



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE UNB PLANALTINA - FUP
GESTÃO AMBIENTAL

POLYANNA BARROS PINHEIRO DE JESUS

ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO E AS
RELAÇÕES COM AS MEDIDAS RESTRITIVAS DURANTE A PANDEMIA DE COVID-
19 (2019-2021)

Brasília

2021

POLYANNA BARROS DE JESUS

ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO E AS
RELAÇÕES COM AS MEDIDAS RESTRITIVAS DURANTE A PANDEMIA DE COVID-
19 (2019-2021)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora, como exigência parcial para a obtenção de título de Bacharela do Curso de Gestão Ambiental, da Faculdade UnB Planaltina.

Orientador: Marcio Henrique Bertazi

Brasília

2021

De Jesus, Polyanna Barros Pinheiro.

ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO E AS
RELAÇÕES COM AS MEDIDAS RESTRITIVAS DURANTE A PANDEMIA DE COVID-
19 (2019-2021). / Polyanna Barros Pinheiro de Jesus. Planaltina – DF, 2021. 49 f.

Monografia – Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília.

Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental.

Orientador: Marcio Henrique Bertazi.

1. Poluição atmosférica. 2. Pandemia. 3. São Paulo. 4. COVID-19. 5. Qualidade do ar.
I. De Jesus, Polyanna Barros Pinheiros. II. ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR NO
MUNICÍPIO DE SÃO PAULO E AS RELAÇÕES COM AS MEDIDAS RESTRITIVAS
DURANTE A PANDEMIA DE COVID-19 (2019-2021).

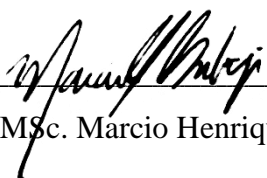
POLYANNA BARROS PINHEIRO DE JESUS

ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO E AS
RELAÇÕES COM AS MEDIDAS RESTRITIVAS DURANTE A PANDEMIA DE COVID-
19 (2019-2021)


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Gestão Ambiental da Faculdade UnB Planaltina, como requisito parcial à obtenção do título de bacharela em Gestão Ambiental.

Banca Examinadora:

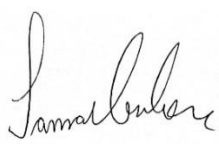
Planaltina-DF, 14 de maio de 2021.



Prof. MSc. Marcio Henrique Bertazi – FUP/UnB



Prof. Dr. Irineu Tamaio – FUP/UnB



Prof. Dra. Samara Carbone – Universidade Federal de Uberlândia

Dedico este trabalho à minha mãe (*in memoriam*), um exemplo de força e perseverança. E à minha tia Lilian que me impulsionou todos os dias com palavras de apoio e carinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

A minha família, que sempre foi uma fonte de suporte e incentivo durante toda a minha jornada na universidade.

Aos professores, por cada conselho, ajuda e paciência com a qual guiaram o meu aprendizado e a minha formação como profissional. Em especial ao professor Marcio Henrique Bertazi, por ter sido meu orientador e ter realizado tal função com dedicação e afinco.

Agradeço também aos meus amigos, em especial minha amiga Juliana, por toda ajuda e incentivo, que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Devia é uma palavra vã. Ela se refere ao que não aconteceu. Ela pertence a um universo paralelo. Ela pertence a outra dimensão do espaço. (Margaret Atwood, O Assassino Cego)

RESUMO

Levando-se em conta a emergência da COVID-19, a partir de março de 2020, foram emitidos pelo governo de São Paulo diversos decretos de suspensão de atividades no estado, cujo objetivo era o de reduzir a curva de contaminação e propagação do vírus. A limitação das atividades poderia eventualmente resultar na diminuição da emissão de poluentes, uma vez que, fontes emissoras como veículos e indústrias tiveram seus fluxos de atividades modificados. O objetivo da presente pesquisa consiste em investigar se houve uma relação entre as restrições decorrentes da pandemia de COVID-19 e a qualidade do ar no município de São Paulo, especificamente na estação Ibirapuera. O monóxido de carbono, as partículas inaláveis finas, o ozônio, a precipitação e temperatura foram utilizados como parâmetros para a avaliação. Os gráficos para cada um dos parâmetros foram gerados através de dados fornecidos pelo sistema QUALAR, da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo e do Banco de Dados Meteorológicos do INMET. Os gráficos também foram adaptados de modo a apresentar cada uma das fases de restrição estabelecidas seja através de decretos ou do Plano São Paulo. Observou-se a inexistência de uma relação direta entre as medidas restritivas ocorridas no contexto da pandemia e a qualidade do ar na estação analisada.

Palavras-chave: Poluição atmosférica; Pandemia; São Paulo; COVID-19; Qualidade do ar.

ABSTRACT

Considering the emergence of COVID-19, as of March 2020, several decrees of suspension of activities in the state were issued by the government of São Paulo, whose goal was to reduce the contamination curve and spread of the virus. The limitation of activities could eventually result in a decrease in the emission of pollutants, since emitting sources such as vehicles and industries had their activity flows modified. The objective of the present research is to investigate whether there was a connection between the restrictions due to the pandemic of COVID-19 and the air quality in the city of São Paulo, specifically in the Ibirapuera station. Carbon monoxide, fine inhalable particles, ozone, precipitation, and temperature were used as parameters for the analysis. The graphs for each of the parameters were generated using data provided by the QUALAR system of the Environmental Company of the State of São Paulo and the Meteorological Database of INMET. The graphs were also adapted to present each one of the restriction phases established either through decrees or the São Paulo Plan. It was also observed that the decrease in values referring to air pollution has no direct relation to the restrictions of activities imposed.

Keywords: Air pollution; Pandemic; São Paulo; COVID-19; Air Quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Divisões Região Metropolitana de São Paulo.....	24
Figura 2 — Medidas de CO em 2019 (estação Ibirapuera).....	32
Figura 3 — Medidas de CO em 2020-2021 (estação Ibirapuera)	33
Figura 4 — Medidas de MP2,5 em 2019 (estação Ibirapuera).....	34
Figura 5 — Medidas de MP2,5 em 2020-2021 (estação Ibirapuera)	35
Figura 6 — Medidas de O3 em 2019 (estação Ibirapuera).....	36
Figura 7 — Medidas de O3 em 2020-2021 (estação Ibirapuera)	37
Tabela 1 — Médias mensais O3 em $\mu\text{g} / \text{m}^3$ (estação Interlagos).....	37
Figura 8 — Precipitação diária 2019 em mm (estação Interlagos)	38
Figura 9 — Precipitação diária 2020-2021 em mm (estação Interlagos)	39
Tabela 2 — Precipitação total mensal (estação Interlagos).....	39
Figura 10 — Temperatura diária 2019 (estação Interlagos).....	40
Figura 11 — Temperatura diária 2020-2021 (estação Interlagos)	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Cronograma das fases de restrição	26
Quadro 2 — Restrições em cada fase	28
Quadro 3 — Demarcação das fases	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C	Carbono
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
DIE	Doenças infecciosas emergentes
GEE	Gases de efeito estufa
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
M ³	Metros cúbicos
MP _{2,5}	Partícula inaláveis finas
N	Nitrogênio
NOX	Óxidos de nitrogênio
O ₃	Ozônio
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Fósforo
PPM	Partes por milhão
PIB	Produto Interno Bruto
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
SO ₂	Dióxido de enxofre
µg	Microgramas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Apresentação do tema	13
1.2	Pergunta orientadora	17
1.3	Hipótese	17
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo geral	18
2.1.1	Período de análise	18
2.2	Objetivo específicos	18
2.2.1	Objetivo 1	18
2.2.2	Objetivo 2	18
2.2.3	Objetivo 3	18
3	REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1	Poluentes atmosféricos utilizados	21
4	MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1	Pressupostos metodológicos	23
4.2	Área de estudo	23
4.3	Coleta de dados	24
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
5.1	Fases e restrições	26
5.2	Parâmetros utilizados	31
5.2.1	Monóxido de carbono	31
5.2.2	Partículas inaláveis finas	33
5.2.3	Ozônio	36
5.2.4	Precipitação e temperatura	38
5.3	Estudos similares	42
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do tema

