

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

LETÍCIA SILVA GODINHO

**POSSÍVEIS ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DO AR DURANTE A PANDEMIA DE
COVID-19**

Buri

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

LETÍCIA SILVA GODINHO

**POSSÍVEIS ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DO AR DURANTE A PANDEMIA DE
COVID-19**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como exigência parcial para a obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia Ambiental na
Universidade Federal de São Carlos

Orientação: Profa. Dra. Anne Alessandra
Cardoso Neves

Buri

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Godinho, Letícia Silva

Possíveis alterações na qualidade do ar durante a pandemia de COVID-19 / Letícia Silva Godinho -- 2022.69f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri

Orientador (a): Anne Alessandra Cardoso Neves

Banca Examinadora: Beatriz Cruz Gonzalez, Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho

Bibliografia

1. Qualidade do ar. 2. Pandemia de COVID-19. 3. Isolamento social . I. Godinho, Letícia Silva. II. Título.


Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539

FOLHA DE APROVAÇÃO

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso da candidata **Letícia Silva Godinho**, realizada em 12/04/2022:

Documento assinado digitalmente
 ANNE ALESSANDRA CARDOSO NEVES
Data: 13/04/2022 18:52:55-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof^a Dr^a Anne Alessandra Cardoso Neves – Orientadora
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.



Prof^a Dr^a. Beatriz Cruz Gonzalez
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino



Prof. Dr. Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE

Dedico este trabalho...

AGRADECIMENTO

Primeiramente, sou grata a Deus pela saúde e força para cumprir mais essa etapa da minha vida.

À minha família, em especial ao meu filho Bernardo, que é o meu maior motivo de persistência, dedicação e amor em cada ato, aos meus pais Juvenal e Solange e à minha avó Irany, que foram minha sustentação e rede de apoio durante toda a trajetória e que sempre acreditaram e defenderam cada decisão.

À minha madrinha Claudinéia que acompanhou e participou de cada fase desde os primeiros passos dessa conquista.

Aos meus tios, tias, primos, primas, amigos, amigas e namorado que sempre estiveram dispostos a me ouvir, aconselhar e apoiar, me incentivando, me fazendo acreditar no meu potencial e vibrando a cada conquista.

Aos amigos formados durante a graduação, à turma de Engenharia Ambiental de 2016, que foram essenciais na composição dessa experiência, especialmente à minha amiga Gleyce, que foi minha dupla e companheira, que esteve desde o início, diariamente, nos mais difíceis e mais importantes momentos dessa história.

À Dra. Anne Alessandra Cardoso Neves, minha orientadora, que além de ser minha professora desde o primeiro ano de graduação, com todo conhecimento compartilhado, se dispôs a me orientar e realizar o fechamento desse ciclo com o desenvolvimento deste trabalho.

A todos docentes, técnicos administrativos, funcionários e membros da Universidade Federal de São Carlos - campus Lagoa do Sino, que permitiram por meio de trocas, aprendizagem e convivência a realização desse sonho.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram, torceram e fizeram parte desse capítulo especial e único da minha vida. Obrigada Comunidade Lagoa do Sino pela recepção e moradia durante os últimos anos.

RESUMO

O ar é um recurso natural indispensável para a vida na Terra. Entretanto, há anos a qualidade atmosférica vem sendo afetada por intensos processos de urbanização, industrialização e crescimento demográfico. As principais fontes emissoras de poluentes na atmosfera são provenientes de ações antrópicas, como as atividades industriais, processos de combustão incompletos e o demasiado uso de veículos automotivos. Episódios agudos de poluição atmosférica ao longo da história desencadearam preocupação e necessidade de ações mitigatórias. Diante disso, foram iniciadas pesquisas para conhecimento da constituição do ar, bem como medidas de controle por meio de monitoramentos periódicos das concentrações de poluentes e a fixação de padrões da qualidade do ar, determinados de acordo com a natureza de emissão e riscos fornecidos à saúde humana e ambiental. Atualmente a ocorrência de uma crise pandêmica decorrente do novo coronavírus, doença com contágio elevado, exigiu a adoção de medidas emergenciais preventivas que reduzissem ao máximo o ritmo acelerado de disseminação garantindo a sobrevivência populacional. Uma das medidas adotadas foi o isolamento social, que restringe a circulação da população, de veículos automotivos e funcionamento de indústrias. Com isso, foi possível observar uma aparente redução dos poluentes presentes na atmosfera. Este estudo foi elaborado com o objetivo de analisar o impacto do distanciamento social na qualidade do ar da Região Metropolitana de São Paulo, por meio da análise de artigos, selecionados por pesquisa exploratória, e bases de dados de monitoramento da qualidade do ar, contribuindo com a comprovação da relação entre ações antrópicas e meio ambiente. Assim, foi possível avaliar as alterações dos parâmetros de qualidade do ar antes, durante e após o isolamento social, concluindo que durante o período de redução das fontes poluidoras o ar apresentou melhora significativa na sua qualidade.

Palavras-chave: Qualidade do ar. Poluição do ar. Isolamento social. Pandemia de COVID-19.

ABSTRACT

Air is a natural resource that is indispensable for life on Earth. However, for years the atmospheric quality has been affected by intense processes of urbanization, industrialization, and demographic growth. The main sources of pollutants emissions into atmosphere come from anthropogenic actions, such as industrial activities, incomplete combustion processes, and excessive use of motor vehicles. Acute episodes of air pollution throughout history have triggered concern and need for mitigating actions. In light of this, research was initiated to understand the air constitution, as well as control measures through periodic monitoring of pollutants concentrations and setting of air quality standards, determined according to nature of emission and risks posed to human and environmental health. Currently, occurrence of pandemic crisis resulting from new coronavirus, a highly contagious disease, has required the adoption of emergency preventive measures to reduce as much as possible the rapid pace of dissemination, ensuring population survival. One adopted measure was social isolation, which restricted circulation of population, automobiles, and operation of industries. With this, it was possible to observe an apparent reduction of pollutants in atmosphere. This study was developed with objective of analyzing impact of social isolation on air quality in Metropolitan Region of São Paulo, through analysis of articles, selected by exploratory research, and air quality monitoring databases, contributing to proof of relationship between anthropic actions and environment. Thus, it was possible to evaluate the changes in air quality parameters before, during, and after social isolation, concluding that during period of reduction of pollutant sources, the air quality significantly improved.

Keyword: Air quality. Air pollution. Social isolation. Pandemic COVID-19.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fontes, características e efeitos dos principais poluentes atmosféricos.....	30
Figura 2 - Macrometrópole Paulista	37
Figura 3 - Médias mensais de MP ₁₀ do ano de 2018 em Estações da RMSP.....	40
Figura 4 - Médias mensais de MP ₁₀ do ano de 2019 em Estações da RMSP.....	40
Figura 5 - Médias mensais de MP ₁₀ do ano de 2020 em Estações da RMSP.....	41
Figura 6 - Médias mensais de MP ₁₀ do ano de 2021 em Estações da RMSP.....	41
Figura 7 - Médias anuais de MP ₁₀ de 2018 a 2021 em Estações da RMSP	42
Figura 8 - Médias mensais de MP _{2,5} do ano de 2018 em Estações da RMSP	43
Figura 9 - Médias mensais de MP _{2,5} do ano de 2019 em Estações da RMSP.....	43
Figura 10 - Médias mensais de MP _{2,5} do ano de 2020 em Estações da RMSP.....	44
Figura 11 - Médias mensais de MP _{2,5} do ano de 2021 em Estações da RMSP.....	44
Figura 12 - Médias anuais de MP _{2,5} de 2018 a 2021 em Estações da RMSP.....	45
Figura 13 - Médias mensais de O ₃ do ano de 2018 em Estações da RMSP	46
Figura 14 - Médias mensais de O ₃ do ano de 2019 em Estações da RMSP.....	46
Figura 15 - Médias mensais de O ₃ do ano de 2020 em Estações da RMSP.....	47
Figura 16 - Médias mensais de O ₃ do ano de 2021 em Estações da RMSP.....	47
Figura 17 - Médias anuais de O ₃ de 2018 a 2021 em Estações da RMSP.....	48
Figura 18 - Médias mensais de CO do ano de 2018 em Estações da RMSP.....	49
Figura 19 - Médias mensais de CO do ano de 2019 em Estações da RMSP.....	49
Figura 20 - Médias mensais de CO do ano de 2020 em Estações da RMSP.....	50
Figura 21 - Médias mensais de CO do ano de 2021 em Estações da RMSP.....	50
Figura 22 - Médias anuais de CO de 2018 a 2021 em Estações da RMSP	51
Figura 23 - Médias mensais de NO ₂ do ano de 2018 em Estações da RMSP.....	52
Figura 24 - Médias mensais de NO ₂ do ano de 2019 em Estações da RMSP	52
Figura 25 - Médias mensais de NO ₂ do ano de 2020 em Estações da RMSP.....	53
Figura 26 - Médias mensais de NO ₂ do ano de 2021 em Estações da RMSP.....	53
Figura 27 - Médias anuais de NO ₂ de 2018 a 2021 em Estações da RMSP.....	54
Figura 28 - Médias mensais de SO ₂ do ano de 2018 em Estações da RMSP.....	54
Figura 29 - Médias mensais de SO ₂ do ano de 2019 em Estações da RMSP.....	55
Figura 30 - Médias mensais de SO ₂ do ano de 2020 em Estações da RMSP.....	55
Figura 31 - Médias mensais de SO ₂ do ano de 2021 em Estações da RMSP.....	56
Figura 32 - Médias anuais de SO ₂ de 2018 a 2021 em Estações da RMSP	57

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Cálculo do Índice de Qualidade do ar	24
Equação 2 – Formação de O ₃ na atmosfera	25
Equação 3: Formação da chuva ácida.....	27

LISTA DE SIGLAS

CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CICPAA	Comissão Intermunicipal de Controle da Poluição das Águas e do Ar
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
MMA	Ministério do Meio Ambiente
OMS	Organização Mundial da Saúde
PF	Padrão de Qualidade do ar final
PI	Padrões de Qualidade do Ar Intermediários
QUALAR	Sistema de Informações da Qualidade do Ar
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SUSAM	Superintendência de Saneamento Ambiental
UGRHI	Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Padrões de qualidade do ar do estado de São Paulo.....	21
Quadro 2 - Critérios para episódios agudos de poluição atmosférica	22
Quadro 3 - Índice de Qualidade do Ar	25
Quadro 4 - Principais fontes fixas de poluição atmosférica	29
Quadro 5 - Principais fontes móveis de poluição atmosférica	29
Quadro 6 - Parâmetros de qualidade do ar da RMSP nos meses de março.....	57
Quadro 7 – Índice de Qualidade do Ar da RMSP no ano de 2018.....	60
Quadro 8 - Índice de Qualidade do Ar da RMSP no ano de 2019.....	61
Quadro 9 - Índice de Qualidade do Ar da RMSP no ano de 2020.....	62
Quadro 10 - Índice de Qualidade do Ar da RMSP no ano de 2021.....	63

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 QUALIDADE DO AR.....	17
2.2 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR	18
2.3 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR	19
2.4 INDICADORES DE QUALIDADE DO AR	23
2.4.1 Ozônio (O ₃)	25
2.4.2 Partículas inaláveis (MP ₁₀).....	26
2.4.3 Partículas inaláveis finas (MP _{2,5})	26
2.4.4 Monóxido de Carbono (CO)	27
2.4.5 Dióxido de Enxofre (SO ₂).....	27
2.4.6 Dióxido de Nitrogênio (NO ₂).....	28
2.5 FONTES EMISSORAS DE POLUENTES.....	28
2.6 A PANDEMIA DE COVID-19	30
2.7 ISOLAMENTO SOCIAL	32
3 OBJETIVOS	34
3.1 OBJETO GERAL	34
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	34
4 METODOLOGIA.....	35
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR DA RMSP.....	39
5.1.1 Estudo da Concentração de Partículas inaláveis (MP ₁₀)	39
5.1.2 Estudo da Concentração de Partículas inaláveis finas (MP _{2,5}).....	42
5.1.3 Estudo da Concentração de Ozônio (O ₃).....	45
5.1.4 Estudo da Concentração de Monóxido de Carbono (CO).....	48

5.1.5	Estudo da Concentração de Dióxido de Nitrogênio (NO ₂).....	51
5.1.6	Estudo da Concentração de Dióxido de Enxofre (SO ₂).....	54
5.1.7	Comparação da Qualidade do ar da RMSP de 2018 a 2021.....	57
5.2	ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR DA RMSP	58
5.3	DISCUSSÃO	64
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1 INTRODUÇÃO

Durante anos o desenvolvimento mundial acarretou intensos processos de urbanização, industrialização e crescimento demográfico que interferiram diretamente na economia, desenvolvimento social e meio ambiente. Desde a Revolução Industrial a atmosfera passou a receber uma constante carga de poluentes provenientes da atividade humana. Episódios ocasionados pela poluição do ar, como os desastres no Vale de Meuse (Bélgica, 1930), em Donora (Estados Unidos, 1948) e em Londres (Inglaterra, 1952), despertaram para a necessidade da adoção de medidas de controle de poluentes atmosféricos (MARTIN; MARTIN, 2020).

De acordo com a Resolução nº 491 de 19 de novembro de 2018 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) define-se por poluente atmosférico qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo e características capazes de alterar a qualidade do ar, tornando-o impróprio ou nocivo à saúde, ao bem-estar público, aos materiais, à fauna e flora ou à segurança e às atividades normais da comunidade. O material determina também o padrão de qualidade do ar como uma ferramenta de monitoramento atmosférico, que determina valores limites para a concentração de poluentes na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, de modo a preservar o meio ambiente e a saúde da população.

O monitoramento da qualidade do ar com a análise das concentrações de poluentes teve início no estado de São Paulo, em 1972, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com a medição diária dos níveis de dióxido de enxofre (SO₂) e fumaça preta. Atualmente os monitoramentos podem ser acompanhados de hora em hora pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), e são avaliadas as concentrações de SO₂, partículas inaláveis (MP₁₀), partículas inaláveis finas (MP_{2,5}), ozônio (O₃), óxidos de nitrogênio (NO, NO₂ e NO_x), monóxido de carbono (CO) e fumaça (CETESB, 2021).

O avanço progressivo da concentração de poluentes na atmosfera, de acordo com a Resolução CONAMA nº 491, tende a fornecer condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes emitidos para a mesma e conseqüentemente desencadear riscos às saúdes humana e ambiental. Quando os índices de poluição atmosférica se elevam, o risco de doenças cardíacas, câncer pulmonar e doenças de caráter respiratório também aumentam, tornando toda uma população local mais suscetível.

No final do ano de 2019 em Wuhan, cidade capital da província de Hubei, na China, foram diagnosticados os primeiros casos de COVID-19, doença causada pelo novo

coronavírus (SARS-CoV-2), e desde então a doença vem se propagando gradualmente por todo o mundo. Ainda que apresente baixos níveis de mortalidade se comparada a outras doenças globais recentes, a COVID-19 demonstra um potencial de disseminação e contágio muito superior às mesmas, sendo classificada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como uma doença pandêmica (SOUZA, 2020; SILVA, et al., 2020).

O novo cenário pandêmico exigiu a adoção de medidas políticas e restrições nos hábitos e comportamentos sociais, como a redução de atividades consideradas não essenciais, a adoção de protocolos sanitários, o distanciamento e isolamento social e a quarentena. Com a diminuição das atividades industriais e diminuição do fluxo de automóveis, e conseqüentemente a baixa no consumo do petróleo e carvão, a emissão mundial de CO₂ sofreu uma redução diária de aproximadamente um milhão de toneladas, evidenciando melhoras significativas na qualidade do ar de todo o mundo, especialmente das regiões metropolitanas (MARTIN; MARTIN, 2020).

As atividades antrópicas estão diretamente relacionadas com a qualidade do ar e recentemente o impacto do isolamento social e medidas políticas decorrentes da pandemia da COVID-19 na atmosfera tem chamado a atenção.

Sendo assim, por tratar-se de uma temática recente e extremamente relevante para a saúde ambiental, este estudo possui como objetivo central a avaliação do impacto do comportamento social para a qualidade atmosférica, servindo ainda como base para a identificação e resolução de problemáticas ambientais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 QUALIDADE DO AR

O ar é um recurso natural fundamental para a manutenção da vida na Terra e constitui a camada atmosférica que fica em contato com a superfície terrestre, denominada troposfera. Sua composição se dá por uma mistura de gases que se mantém ao longo do tempo relativamente estáveis, com eventuais modificações ou inserções decorrentes de processos físico-químicos e biológicos, por fenômenos naturais ou atividades humanas (MOTA, 2010).

Mota (2010) descreve que a atmosfera é composta aproximadamente por 78,11% de nitrogênio (N_2), 20,95% de oxigênio (O_2), 0,934% de argônio (Ar), 0,033% dióxido de carbono (CO_2), porcentagens menores de hidrogênio, metano, óxido nítrico e gases nobres, além de vapor d'água, ozônio, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, amônia, monóxido de carbono, partículas sólidas suspensas e elementos resultantes de ações humanas. A presença de substâncias em concentração, quantidade ou características desconhecidas ou contrárias às estabelecidas pela legislatura é considerada como poluição atmosférica. O ar poluído tende a ser nocivo e impróprio proporcionando riscos à saúde e ao bem-estar público, aos materiais e à biodiversidade.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) de modo geral, a qualidade do ar é resultante da interação de um conjunto de fatores complexo, dos quais podem se destacar a magnitude das emissões, a topografia e as condições meteorológicas da região, benéficas ou não à dispersão dos poluentes.

A Resolução CONAMA nº 491, de 19 de novembro de 2018 define poluente atmosférico como “qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade”.

Braga et al. (2002) afirma que a poluição do ar é identificada a partir de uma ou mais substâncias químicas em concentrações suficientes para ocasionar danos aos seres humanos, animais, vegetais ou materiais. Podendo esses danos advir também de parâmetros físicos, como o calor e o som. As concentrações variam de acordo com determinadas características ambientais como o clima, topografia, densidade demográfica, nível e tipo de atividades antrópicas.

Derisio (2020) defende que os poluentes atmosféricos podem ser classificados em duas categorias: poluentes primários, que se trata dos poluentes emitidos diretamente da

fonte poluidora e os poluentes secundários, que são formados na atmosfera a partir de reações químicas resultantes de poluentes primários e constituintes oriundos da atmosfera. Os poluentes atmosféricos podem ser considerados de acordo com suas características químicas: poluentes originados por compostos orgânicos, como os hidrocarbonetos, aldeídos, álcoois, ácidos orgânicos e cetonas e poluentes de composição inorgânica, como compostos halogenados, de enxofre e nitrogênio.

2.2 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

De acordo com Santi, Rosa e Suzuki (2000) os principais objetivos do monitoramento da qualidade do ar podem ser listados da seguinte forma:

- Ter conhecimento da qualidade do ar de uma determinada região.
- Analisar a qualidade do ar por meio de níveis definidos a fim de garantir o bem-estar da população e a preservação ambiental;
- Gerar dados que auxiliem nas ações emergenciais em períodos atmosféricos críticos em que os níveis de poluente forneçam riscos à saúde pública e meio ambiente;
- Analisar as interações e comportamento dos poluentes no ar;
- Acompanhar periodicamente os efeitos e tendências das emissões de poluentes na qualidade atmosférica com o intuito de fixar padrões de qualidade do ar;
- Obter dados que auxiliem o planejamento do uso e ocupação do solo, bem como planejamento urbano e de sistemas de transporte urbano;
- Desenvolver critérios e planejamento para o controle da poluição atmosférica.

