena diminuição apenas no PF das estações de micro escala.

No que se refere às metas para exposição de longo prazo (médias anuais), as médias das estações de microescala superaram a MI3 (30 µg/m<sup>3</sup>) e as não micro o PF (20 µg/m<sup>3</sup>).

### MP<sub>2,5</sub>

As observações de restrição de veículos e situação meteorológica apresentadas no item anterior também são válidas para a análise a seguir.

A observação do comportamento dos dados de ambas as estações (**Tabela 8a e b**) indicam que no período DURANTE não houve ultrapassagens dos níveis das metas MI1, MI2 e MI3. A se destacar a notável redução das ultrapassagens da PF no período DURANTE, indicando que a diminuição de tráfego exerceu forte influência nessas reduções.

**Tabela 8 - MP<sub>2,5</sub> – Número de ultrapassagens das metas de curto prazo e médias de concentração, nos períodos ANTES e DURANTE dos anos 2017 a 2020, para as estações não micro (a) e micro (b)**

Ano	Número de ultrapassagens de MP <sub>2,5</sub> (não micro)									
	ANTES					DURANTE				
	Média (µg/m <sup>3</sup> )	MI1 (PQAr)	MI2	MI3	PF	Média (µg/m <sup>3</sup> )	MI1 (PQAr)	MI2	MI3	PF
2017	11	0	0	0	1	11	0	0	0	2
2018	15	0	0	1	4	15	0	1	5	8
2019	11	0	0	1	3	16	0	0	2	11
2020	11	0	0	0	1	11	0	0	0	1

(a)

Ano	Número de ultrapassagens de MP <sub>2,5</sub> (microescala)									
	ANTES					DURANTE				
	Média (µg/m <sup>3</sup> )	MI1 (PQAr)	MI2	MI3	PF	Média (µg/m <sup>3</sup> )	MI1 (PQAr)	MI2	MI3	PF
2017	13	0	0	0	1	12	0	0	0	1
2018	16	0	0	0	4	16	0	0	0	5
2019	12	0	0	0	0	17	0	0	3	9
2020	13	0	0	0	1	12	0	0	0	0

(b)

Fonte: CETESB

Um quadro mais amplo é apresentado na **Tabela 9**, com o comportamento ocorrido em períodos de 12 meses.

**Tabela 9 - MP<sub>2,5</sub> – Número de ultrapassagens das metas de curto prazo e médias de concentração, nos períodos de abril de 2019 a março de 2020 e de abril de 2020 a março de 2021, para as estações micro e não micro**

Período	Número de ultrapassagens de MP <sub>2,5</sub>									
	Microescala					Não micro				
	Média período	MI1 (PQAr)	MI2	MI3	PF	Média período	MI1 (PQAr)	MI2	MI3	PF
abr 2019 - mar 2020	18	3	12	98	322	15	5	17	86	488
abr 2020 - mar 2021	17	3	8	60	278	15	6	19	102	484

Fonte: CETESB

As médias anuais são praticamente iguais nos dois períodos. Nota-se aumento de ultrapassagens das metas MI1, MI2 e MI3 nas estações não micro sendo notada uma diminuição apenas no PF das estações de microescala.

A média anual das estações de microescala (2020) superou a MI3 (15 µg/m<sup>3</sup>).

### CO, NO e NO<sub>2</sub>

O comportamento dos gases NO<sub>2</sub>, NO e CO segue o mesmo padrão, pois na RMSP as emissões praticamente provêm das mesmas fontes e o comportamento meteorológico exerce a mesma influência em todos.

**CO** - O monóxido de carbono não possui metas intermediárias estabelecidas e não apresentou ultrapassagem de seu padrão, que equivale ao PF, em qualquer período considerado. A ressaltar que em 2020 a média das máximas de 8h do período DURANTE para estações de microescala é 26,6% menor que a média do período ANTES, conforme **Tabela 4**. Com relação às médias anuais, nas estações de escala não micro, observou-se variação de 0,46 ppm - (2019/2020) para 0,41 ppm (2020/2021) que corresponde a redução de 11%. Na escala micro, foi de 0,76 ppm para 0,67 ppm, correspondendo a redução semelhante de 12%.