A incidência de doenças infecciosas emergentes (DIE) e reemergentes tiveram nas últimas décadas um grande aumento (LUNA, 2002; CONFALONIERI et al., 2010). Entende-se por doenças infecciosas emergentes aquelas que “tenham aparecido recentemente em uma população ou que já existiam, mas têm aumentado rapidamente em incidência ou em alcance geográfico” (MORSE, 1995, p. 8). Dos episódios envolvendo estas doenças, grande parte estavam ligados a agentes zoonóticos (MURPHY, 1998). Os processos zoonóticos ocorrem quando há a transmissão de um patógeno de um animal vertebrado para seres humanos, como por exemplo a MERS - Síndrome Respiratória do Oriente Médio (*Middle East Respiratory Syndrome*, em inglês), hendra, ebola, dengue, leptospirose e H1N1 (PLOWRIGHT et al., 2017; MANDL et al., 2015).

As zoonoses, também chamadas de *Spillover*, representam cerca de 60% do número conhecido de doenças infecciosas em humanos (DE SOUZA, 2020). Desta porcentagem 71,8% têm a sua origem em espécies de animais silvestres e outros 20,9% são causadas por cepas microbianas que são resistentes a drogas (CONFALONIERI et al., 2010).

Conforme Murphy (1998), não é possível apontar o espaço geográfico e temporal em que um novo agente zoonótico de importância irá surgir. Ademais, são diversos os fatores que podem interferir na emergência destes, Luna (2002) estabelece sete grandes grupos, sendo eles: (I) demográficos, (II) sociais e políticos, (III) econômicos, (IV) ambientais, (V) aqueles relacionados ao desempenho do setor saúde e (VI) relacionados às mudanças e adaptação dos microrganismos, e a (VII) manipulação de microrganismos com o objetivo de desenvolvimento de armas biológicas. Além de fatores como os de adaptação, também têm influência sobre os eventos de emergência elementos como: transporte, comércio e clima (MURPHY, 1998).

Sabroza e Waltner-Toews (2001, p. 4) reforçam ainda que:

A consolidação de uma nova ordem mundial, na qual a integração das economias de diferentes países tem sido acompanhada pelo rápido aumento da circulação de pessoas e mercadorias, resultou na desagregação de modos de vida tradicionais e na degradação ambiental. Dentro deste contexto apareceram propostas para uma epidemiologia das doenças emergentes e um sistema global de vigilância sanitária e de doenças.

Em complementação, Layrargues (2020) cita ainda um relatório elaborado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), onde são estabelecidos vínculos entre o aumento na degradação de ambientes naturais e o surgimento de zoonoses que possuem potencial para a deflagração de pandemias. No relatório é destacada a influência que o meio ambiente possui sobre a saúde. Corroborando com as afirmações anteriores, Acosta et al. (2020) ressalta que os ecossistemas e a saúde humana estão intrinsecamente relacionados.

No fim do ano de 2019, a Organização Mundial de Saúde (OMS) recebeu alertas acerca de casos de pneumonia de causas ainda desconhecidas na cidade de Wuhan na China (LU, STRATTON e TANG, 2020). Chegando ao fim do mês de janeiro de 2020, cerca de 9.700 casos do que foi denominado de COVID-19 no território chinês já haviam sido confirmados, e mais de 100 casos foram confirmados em 109 países, como Japão, Finlândia, Canadá e Vietnã (LEE, 2020).

Wuhan é a capital e maior cidade da província de Hubei, possuindo cerca de onze milhões de habitantes (LU, STRATTON e TANG, 2020). A cidade é um importante centro econômico, logístico, comercial e financeiro, configurando assim um grande fluxo de pessoas, o que juntamente com a aproximação das tradicionais festividades do Ano Novo Lunar contribuiu para que a doença passasse a ser transmitida rapidamente (SILVA, 2020). Deste modo, “em 30 janeiro de 2020, o Comitê de Emergência da OMS, (...), declarou a doença respiratória aguda, COVID-19, uma emergência de saúde pública de interesse internacional¹” (LEE, 2020, p. A1).

O “mercado molhado” de Wuhan foi apontado como um possível marco zero que deflagrou a pandemia (CONTINI, 2020). Acosta et al. (2020) expõe que além do fato de que cerca de metade das pessoas que foram inicialmente diagnosticadas com o vírus terem frequentado o local, também eram comercializados no mercado animais silvestres vivos e mortos, diversos tipos de carne e frutos do mar, o que configura condições ideais para que ocorra o processo zoonótico apresentado por Luna (2002) e por Plowright et al. (2017).

Isto porque, os riscos de ocorrer uma zoonose pode ser determinado através de uma série de processos que interligam as dinâmicas ecológicas de infecção nos reservatórios hospedeiros, tais como densidade e distribuição, e comportamentos que possibilitam a exposição humana ao patógeno, como abate, preparo e consumo destes animais (PLOWRIGHT et al.,2017). Luna

¹Tradução nossa.

(2002, p. 235) coloca ainda que “à proximidade entre seres humanos e animais, principalmente aves e suínos na China, se tem atribuído a emergência de novos vírus da gripe”.

Outro fator que contribui no aumento destes riscos está relacionado à degradação ecológica, uma vez que esta acarreta o aumento dos níveis de contato entre seres humanos e espécies silvestres (EVANS et al., 2020). Isto porque, durante os processos de conversão integral de áreas naturais para o uso do solo, surgem zonas de transição entre os ambientes silvestres e os antrópicos, estas por sua vez aproximam reservatórios, vetores e hospedeiros através de relações interespecíficas, o que conseqüentemente aumenta as probabilidades de ocorrer *spillover* (ACOSTA et al., 2020).

As doenças respiratórias, de veiculação hídrica e aquelas que são transmitidas por vetores, são as mais suscetíveis a ampliarem a sua proliferação com as alterações climáticas, além das questões socioeconômicas que atuam em conjunto com a disseminação (LIMA, MOREIRA e NÓBREGA, 2016). Isto porque, fatores como a organização da economia, a urbanização que muitas vezes ocorre desordenadamente e a ausência de saneamento, também são responsáveis por influenciar as dinâmicas de disseminação de patógenos, além da sua relação com as mudanças climáticas (RIBEIRO et al., 2006).