A contaminação atmosférica desencadeou ao longo do tempo alguns eventos que relacionavam a poluição atmosférica e a saúde humana e ambiental. O demasiado crescimento populacional da cidade de São Paulo e alguns municípios vizinhos que formam a Região Metropolitana de São Paulo – RMSP e a consequente necessidade da instalação de polos industriais, resultou na emissão e lançamento de grandes quantidades de fumaça e poluentes atmosféricos de forma incontrolada.

O excesso de poluentes industriais lançados na atmosfera traz além de desconforto populacional, devido aos fortes odores, também doenças respiratórias e cardiovasculares, tornando-se uma questão de saúde pública. Em 1960 foi criada a Comissão Intermunicipal de Controle da Poluição das Águas e do Ar (CICPAA), que engloba alguns municípios da RMSP (Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul e Mauá). A

CICPAA realizava mensalmente alguns monitoramentos de contaminantes do ar, como sulfatação, poeira sedimentável e corrosividade e em 1970 integrou-se à Superintendência de Saneamento Ambiental (SUSAM), associada à Secretaria de Saúde do Estado de São Paulo e, alguns anos depois, em 1975, foram encarregadas à Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (CETESB, 2021).

As primeiras medições de qualidade do ar com concentrações das substâncias aferidas no estado de São Paulo ocorreram na RMSP a partir de 14 estações manuais que conferiam diariamente a quantidade disponível de dióxido de enxofre (SO₂) e fumaça preta presentes no ar, a divulgação desses dados também era feita de forma diária por boletins enviados as mídias e meios de comunicação. No ano de 1981 se iniciaram os monitoramentos automáticos em novas estações, avaliando os níveis de SO₂, material particulado inalável (MP₁₀), ozônio (O₃), óxidos de nitrogênio (NO, NO₂ e NO_x), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não metânicos (NMHC) e parâmetros meteorológicos (CETESB, 2021).

Desde 2000 quando o monitoramento automático se expandiu para outros municípios do estado de São Paulo, com resultados de hora em hora, a qualidade do ar vem obtendo melhorias, com ampliações em sua medição constantes e atualmente com a realização de estudos de diversos outros poluentes, com destaque para os aldeídos, chumbo e compostos reduzidos de enxofre (CETESB, 2021).

2.3 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

De acordo com Derisio (2013) conhecer e monitorar os poluentes na atmosfera é, de extrema importância para o desenvolvimento de programas de controle da qualidade do ar, possibilitando comparações das condições atmosféricas em diferentes tempos, avaliar tendências que auxiliem nos padrões de qualidade do ar, planejar ações mitigatórias para possíveis episódios emergentes de poluição do ar, avaliar efeitos e riscos propícios aos seres vivos e materiais, possibilitar o planejamento do uso do solo, urbano e do sistema de transportes e estudar e aprimorar modelos matemáticos de dispersão atmosférica.

O Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA) foi responsável pela determinação dos primeiros padrões de qualidade do ar nacionais, aprovados posteriormente pelo CONAMA pela Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990. Enquanto os padrões de qualidade do ar do estado de São Paulo foram estabelecidos pelo Decreto Estadual nº 8468 de 08 de setembro de 1976 (CETESB, 2022).

Para Derisio (2013) padrão de qualidade do ar pode ser definido como o valor limite permitido de um nível médio de concentração, em um período específico, estipulado para determinado poluente na atmosfera e divide-se em padrões de qualidade do ar primários e secundários, sendo estes:

- Padrões Primários de Qualidade do Ar: concentrações de poluentes com níveis máximos tolerados na atmosfera, que se ultrapassados, impactam negativamente a saúde populacional.

- Padrões Secundários de Qualidade do Ar: concentrações limites de poluentes na atmosfera, considerados níveis ideais, dos quais se prevê o menor impacto danoso à qualidade de vida da população, assim como às instalações e estruturas físicas, aos ecossistemas, materiais e à saúde ambiental, como meta a ser atingida a longo prazo.

Já de acordo com a Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018, padrão de qualidade do ar define-se como:

“um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, determinado como valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica; podendo ser classificados como padrões de qualidade do ar intermediários (PI) e final (PF)”.

Os padrões de qualidade do ar intermediários e final, são descritos na Resolução nº 491/18 como:

- Padrões de qualidade do ar intermediários são padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas;

- Padrão de qualidade do ar final se refere a valores guia definidos pela Organização Mundial da Saúde em 2005.

Os padrões de qualidade do ar sofreram uma revisão o ano de 2008 de acordo com os regulamentos estipulados pela OMS e com o apoio e representatividade da sociedade. Desenvolvendo então o Decreto Estadual nº 59.113, de 23 de abril de 2013, com novos padrões estabelecidos por meio de medidas que objetivam diminuir continuamente os níveis de poluição atmosférica. O Decreto Estadual nº 59.113 estipula que no estado de São Paulo a gestão da qualidade do ar seja avaliada por meio de padrões de qualidade, com fundamento em Metas Intermediárias e Padrões Finais (CETESB, 2022).

Metas Intermediárias (MI) com valores provisórios e etapas determinadas para serem atingidas, com o intuito de diminuir a emissão e disseminação de fontes fixas e móveis de acordo com o desenvolvimento sustentável e conseqüentemente melhorar

progressivamente a qualidade do ar do Estado de São Paulo. As MI devem ser cumpridas em 3 etapas: MI1, MI2 e MI3 (CETESB, 2022).

Na primeira etapa os valores de concentração de poluentes atmosféricos ocorreram entre a data de 24/04/2013 até 31/12/2021. A MI2 engloba os valores de concentração de poluentes atmosféricos posteriores às avaliações da MI1 se tornando vigente a partir de 01/01/2022 pela deliberação CONSEMA nº 4, de 19 de maio de 2021. E a terceira e última etapa se dá pela concentração de poluentes atmosféricos dos anos que sucedem à MI2, com prazo de duração estipulado pelo Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) após sua vigência de acordo com as avaliações da segunda etapa.

Padrões Finais (PF) tratam-se de parâmetros que estipulam as menores concentrações de poluentes possíveis para menor impacto à saúde pública e ambiental a partir de pesquisas baseadas nas limitações locais, necessidades de saúde da população e potencial técnico. Os padrões finais (PF) são aplicados sem etapas intermediárias quando não houver metas intermediárias, como no caso do monóxido de carbono, partículas totais em suspensão e chumbo. Para os demais poluentes, os padrões finais passam a valer a partir do final do prazo de duração do MI3 (CETESB, 2022).

Os padrões de qualidade do ar estipulados pelo Decreto Estadual nº 59.113 estão apresentados no Quadro 1, com os padrões vigentes destacados em vermelho.

Quadro 1 - Padrões de qualidade do ar do estado de São Paulo.

Poluente	Tempo de amostragem	MI1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MI3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	FP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas Inaláveis (MP ₁₀)	24 horas MAA	120	100	75	50
		40	35	30	20
Partículas Inaláveis Finas (MP _{2,5})	24 horas MAA	60	50	37	25
		20	17	15	10
Dióxido de enxofre (SO ₂)	24 horas MAA	60	40	30	20
		40	30	20	-
Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	1 hora MAA	260	240	220	200
		60	50	45	40
Ozônio (O ₃)	8 horas	140	130	120	100
Monóxido de carbono (CO)	8 horas	-	-	-	9 ppm

Fumaça (FMC)	24 horas MAA	120 40	100 35	75 30	50 20
Partículas totais em suspensão (PTS)	24 horas MGA	-	-	-	240 80
Chumbo (Pb)	MAA	-	-	-	0,5

Fonte: CETESB, 2022.

Onde,

MMA: Média aritmética anual.

MGA: Média geométrica anual.

A fumaça, partículas totais em suspensão e o chumbo são poluentes auxiliares utilizados como parâmetro em situações pontuais definidos pela CETESB.

O Decreto estadual nº 59.113 também determina para episódios críticos de poluição atmosférica, níveis de atenção, alerta e emergência de acordo com as concentrações de cada parâmetro que demandam previamente as condições meteorológicas que dificultam a dispersão dos poluentes no ar, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Critérios para episódios agudos de poluição atmosférica.

Parâmetro	Atenção	Alerta	Emergência
Partículas Inaláveis (MP ₁₀) (µg/m ³) - 24 horas	250	420	500
Partículas Inaláveis Finas (MP _{2,5}) (µg/m ³) - 24 horas	125	210	250
Dióxido de enxofre (SO ₂) (µg/m ³) - 24 horas	800	1.600	2.100
Dióxido de nitrogênio (NO ₂) (µg/m ³) - 1 hora	1.130	2.260	3.000
Ozônio (O ₃) (µg/m ³) - 8 horas	200	400	600

Monóxido de carbono (CO) (ppm) - 8 horas	15	30	40
---	----	----	----

Fonte: CETESB, 2022.

Os padrões federais são prescritos pela Resolução nº 491 de 19 de novembro de 2018 do CONAMA e são definidos em uma sequência de quatro etapas. As etapas ocorrem de acordo com os Planos de Controle de Emissões Atmosféricas e os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar desenvolvidos pelos órgãos estaduais e municipais do meio ambiente, onde os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários e Final são exercidos sequencialmente (CETESB, 2022).

A primeira etapa entrou em vigor junto à publicação da resolução e compreende os Padrões de Qualidade do AR intermediários (PI-1). O padrão de qualidade do ar final (PF) é adotado a partir de então para os contaminantes Monóxido de Carbono (CO), Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Chumbo (Pb) (CETESB, 2022).

2.4 INDICADORES DE QUALIDADE DO AR

Proveniente da palavra latina *indicare*, indicador refere-se ao ato de revelar ou destacar algo por meio de uma ou mais unidades de medida, e normalmente padrões que fundamentem a interpretação. Enquanto os padrões apresentam por meio de valores os limites aos quais a frequência de um determinado indicador fornece riscos à saúde humana e ambiental, os indicadores são referências quantitativas dos monitoramentos, atuando como ferramenta fundamental de planejamento, monitoramento de tendências e análise do alcance de metas (MAGALHÃES JUNIOR, 2007).

Para conhecimento da qualidade do ar, utiliza-se um conjunto de poluentes atmosféricos que servem como indicadores. A escolha dos poluentes indicadores se baseia nos impactos fornecidos ao meio ambiente e à saúde pública e sua persistência a atmosfera.

O índice de qualidade do ar foi criado a partir de extensos estudos desenvolvidos nos Estados Unidos e de acordo com a CETESB é um instrumento matemático desenvolvido com o objetivo de facilitar as formas de comunicação da qualidade do ar local. A CETESB atua como um meio de monitoramento e divulgação dos dados de qualidade do ar e emite diariamente para a imprensa os resultados obtidos por meio de um índice de qualidade, juntamente à previsão meteorológica para a dispersão dos poluentes das 24 horas subsequentes.

O índice foi fundamentado no “PSI – Pollutant Standards Index”, instrumento desenvolvido nos Estados Unidos pela Agência de Proteção Ambiental (EPA), para fins de padronizar a divulgação da qualidade do ar aos meios de comunicação. O índice se dá por uma função linear segmentada, em que os pontos de inflexão são compostos pelos padrões de qualidade do ar, que relaciona a concentração de cada poluente ao valor do índice, resultando um número adimensional relacionado a uma escala baseada nos padrões de qualidade do ar (MALHEIROS, 2002).

Os parâmetros que compõem a configuração do índice de qualidade do ar utilizado pela CETESB (2022) são:

- Partículas inaláveis (MP₁₀);
- Partículas inaláveis finas (MP_{2,5});
- Ozônio (O₃);
- Fumaça (FMC)
- Monóxido de Carbono (CO);
- Dióxido de Nitrogênio (NO₂);
- Dióxido de Enxofre (SO₂).

Para cálculo do índice de qualidade do ar, Lisboa e Kawano (2007) *apud* Kiely (1996) descreve a seguinte equação matemática:

Equação 1 - Cálculo do índice de Qualidade do ar.

$$\text{Índice} = \text{Índice}_{\text{inicial}} + \left(\frac{\text{Índice}_{\text{final}} - \text{Índice}_{\text{inicial}}}{\text{Conc.}_{\text{final}} - \text{Conc.}_{\text{inicial}}} \right) \times (\text{Conc.}_{\text{medida}} - \text{Conc.}_{\text{inicial}})$$

Onde,

Índice: índice de qualidade do ar desejado;

Conc._{medida}: concentração medida;

Conc._{inicial}: concentração inicial da faixa onde encontra-se a concentração medida;

Conc._{final}: concentração final da faixa onde encontra-se a concentração medida;

Índice_{inicial}: valor do índice correspondente à Conc._{inicial};

Índice_{final}: valor do índice correspondente à Conc._{final}.

Cada poluente medido possui um respectivo índice com valor adimensional e determinada cor, caracterizando uma qualificação para o ar, ou seja, uma nota qualitativa.

É utilizado como base o índice mais elevado, isto é, a qualidade do ar de uma determinada estação é comparada a partir do pior valor encontrado. A classificação da qualidade do ar é realizada desde o ano de 2013 de acordo com o Quadro 3.

Quadro 3 - Índice de Qualidade do Ar.

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³) 24h	MP _{2,5} (µg/m ³) 24h	O ₃ (µg/m ³) 8h	CO (ppm) 8h	NO ₂ (µg/m ³) 1h	SO ₂ (µg/m ³) 24h
N1 Boa	0 – 40	0 – 50	0 – 25	0 – 100	0 – 9	0 – 200	0 – 20
N2 Moderada	41 – 80	>50 – 100	>25 – 50	>100 – 130	>9 - 11	>200 - 240	>20 – 40
N3 Ruim	81 - 120	>100 – 150	>50 – 75	>130 – 160	>11 - 13	>240 – 320	>40 – 365
N4 Muito Ruim	121 - 200	>150 – 250	>75 - 125	>160 – 200	>13 - 15	>320 – 1130	>365 – 800
N5 Péssima	>200	>250	>125	>200	>15	>1130	>800

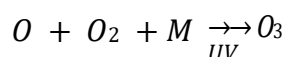
Fonte: CETESB, 2022.

Cada faixa do índice possui critérios de definições específicos, sendo qualidade, cores às respectivas qualidades, valores limites que indicam as mudanças entre as faixas para cada poluente, ou seja, os pontos de inflexão nas funções segmentadas e indicações sobre impactos à saúde pública e recomendações preventivas. A ultrapassagem do padrão de qualidade do ar é sinalizada pela qualidade ruim, quando o índice ultrapassa 80, qualidade muito ruim com índice maior que 120 indica que alcançou o nível de atenção e a alerta para o nível de emergência ocorre com o índice superior a 200 com a qualidade do ar péssima (CETESB, 2022).

2.4.1 Ozônio (O₃)

Conforme denominado por Braga (2002), diferente dos demais poluentes, o ozônio não possui uma fonte direta de emissão no ar, o mesmo se forma por meio da reação de substâncias poluidoras provenientes de processos de combustão veicular e industrial juntamente aos emitidos por meio de processos evaporativos, queima incompleta de combustíveis automotivos e processos industriais com a presença da luz solar. A equação 2 apresenta como ocorre a formação de Ozônio na atmosfera.

Equação 2 – Formação de O₃ na atmosfera.



Onde,

O: oxigênio;

M: molécula presente;

UV: incidência de raios solares.

As reações entre óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis oriundos da queima incompleta e evaporação de combustíveis e solventes, em contato com a luz solar, resultam em poluentes secundários classificados como Oxidantes fotoquímicos. O ozônio, devido ser um dos principais oxidantes fotoquímicos formado, é utilizado como parâmetro indicador da presença de tais poluentes no ar, além de formarem uma névoa fotoquímica, que diminui a visibilidade na atmosfera, também conhecida como smog fotoquímico (DUARTE; SILVA e ROCHA, 2021).

O ozônio na atmosfera traz impactos tanto a saúde humana quanto ambiental, sendo tóxico e nocivo se encontrado na troposfera, camada de ar próxima ao solo. Em contrapartida, se encontrado na estratosfera, aproximadamente 25km de altura em relação ao nível do mar, de extrema relevância para a proteção do planeta, agindo como uma barreira aos raios ultravioletas solares ((DUTRA; FIORAVANTE e FERREIRA, 2009).

Normalmente as maiores concentrações do poluente são identificadas nos períodos de primavera e verão onde a incidência de raios solares é mais intensa e o tempo apresenta temperaturas mais elevadas. As faixas de índices que monitoram os riscos do ozônio na saúde, são fundamentadas em sua concentração por meio de porcentagem diária (CETESB, 2019).

2.4.2 Partículas inaláveis (MP₁₀)

São classificadas como partículas inaláveis, o material particulado cujo diâmetro equivale a até 10µm, compostas por material sólido ou líquido suspensas no ar. Conforme o tamanho das partículas, elas podem ficar presas no sistema respiratório podendo penetrar de forma mais intensa e atingindo os alvéolos pulmonares (BRASIL, 2018).

2.4.3 Partículas inaláveis finas (MP_{2,5})

As partículas inaláveis finas segundo a CETESB (2019) são partes sólidas ou líquidas de materiais suspensos que podem se apresentar em diferentes formas, como de poeira, neblina, fuligem e aerossol. As partículas possuem diâmetro aerodinâmico (diâmetro de uma esfera de densidade unitária) de até 2,5µm.

Assim, as partículas inaláveis finas podem ser descritas como um material nocivo à saúde humana, visto que devido possuir pequenas dimensões, se em contato com o sistema respiratório penetram de forma profunda, trazendo riscos aos pulmões.

2.4.4 Monóxido de Carbono (CO)

O Monóxido de Carbono (CO) é um poluente gasoso incolor e inodoro resultante principalmente de atividades antrópicas, sendo emitido a partir da queima incompleta de combustíveis de origem orgânica, como combustíveis fósseis e a biomassa. A presença do gás é acentuada em locais de circulação veicular (BRAGA, 2002).

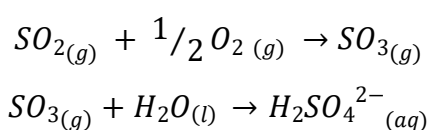
O CO é um gás inflamável e que fornece grandes riscos ambientais e a população devido se tratar de um asfixiante químico de alta toxicidade. Apesar das fontes antropogênicas, também pode ser emitido de fontes naturais, como a atividade vulcânica, reações atmosféricas, descarga elétrica e emissão de gás natural. Ou seja, pode ser formado de qualquer queima de substância com ausência de oxigênio necessário. (JACHIC, 2001).

D'amelio, Campos e Alvim (2017) consideram o monóxido de carbono como um poluente altamente nocivo à vida humana, fornecendo riscos de sequelas e asfixia fatal em casos de inalação. De acordo com pesquisas o CO interage vezes mais com as hemoglobinas quando comparado ao oxigênio (O₂).