**NO** - O monóxido de nitrogênio também não tem estabelecidas metas intermediárias e nem mesmo padrão. Por essa razão não se apresentam quadros e tabelas comparativos. Ressalta-se que, conforme **Tabela 4**, houve uma queda de 21,8% das médias das máximas de 1 hora no período DURANTE em relação ao ANTES, para estações de microescala. Quanto às médias anuais, nas estações não micro, o NO em 2019/2020 passou de 8,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para 6,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , em 2020/2021, redução de 26%; e na escala micro, de 37,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para 33,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , redução de 12%.

**NO<sub>2</sub>** - Para o NO<sub>2</sub> são apresentadas na **Figura 10** as ultrapassagens da MI1, MI2, MI3 e PF apenas para o período anual considerado. Não se apresentam tabelas de ANTES e DURANTE, períodos em que todas as Metas Intermediárias e PF foram respeitados.

**Tabela 10 - NO<sub>2</sub> – Número de ultrapassagens das metas de curto prazo e médias de concentração, nos períodos de abril de 2019 a março de 2020 e de abril de 2020 a março de 2021, para as estações e micro e não micro**

Período	NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )									
	Microescala					Não micro				
	Média período	MI1 (PQAr)	MI2	MI3	PF	Média período	MI1 (PQAr)	MI2	MI3	PF
abr 2019 - mar 2020	46	0	0	0	3	26	0	0	0	0
abr 2020 - mar 2021	43	0	0	1	4	23	0	0	0	2

Fonte: CETESB

Na **Tabela 10** observa-se que as médias de concentração são praticamente da mesma ordem de grandeza nos dois períodos. Nas estações microescala, no período 2019/2020, a média anual de NO<sub>2</sub> ficou abaixo de MI2 (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), enquanto que no período 2020/2021 ficou abaixo de MI3 (45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Entretanto, nas estações classificadas como não micro, a média nos dois períodos, ficaram abaixo do PF (40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Essas observações, em relação ao CO, NO e NO<sub>2</sub>, aqui consideradas indicam que a influência da variação do tráfego no período da pandemia provocou reduções nas médias de CO, NO e NO<sub>2</sub>.

### O<sub>3</sub>

Observa-se na **Tabela 11**, no período DURANTE em 2020, que o número de ultrapassagens das MI e PF são aproximadamente iguais, não ficando clara uma tendência acentuada, inclusive considerando a análise da **Tabela 12**, do número de ultrapassagem de metas em termos anuais.

**Tabela 11 - O<sub>3</sub> – Número de ultrapassagens das metas de curto prazo nos períodos ANTES e DURANTE dos anos 2017 a 2020**

Ano	ANTES				DURANTE			
	MI1 (PQAr)	MI2	MI3	MF	MI1 (PQAr)	MI2	MI3	PF
2017	0	2	2	6	0	1	2	5
2018	2	3	7	13	1	1	2	10
2019	1	2	2	9	5	5	9	16
2020	9	10	11	13	4	6	8	15

Fonte: CETESB

**Tabela 12 - O<sub>3</sub> – Número de ultrapassagens das metas de curto prazo e médias de concentração, nos períodos de abril de 2019 a março de 2020 e de abril de 2020 a março de 2021**

O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Média das máx. diárias de 8h	MI1 (PQAr)	MI2	MI3	PF
abr 2019 - mar 2020	67	130	211	346	832
abr 2020 - mar 2021	73	160	269	468	1107

Fonte: CETESB

No comportamento anual, observa-se um aumento significativo em todos os indicadores utilizados. Diferencia-se assim fortemente do comportamento dos outros poluentes, dada a ocorrência de um aumento significativo nas médias das concentrações máximas diárias de 8 horas e no número de ultrapassagens de MI1, MI2, MI3 e PF. Este comportamento deve ser observado em detalhe uma vez que tem implicações no direcionamento de mecanismos de controle para a redução do ozônio. É fato que a meteorologia facilitou a formação de ozônio dada a menor ocorrência de chuvas. Porém, considerando os componentes que participam nas reações fotoquímicas, há que se levar em conta que ocorreu uma menor concentração média de NO conforme comentário anterior. No ciclo fotoquímico o NO é um consumidor de O<sub>3</sub>, sendo razoável que este último se apresente em concentração maior pelo fato de não ser consumido. É fato cientificamente verificado que, em determinadas condições, a diminuição de um dos componentes do ciclo fotoquímico pode aumentar a poluição final por ozônio (ESTADOS UNIDOS, 2006).