No caso dos elementos climáticos, esta influência dá-se através das alterações em fenômenos biológicos (por exemplo capacidade de reprodução e sobrevivência dos patógenos) e eventos extremos, como a maior incidência de chuvas, que foram relacionadas ao aumento de casos de leptospirose no Rio de Janeiro (CONFALONIERI et al., 2010).

Os elementos climáticos estão associados a diversos aspectos da vida dos organismos terrestres, coordenando fatores importantes para a manutenção dos ecossistemas, como por exemplo os fluxos de luz, umidade e a sazonalidade (TOZATO, MELLO-THÉRY e DUBREUIL, 2015). Suárez, Watson e Dokken (2002) exprimem ainda que as mudanças climáticas afetam diretamente o funcionamento individual dos organismos e modificam estruturas populacionais e ecossistêmicas. Os autores através da análise de modelos, cogitam a possibilidade destas mudanças afetarem todos os aspectos ligados à biodiversidade.

Os impactos causados à biodiversidade por sua vez causam o enfraquecimento da barreira de proteção natural, que através do processo de diluição², ameniza os possíveis processos de *Spillover* (LAYRARGUES, 2020). É importante salientar que elementos como a urbanização, alteração de paisagens e agropecuária atuam de maneira sinérgica com estas

²Civitello et al. (2015) afirma que não há consenso sobre esta ser uma hipótese que se aplica amplamente.

mudanças no que diz respeito às pressões sob a biodiversidade (SUÁREZ, WATSON E DOKKEN, 2002).

Além disso, as doenças de origem zoonótica representam uma ameaça à integridade dos ecossistemas, ao desenvolvimento econômico e sobretudo, ao bem-estar humano e animal (DE OLIVEIRA, DE SOUZA CAMPOS, SIQUEIRA, 2020). Apesar dessa ameaça, as empresas da indústria farmacêutica não têm como prioridade o investimento em medicamentos voltados a defesa de doenças emergentes, como a malária, e a infecções hospitalares, resultando assim no reaparecimento de doenças (ou seja, doenças reemergentes) e no surgimento de novas infecções (DAVIS, 2020).

Evans et al. (2020) aponta como desequilíbrios nos ecossistemas estão intimamente ligados a eventos zoonóticos, como na Austrália, onde a alteração no habitat de morcegos conhecidos como raposas-voadoras ampliaram as condições necessárias para que ocorresse a transmissão do vírus hendra para humanos. Entre os eventos citados pelos autores está inclusa a pandemia deflagrada com a COVID-19.

Durante os primeiros meses da pandemia de COVID-19, ocorreram muitas manifestações em redes sociais fazendo menções a locais e paisagens que anteriormente encontravam-se ocultas por camadas de poluição e resíduos e que passaram a estar límpidas e de certo modo recuperadas (DE SOUZA, 2020). Gonçalves (2020) cita como exemplos a mudança da água dos canais de Veneza e grandes vias que não possuíam a mesma movimentação de veículos, entretanto, pontua que estes e demais efeitos seriam apenas efeitos temporários da pandemia.

De Souza (2020) argumenta que com a diminuição dos níveis de poluição surgem questionamentos sobre quando e onde estas mudanças irão permanecer e caso permaneçam, quais serão as implicações sobre os ecossistemas. A autora complementa que, apesar do isolamento social ter resultado na desaceleração do ritmo das pessoas e possibilitar que fossem percebidas estas alterações, questões como a degradação ambiental, o consumo exacerbado e a exploração descontrolada dos recursos, ainda não foram inseridas nestas manifestações.

Levando-se em conta a emergência do SARS-CoV-2, no dia 22/03/2020, foi emitido pelo governo do estado de São Paulo um decreto de suspensão de todas as atividades não essenciais por quarenta dias. Sendo consideradas atividades essenciais aquelas definidas pelo Decreto N° 64.881, de 22 de março de 2020 (SÃO PAULO, 2020a):

1. saúde: hospitais, clínicas, farmácias, lavanderias e serviços de limpeza e hotéis;

2. alimentação: supermercados e congêneres, bem como os serviços de entrega (“delivery”) e “drive thru” de bares, restaurantes e padarias;
3. abastecimento: transportadoras, postos de combustíveis e derivados, armazéns, oficinas de veículos automotores e bancas de jornal;
4. segurança: serviços de segurança privada;
5. comunicação social: meios de comunicação social, inclusive eletrônica, executada por empresas jornalísticas e de radiodifusão sonora e de sons e imagens;
6. demais atividades relacionadas no § 1º do artigo 3º do Decreto federal nº 10.282, de 20 de março de 2020.

O objetivo da suspensão era reduzir a curva de contaminação e propagação do vírus. Apesar de não ser um objetivo do decreto e dos que viriam a ser publicados posteriormente, a limitação das atividades tem como possibilidade a diminuição da emissão de poluentes, uma vez que, fontes emissoras como veículos e indústrias tiveram seus fluxos de atividades modificados.

Deste modo, a presente pesquisa tenciona observar os indicadores de qualidade do ar no município de São Paulo durante a pandemia de COVID-19 e perceber se houve uma relação entre períodos de aumento e queda dessas medidas com as fases de maior ou menor restrição de atividades. Para a análise dos dados é importante ressaltar que apesar de medidas restritivas terem sido aplicadas a partir do dia 22 de março de 2020 no estado, o atual presidente, Jair Bolsonaro, iniciou de maneira concomitante uma campanha contra as medidas de isolamento social e outras recomendações feitas pela OMS, o que parece ter gerado impactos nas taxas de isolamento da população (FREITAS et al., 2020).

1.2 Pergunta orientadora

Levando-se em conta todos os argumentos expostos, a questão orientadora para o desenvolvimento da pesquisa será:

- Existe uma relação entre o cenário pandêmico da COVID-19 e a qualidade do ar no município de São Paulo?

1.3 Hipótese

Propõe-se ainda como hipótese de pesquisa a seguinte:

- Cenários de maior restrição e isolamento social tendem a aumentar a qualidade do ar, em virtude de menor emissão de poluentes.

2 OBJETIVOS

A partir da questão orientadora e da hipótese, lista-se a seguir o objetivo geral desta pesquisa seguido dos objetivos específicos.

2.1 Objetivo geral

Analisar a variação da qualidade do ar do município de São Paulo em relação aos diferentes cenários de maior ou menor restrição de atividades durante a pandemia.

2.1.1 Período de análise

Janeiro de 2019 a março de 2021.

2.2 Objetivo específicos

2.2.1 Objetivo 1

Sistematizar os dados de qualidade do ar do município de São Paulo no período da análise.

2.2.2 Objetivo 2

Identificar as diferentes diretrizes do município em relação às restrições entre 2020 e 2021.

2.2.3 Objetivo 3

Avaliar a correspondência entre a variação da qualidade do ar e os cenários de restrição das atividades no município de São Paulo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

As preocupações com fatores climáticos podem ser observadas desde o século XIX, onde Svante Arrhenius realizou ponderações sobre um possível aumento de temperatura devido a emissões de dióxido de carbono (CO₂) (BARCELLOS et al., 2009). Porém, a expressão solidificada do movimento ambientalista se dá apenas no contexto pós Segunda Guerra Mundial, mais especificamente nas décadas de 1950 e 1960, quando o *ethos* ecológico se manifesta de maneira constante, apesar disso, esta manifestação se dá de maneira gradual (LEIS e D'AMATO, 1998). A partir deste movimento que as questões climáticas entram em pauta, inicialmente não se tratando especificamente de mudanças climáticas, mas ao longo dos anos diversos temas são abordados, como é o caso do aquecimento global (CASAGRANDE, SILVA JUNIOR E MENDONÇA, 2011).