2.4.5 Dióxido de Enxofre (SO₂)

O dióxido de enxofre é considerado um dos maiores formadores da chuva ácida, produto da oxidação do SO₂, formando o trióxido de enxofre (SO₃) e que em contato com a água da chuva resulta no ácido sulfúrico (H₂SO₄), considerado um ácido forte, podendo reagir com outros constituintes da atmosfera e formando partículas de sulfato responsáveis pela diminuição da visibilidade no ar. O poluente é resultado da queima de combustível composto por enxofre, como o óleo diesel, gasolina e combustível industrial e é altamente tóxico e nocivo à saúde da população (CETESB, 2019). A formação da chuva ácida se dá pela Equação 3.

Equação 3: Formação da chuva ácida.



Os riscos à saúde humana estão relacionados a doenças respiratórias, cardiovasculares e neurológicas.

2.4.6 Dióxido de Nitrogênio (NO₂)

O NO é formado antropicamente durante processos de combustão, normalmente com o intuito de geração de energia. Em cidades mais desenvolvidas, os veículos são responsáveis pela maior emissão dos óxidos de nitrogênio, que em contato com a luz solar é transformado em NO₂ (BRAGA, 2002).

O dióxido de nitrogênio é um produto formado na atmosfera resultante de reações do óxido nítrico (NO) junto ao ozônio (O₃), ou por reações fotoquímicas. O gás não costuma atingir concentrações que causem riscos à saúde se disperso no meio ambiente, porém seu controle é necessário visto que é um fotocatalisador na produção de O₃, ácido nítrico e aerossol atmosférico, fornecendo riscos ao ciclo biogeoquímico de macronutrientes (SOUZA; FRANCISCO e CARDOSO, 2017).

2.5 FONTES EMISSORAS DE POLUENTES

Oliveira e Beretta (2014) afirmam que as fontes de poluição atmosférica podem ser oriundas de fontes fixas ou móveis, de origem natural ou decorrente de atividades humanas. E classificam fontes fixas por aquelas em que a origem de emissão corresponde a locais fixos, como usinas, indústrias, termelétricas, crematórios, e ainda com uma subdivisão entre fontes fixas difusas, com emissões de poluentes não controladas, e fontes fixas pontuais, com saída de poluente de um determinado ponto específico, com controle e sentido de fluxo. Enquanto as fontes móveis, contrárias às fixas, possuem a origem de emissão sujeita a locomoção, como por exemplo, automóveis, navios e maquinários agrícola.

Segundo Derisio (2013), fontes de poluição atmosférica são o resultado de parte dos resíduos gerados pela humanidade decorrente de atividades com potencial para poluir o ar, podendo estas serem separadas em específicas e múltiplas, sendo respectivamente, fontes que geralmente ocupam uma área limitada e em sua maioria originadas por indústrias possibilitando avaliação individual, e fontes que se encontram dispersas por determinada região com inviabilidade de avaliação pela de fonte por fonte. Também afirma que as fontes de poluição atmosférica podem ser diferenciadas por fixas ou móveis, os Quadros 4 e 5 fornecem, respectivamente, as principais fontes de emissão paracada tipo.

Quadro 4 - Principais fontes fixas de poluição atmosférica.

PRINCIPAIS FONTES FIXAS DE POLUIÇÃO		
Fonte	Atividade	Poluentes
Indústrias de minerais não metálicos	Fabricação de material cerâmico e refratário, cimento, cimento-amianto, vidro, concreto, produtos de gesso e produtos abrasivos.	Poeiras, fumaça e fumos
Indústrias metalúrgicas - Fundições	Fundições primárias (produção de metal do minério) e secundárias (recuperação do metal de sucatas e refugos, produção de ligas e lingotes, siderúrgicas).	Fumos de óxidos metálicos, poeira e produtos de combustão, SO ₂
Indústrias metalúrgicas	Produção de peças forjadas, laminadas, trefiladas e extrudadas.	Fumos metálicos, poeiras das fundições, névoas e vapores de solventes
Indústria de madeira e mobiliário	Desdobramento, compensação e produção de chapas de madeira prensada, fabricação de peças e estruturas de madeira aparelhada, artigos de cortiça, madeira, móveis e artigos de colchoaria.	Material particulado, gotículas de tinta, solventes e fumaça de queima de resíduos.
Indústrias químicas e farmacêuticas	Fabricação de elementos químicos inorgânicos e orgânicos, plásticos, pólvora, óleos, desinfetantes, inseticidas, tintas, esmaltes, lacas, vernizes, impermeabilizantes, solventes; derivados de petróleo, da destilação de carvão e madeira, farmacêuticos, medicinais e de perfumaria.	Todas as formas de poluição do ar.
Indústrias têxteis	Beneficiamento de matérias têxteis de origem vegetal e animal, fiações, tecelagens, malharias e outros artefatos têxteis.	Material particulado, vapores orgânicos, névoas da tinturaria e dióxido de enxofre.
Indústrias de Papel e Papelão	Produção de papel e papelão.	Material particulado e substâncias odoríferas (tióis e sulfeto de hidrogênio).
Indústrias de produtos alimentares e bebidas	Beneficiamento, torrefação e moagem de produtos alimentares; preparação de conservas; abate de animais; pasteurização do leite e fabricação de laticínios, açúcar, balas, produtos de padaria, bebidas alcólicas e não alcólicas.	Odores e poeiras.

Fonte: Adaptado de Derisio, 2013.

Quadro 5 - Principais fontes móveis de poluição atmosférica.

PRINCIPAIS FONTES MÓVEIS DE POLUIÇÃO		
Fonte	Atividade	Poluentes

Veículos leves	Carros de passeio e utilitários.	Monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio (NO _x) e aldeídos.
Veículos pesados	Uso de óleo por ônibus e caminhões.	Óxidos de nitrogênio (NO _x), hidrocarbonetos, material particulado e odor.

Fonte: Adaptado de Derisio, 2013.

A CETESB também descreve as origens principais dos poluentes considerados indicadores da qualidade atmosférica, junto às suas características e impactos ao meio ambiente, apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Fontes, características e efeitos dos principais poluentes atmosféricos.

Poluente	Características	Fontes Principais	Efeitos Gerais ao Meio Ambiente
Partículas Inaláveis Finas (MP _{2,5})	Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc., que podem permanecer no ar e percorrer longas distâncias. Faixa de tamanho ≤ 2,5 micra.	Processos de combustão (industrial, veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera) como sulfato e nitrato, entre outros.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Partículas Inaláveis (MP ₁₀) e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc. Faixa de tamanho ≤ 10 micra.	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), poeira ressuspensa, aerossol secundário (formado na atmosfera).	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc. Faixa de tamanho ≤ 50 micra.	Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol marinho e solo.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser oxidado a SO ₃ , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinarias de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa de celulose e papel, fertilizantes.	Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas.
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (os quais contribuem para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas, incinerações.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.	
Ozônio (O ₃)	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente para a atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais.

Fonte: CETESB, 2019.

2.6 A PANDEMIA DE COVID-19

A crise sanitária ocasionada pelo novo coronavírus 2 da Síndrome Respiratória Aguda grave (SARS-CoV-2), também nomeada COVID-19, teve início em dezembro de

2019, na cidade de Wuhan, na China, e rapidamente se alastrou em nível mundial tornando-se, de acordo com a Organização Mundial da Saúde no dia 30 de janeiro de 2020, um caso de emergência de importância internacional em saúde pública e pouco tempo depois, em 11 de março de 2020 uma pandemia. A letalidade da doença é considerada baixa em relação às outras variantes de SARS, porém o contágio é muito elevado, excedendo de forma absoluta qualquer número de mortes já registrado em episódios epidêmicos de síndrome respiratória aguda grave (WHO, 2020).

Aquino (2020) esclarece que a transmissão do novo coronavírus se dá principalmente por meio do contato de gotículas contaminadas de secreções da orofaringe de uma pessoa afetada em uma pessoa sadia. E, o contágio pode ocorrer também por meio do contato com objetos e superfícies contaminadas, em que o vírus pode permanecer presente por um período de até 72 horas ou por via fecal-oral. Outro fator relevante observado nos infectados é que aqueles portadores de doenças crônicas ou de idade avançada, classificados como grupos de risco, apresentaram a manifestação da doença com sintomas severos exigindo cuidados hospitalares, com Unidade de Terapia Intensiva (UTI), uso de ventiladores mecânicos e muitas vezes sem reversão clínica.

Devido às limitações de informações precisas a respeito do novo coronavírus, como os meios de transmissão, atribuição dos assintomáticos, na difusão do vírus, ausência de vacinas ou medicações alternativas específicas, houve a necessidade de pesquisas e iniciativas governamentais na tentativa de medidas preventivas que reduzissem ao máximo possível o ritmo acelerado de disseminação do vírus garantindo a sobrevivência populacional e evitando o esgotamento dos sistemas de saúde (SILVA, 2021).

Medidas profiláticas foram tomadas mundialmente para minimizar o contágio da COVID-19, em âmbitos nacional, estadual e municipal de acordo com as limitações e desenvolvimento local. Dentre as medidas destaca-se o isolamento de pessoas infectadas, incentivo à higienização das mãos, adoção de etiqueta respiratória, uso de máscaras faciais e o distanciamento social, com adaptação de atividades ao *home office*, restrição de viagens, limitação de público em eventos e ambientes fechados, cancelamento e proibição de eventos de aglomerações, e até a interdição da circulação nas ruas, com exceção de atividades essenciais (BEZERRA et al., 2020).

A cidade de São Paulo registrou no dia 26 de fevereiro de 2020 o primeiro caso da doença do Brasil e da América Latina, e desde então foram adotadas diversas medidas preventivas e de controle por parte das autoridades sanitárias das diferentes esferas

administrativas de cada região. As principais medidas assumidas foram a higienização constante das mãos, uso de máscaras em ambientes compartilhados e o distanciamento social ou isolamento social (SILVA, 2021).

2.7 ISOLAMENTO SOCIAL

Devido a pandemia de COVID-19 e com o intuito de frear a disseminação e contaminação do novo coronavírus, que se encontrava em estado de calamidade, foi estabelecido no dia 22 de março de 2020 quarentena em todo o estado de São Paulo por meio do Decreto nº 64.881 de 24 de março de com a suspensão de atividades não-essenciais até a data de 30 de abril de 2020, advertindo restrições na circulação da população, veículos, atividades industriais e ensino presencial nas redes pública e privada.

Segundo o mapa brasileiro da COVID-19, no dia inicial da pandemia no país, dia 26 de fevereiro de 2020, a taxa de isolamento social da população nacional equivalia a 34,7%, conforme foram notificados novos casos de contaminação junto às medidas preventivas de contágio, os números de pessoas em isolamento aumentaram gradativamente, atingindo o seu máximo em 22 de março, com índice de 62,2% de isolados. Em 31 de maio o índice estava em 49,8%, aproximadamente 12% a menos que a data ápice, porém 15% maior se comparado ao início da pandemia (INLOCO, 2020).

A partir de junho o Estado de São Paulo organizou o território em 17 Divisões Regionais de Saúde (DRS). Com 6 subdivisões para a grande São Paulo, uma abrangendo a capital e as demais para cada grupo da RMSPP. A divisão ocorreu para o retorno de funcionamento das atividades de acordo com a classificação de cada região. A classificação se deu por 5 fases, sendo estas: Fase 1 (vermelha) para alerta máximo, Fase 2 (laranja) sinalizando controle, Fase 3 (amarela) para regiões em estado de flexibilização, Fase 4 (verde) que instrui abertura parcial e a Fase 5 (azul) que informa estado normal controlado (SILVA, 2021).

Apesar dos prejuízos econômicos consequentes do COVID-19, houve uma diminuição significativa de poluição, trazendo vantagens ao meio ambiente. A Agência Espacial Europeia (ESA) registrou por meio de imagens de satélite a redução dos níveis de poluição atmosférica a nível mundial, enfatizando o impacto positivo do isolamento social à qualidade atmosférica. Os níveis de carbono reduziram significativamente em diversas cidades, um exemplo é Nova York que registrou uma queda de 50% dos níveis de dióxido de carbono (CO₂). A China, um dos primeiros países a declarar isolamento social foi, consequentemente, um dos primeiros a apresentar resultados, exibindo uma

redução de 25%, das emissões, equivalente a 6% das emissões globais (DUARTE; SILVA e ROCHA, 2021 *apud* ESA, 2020).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETO GERAL

O objetivo deste estudo é avaliar o impacto do isolamento social decorrente da pandemia de COVID-19 na qualidade do ar em alguns municípios da RMSP.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Abordar a composição atmosférica e os poluentes atmosféricos;
- Analisar e comparar as concentrações da poluição atmosférica antes, durante e depois do isolamento social devido à pandemia de COVID-19 em alguns municípios;
- Realizar um estudo da interferência antrópica na qualidade do ar;
- Levantar e apresentar dados dos parâmetros de qualidade do ar, determinados pela legislação, nos últimos anos.

4 METODOLOGIA

A metodologia empregada neste trabalho foi de caráter exploratório quantitativo e qualitativo, com o intuito de compreender determinada situação, problema, caso ou fato por meio de estudos já realizados ou situações vivenciadas, neste caso com o interesse de compreender o impacto na qualidade do ar de acordo com o comportamento social, por meio de estatísticas para classificação dos dados e um estudo exploratório que exige a reflexão e entendimento do tema, analisando situações e relações a partir dos dados.

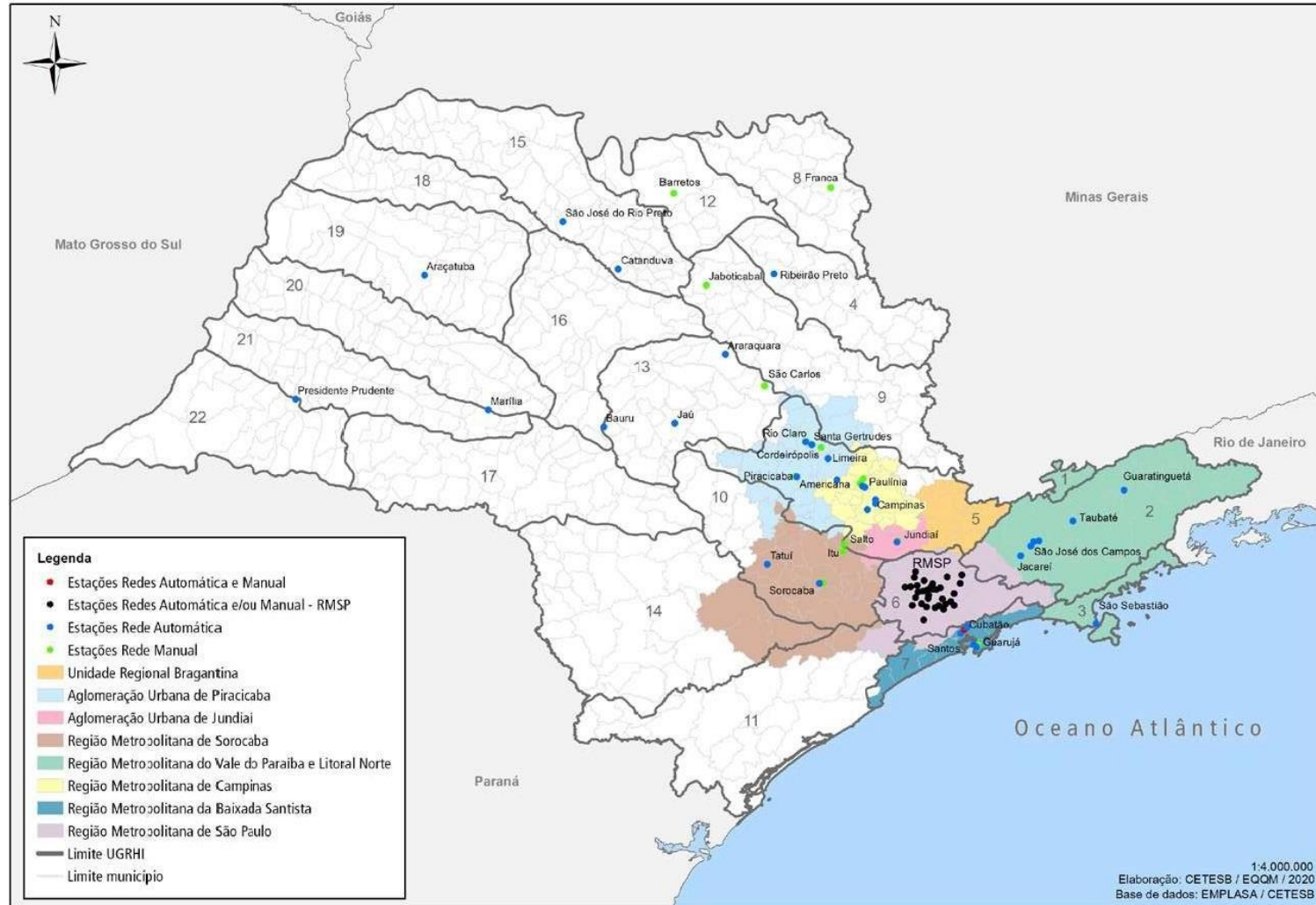
O levantamento bibliográfico se deu pela busca de artigos científicos disponíveis nas bases de dados Scielo, Science Direct, Google Acadêmico e Capes, preferencialmente com ano de publicação recente, para a seleção foram utilizados como termos principais: “qualidade do ar”, “poluentes atmosféricos”, “poluição do ar”, “pandemia da COVID-19” e “isolamento social”. Utilizou-se também como base livros de parâmetros e índices ambiental, e fontes provindas de organizações e legislações vigentes como a CETESB, OMS, CONAMA e Diário Oficial da União.

Inicialmente foram selecionadas e lidas aproximadamente 30 pesquisas, sendo a maioria delas aproveitadas na formação e estruturação deste estudo, relacionadas ao tema da pandemia de COVID-19 e os impactos gerados para o meio ambiente, com atenção absoluta na qualidade atmosférica e a influência da adoção de medidas preventivas e de afastamento social. Este estudo apresenta a comparação da concentração de poluentes antes, durante e após o isolamento social estabelecido pelo Decreto Estadual nº 6.4879, de 20 e março de 2020, por meio de consultas na base de dados de monitoramento da qualidade do ar realizados pela CETESB no Sistema de Informações da Qualidade do Ar (QUALAR). Os boletins de monitoramento periódicos juntamente aos gráficos de parâmetros foram extraídos e analisados para interpretação crítica.

A CETESB utiliza como base de monitoramento da qualidade do ar Unidades Vocacionais do Estado de São Paulo e as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI). As regiões englobam as Regiões Metropolitanas de São Paulo, Campinas, Baixada Santista, Vale do Paraíba, Litoral Norte e Sorocaba, as aglomerações urbanas de Piracicaba e Jundiaí; e a Unidade Regional de Bragantina. As regiões formam uma rede metropolitana integrada, com funções produtivas complementares, caracterizando a macrometrópole paulista representada na Figura 2. A Unidade Vocacional Industrial é composta pela UGRHI 2 (Paraíba do Sul), UGRHI 5 (Piracicaba, Capivari e Jundiaí), UGRHI 6 (Alto Tietê), UGRHI 7 (Baixada Santista) e UGRHI 10

(Tietê e Sorocaba), não incluindo apenas as UGRHI 1 (Mantiqueira), UGRHI 3 (Litoral Norte) e a UGRHI 14 (Alto Paranapanema) (CETESB, 2020).