## 6. Comparação com Outros Estudos

Em decorrência da pandemia, a maioria dos países adotou medidas austeras de restrição de atividades comerciais, produtivas e deslocamento de pessoas para reduzir a disseminação do vírus, resultando em redução significativa do tráfego de veículos automotores, que se refletiu nos níveis de concentração dos poluentes na atmosfera urbana.

Estudo publicado na revista *Environmental Pollution* compara as alterações na qualidade do ar de Londres, Cidade do México e Nova Delhi, nos vários estágios das medidas de confinamento impostas (VEGA et al., 2021).

O período do estudo estendeu-se de 1 de janeiro a 31 de agosto de 2020 e os resultados foram comparados com as médias das concentrações diárias de 2017 a 2019, nos mesmos períodos, procedimento também seguido nos trabalhos da CETESB. Na cidade do México, as medidas de restrição das atividades foram implementadas a partir de 24/3/2020 e a partir de 31/5/2020 foram sendo gradativamente relaxadas. Também em Londres, as restrições foram implementadas a partir de 24/3/2021 e a partir de 1/6/2020 as atividades começaram a ser retomadas. Da mesma forma, em Delhi as restrições mais severas ocorreram de 25/3/2020 a 1/6/2020.

Na **Tabela 13**, são apresentadas as médias de concentração de MP<sub>2,5</sub>, MP<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, CO e O<sub>3</sub> referentes às medições realizadas nas fases de maior restrição das atividades em comparação com as médias dos mesmos períodos de 2017 a 2019, em Londres e na Cidade do México e de 2018 a 2019 no caso de Delhi. Também são apresentados os dados das estações de São Paulo (RMSP).

**Tabela 13 - Comparação das médias de concentração de MP<sub>2,5</sub>, MP<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, CO e O<sub>3</sub>, na Cidade do México, Londres, Delhi e RMSP, entre 2017 e 2020**

Poluente	Cidade do México			Londres			Delhi			São Paulo *		
	1abr - 31mai			23 mar - 11mai			23 mar - 11mai			24 mar - 23abr		
	2017-2019	2020	Δ%	2017-2019	2020	Δ%	2018-2019	2020	Δ%	2017-2019	2020	Δ%
MP <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	29,5	24,6	-16,6	15,6	13,9	-10,9	91,6	45,9	-49,8	14,4	11,6	-19,2
MP <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	52,4	44,0	-16,1	22,7	21,0	-7,5	263,4	102,7	-61,0	24,6	21,4	-13,0
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	36,9	23,0	-37,7	37,0	22,1	-40,2	100,0	44,5	-55,5	29,7	19,9	-33,1
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	65,8	69,6	+5,7	47,8	63,5	+33,0	110,7	84,7	-23,5	65,6	71,4	+8,8
CO (ppm)	0,41	0,21	-48,4	0,22	0,16	-28,9	-	-	-	0,50	0,30	-40,6

Os valores Δ% de São Paulo referem-se ao percentual das diferenças entre os períodos (2017-2019) e 2020 e foram calculados com base no período 2017-2019, em conformidade com a publicação da revista Environmental Pollution (VEGA et al., 2021).

Nas três cidades avaliadas bem como em São Paulo, observou-se redução nas concentrações de MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub> associadas à diminuição do tráfego, notadamente em Delhi. Assim como em São Paulo, em Londres e na cidade do México ocorreu um aumento nos níveis de ozônio na atmosfera, comportamento não verificado em Delhi. Na cidade do México a maior redução percentual foi de CO, assim como em São Paulo. Destacam-se ainda, os valores de Δ% de México e São Paulo, com mesmas ordens de grandezas.