Estas preocupações foram se tornando cada vez mais expressivas, fomentando em 1990 a publicação do primeiro relatório global sobre as mudanças climáticas e a saúde, publicado pela OMS (BARCELLOS et al., 2009). Casagrande, Silva Junior e Mendonça (2011) citam ainda a criação da Convenção do Clima em 1992 e do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC em inglês), pela Organização das Nações Unidas (ONU). Apesar da maior visibilidade que os eventos citados proporcionaram, ainda existe uma corrente negacionista, que rejeita a existência do aquecimento global, e idealiza uma suposta manipulação de dados presentes nos relatórios publicados pelo IPCC (JACOBI, et al. 2011).

Independentemente da vertente negacionista, a pauta continua presente, mesmo que timidamente, nas discussões globais. Nobre (2010), conforme citado por Casagrande, Silva Junior e Mendonça (2011, p. 37), reforça também que as críticas e a tentativa de desacreditar o IPCC é o que impulsiona os negacionistas, uma vez que os argumentos científicos utilizados por estes não possuem força suficiente para questionar verdadeiramente a legitimidade da ciência do clima.

Para além dos eventos cíclicos inerentes ao planeta, as mudanças climáticas estão associadas a processos como o aumento da demanda energética, o aumento populacional, desmatamento, processos de industrialização e ainda o aumento no consumo de recursos naturais (BARCELLOS et al, 2009). Sendo todos esses fatores resultantes e necessários para a manutenção do sistema capitalista global, que idealiza e propaga a lógica de um crescimento contínuo e infinito (FROIS & VITIELLO, 2020). Jacobi et al. (2011, p. 136) ainda expressa que:

A influência da atividade humana sobre o clima é complexa: diz respeito ao que consumimos, ao tipo de energia que produzimos e utilizamos, se vivemos na cidade ou em uma fazenda, em um país rico ou pobre, se somos jovens ou velhos, o que comemos e, até mesmo, tem relação com a igualdade de direitos e oportunidades desfrutadas por mulheres e homens. O efeito das mudanças climáticas dispara as migrações, destrói os meios de sustento, altera as economias, debilita o desenvolvimento e exacerba as desigualdades entre os sexos.

Ademais, é possível observar alterações nos ciclos bioquímicos do carbono (C), fósforo (P) e nitrogênio (N), além do aumento das concentrações de gases do efeito estufa (GEE), sendo todos estes fatores contribuintes para a deterioração da biodiversidade (SILVA et al., 2020). Isto porque, esses ciclos fazem parte dos serviços ecossistêmicos, que por sua vez fornecem o suporte necessário para a vida na biosfera e desempenham um papel crucial na regulação do clima. Regulação esta que por sua vez tem impactos sob a produção de alimentos, nos processos de evapotranspiração, no controle de praga e ainda na depuração de poluentes (ALHO, 2012).

Através da biodiversidade os serviços ecossistêmicos mantêm a sua integridade, serviços estes que fornecem, dentre muitos outros, a proteção natural necessária para que ocorra a atenuação dos processos de transbordamentos, que ocasionam o surgimento de zoonoses (LAYRARGUES, 2020).

O efeito estufa é inerente ao planeta Terra e é a partir dele que foi possível o equilíbrio necessário para o desenvolvimento da vida, apesar disso, o aumento das emissões de GEE por fatores como a queima de combustíveis fósseis e desmatamento, são um dos aspectos responsáveis pelas mudanças climáticas (OLIVEIRA & VECCHIA, 2013). Esta relação se dá pela verificação de um aumento correspondente e concomitante tanto da temperatura quanto da velocidade de derretimento das calotas polares e elevação do nível do mar (SANTOS, 2007).

Ramos et al. (2008) define a poluição atmosférica como sendo resultante da emissão de partículas sólidas ou de gases poluentes na atmosfera. Complementarmente, a Resolução CONAMA N.º 003 de 28 de junho de 1990 em seu Parágrafo Único estabelece que:

Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II - inconveniente ao bem-estar público;

III - danoso aos materiais, à fauna e flora.

IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

A emissão desses poluentes tem impactos adversos principalmente em cidades cujo grau de urbanização e industrialização é alto, uma vez que, a emissão de veículos e atividades

industriais é responsável por grande parte dos compostos encontrados na atmosfera (CASTRO; SILVA; ARAÚJO, 2013). Ainda segundo Castro, Silva e Araújo (2013), poluentes como o ozônio (O₃), monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂), a fumaça e os materiais particulados (MP₁₀ e MP_{2,5}), têm maior importância para a química da baixa troposfera. Além disso, alterações no regime de chuvas, nas taxas de umidade e nas variações de temperatura, alteram as condições de exposição aos poluentes atmosféricos (BARCELLOS et al., 2009).

É importante salientar ainda que o processo de urbanização no Brasil ocorreu de forma intensa e acelerada, deste modo, muitos dos espaços urbanos cresceram de forma desordenada, após os processos de industrialização das áreas rurais através da incorporação de máquinas agrícolas, o movimento de êxodo contribuiu ainda mais para o aumento da densidade populacional, principalmente em áreas de metrópoles (RIBEIRO, 2010). Testa (2015) apresenta um estudo desenvolvido pela Universidade de São Paulo em que foram relacionadas cerca de três mil mortes anuais na Região Metropolitana de São Paulo com a poluição atmosférica. Nesta região os veículos que são movidos a combustíveis fósseis são os maiores responsáveis pela emissão de poluentes, havendo cerca de seis milhões de veículos cadastrados, o que corresponde a 15% de toda a frota nacional (TESTA, 2015).

A exposição à poluição atmosférica a longo prazo tem sido apontada como um dos principais fatores de risco à saúde humana, sendo responsável pelo aumento das taxas de morbidade e mortalidade relacionadas ao câncer de pulmão, doenças respiratórias e cardiovasculares, além da diminuição da expectativa de vida (COHEN, 2017). Deste modo, “o monitoramento da qualidade do ar é uma importante ferramenta de avaliação da poluição em atmosferas urbanas e industriais, principalmente em função dos riscos ao meio ambiente e à saúde apresentados por poluentes” (CASTRO; SILVA; ARAÚJO, 2013, p. 116).

3.1 Poluentes atmosféricos utilizados

Para a realização da presente pesquisa foram utilizados três poluentes como referência, sendo eles, partículas inaláveis finas (MP_{2,5}), ozônio (O₃) e monóxido de carbono (CO). O ozônio não se configura como um poluente primário, ou seja, não é emitido diretamente pela fonte e sim formado através de reações fotoquímicas envolvendo os óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs), configurando-se como um poluente secundário (GUARIEIRO, VASCONCELLOS e SOLCI, 2011).

As partículas finas têm sua fonte em atividades antropogênicas (como a queima de combustíveis fósseis) e naturais, e são capazes de provocar efeitos adversos nos sistemas respiratório e cardiovascular, conseguindo ainda transpassar a região alveolar dos pulmões, possuindo maior toxicidade do que as partículas grossas (CASTRO; SILVA; ARAÚJO, 2013). Traversi et al. (2009 apud SIOUTAS et al., 2005) cita, além da diminuição da capacidade respiratória, a associação de efeitos cancerígenos a este poluente.