Figura 2 - Macrometrópole Paulista.



Fonte: CETESB, 2020.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Na UGRHI 6 encontra-se a Região Metropolitana de São Paulo, composta por 39 municípios e 29 estações fixas de monitoramento e uma estação móvel (CETESB, 2020).

A RMSP possui aproximadamente 8000 km² de área, com área urbana equivalente a 2500 km², sendo considerada a quarta mancha urbana do mundo. Com população de aproximadamente 19 milhões de habitantes e densidade demográfica de 2.361 habitantes por km² (CASTANHO, 2005).

Tarifa e Armani (2001) descrevem a Metrópole Paulistana como uma região de terras altas, com 720 a 850 metros, denominado como Planalto Atlântico, com topografia variada, desde várzeas, colinas, morros, até serras e maciços com diferentes orientações e cerca de 45 quilômetros de distância do Oceano Atlântico.

Localizada a aproximadamente 23° 21' de latitude e 46° 44' de longitude, junto ao Trópico de Capricórnio, a RMSP está numa região de transição climática, entre os Climas Tropicais Úmidos de Altitude, com período seco determinado e subtropicais úmidos do Brasil Meridional. A zona de transição reflete diretamente nas alterações das estações, uma quente e úmida e a outra fria e relativamente mais seca juntamente às variações bruscas das temperaturas (Tarifa; Armani, 2001).

A RMSP é composta por áreas extremamente urbanizadas e como consequência há a formação de uma ilha urbana de calor, com uma maior capacidade térmica nas regiões compostas por edifícios e pavimentação e uma menor circulação de ar. Em condições de neblina há uma menor radiação solar atingindo o solo amenizando o fenômeno da ilha de calor. Em contrapartida o fenômeno é intensificado sob condições de inversão térmica. Deste modo, a RMSP apresenta uma das realidades climáticas mais alarmantes e com maior necessidade de pesquisas nacional (LOMBARDO, 1985).

Os problemas de qualidade do ar da RMSP estão relacionados principalmente com os poluentes atmosféricos oriundos de veículos automotivos, enfatizando a necessidade de medidas que reduzam a emissão veicular.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para análise dos resultados, foram extraídos da base de dados do QUALAR os valores de médias mensais e anuais por parâmetro dos anos de 2018, 2019, 2020 e 2021, ou seja, dois anos que antecederam, durante e um ano após o período de isolamento social, da Região Metropolitana de São Paulo.

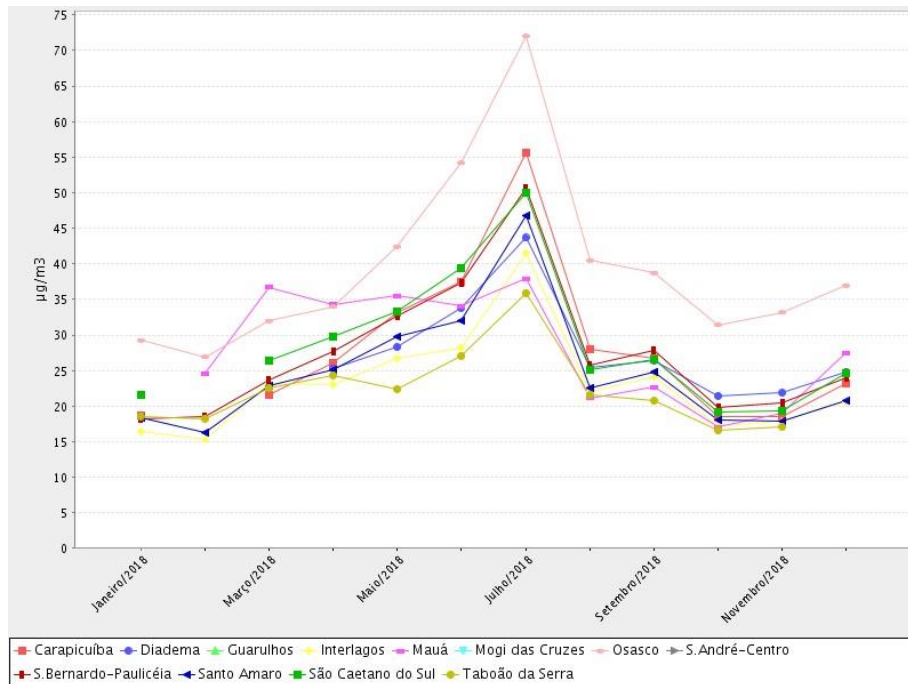
5.1 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR DA RMSP

O monitoramento dos parâmetros de qualidade do ar da Região Metropolitana de São Paulo está apresentado nesta seção por meio de gráficos de linhas com análise temporal mensal dos dados monitorados por rede automática. Foi selecionado cada parâmetro monitorado pelas estações com dados disponíveis pertencentes à RMSP, com dado em média horária e calculado por média mensal. Foram analisados cada um dos parâmetros de qualidade do ar monitorado pela CETESB (MP₁₀, MP_{2,5}, O₃, CO, NO₂ e SO₂) referentes aos anos de 2018, 2019, 2020 e 2021, correspondendo aos dois anos antecedentes ao período de distanciamento social, ao período da adoção da medida e ao ano posterior, com foco para todos os anos nos meses de fevereiro, março, abril e maio devido serem os meses que em 2020 apresentaram o maior percentual de pessoas isoladas.

5.1.1 Estudo da Concentração de Partículas inaláveis (MP₁₀)

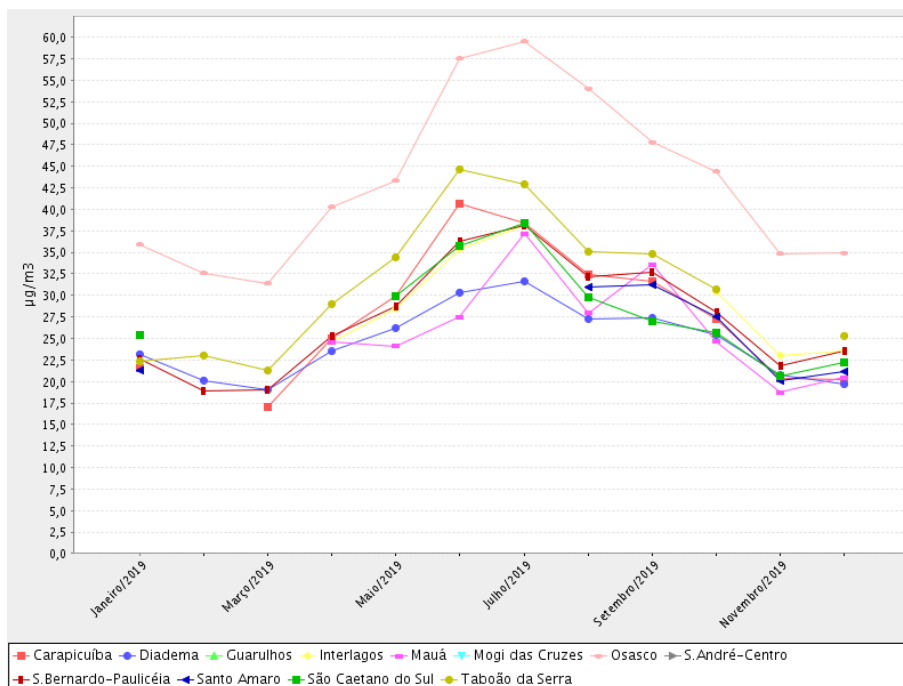
As Figuras 3, 4, 5 e 6 mostram as médias mensais de MP₁₀ em 12 estações de monitoramento da RMSP, sendo estas: Carapicuíba, Diadema, Guarulhos, Interlagos, Mauá, Mogi das Cruzes, Osasco, Santo André-Centro, São Bernardo-Paulicéia, Santo Amaro, São Caetano do Sul e Taboão da Serra durante os anos de 2018, 2019, 2020 e 2021.

Figura 3 - Médias mensais de MP₁₀ do ano de 2018 em Estações da RMSP.

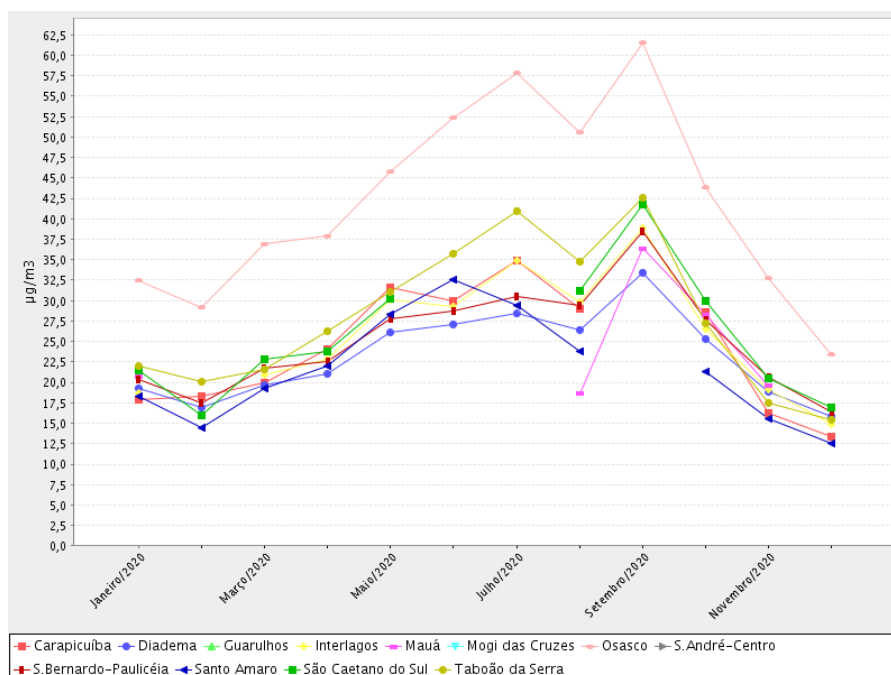


Fonte: CETESB – QUALAR.

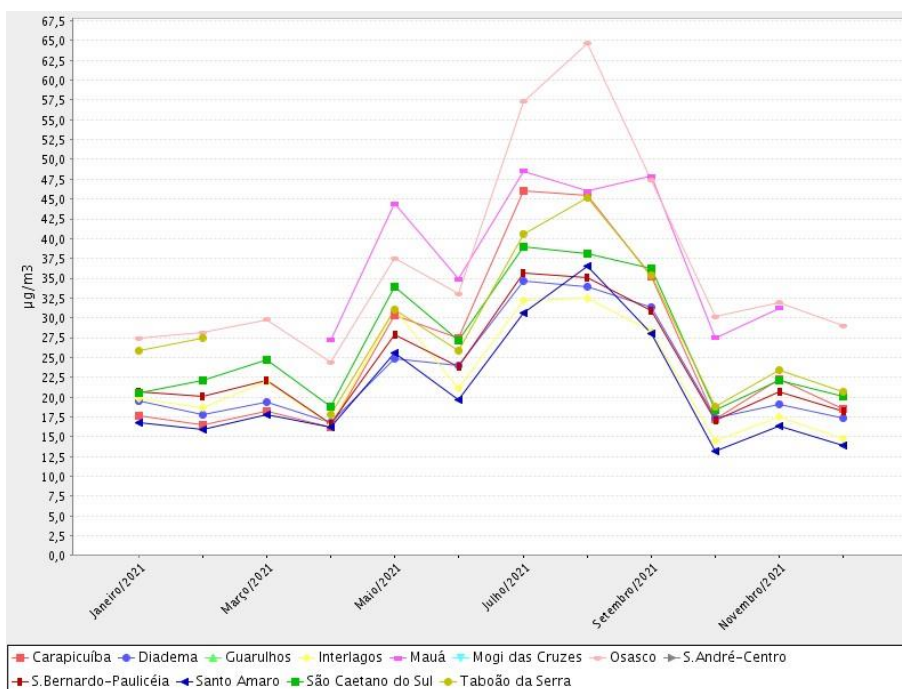
Figura 4 - Médias mensais de MP₁₀ do ano de 2019 em Estações da RMSP.



Fonte: CETESB – QUALAR.

Figura 5 - Médias mensais de MP₁₀ do ano de 2020 em Estações da RMSP.

Fonte: CETESB – QUALAR.

Figura 6 - Médias mensais de MP₁₀ do ano de 2021 em Estações da RMSP.

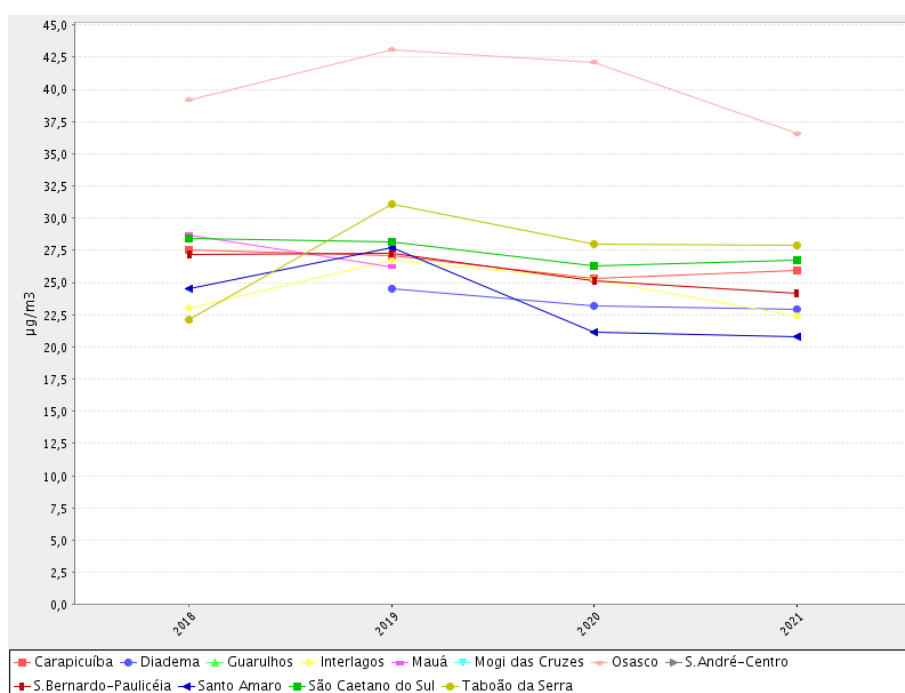
Fonte: CETESB – QUALAR.

Nos anos de 2018 e 2019, anterior às medidas de isolamento social, a concentração média mensal de MP₁₀ atingiram, respectivamente, durante os meses de fevereiro a maio concentrações de MP₁₀ variando entre mínima de 15,0 µg/m³ e máxima de 43,0 µg/m³ e 17,0 µg/m³ e 43,0 µg/m³ dentre as estações analisadas. Em 2020, ano decretado o isolamento social,

as concentrações de partículas inaláveis durante o período de afastamento social (fevereiro a maio) variaram de aproximadamente $14,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $46,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mostrando uma aparente queda na concentração do poluente que no ano anterior havia tido um aumento. Em 2021 as concentrações do poluente voltaram a subir, registrando de fevereiro a maio valores entre $15,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A figura 7 apresenta as médias anuais de MP_{10} nas mesmas 12 estações de monitoramento da RMSP no período de 2018 a 2021.

Figura 7 - Médias anuais de MP_{10} de 2018 a 2021 em Estações da RMSP.



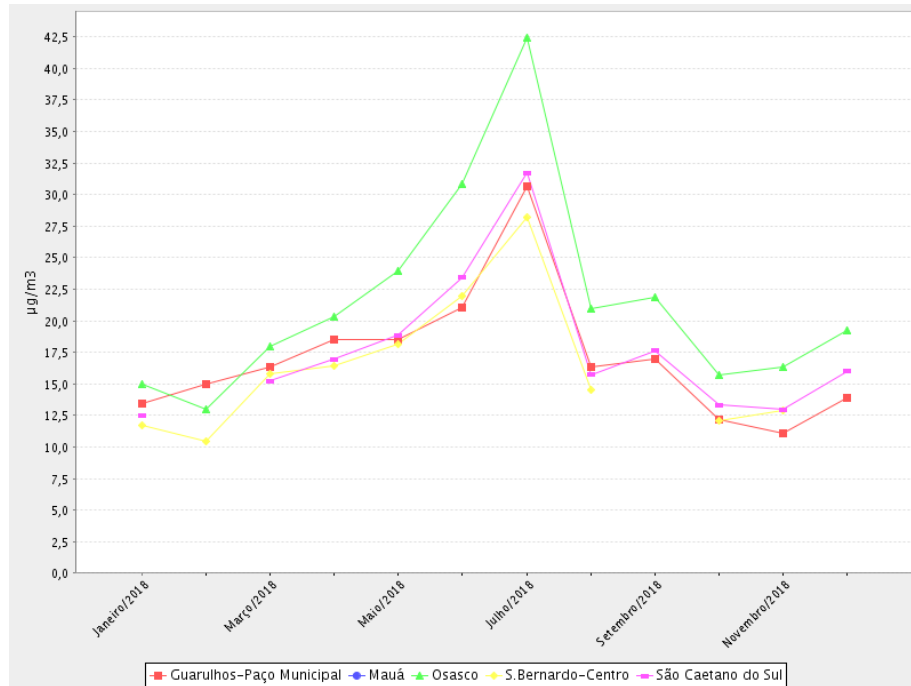
Fonte: CETESB – QUALAR.

Observando a concentração de MP_{10} dos quatro anos analisados a partir do gráfico da Figura 7, é possível visualmente notar a crescente na concentração do poluente do ano de 2018 para 2019 em quase todas as estações e a queda da concentração do poluente no ar no ano de 2020 (ano do isolamento social) em todas elas, com permanência na maioria das estações para o ano de 2021.