## 7. Conclusão

Distingue-se três comportamentos das concentrações dos poluentes na RMSP no período da pandemia:

- **Demonstraram redução:** os emitidos principalmente pelos veículos, CO, NO e NO<sub>2</sub>. Não só ocorreram reduções das concentrações no período de maior restrição das atividades (24/03 a 23/04 de 2020) mas também quando se compara com concentrações em relação ao mesmo período nos anos anteriores (2017 a 2019), do mesmo modo, houve uma leve diminuição das concentrações anuais. Este é um bom indicativo que para estes poluentes, as reduções de emissões impostas pela pandemia são adequadas como meta de controle a ser perseguida.
- **Demonstraram aumento:** o ozônio foi o único poluente que teve aumento de suas concentrações durante a pandemia, em relação aos anos anteriores. Este comportamento pode estar influenciado pelas condições meteorológicas para formação deste poluente e pela diminuição de NO que consome o ozônio. Sendo este poluente o principal representante do ciclo fotoquímico, é de especial importância os cuidados que se devem tomar ao se estabelecer programas de controle de seus precursores.
- **Demonstraram estabilidade:** As concentrações médias anuais em 2020 foram praticamente iguais às de 2019, tanto para MP<sub>10</sub> como MP<sub>2,5</sub>, observadas nos dois tipos de estações (microescala e não micro). As médias observadas no período DURANTE em relação ao ANTES, em 2020, foram também praticamente iguais. Entretanto, comparando-se os períodos DURANTE de 2020 com o de 2017 a 2019, nota-se uma queda das concentrações médias em 2020, diminuição também observada no número de ultrapassagens do PF.

As ultrapassagens das metas diárias em 2020, em relação ao ano anterior, mantiveram-se praticamente nos mesmos patamares.

Apesar dos veículos representarem na RMSP uma fonte importante de emissão de material particulado, uma parcela significativa deste material é formada por aerossóis secundários e no caso do  $MP_{10}$  por poeira ressuspensa do solo. Desta forma, em que pese a diminuição do tráfego e da emissão de material particulado, os efeitos nas concentrações atmosféricas não foram tão marcantes.

## 8. Comentário Final

Em termos do controle de poluição do ar na RMSP, no caso do material particulado e ozônio a forte redução do tráfego ocorrida no período da pandemia não foi suficiente para se evitar as ultrapassagens dos valores das metas. Isso indica a dificuldade de atingimento das metas intermediárias e padrões finais, em curto e médio prazo, para estes poluentes em grandes centros urbanos. A RMSP já atingiu um nível de controle de poluição tal que novos avanços devem ser alcançados com maior eficiência a partir de um melhor detalhamento do tipo de fonte a ser controlada. A sequência de estudos de caracterização do material particulado, bem como a influência da redução de emissão dos percussores nos níveis ambientais de ozônio, é importante para que se tenha um nível de controle adequado, economicamente responsável e com melhor custo/benefício.

## 9. Referências

CETESB. **Relatório de emissões veiculares no Estado de São Paulo** São Paulo, 2018 Disponível em <http://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-emissão> veicular- Acesso em dez.2021.

CETESB. **Estudo do comportamento do ozônio na RMSP**. São Paulo, 2001. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>. Acesso em: set.2021.

CETESB. **Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2020**. São Paulo, 2021. (Série Relatórios). Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>. Acesso em: set.2021.

ESTADOS UNIDOS. U. S. Environmental Protection Agency. **Air Quality Criteria for Ozone and Related Photochemical Oxidants (Final Report, 2006)**. Disponível em: [https://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_report.cfm?Lab=NCEA&direntryid=149923](https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NCEA&direntryid=149923). Acesso em: jan.2022.

GOOGLE. **Covid-19: Relatórios de mobilidade da comunidade**. 2020. Disponível em: <https://www.google.com/covid19/mobility/>. Acesso em: jun.2021.