Segundo dados da CETESB (2020), o O_3 é formado quando ocorrem reações fotoquímicas na atmosfera que dependem de diversos fatores, entre eles, a radiação solar. Assim, as maiores concentrações do poluente têm maior frequência no intervalo entre setembro e março (meses de primavera e verão, sendo verificado os maiores valores em períodos de transição entre seca e chuva) e menor entre os meses de maio a julho. Ademais, um estudo realizado na Califórnia, EUA, foi capaz de realizar ligações entre a exposição a este poluente e a ocorrência de asma, o que não pode ser observado entre outros poluentes (CANÇADO, 2006).

As principais fontes emissoras de CO são veículos leves, em especial aqueles movidos a gasolina, correspondendo à 34% das emissões totais (CETESB, 2020). O poluente possui maior afinidade pela hemoglobina do que o oxigênio, o que conseqüentemente possibilita que uma pequena quantidade de CO possa saturar uma grande quantidade de moléculas de hemoglobina, o que por sua vez acarreta a diminuição da capacidade de transporte de oxigênio através do sangue (CANÇADO, 2006).

A escolha destes três poluentes é justificada pelo fato de causarem impactos tanto à saúde humana e animal quanto ao meio ambiente, sendo o O_3 considerado um GEE. Quanto ao CO, apesar de não ser considerado um GEE diretamente, não se ignora a influência deste gás nas dinâmicas atmosféricas. Isto porque, a oxidação do monóxido de carbono propicia o aumento dos números de moléculas de dióxido de carbono na atmosfera e de ozônio na troposfera, ambos considerados GEE (BADR; PROBERT, 1995).

Tratando-se das partículas inaláveis finas, diversos estudos sugerem impactos significativos das mudanças climáticas no aumento das medidas deste poluente (apesar disso, ainda há muitas incertezas a respeito desta relação), este aumento por sua vez sugere o crescimento dos índices de mortalidade prematura devido ao câncer de pulmão e doenças cardiorrespiratórias (PARK, ALLEN e LIM, 2020).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Pressupostos metodológicos

O método científico trata-se de um conjunto de processos ou técnicas os quais o pesquisador utiliza com o objetivo de obter conhecimento a respeito das questões que se busca compreender e resolver (SANTOS & PARRA FILHO, 2012). Para a realização da presente pesquisa optou-se pela abordagem quantitativa, apesar de, em alguns momentos haver sido utilizada a abordagem qualitativa. A pesquisa quantitativa, como o nome sugere, procura validar ou invalidar as hipóteses apresentadas a partir da quantificação, tanto na coleta quanto no tratamento dos dados (DE OLIVEIRA, 2011). Cauchick (2010) citando Bryman, aponta que os focos desta abordagem estão na mensurabilidade (possui papel fundamental no desenvolvimento da pesquisa, uma vez que testa as hipóteses), replicação (permite que outros pesquisadores desenvolvam a pesquisa e encontrem novos resultados), causalidade (explica a relação entre causa e efeito) e generalização (possibilita que os resultados encontrados possam ser generalizados para além da pesquisa).

Em contrapartida, a adoção da abordagem qualitativa busca não somente compreender o fenômeno, mas também a sua essência e origem, além de possíveis consequências, envolvendo então dados de teor predominantemente descritivos (DE OLIVEIRA, 2011). Esta abordagem busca compreender o meio em que a problemática está inserida, através da tradução, interpretação e descrição das variáveis (CAUCHICK, 2010).

4.2 Área de estudo

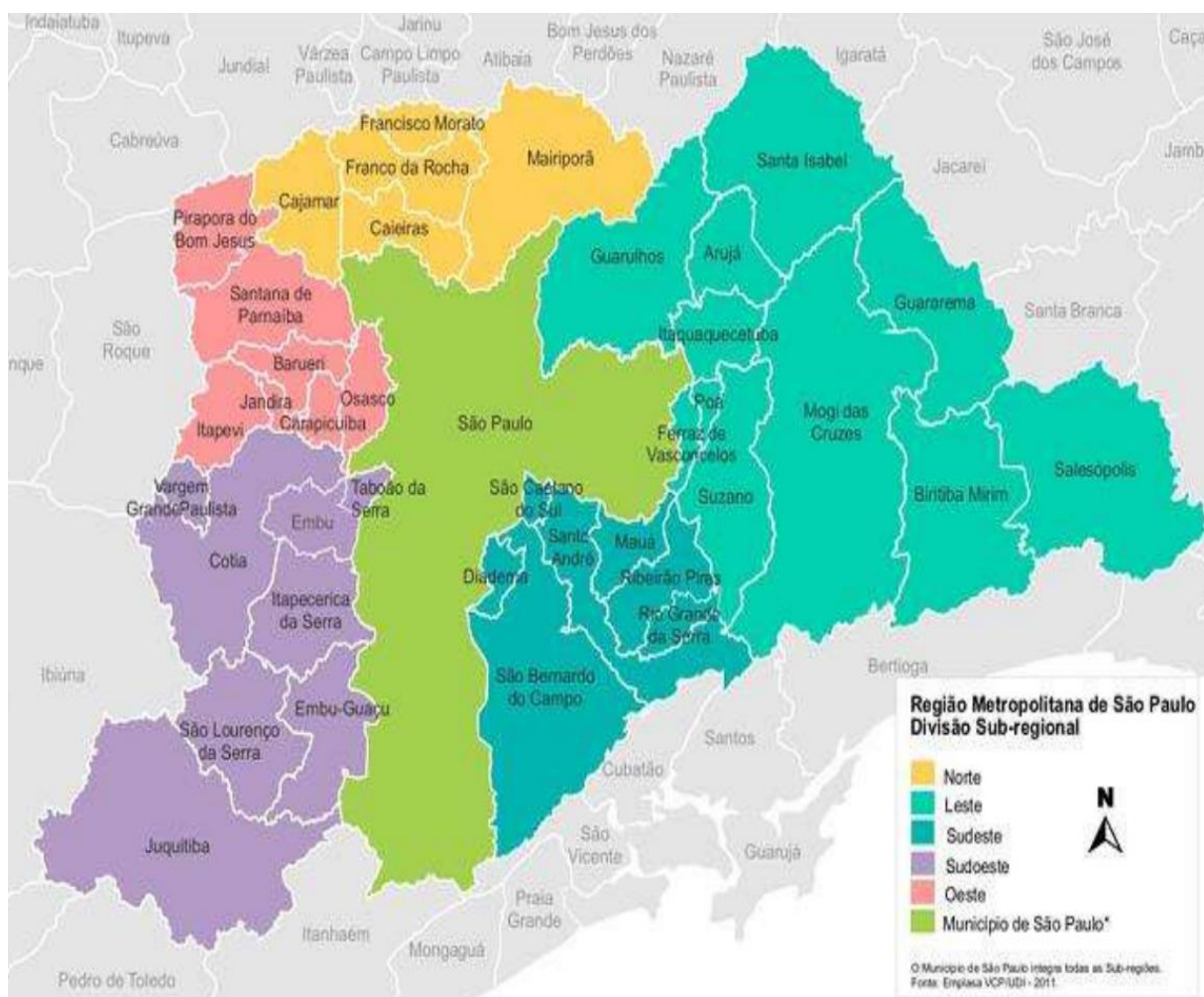
Segundo dados disponíveis na Biblioteca Virtual do Governo de São Paulo (2020), o estado é composto por 645 municípios em uma área de 248.209,3 km². Possui uma população estimada de 43.359.005 habitantes, sendo a capital homônima considerada a cidade mais populosa do estado com cerca de 11.914.851 habitantes.