5.1.2 Estudo da Concentração de Partículas inaláveis finas ($\text{MP}_{2,5}$)

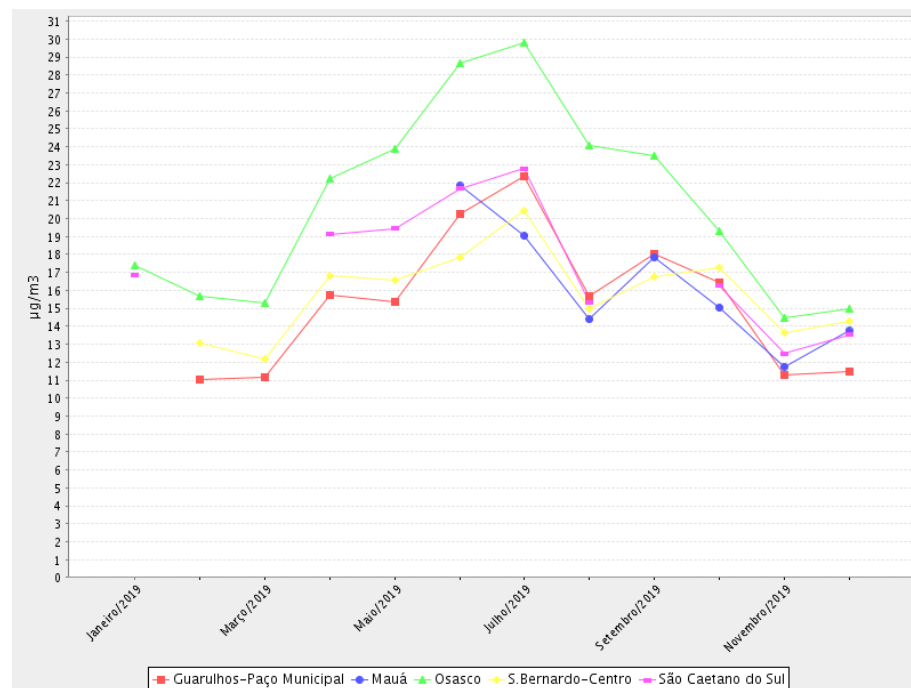
As concentrações mensais de $\text{MP}_{2,5}$ do período de estudo são apresentadas, em ordem cronológica, nas Figuras 8, 9, 10, 11 e 12, nas estações de Guarulhos-Paço Municipal, Mauá, Osasco, São Bernardo-Centro e São Caetano do Sul.

Figura 8 - Médias mensais de MP_{2,5} do ano de 2018 em Estações da RMSP.



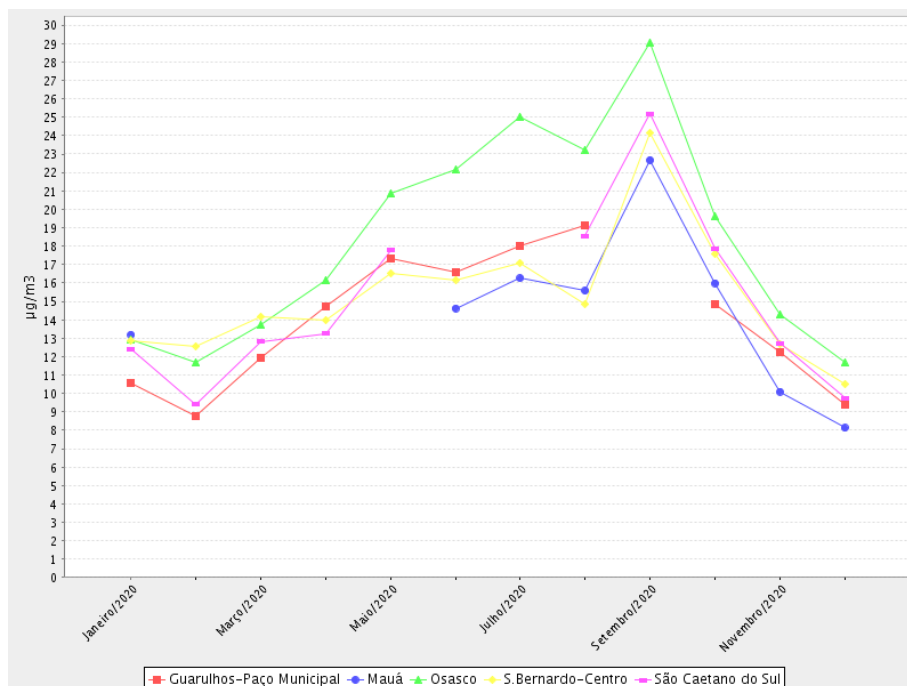
Fonte: CETESB – QUALAR.

Figura 9 - Médias mensais de MP_{2,5} do ano de 2019 em Estações da RMSP.



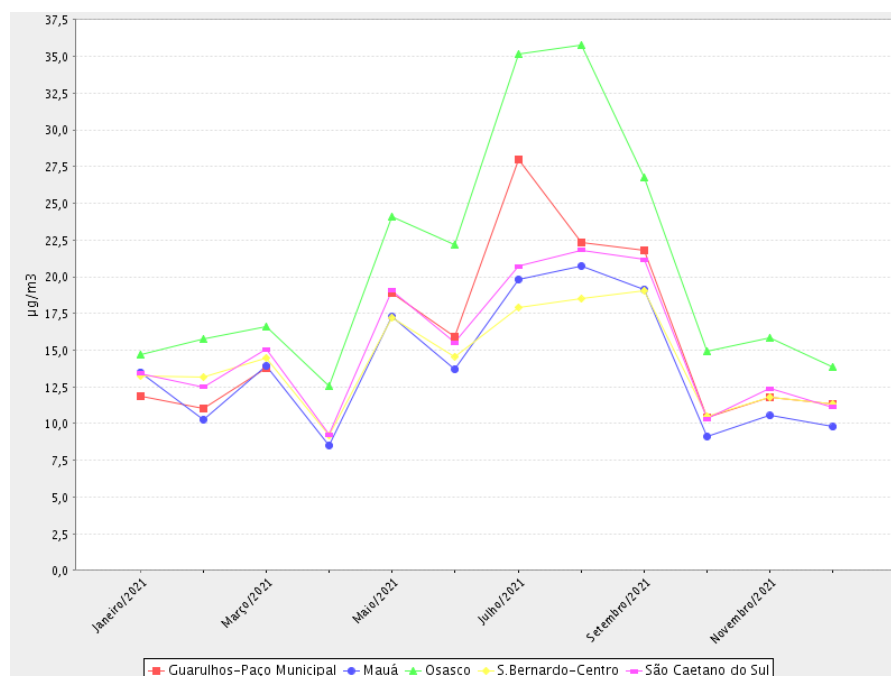
Fonte: CETESB – QUALAR.

Figura 10 - Médias mensais de $MP_{2,5}$ do ano de 2020 em Estações da RMSP.



Fonte: CETESB – QUALAR.

Figura 11 - Médias mensais de $MP_{2,5}$ do ano de 2021 em Estações da RMSP.



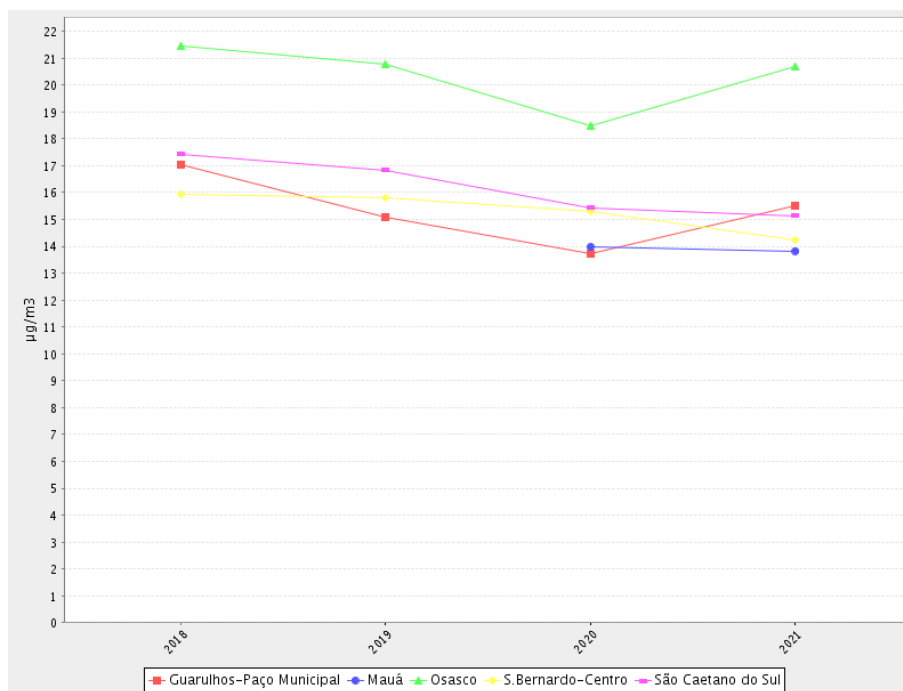
Fonte: CETESB – QUALAR.

A concentração média mensal de partículas inaláveis finas nos anos de 2018 e 2019, durante os meses de fevereiro a maio se mantiveram as mesmas, sendo estas $11,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e máxima de $24,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. No ano de 2020, as concentrações do poluente entre fevereiro e maio

variaram de 8,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 21,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, demonstrando uma diminuição de $\text{MP}_{2,5}$ na atmosfera. Em 2021 os níveis voltaram a valores próximos aos registrados entre os meses de fevereiro a maio dos anos anteriores ao isolamento social, medindo entre 8,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 24,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

As concentrações médias anuais de $\text{MP}_{2,5}$ nas mesmas estações de monitoramento da RMSP podem ser visualizadas na Figura 12.

Figura 12 - Médias anuais de $\text{MP}_{2,5}$ de 2018 a 2021 em Estações da RMSP.



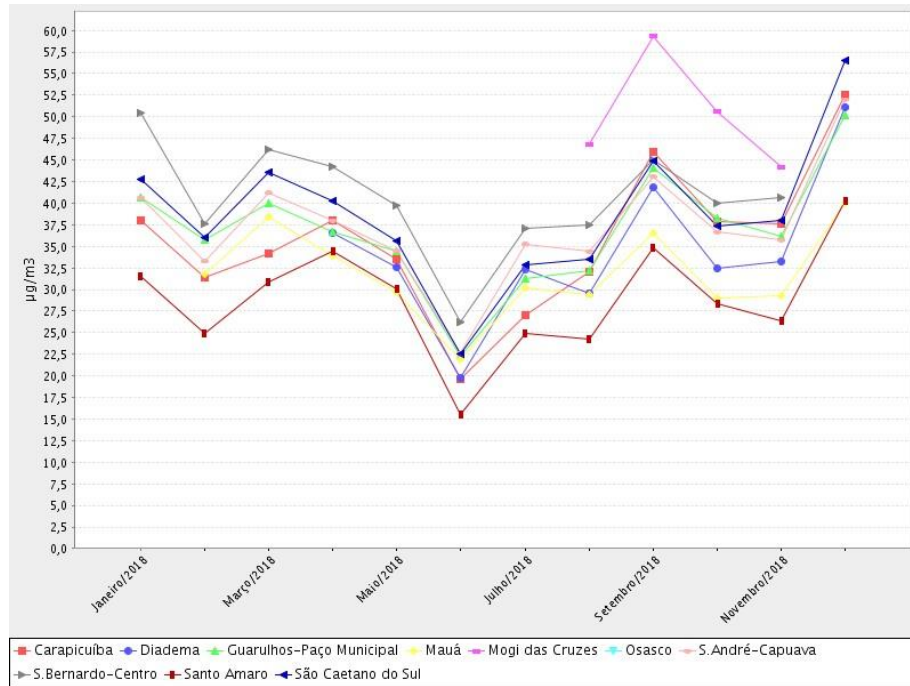
Fonte: CETESB – QUALAR.

As variações das concentrações de $\text{MP}_{2,5}$, conforme ilustrado no gráfico da Figura 12, apresentam uma queda de 2018 para 2019 em todas as estações monitoradas, seguida de uma diminuição ainda mais importante em 2020. Entretanto no ano de 2021 a concentração se eleva em duas das estações (Guarulhos-Paço Municipal e Osasco).

5.1.3 Estudo da Concentração de Ozônio (O_3)

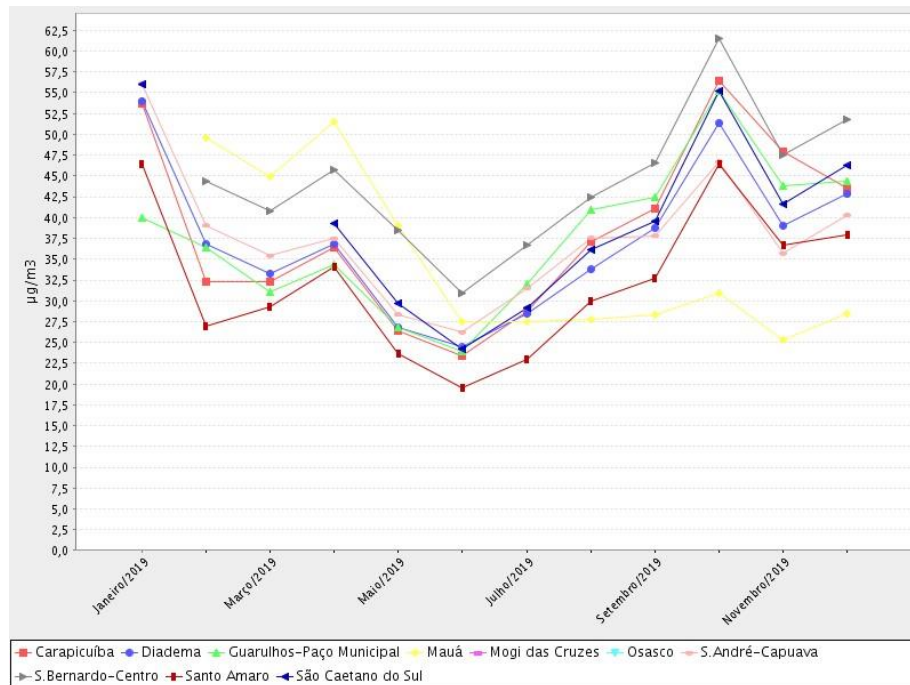
As Figuras 13, 14, 15 e 16 apresentam as concentrações mensais de ozônio no período de 2018 até 2021. As estações de monitoramento do poluente pertencentes à RMSP analisadas são as estações de Carapicuíba, Diadema Guarulhos-Paço Municipal, Mauá, Mogi das Cruzes, Osasco, Santo André-Capuava, São Bernardo-Centro, Santo Amaro e São Caetano do Sul.

Figura 13 - Médias mensais de O₃ do ano de 2018 em Estações da RMSP.

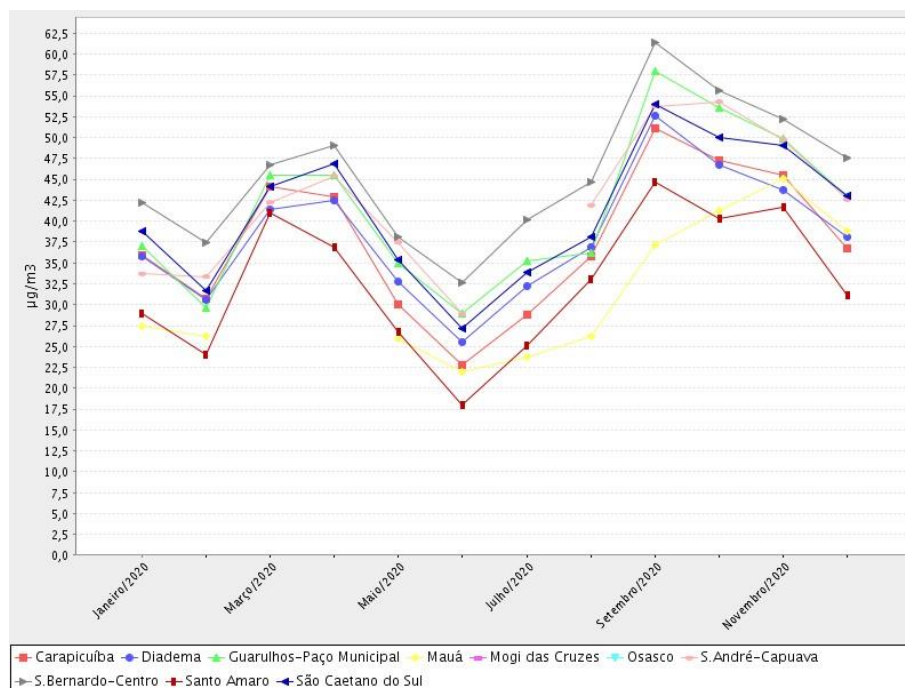


Fonte: CETESB – QUALAR.

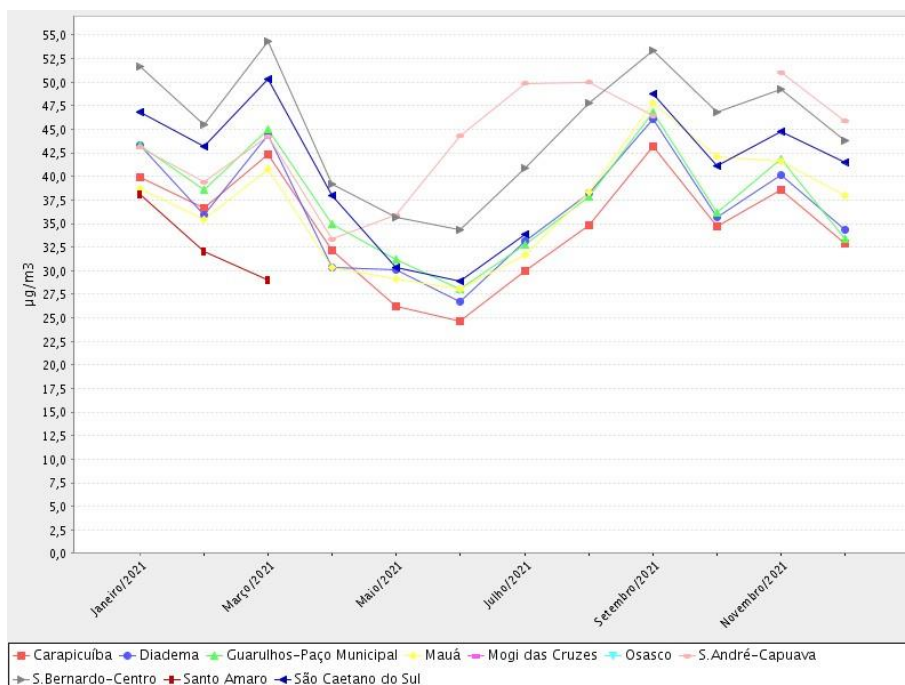
Figura 14 - Médias mensais de O₃ do ano de 2019 em Estações da RMSP.



Fonte: CETESB – QUALAR.

Figura 15 - Médias mensais de O₃ do ano de 2020 em Estações da RMSP.

Fonte: CETESB – QUALAR.

Figura 16 - Médias mensais de O₃ do ano de 2021 em Estações da RMSP.

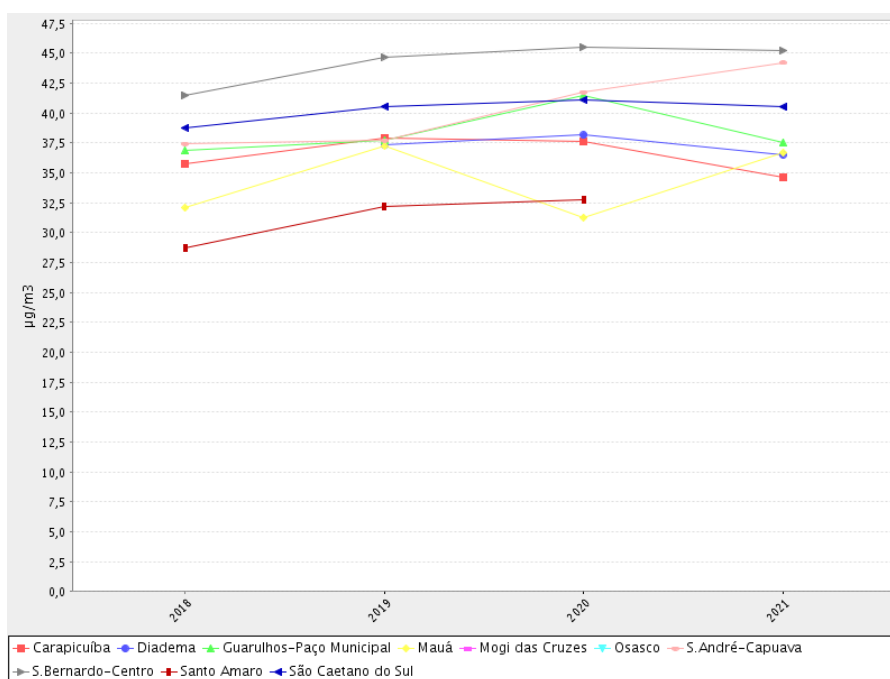
Fonte: CETESB – QUALAR.