IBGE. **Estimativa de população**. 2020. base de dados eletrônicos (portal). Tema: Estatísticas. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?&t=downloads>. Acesso em: jan.2021.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 59.113, de 23 de abril de 2013**. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. Com retificações posteriores. São Paulo, 2013. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59113-23.04.2013.html>. Acesso em: jan.2021.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 64.881, de 22 de março de 2020**. Decreta quarentena no Estado de São Paulo no contexto da pandemia do Covid-19 (novo Coronavírus) e dá providências complementares. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/normal/193361>. Acesso em: dez.2020.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 64.994, de 28 de maio de 2020**. Dispõe sobre a medida de quarentena de que trata o Decreto nº 64.881 e institui o Plano São Paulo. São Paulo, 2020a. Disponível em <https://www.saopaulo.sp.gov.br/planosp/>. Acesso em jan.2021.

SÃO PAULO (Estado). **SP contra o Novo Coronavírus**. Adesão ao isolamento social em SP. São Paulo, 2020b. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2020/decreto-64994-28.05.2020>.

TSAI, D., BARCELLOS F. Crise do coronavírus e o futuro da mobilidade em São Paulo. **Le Monde diplomatique Brasil**. 29 set. 2020. Disponível em: <https://diplomatique.org.br/crise-do-coronavirus-e-o-futuro-da-mobilidade-em-sao-paulo/>. Acesso em: fev.2021.

WHO World Health Organization. **Who Air Quality Guidelines Global Update 2005**. Report on a working group meeting, Bonn/Germany, 18-20 October 2005... Disponível em <http://www.euro.who.int/...data/assets/pdf/...file/0008/147851/E87950.pdf>. Acesso em dez.2021.

VEGA, E. et al. Changes in air quality in Mexico City, London and Delhi in response to various stages and leves lockdowns and easing of restrictions during COVID-19 pandemic. **Environmental Pollution**. v. 285, 2021.

## APÊNDICE

Tabela 14 - Padrões Estaduais de Qualidade do Ar (Decreto Estadual nº 59.113)

Poluente	Tempo de Amostragem	MI 1 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MI 2 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MI 3 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PF ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
partículas inaláveis ( $\text{MP}_{10}$ )	24 horas	120	100	75	50
	MAA <sup>1</sup>	40	35	30	20
partículas inaláveis finas ( $\text{MP}_{2,5}$ )	24 horas	60	50	37	25
	MAA <sup>1</sup>	20	17	15	10
dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ )	24 horas	60	40	30	20
	MAA <sup>1</sup>	40	30	20	-
dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ )	1 hora	200	240	220	200
	MAA <sup>1</sup>	60	50	45	40
ozônio ( $\text{O}_3$ )	8 horas	140	130	120	100
monóxido de carbono (CO)	8 horas	-	-	-	9 ppm
fumaça* (FMC)	24 horas	120	100	75	50
	MAA <sup>1</sup>	40	35	30	20
partículas totais em suspensão* (PTS)	24 horas	-	-	-	240
	MGA <sup>2</sup>	-	-	-	80
chumbo** (Pb)	MAA <sup>1</sup>	-	-	-	0,5

Fonte: CETESB (2022)

1 - Média aritmética anual.

2 - Média geométrica anual.

\* Fumaça e Partículas Totais em Suspensão - parâmetros auxiliares a serem utilizados apenas em situações específicas, a critério da CETESB.

\*\* Chumbo - a ser monitorado apenas em áreas específicas, a critério da CETESB.






OBS: Os padrões MI1 assinalados em vermelho estiveram em vigor até 31/12/2021, passando a vigorar os padrões MI2 a partir de então.





| Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente

Acompanhe as redes sociais da CETESB:

-  Site: [cetesb.sp.gov.br](http://cetesb.sp.gov.br)
-  Facebook: [facebook.com/cetesbsp](https://facebook.com/cetesbsp)
-  LinkedIn: [linkedin.com/company/cetesb](https://linkedin.com/company/cetesb)
-  Instagram: [instagram.com/cetesbsp](https://instagram.com/cetesbsp)
-  SoundCloud: [soundcloud.com/cetesbsp](https://soundcloud.com/cetesbsp)