A Região Metropolitana de São Paulo é composta por 39 municípios e possui uma população de 20.284.891 habitantes e é o principal centro financeiro da América Latina, além de ser responsável por 56,5% de todo o PIB (Produto Interno Bruto) do estado. A região tem uma área de cerca de 8.000 km² e a sua condição geográfica acidentada juntamente com a sua

proximidade ao Oceano Atlântico tem fortes influências sobre o padrão de circulação local do ar atmosférico (TESTA, 2015).

A **Figura 1** apresenta as divisões subdivisões que foram adotadas pelo Plano São Paulo na definição das medidas de restrições de atividades.

Figura 1 — Divisões Região Metropolitana de São Paulo



Fonte: Plano São Paulo (2020).

4.3 Coleta de dados

Para realizar o levantamento de dados referentes a concentração dos poluentes selecionados foram utilizados dados disponibilizados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo através do sistema QUALAR. O sistema está disponível no sítio eletrônico <<https://qualar.cetesb.sp.gov.br/qualar/home.do>> e possui acesso gratuito mediante cadastro.

Fazendo uso dos dados fornecidos pelo sistema foram gerados gráficos para cada um dos poluentes (CO, MP_{2,5} e O₃) para a estação de rede automática Ibirapuera, no município de São Paulo. Foram gerados também gráficos referentes a temperatura e precipitação, através do Banco de Dados Meteorológicos do INMET, disponível no sítio eletrônico <<https://bdmep.inmet.gov.br/#>> que possui acesso gratuito, necessitando apenas de um *e-mail* válido para que os dados sejam enviados. Para a temperatura e precipitação, adotou-se como referência a estação de Interlagos, uma vez que, dentro do banco de dados não há a estação do Ibirapuera e o sistema QUALAR não possui os dados referentes a este parâmetro nesta estação.

A obtenção dos dados através do QUALAR deu-se através dos comandos “relatórios” e “valores diários”. A partir destes comandos selecionou-se o parâmetro e a estação desejada, além da definição do período, sendo este compreendido de 01/01/2020 a 31/03/2021 (período que permite cruzar os dados de restrições de atividades ao fenômeno da pandemia) e 01/01/2019 a 31/12/2019 (período sem a pandemia, que permite comparar as medidas dos poluentes escolhidos). Quanto ao Banco de Dados do INMET, a obtenção ocorreu através da seleção do tipo de dados (diários), tipo de estação (automáticas), variáveis (média diária de precipitação e temperatura), além do período, que foram os mesmos utilizado no QUALAR.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Fases e restrições

A demarcação das fases de restrição (verde, amarela, laranja e vermelha, sendo a verde a fase com menores restrições e a vermelha com maiores restrições) de atividades em decorrência da tentativa de contenção do avanço da Covid-19, durante o período analisado, se deu através dos decretos emitidos pelo governo de São Paulo, disponíveis em ordem cronológica no sítio eletrônico <<https://www.saopaulo.sp.gov.br/coronavirus/quarentena/>> e dos balanços do Plano São Paulo, publicados no sítio eletrônico <<https://www.saopaulo.sp.gov.br/planosp/>>. Embora as fases de restrição divididas em cores tenham iniciado em 10 de Junho de 2020, medidas restritivas foram iniciadas em 24 de março de 2020. O **Quadro 1**, apresenta a compilação dos dados de ambas as fontes.

Quadro 1 — Cronograma das fases de restrição

Data	O que ocorre	Válido a partir de	Fase
22/03/2020	Apenas serviços essenciais, por 40 dias	24/03/2020	
06/04/2020	Apenas serviços essenciais, por 15 dias	06/04/2020	
17/04/2020	Apenas serviços essenciais	23/04/2020	
23/04/2020	Apenas serviços essenciais + uso de máscaras	23/04/2020	
27/04/2020	Apenas serviços essenciais + uso de máscaras	01/05/2020	
08/05/2020	Apenas serviços essenciais + uso de máscaras	11/05/2020	
13/05/2020	Serviços essenciais + consumo em restaurantes e afins	13/05/2020	
19/05/2020	Suspensão de expedientes em repartições públicas de caráter não essencial	19/05/2020	
28/05/2020	Apenas serviços essenciais	01/06/2020	
10/06/2020	Apenas serviços essenciais	16/06/2020	Laranja

26/06/2020	Apenas serviços essenciais	29/06/2020	Amarela
03/07/2020	Flexibilização dos setores de acordo com as fases de cada localidade	06/07/2020	Amarela
10/07/2020	Apenas serviços essenciais	15/07/2020	Amarela
24/07/2020	Apenas serviços essenciais	31/07/2020	Amarela
07/08/2020	Apenas serviços essenciais	11/08/2020	Amarela
21/08/2020	Apenas serviços essenciais	24/08/2020	Amarela
04/09/2020	Apenas serviços essenciais	07/09/2020	Amarela
18/09/2020	Apenas serviços essenciais	20/09/2020	Amarela
09/10/2020	Apenas serviços essenciais	10/10/2020	Verde
30/11/2020	Altera a base de cálculo para determinação das fases	30/11/2020	Amarela
30/12/2020	Apenas serviços essenciais	05/01/2021	Amarela
08/01/2021	Altera a base de cálculo para determinação das fases	08/01/2021	Amarela
22/01/2021	Vedada, até o dia 8 de fevereiro de 2021, a classificação de qualquer área do território do Estado na fase amarela ou verde	22/01/2021	Laranja
05/02/2021	Apenas serviços essenciais	08/02/2021	Amarela
19/02/2021	Consumo local de bebidas alcólicas limitado até as 20h nas fases vermelha e laranja	19/02/2021	Amarela
03/03/2021	Institui todo o território de São Paulo na fase vermelha, sugestão de circulação diminuída de pessoas das 20 às 5, exceto em caso de atividades essenciais	03/03/2021	Vermelha
11/03/2021	São vetados o atendimento presencial, atividades religiosas coletivas, eventos esportivos, concentração em espaços públicos. Na região metropolitana é recomendada a troca de turno entre setores	15/03/2021	Vermelha
26/03/2021	Apenas serviços essenciais da Administração Pública estadual, todo o território de São Paulo em fase vermelha	26/03/2021	Vermelha

Fonte: Elaboração da autora (2021).

Cada uma das fases possui especificações próprias que estão definidas no artigo 1º do Decreto nº 65.044, de 3 de julho de 2020 e são apresentadas no **Quadro 2**.