Observando os gráficos pode-se avaliar que a concentração média mensal de ozônio no ano de 2018, durante o período estudado, atingiu valores entre 25,0 µg/m³ e 46,0 µg/m³. Em 2019 a concentração mínima do poluente no mesmo período foi de 23,5 µg/m³ e máxima de

51,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tendo valores mais altos do poluente na atmosfera no segundo ano. No ano do afastamento social, as concentrações registradas de ozônio de fevereiro a maio foram de 23,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 49,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, demonstrando aparentemente uma diminuição do nível do poluente. Em 2021, ano posterior ao ano de quarentena, as concentrações do poluente oscilaram entre 26,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 54,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

As concentrações médias anuais de $\text{MP}_{2,5}$ nas mesmas estações de podem ser visualizadas na Figura 17, em que todas, com exceção de Mogi das Cruzes apresentam um aumento de 2018 para 2019. Em 2020 apenas a estação de Mauá apresentou diminuição do poluente no ar e em 2021 não houve uma tendência e semelhança da variação de concentração entre as estações.

Figura 17 - Médias anuais de O_3 de 2018 a 2021 em Estações da RMSP.

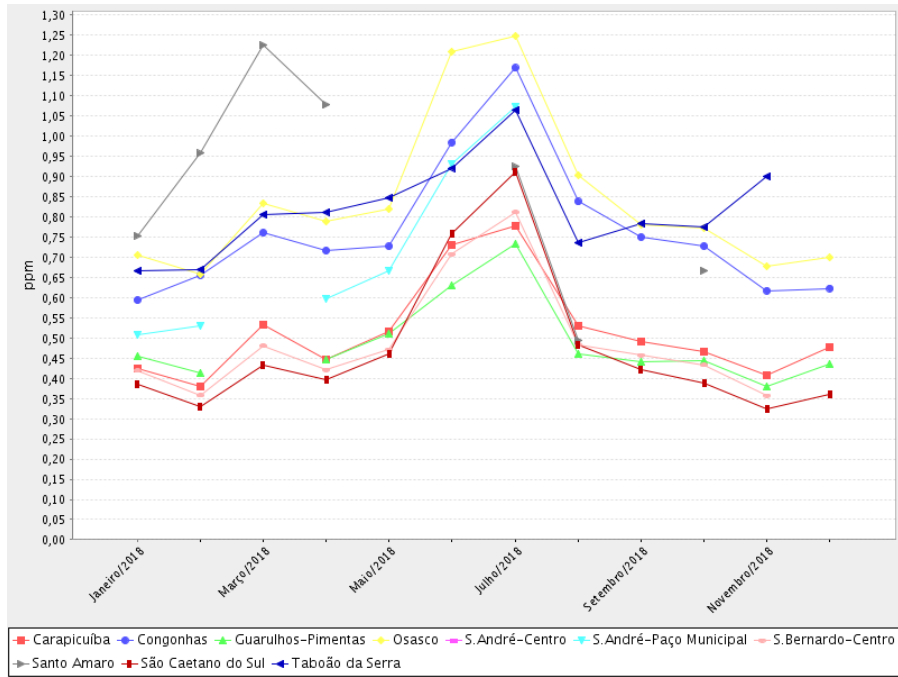


Fonte: CETESB – QUALAR.

5.1.4 Estudo da Concentração de Monóxido de Carbono (CO)

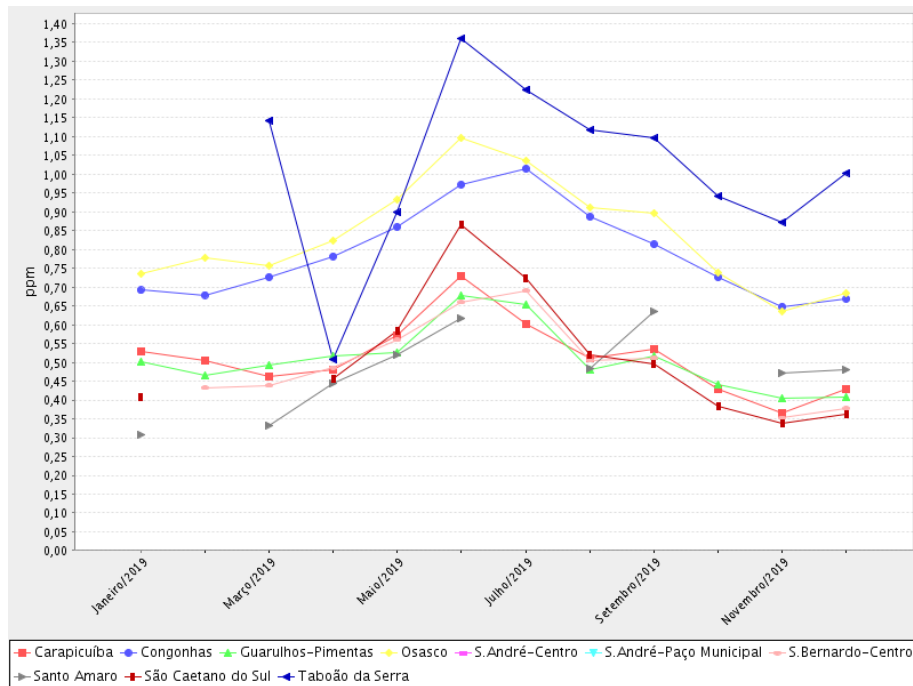
O monitoramento de CO da RMSP foi analisado a partir de 10 estações: Carapicuíba, Congonhas, Guarulhos-Pimentas, Osasco, Santo André-Centro, Santo André-Paço Municipal, São Bernardo-Centro, Santo Amaro, São Caetano do Sul e Taboão da Serra. As medidas são referentes aos anos de 2018 até 2021 e estão ilustradas nas Figuras 18, 19, 20 e 21.

Figura 18 - Médias mensais de CO do ano de 2018 em Estações da RMSP.



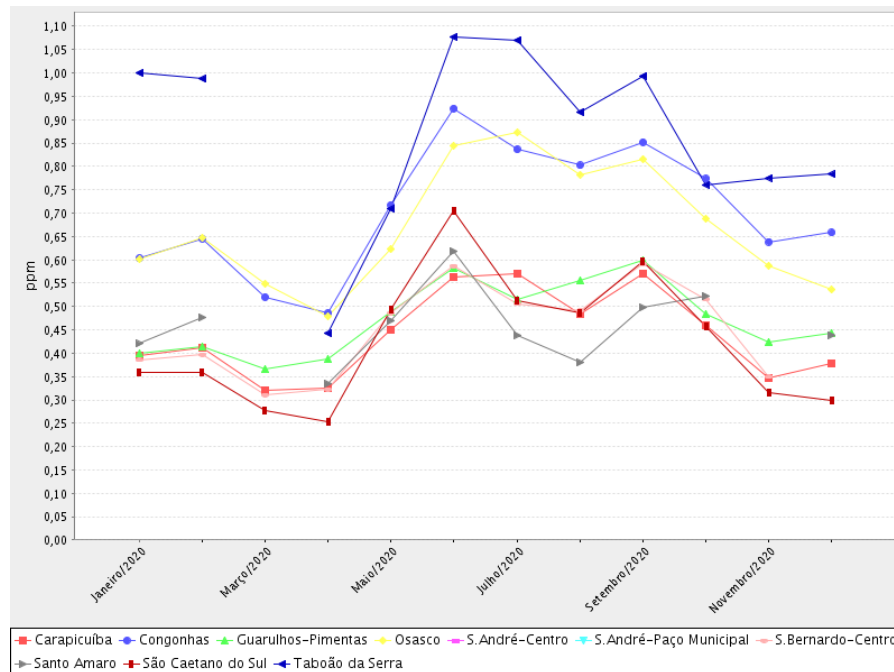
Fonte: CETESB – QUALAR.

Figura 19 - Médias mensais de CO do ano de 2019 em Estações da RMSP.



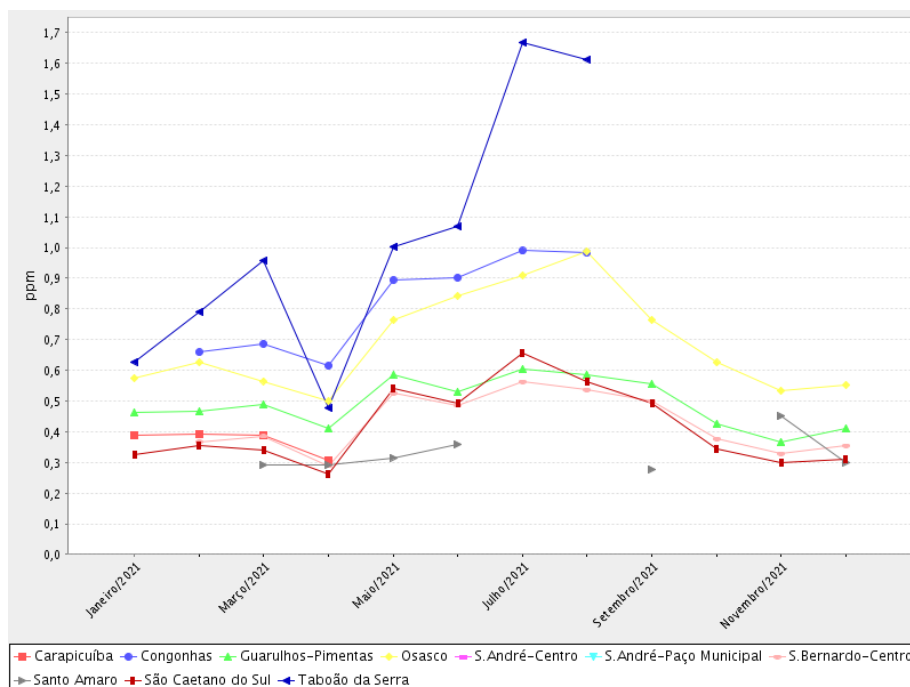
Fonte: CETESB – QUALAR.

Figura 20 - Médias mensais de CO do ano de 2020 em Estações da RMSP.



Fonte: CETESB – QUALAR.

Figura 21 - Médias mensais de CO do ano de 2021 em Estações da RMSP.

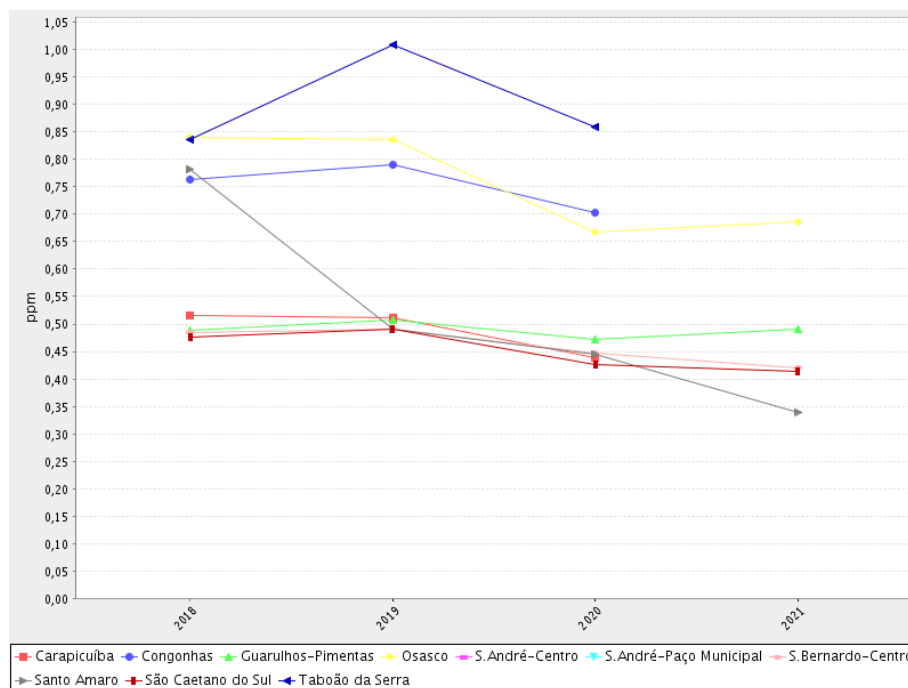


Fonte: CETESB – QUALAR.

De acordo com os gráficos a concentração média mensal de monóxido de carbono em 2018, entre fevereiro e maio, atingiu valores entre 0,3ppm e 1,2 ppm. Em 2019 o poluente esteve presente na atmosfera no mesmo período em concentrações similares, de 0,3 ppm a 1,1 ppm. Em 2020 as concentrações registradas de CO foram de 0,2 ppm a 0,7 ppm, demonstrando

uma baixa importante. E por fim, 2021 apresentou concentrações que variaram de 0,2 ppm a 1,0 ppm.

Figura 22 - Médias anuais de CO de 2018 a 2021 em Estações da RMSP.



Fonte: CETESB – QUALAR.

As diferentes concentrações de monóxido de carbono monitoradas durante todo o período de 2018 até 2021 são apresentadas por médias anuais na Figura 22 e pode-se notar que o ano do isolamento social, quando comparado ao ano antecedente, é o único em que ocorreu a diminuição da concentração de monóxido de carbono em todas as estações de medição.

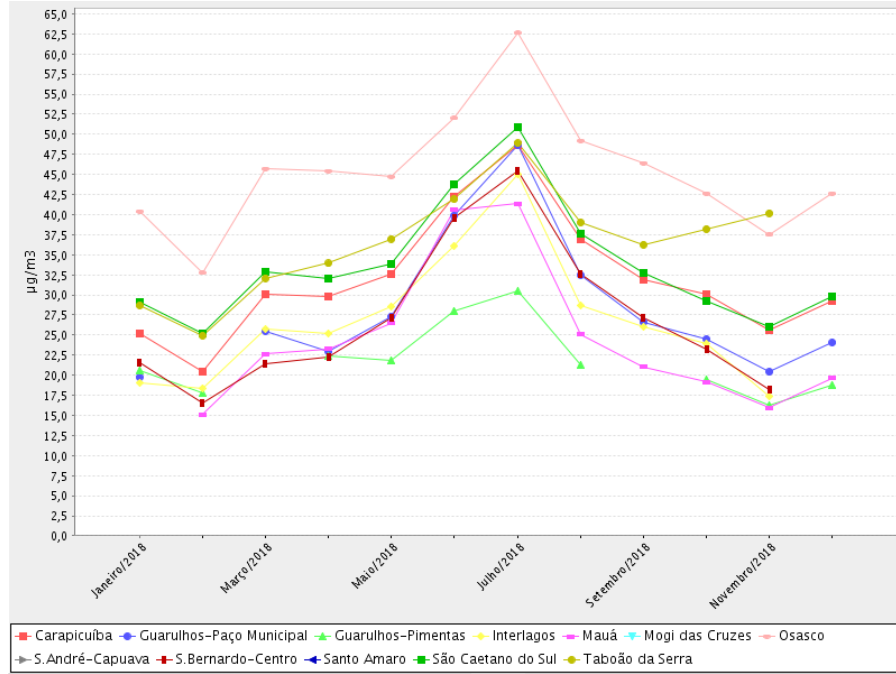
5.1.5 Estudo da Concentração de Dióxido de Nitrogênio (NO₂)

Para o estudo da evolução do poluente NO₂ na atmosfera na RMSP, foram comparadas as concentrações nas estações de Carapicuíba, Guarulhos-Pimentas, Guarulhos-Paço Municipal, Interlagos, Mauá, Mogi das Cruzes, Osasco, Santo André-Centro, Santo André-Paço Municipal, Santo André-Capuava, São Bernardo-Centro, Santo Amaro, São Caetano do Sul e Taboão da Serra. Os dados estão apresentados por meio de gráficos nas Figuras 23, 24, 25 e 26.

As Figuras 23, 24, 25 e 26 mostram que entre 2018 e 2021 as concentrações de dióxido de nitrogênio entre os meses de fevereiro e maio estiveram, respectivamente, entre 15,0 µg/m³ e 45,5 µg/m³, 19,0 µg/m³ e 48,5 µg/m³, 14,5 µg/m³ e 38,0 µg/m³, e 14,5 µg/m e 38,0 µg/m.

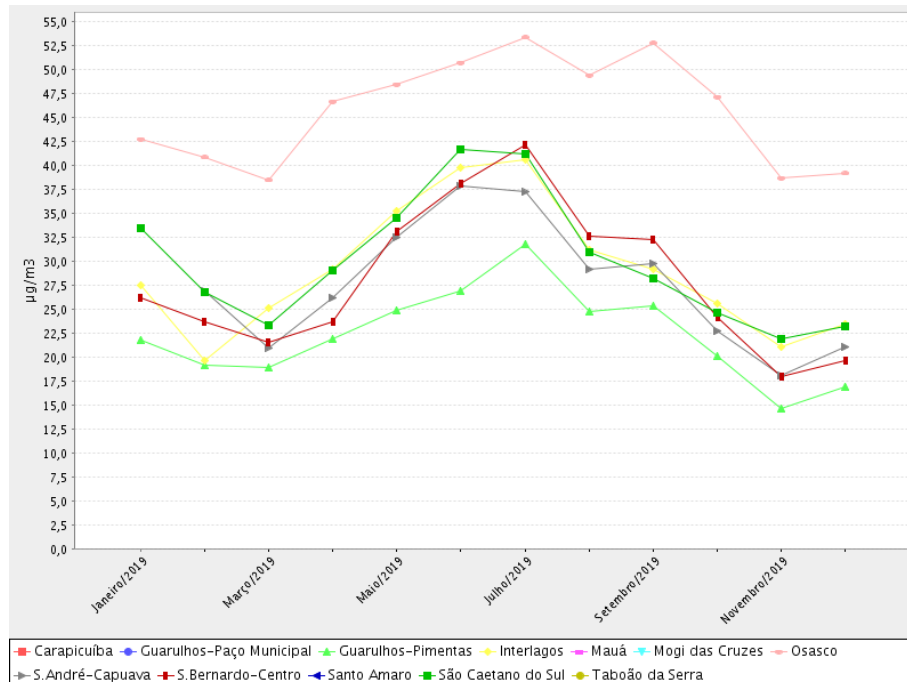
Demonstrando uma diminuição do nível de poluição no ano de isolamento social quando comparado aos anteriores e permanência das mínimas e máximas no ano seguinte.

Figura 23 - Médias mensais de NO₂ do ano de 2018 em Estações da RMSP.