Quadro 2 — Restrições em cada fase

Atividades com atendimento presencial	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
"Shopping center", galerias e estabelecimentos congêneres	x	Capacidade 20% limitada Horário reduzido: 4 horas seguidas em todos os dias da semana ou 6 horas seguidas em 4 dias da semana, desde que suspenso o atendimento presencial nos demais 3 dias Proibição de praças de alimentação Adoção dos protocolos padrões e setoriais específicos	Capacidade 40% limitada Horário reduzido (6 horas) Praças de alimentação: (ao ar livre ou em áreas arejadas) Adoção dos protocolos gerais e setoriais específicos	Capacidade 60% limitada Adoção dos protocolos gerais e setoriais específicos
Comércio	x	Capacidade 20% limitada Horário reduzido: 4 horas seguidas em todos os dias da semana ou 6 horas seguidas em 4 dias da semana, desde que suspenso o atendimento presencial nos demais 3 dias Adoção dos protocolos padrões e setoriais específicos	Capacidade 40% limitada Horário reduzido (6 horas) Adoção dos protocolos gerais e setoriais específicos	Capacidade 60% limitada Adoção dos protocolos gerais e setoriais específicos
Serviços	x	Capacidade 20% limitada Horário reduzido: 4 horas seguidas em todos os dias da semana ou 6 horas seguidas em 4 dias da semana, desde que suspenso o atendimento presencial nos demais 3 dias	Capacidade 40% limitada Horário reduzido (6 horas) Adoção dos protocolos gerais e setoriais específicos	Capacidade 60% limitada Adoção dos protocolos gerais e setoriais específicos

		Adoção dos protocolos padrões e setoriais específicos		
Consumo local (Bares, restaurantes e similares)	x	x	Somente ao ar livre ou em áreas arejadas Capacidade 40% limitada Horário reduzido (6 horas) Atendimento presencial apenas após às 6h da manhã e antes das 17h Adoção dos protocolos gerais e setoriais específicos	Capacidade 60% limitada Adoção dos protocolos gerais e setoriais específicos
Salões de beleza e barbearias	x	x	Capacidade 40% limitada Horário reduzido (6 horas) Adoção dos protocolos gerais e setoriais específicos	Capacidade 60% limitada Adoção dos protocolos gerais e setoriais específicos
Academias de esporte de todas as modalidades e centros de ginástica	x	x	Capacidade 30% limitada Horário reduzido (6 horas) Agendamento prévio com hora marcada Permissão de aulas e práticas individuais, mantendo-se as aulas e práticas em grupos suspensas Adoção dos protocolos gerais e setoriais específicos	Capacidade 60% limitada Adoção dos protocolos gerais e setoriais específicos

Eventos, convenções e atividades culturais	x	x	Classificação na fase no período anterior de, pelo menos, 28 dias consecutivos Capacidade 40% limitada Horário reduzido (6 horas) Obrigação de controle de acesso, vendas apenas online, hora marcada e assentos marcados Assentos e filas respeitando distanciamento mínimo Proibição de atividades com o público em pé Adoção dos protocolos gerais e setoriais específicos	
Demais atividades que geram aglomeração	x	x	x	x

Fonte: Adaptado de São PAULO (2020).

A demarcação de fases se deu através das medidas determinadas pelo Plano São Paulo e em períodos anteriores à criação deste, foram utilizadas como referência decretos emitidos no Diário Oficial. O **Quadro 3** apresenta cada uma das fases e a qual período cada uma delas compreendem.

Quadro 3 — Demarcação das fases

Fase	Cor	Período
A	Verde	01/01/2020 a 23/03/2020
B	Vermelha	24/03/2020 a 12/05/2020
C	Laranja	13/05/2020 a 31/05/2020
D	Vermelha	01/06/2020 a 02/06/2020

E	Laranja	03/06/2020 a 25/06/2020
F	Amarela	26/06/2020 a 08/10/2020
G	Verde	09/10/2020 a 29/11/2020
H	Amarela	30/11/2020 a 21/01/2021
I	Laranja	22/01/2021 a 04/02/2021
J	Amarela	05/02/2021 a 25/02/2021
K	Laranja	26/02/2021 a 02/03/2021
L	Vermelha	03/03/2020 a 30/03/2021

Fonte: Elaboração da autora (2021).

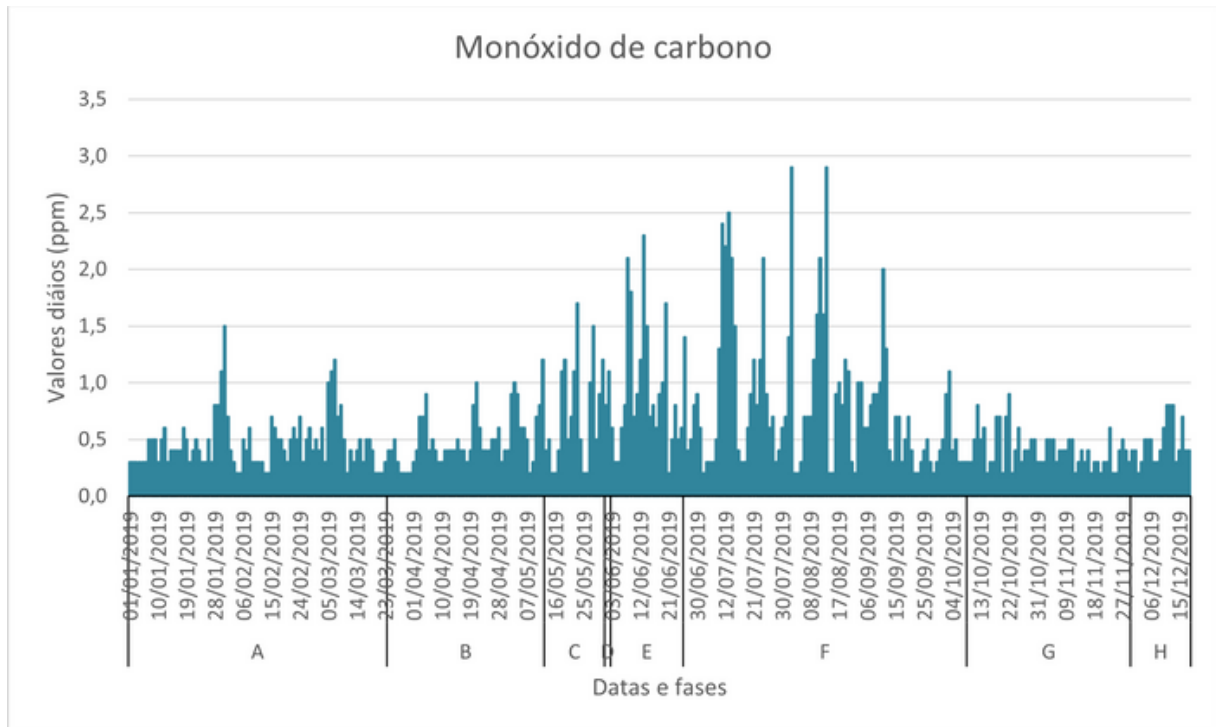
5.2 Parâmetros utilizados

Para facilitar a comparação entre o período sem pandemia e o período com pandemia, inserimos no ano de 2019 o período das fases restritivas que ocorreram nos anos de 2020 e 2021. Como o período pandêmico analisado é maior que um ano, o ano de 2019 conteve apenas as fases que vão de A a H.

5.2.1 Monóxido de carbono

A seguir, apresenta-se os resultados dos dados coletados do sistema QUALAR, sendo respectivamente a **Figura 2** relativa às medidas de CO no período de 2019 e a **Figura 3** às medidas de CO no período de 2020 a 2021.