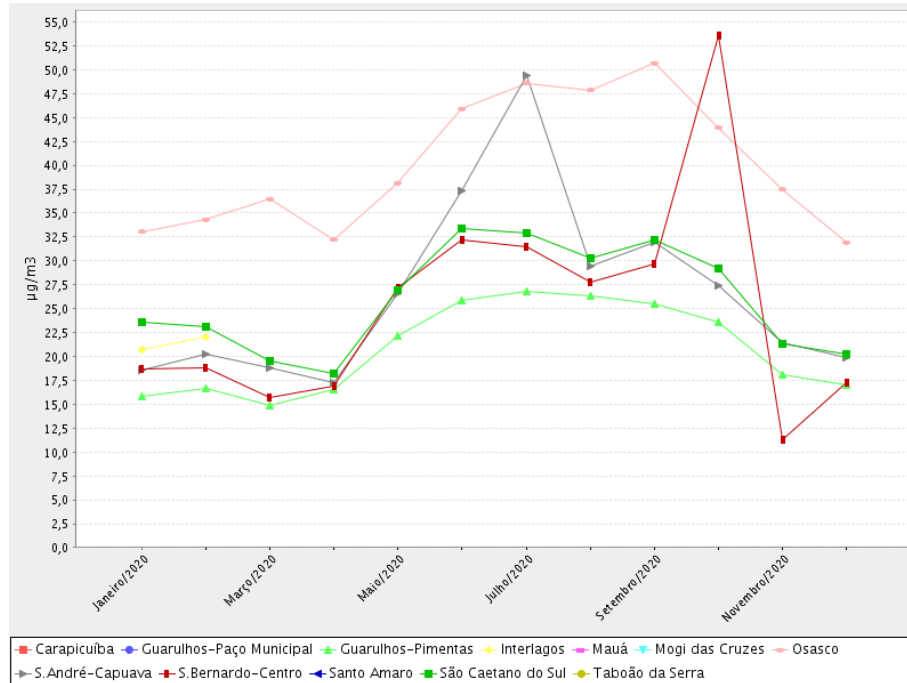
Fonte: CETESB – QUALAR.

Figura 24 - Médias mensais de NO₂ do ano de 2019 em Estações da RMSP.



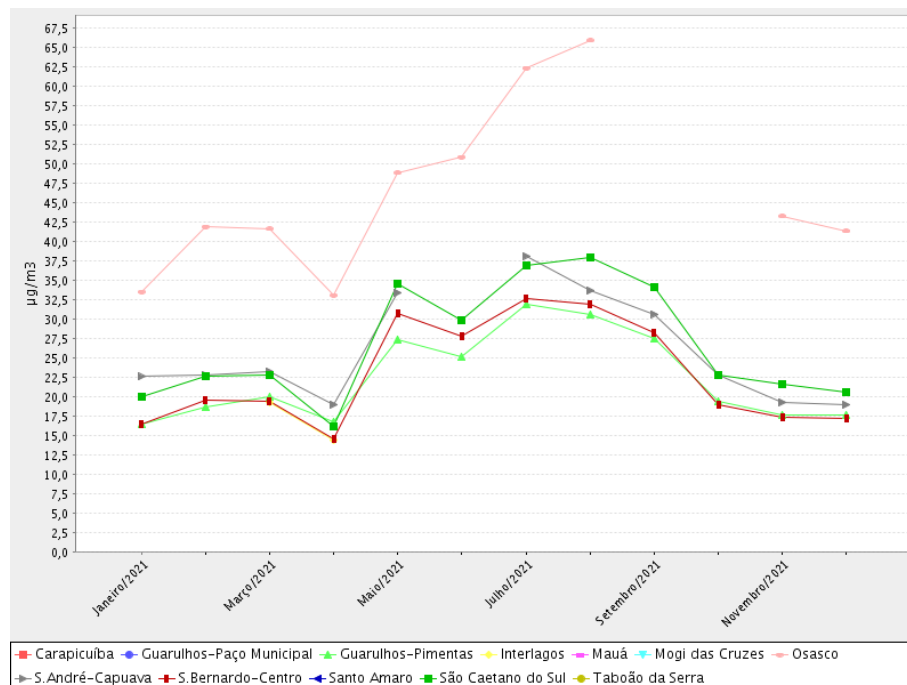
Fonte: CETESB – QUALAR.

Figura 25 - Médias mensais de NO₂ do ano de 2020 em Estações da RMSP.



Fonte: CETESB – QUALAR.

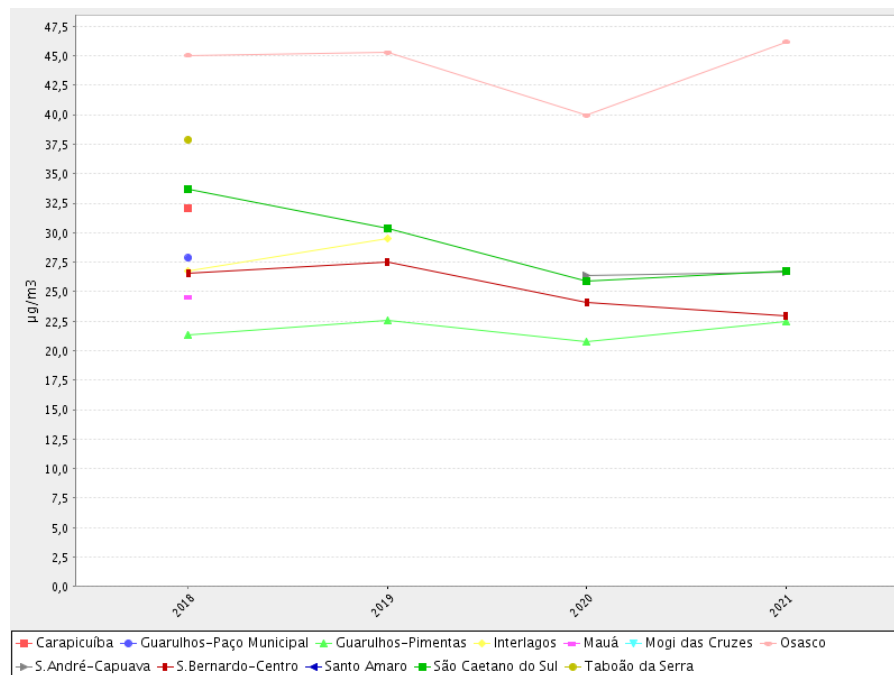
Figura 26 - Médias mensais de NO₂ do ano de 2021 em Estações da RMSP.



Fonte: CETESB – QUALAR.

A Figura 27 fornece os valores médios anuais da concentração de NO₂ no período de estudo, com queda visível no ano de 2020 para todas as estações.

Figura 27 - Médias anuais de NO₂ de 2018 a 2021 em Estações da RMSP.

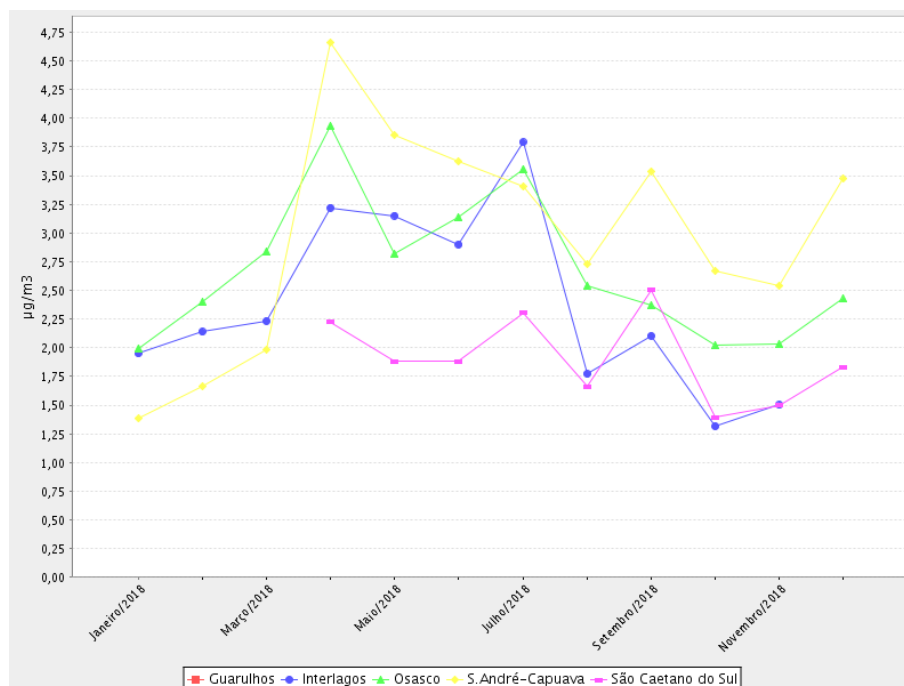


Fonte: CETESB – QUALAR.

5.1.6 Estudo da Concentração de Dióxido de Enxofre (SO₂)

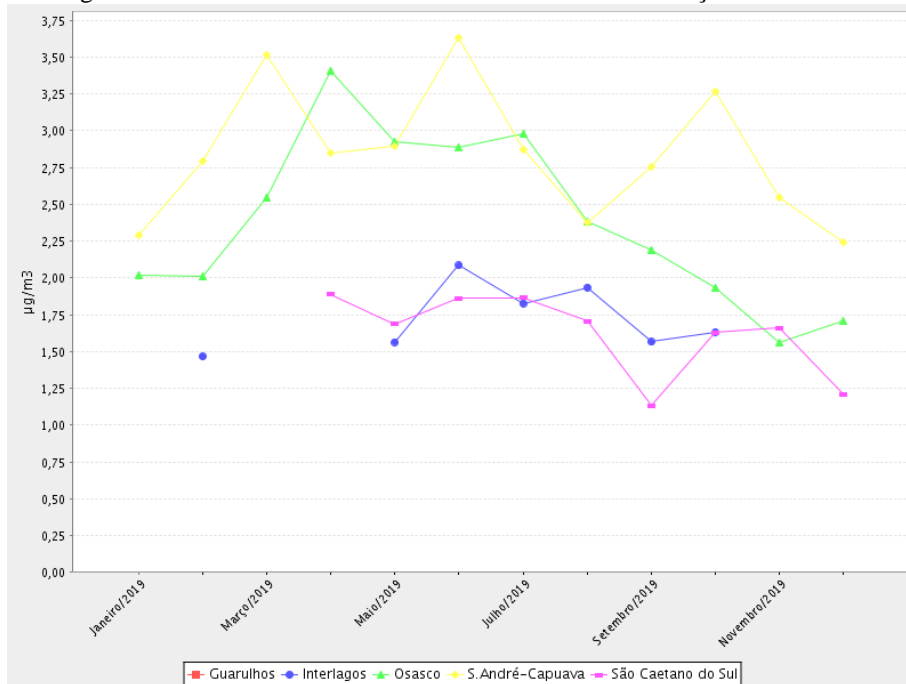
As Figuras 28, 29, 30 e 31 exibem, respectivamente as concentrações médias mensais de NO₂ presente na atmosfera nos anos de 2018, 2019, 2020 e 2021 nas estações de Guarulhos, Interlagos, Osasco, Santo André-Capuava e São Caetano do Sul.

Figura 28 - Médias mensais de SO₂ do ano de 2018 em Estações da RMSP.



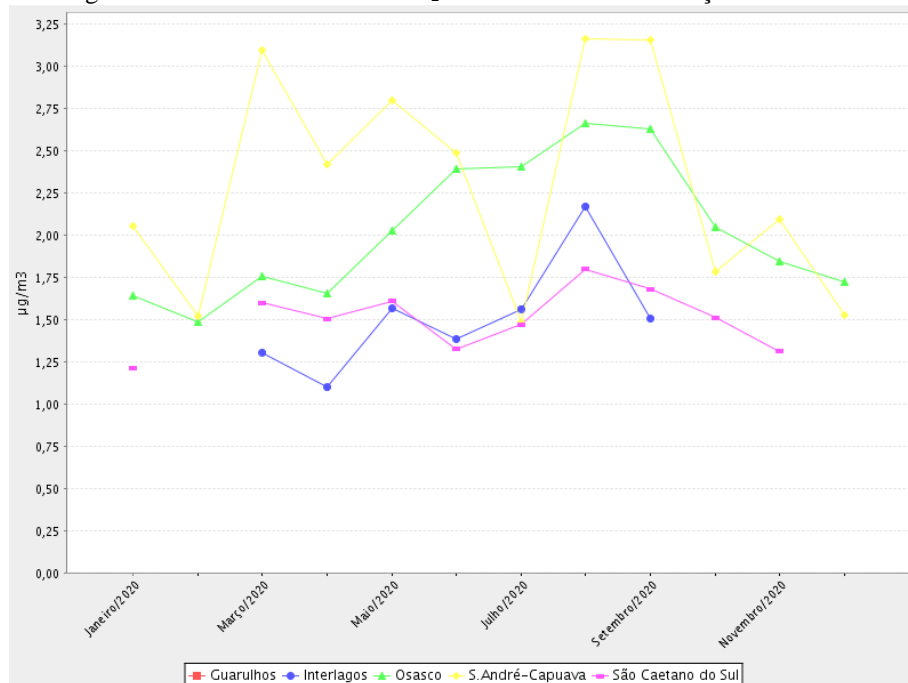
Fonte: CETESB – QUALAR.

Figura 29 - Médias mensais de SO₂ do ano de 2019 em Estações da RMSP.

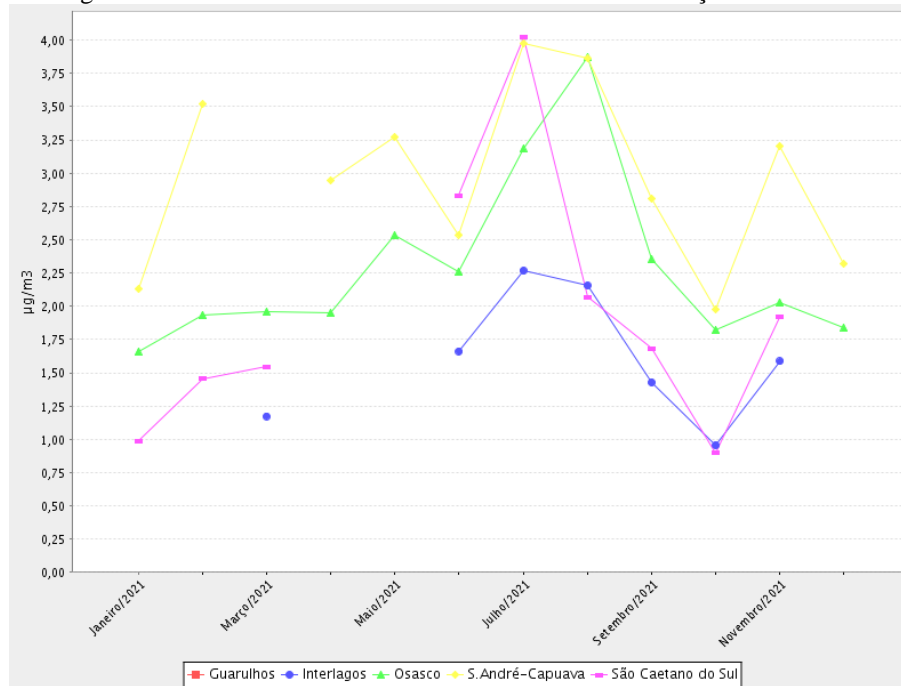


Fonte: CETESB – QUALAR.

Figura 30 - Médias mensais de SO₂ do ano de 2020 em Estações da RMSP.

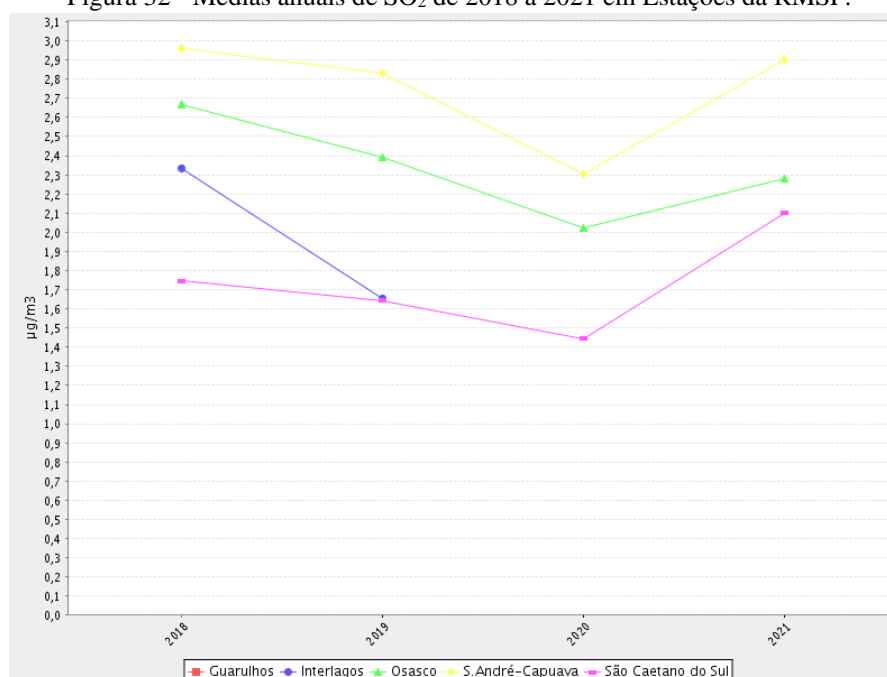


Fonte: CETESB – QUALAR.

Figura 31 - Médias mensais de SO₂ do ano de 2021 em Estações da RMSP.

Fonte: CETESB – QUALAR.

Nos anos de 2018 e 2019, prévios às medidas de isolamento social, as concentrações de SO₂ atingiram, respectivamente, durante os meses de fevereiro a maio, valores de 1,7 µg/m³ até 4,7 µg/m³ e 1,5 µg/m³ até 3,5 µg/m³ dentre as estações analisadas. Em 2020, ano do decreto da quarentena, e 2021, ano posterior as medidas de afastamento, as concentrações de dióxido de enxofre variaram de 1,1 µg/m³ a 3,1 µg/m³ e 1,2 µg/m³ a 3,5 µg/m³ no mesmo período, atingindo os menores níveis do poluente no ar em 2020.

Figura 32 - Médias anuais de SO₂ de 2018 a 2021 em Estações da RMSP.

Fonte: CETESB – QUALAR.

A figura 32 apresenta as médias anuais de SO₂ nas mesmas estações de monitoramento e é notório a diminuição da concentração do poluente tanto de 2018 para 2019, quanto de 2019 para 2020, com elevação apenas para o ano de 2021 em todas as estações. Destacando que as menores concentrações foram atingidas no ano referente ao distanciamento social.

5.1.7 Comparação da Qualidade do ar da RMSP de 2018 a 2021

Considerando que o mês de março foi o mês de maior aderência ao isolamento social em 2020, atingindo no dia 22 deste mês o ápice de 62% de isolados, foi realizado um levantamento da média mensal de concentração de cada um dos parâmetros da UGRHI 6, dos meses de março para os anos de 2018, 2019, 2020 e 2021 para fins de comparação, conforme indicado no Quadro 6.

Quadro 6 - Parâmetros de qualidade do ar da RMSP nos meses de março.

Ano	MP ₁₀ (µg/m ³)	MP _{2,5} (µg/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)
2018	25,8	14,6	0,6	31,5	1,9	39,2
2019	21,4	12,8	0,5	28	2,4	35,9
2020	21,4	12,4	0,4	23,1	1,7	45,5
2021	22,6	13,7	0,5	27,6	1,7	47,9

Fonte: CETESB – QUALAR.

A concentração de partículas inaláveis na UGRHI 6 monitorada apresentou entre o ano de 2018 e 2019 uma queda de 17%, se manteve estável no ano de 2020 e aumentou aproximadamente 6% no ano de 2021.

O comportamento das partículas inaláveis finas na atmosfera se deu pela diminuição contínua de 2018 a 2020, com diferença de 12% entre os meses de 2018 e 2019 e 15% de 2018 a 2020 (diminuindo 3% de 2019 para 2020) e aumento de 10% de 2020 a 2021, apresentando conforme o esperado, o menor valor no período de maior isolamento social.

O monitoramento do monóxido de carbono exibe também o menor valor da concentração do poluente no ano de 2020, diminuindo ano a ano 0,1 ppm, com exceção apenas de 2021 que houve o aumento da mesma concentração em relação ao ano antecedente. O decréscimo do poluente no ano de isolamento social foi de 7% e 8% comparando-o, respectivamente, a 2018 e 2019.

A concentração de dióxido de nitrogênio também apresentou seu menor valor em 2020, sendo que do primeiro para o segundo ano de estudo diminuiu 11%, do segundo para o terceiro aproximadamente 17% (27% se comparado ao ano inicial) e por fim um aumento no último ano de 4,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, equivalente a 19%.

O dióxido de enxofre por sua vez apresentou de 2018 a 2019 um aumento da concentração correspondente a 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e significativa queda em 2020, sendo essa de 0,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (concentração 29% menor que o ano anterior), se mantendo no ano de 2021.

Por fim, o ozônio foi o único poluente que apresentou elevação na concentração no ano de 2020, 16% maior do que o ano inicial do estudo e 27% maior que 2019, com aumento contínuo no ano de 2021.

5.2 ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR DA RMSP

Para análise do índice de qualidade do ar da Região Metropolitana de São Paulo, foram extraídos os níveis mensais referentes ao período de 2018 a 2020 pelo QUALAR. A aquisição dos dados se deu pelos relatórios de distribuição da qualidade de redes de monitoramento automáticas da UGRHI 6. Os níveis mensais dos parâmetros O_3 , MP_{10} , $\text{MP}_{2,5}$, CO , SO_2 e NO_2 estão apresentados para cada ano nos Quadros 6, 7, 8 e 9.

As siglas N1, N2, N3, N4 e N5 presentes nos quadros correspondem, respectivamente, aos níveis de qualidades bom, moderado, ruim, muito ruim e péssimo.

A ultrapassagem do padrão de qualidade do ar ocorre a partir do atingimento do nível ruim, isto é, consideramos que a concentração do poluente está fora dos critérios estabelecidos pela legislação quando há registros do poluente com qualidade em N3, N4 ou N5.

Analisando os dados com delimitação dos meses de fevereiro a maio de cada ano para fins de comparação, isto devido ao período de isolamento social do ano de 2020, é possível observar os níveis de qualidade do ar da RMSP que estiveram fora do indicado.

A ultrapassagem dos limites de qualidade em 2018 ocorreu para os seguintes poluentes: O_3 , com 6 dias apresentando qualidade ruim e 2 dias muito ruim, MP_{10} , que em 1 dia esteve ruim e $MP_{2,5}$ que se manteve 2 dias com qualidade ruim. Em 2019 o único parâmetro que ultrapassou os critérios de qualidade do ar foi $MP_{2,5}$, com nível ruim por 3 dias. No ano do isolamento social, 2020, houve o O_3 com qualidade ruim em 14 dias e 5 dias muito ruim, MP_{10} com 1 dia ruim e $MP_{2,5}$ 3 dias ruim. Por fim, em 2021, os parâmetros que se mostraram fora do estabelecido foram ozônio, que obteve 10 dias de qualidade ruim e 3 dias muito ruim e partículas inaláveis finas com a qualidade ruim por 1 dia.

Quadro 7 – Índice de Qualidade do Ar da RMSP no ano de 2018.

Distribuição da Qualidade atmosférica – 2018																														
Mês	O ₃					MP ₁₀					MP _{2,5}					CO					SO ₂					NO ₂				
	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5
Janeiro	20	9	2			29	2				28	3				31					31					31				
Fevereiro	23	3	1	1		25	3				26	2				28					28					28				
Março	18	10	3			22	9				24	7				31					31					31				
Abril	17	11	1	1		19	11				15	13				30					30					30				
Mai	23	7	1			16	14	1			14	15	2			31					31					31				
Junho	29	1				10	12	8			10	14	5	1		30					30					30				
Julho	19	11	1			6	12	12	1		7	6	15	3		31					31					29	1	1		
Agosto	27	3	1			18	11	2			21	10				31					31					31				
Setembro	16	12	2			22	8				20	10				30					30					30				
Outubro	25	5	1			23	8				26	5				31					31					31				
Novembro	25	5				29	1				29	1				30					30					30				
Dezembro	9	8	11	3		25	6				20	11				31					31					31				

Fonte: CETESB – QUALAR.

Quadro 8 - Índice de Qualidade do Ar da RMSP no ano de 2019.

Distribuição da Qualidade atmosférica – 2019																														
Mês	O ₃					MP ₁₀					MP _{2,5}					CO					SO ₂					NO ₂				
	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5
Janeiro	9	8				26	5				26	5				31					31					30	1			
Fevereiro	18	5				25	3				20	7	1			28					28					28				
Março	18	11				30	1				26	5				31					30	1				31				
Abril	18	7				23	7				16	14				30					30					30				
Mai	25	6				18	13				17	12	2			31					31					31				
Junho	30					9	21				8	18	4			30					30					30				
Julho	23	8				12	17	2			9	18	3	1		31					31					30	1			
Agosto	21	8				16	14	1			15	14	2			31					31					31				
Setembro	17	4				19	10	1			19	9	2			30					30					28	2			
Outubro	7	10				20	11				22	9				31					31					31				
Novembro	16	9				25	5				28	2				30					30					30				
Dezembro	16	8				27	4				30	1				31					31					31				

Fonte: CETESB – QUALAR.

Quadro 9 - Índice de Qualidade do Ar da RMSP no ano de 2020.

Distribuição da Qualidade atmosférica – 2020																														
Mês	O ₃					MP ₁₀					MP _{2,5}					CO					SO ₂					NO ₂				
	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5
Janeiro	21	6	4			29	2				26	5				31					31					31				
Fevereiro	24	4	1			29					29					29					29					29				
Março	15	5	8	3		27	4				29	2				31					31					31				
Abril	15	9	4	2		25	5				26	4				30					30					30				
Mai	26	4	1			18	12	1			17	11	3			31					31					31				
Junho	25	5	0			14	16				14	16				30					30					30				
Julho	25	5	1			12	19				12	19				31					31					31				
Agosto	15	14	2			15	15	1			17	14				31					31					31				
Setembro	5	10	5	10		9	18	3			10	16	4			30					30					28	2			
Outubro	11	8	8	4		20	11				20	10	1			31					31					30	1			
Novembro	8	13	5	4		29	1				29	1				30					30					30				
Dezembro	20	9	1	1		31					31					31					31					31				

Fonte: CETESB – QUALAR.

Quadro 10 - Índice de Qualidade do Ar da RMSP no ano de 2021.

Distribuição da Qualidade atmosférica – 2021																														
Mês	O ₃					MP ₁₀					MP _{2,5}					CO					SO ₂					NO ₂				
	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5	N1	N2	N3	N4	N5
Janeiro	18	13				31					28	3				31					31					31				
Fevereiro	18	7	3			28					25	3				28					29					28				
Março	13	8	7	3		31					28	3				31					31					31				
Abril	23	7				29	1				29	1				30					30					30				
Mai	28	3				21	10				17	13	1			31					31					31				
Junho	28	2				22	8				19	11				30					30					30				
Julho	24	7				14	13	4			10	14	7			31					31					31				
Agosto	16	4	7	4		17	7	4	3		13	9	6	2		31					31					28	3			
Setembro	8	8	7	7		13	17				14	15	1			30					30					29	1			
Outubro	19	9	3			29	2				30	1				31					31					31				
Novembro	13	7	9	1		25	5				27	3				30					30					30				
Dezembro	17	8	5	1		30	1				29	2				31					31					31				

Fonte: CETESB – QUALAR.

5.3 DISCUSSÃO

Analisando os resultados obtidos no monitoramento da qualidade do ar da Região Metropolitana de São Paulo, tem-se que quando comparados os períodos de fevereiro a maio de cada um dos anos, houve a diminuição de todos os poluentes que compõem os padrões de qualidade do ar no ano referente ao isolamento social. A diminuição das partículas inaláveis (MP_{10}) e partículas inaláveis finas ($MP_{2,5}$) e as menores concentrações de monóxido de carbono (CO) obtidas em 2020 em relação aos demais anos estudados, apontam relação direta com a diminuição do tráfego de veículos automotores nas ruas e o fechamento de indústrias que operam processos de combustão, visto que são as principais fontes emissoras desses poluentes na atmosfera. O dióxido de enxofre (SO_2) exibiu as menores concentrações em todas as estações analisadas entre os meses de fevereiro a maio de 2020, sendo este um poluente emitido principalmente por refinarias de petróleo, veículos a diesel, indústrias de papel e celulose e fertilizantes. O dióxido de nitrogênio (NO_2), que é emitido principalmente por usinas térmicas, veículos automotores e processos industriais, apresentou apenas em 2020 a diminuição de sua concentração em todas as estações monitoradas, e como provável consequência o ozônio (O_3) também obteve seus menores valores no mesmo período dentre os anos, isso pode estar relacionado com a formação do ozônio na atmosfera, que ocorre de forma secundária a partir de reações provenientes de óxidos de nitrogênio (NO_x), como por exemplo o NO_2 .

Os resultados anuais de monitoramento da qualidade do ar também demonstraram melhora para todos os poluentes, com exceção do ozônio (O_3), que apresentou o aumento de sua concentração na maioria das estações monitoradas. O ozônio diferente dos demais poluentes não possui uma fonte direta de emissão no ar, se formando a partir da reação de substâncias poluidoras oriundas de processos de combustão veicular e industrial, emissões de processos evaporativos, queima incompleta de combustíveis automotivos e processos industriais junto à presença de luz solar. Sendo assim, as maiores concentrações do poluente são identificadas nos períodos de primavera e verão onde a incidência de raios solares é mais intensa e o tempo apresenta temperaturas mais elevadas. E, justificando tais resultados monitorados, a primavera de 2020 atingiu no dia 2 de outubro a temperatura de 37,4 °C, marcando o vice recorde das temperaturas máximas absolutas da história paulistana, e tendo no ano a primavera e verão previstos como mais quentes dos últimos anos, o que provavelmente influenciou os resultados obtidos para o poluente O_3 (INMET, 2020).

Portanto, considerando que nos meses referentes ao período de isolamento social no ano de 2020 todos os poluentes apresentaram concentrações abaixo dos demais anos estudados, podemos afirmar a influência direta das atividades antrópicas na qualidade atmosférica.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A preocupação com formas de prevenir e mitigar impactos ambientais decorrentes de atividades humanas se faz cada vez mais presente. Para isso é crucial a identificação de cada poluente e suas principais fontes emissoras.

O estudo realizado na Região Metropolitana de São Paulo permitiu atrelar a deterioração da qualidade do ar com a organização social atual, em que por meio de um episódio crítico de contenção da população em atividades cotidianas, e a consequente diminuição de processos industriais e transição de veículos automotivos pode-se avaliar o comportamento de poluentes atmosféricos.

Na análise comparativa dos anos anteriores, durante e após o isolamento social decorrente da pandemia da COVID-19 obteve-se, no período em que ocorreu a medida de afastamento e restrições das atividades humanas, os melhores resultados para a qualidade do ar de acordo com os parâmetros estabelecidos pela legislação vigente.

Esses dados mostram que a qualidade do ar está diretamente relacionada à forma de funcionamento populacional e que é possível a reestruturação das ações antrópicas de modo a melhorar e controlar os parâmetros de qualidade ambiental, assim garantindo a melhoria da saúde pública e ambiental.

A redução e controle da concentração de poluentes na atmosfera é capaz de prevenir impactos ambientais negativos, como a perda da biodiversidade e a manutenção de recursos naturais, além de impedir e diminuir a ocorrência de doenças respiratórias, cardiovasculares, neurológicas e até mortes provenientes da poluição do ar.

Para concluir, espera-se que este estudo impulse a realização de pesquisas que visem comprovar a influência das atividades humanas nos impactos ambientais, em especial com a qualidade atmosférica, tomando como base que os resultados obtidos indicam a interferência direta entre as relações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Resolução Estadual nº 59.113**, de 23 de abril de 2013. “Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas”.

AQUINO, E. M. L. et al. **Medidas de distanciamento social no controle da pandemia de COVID-19: potenciais impactos e desafios no Brasil**. *Ciência & Saúde Coletiva* [online]. 2020, v. 25. p 2423-2446.

BEZERRA, A. C. V. et al. **Fatores associados ao comportamento da população durante o isolamento social na pandemia de COVID-19**. *Ciência & Saúde Coletiva* [online]. 2020, v. 25. p. 2411-2421.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L. de; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002, 305 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 491**, de 19 de novembro de 2018. “Dispõe sobre padrões de qualidade do ar”.

CASTANHO, A.D.A. **Propriedade ópticas das partículas de aerossol e uma nova metodologia para a obtenção da espessura óptica via satélite sobre São Paulo**. IF/USP, São Paulo, 2005. 250 p.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Histórico**. São Paulo, 2021.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade do ar: Índice de Qualidade do ar e saúde**. São Paulo, 2022.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade do ar: Padrões de Qualidade do ar**. São Paulo, 2022.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade do ar no estado de São Paulo - 2019**. São Paulo, 2020.

CONSEMA - CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Deliberação nº 4**, de 18 de maio de 2021. “Convalida o Estudo Técnico da CETESB para avaliação e proposta de início de vigência da Meta Intermediária Etapa 2 (MI2)”.

D'AMELIO, M. T. S.; CAMPO, L. C. L.; ALVIM, D. S. **Estudo da Variabilidade do Monóxido de Carbono Atmosférico na Região Metropolitana de Campinas – SP e comparação com São Paulo – SP**. v. 1, n. 1, p. 80-90, 2017. Casa de Nossa Senhora da Paz A.S.F. <http://dx.doi.org/10.24933/eusf.v1i1.50>.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 2. ed. São Paulo. Signus, 2000. 164 p.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 4. ed. São Paulo. Oficina de textos, 2013. 225 p.

DUARTE, R. L.; SILVA C. P. e ROCHA, C. H. B. **Os efeitos do isolamento social e da pandemia de covid-19 na qualidade do ar ao redor do mundo**. In: Congresso Nacional Latino-Americano De Desenvolvimento Sustentável. Pós Pandemia: Como será o mundo depois da crise?. Online, 2021. p. 747-761.

DUTRA, E. G.; FIORAVANTE, E. F.; FERREIRA, F.D. **Emissão veicular e o ozônio troposférico na região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil**. 9º Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. Las Palmas de Gran Canaria. 2009.

INLOCO. **Mapa brasileiro da COVID-19: Índice de isolamento social**. Inloco. 2020. Disponível em: <https://mapabrasileirodacovid.inloco.com.br/pt/>.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **São Paulo capital, balanço da primavera e prognóstico para o verão 2020/2021**. São Paulo, 2020.

JACHIC, J. **Poluição Monóxido de Carbono em Ambiente Fechado**. Revista Tuiuti Ciência e Cultura, p. 19-41, 2001.

KIELY, G. **Environmental Engineering**. Berkshire England. McGraw- Hill. 1996.

LISBOA, H. M.; KAWANO, M. **Monitoramento de Poluentes Atmosféricos**. UFSC Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental. Controle da Poluição Atmosférica. Montreal, 2007. 1. Ed. p. IV-2 - p. IV-73

LOMBARDO, M. A. **Ilha de Calor nas Metrôpoles. O exemplo de São Paulo**. São Paulo, 1985.

MAGALHÃES JUNIOR, A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir de uma experiência francesa**. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2007. 688 p.

MALHEIROS, T. F. **Indicadores Ambientais de Desenvolvimento Sustentável Local: Um estudo de caso do uso de indicadores da qualidade do ar**. São Paulo, 2002. 168 p.

MARTIN, Maristel. C. S.; MARTIN, M. C. S. Condições atuais das emissões dos poluentes atmosféricos durante a quarentena da covid-19 e as perspectivas futuras. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, Boa Vista, v. 2, n. 5, p. 85-96, apr. 2020. ISSN 2675-1488. DOI 10.5281/zenodo.3767111. Disponível em: <https://revista.ufr.br/boca/article/view/SanMartin2/2905>. Acesso em: 20 ago. 2021.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 4. ed. Rio de Janeiro: Abes, 2010. 388 p.

OLIVEIRA, K. G. M.; BERETTA, M. A **Contribuição Do Licenciamento Ambiental Na Gestão Da Qualidade Do Ar**: Estudo de caso no município de Candeias-BA. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (Gesta), Bahia, v. 2, n. 1, p.105-121, 2014.

SANTI, A. M. M.; ROSA, A. C.; SUZUKI, R. Y. **Monitoramento da qualidade do ar: avaliação de metodologia baseada no licenciamento ambiental**. In: XXVII Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, 2000, Porto Alegre. p.1-12.

SILVA, C. M.; SOARES, R.; MACHADO, W.; ARBILLA, G. The COVID-19 Pandemic: living in the anthropocene. *Revista Virtual de Química*, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 901-912. 2020. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). ISSN 1984-6835. DOI 10.21577/1984-6835.20200081.

SILVA, S. A. R. **O impacto do lockdown na qualidade do ar em Campinas e região durante a pandemia de COVID-19 através da análise de dados.** *Revista Tecnológica da Fatec Americana*, vol. 09, n. 01, p. 22-49. 2021

SOUZA, P. A. F.; FRANCISCO, K. C. A.; CARDOSO, A. A. **Desenvolvimento de Amostrador Passivo Sensível para Monitoramento de Poluição Atmosférica por Dióxido de Nitrogênio.** *Quím. Nova*, v. 40, n. 10, p. 1233-1237. 2017.

SOUZA, L. P. **A pandemia da COVID-19 e os reflexos na relação meio ambiente e sociedade.** *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 2020. v. 8, n. 4, p. 68-73.

TARIFA, J. R.; ARMANNI, G. **Os climas da cidade de São Paulo: teoria e prática.** 2001. GEOUSP – Novos caminhos, n.4. Departamento de Geografia, FFLCH, São Paulo.

WHO - World Health Organization. **Newsroom. Q&A Detail. Q&A on coronaviruses (COVID-19).**, 2020. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/q-a-coronaviruses>.