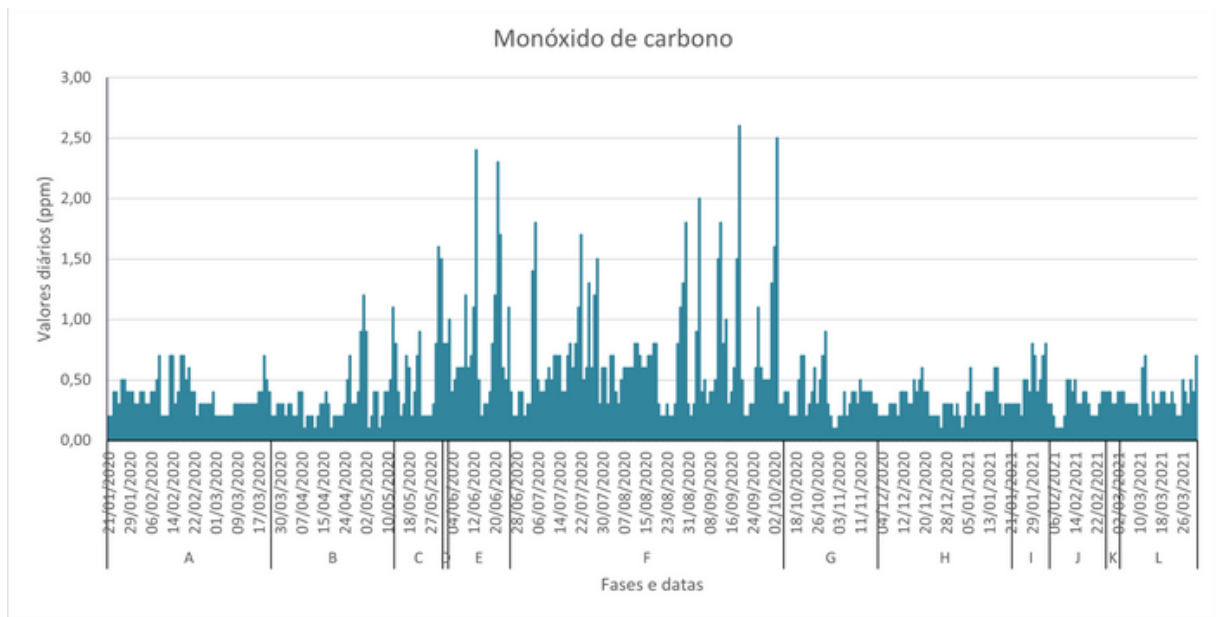
Figura 2 — Medidas de CO em 2019 (estação Ibirapuera)



Fonte: Elaboração da autora (2021).

No período considerado anterior a pandemia de COVID 19, o valor mínimo diário foi de 0,2 ppm e o valor máximo foi de 2,9 ppm. Possuindo ainda uma média aritmética diária de 0,6 ppm. Já no período considerado pandêmico, o valor mínimo diário foi de 0,1 e o valor máximo de 2,6 ppm. Possuindo uma média diária de 0,5 ppm. Além disso, os momentos de pico dos valores do parâmetro se mantêm entre as fases E e F em ambos os casos, o que aponta para o fato de que as medidas não tenham influenciado fortemente os padrões de emissão do poluente. Não obstante, ambos os períodos analisados obtiveram apenas sinalizações de qualidade do ar boa, podendo estas sinalizações variarem entre boa, moderada, ruim e muito ruim. Deste modo, fatores como a temperatura e precipitação podem possibilitar um melhor entendimento das variações dos parâmetros.

Figura 3 — Medidas de CO em 2020-2021 (estação Ibirapuera)

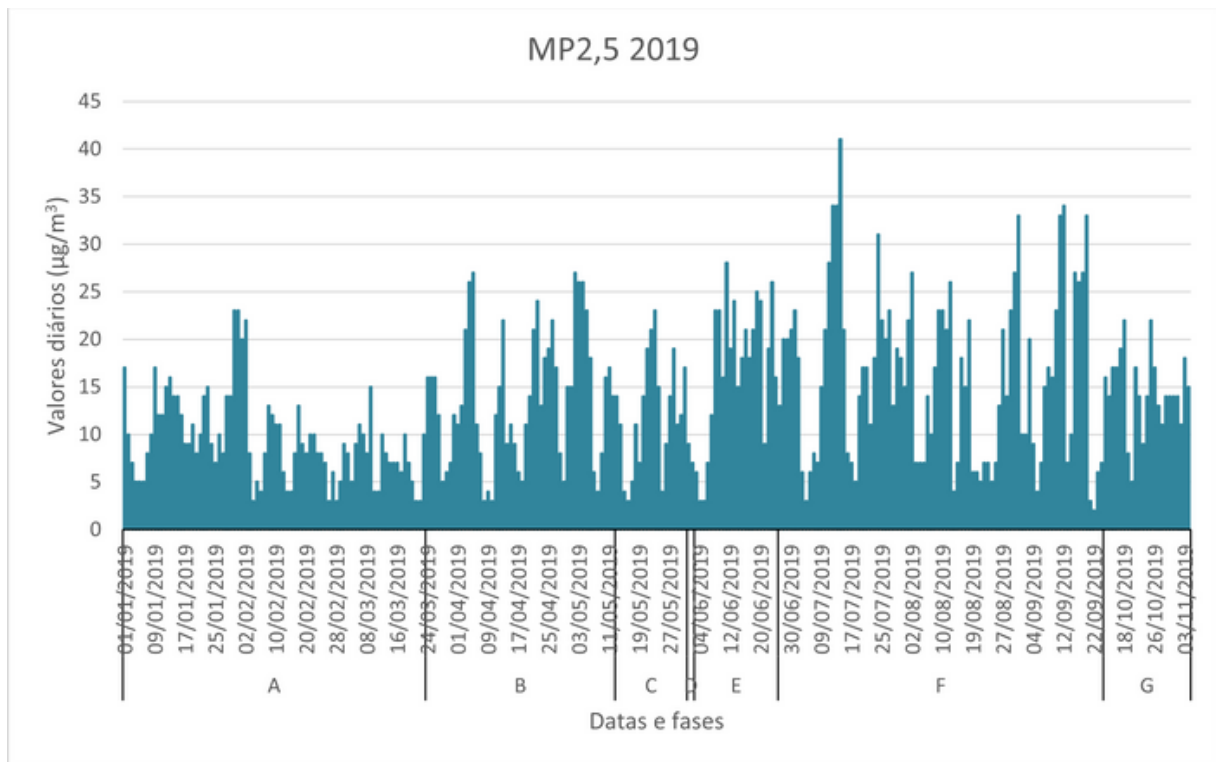


Fonte: Elaboração da autora (2021).

De Fatima Andrade et al. (2017) aponta ainda que através de iniciativas governamentais, vários programas vêm conseguindo êxito na redução de poluentes através de fontes móveis e estacionárias. No caso do monóxido de carbono, essa redução se deu em todas as dez estações avaliadas no período entre 1996 e 2009. Reforça ainda mais o fato de que o sutil decaimento nos valores de CO em 2020 e 2021 não está relacionado necessariamente a fatores de isolamento social e restrição de atividades.

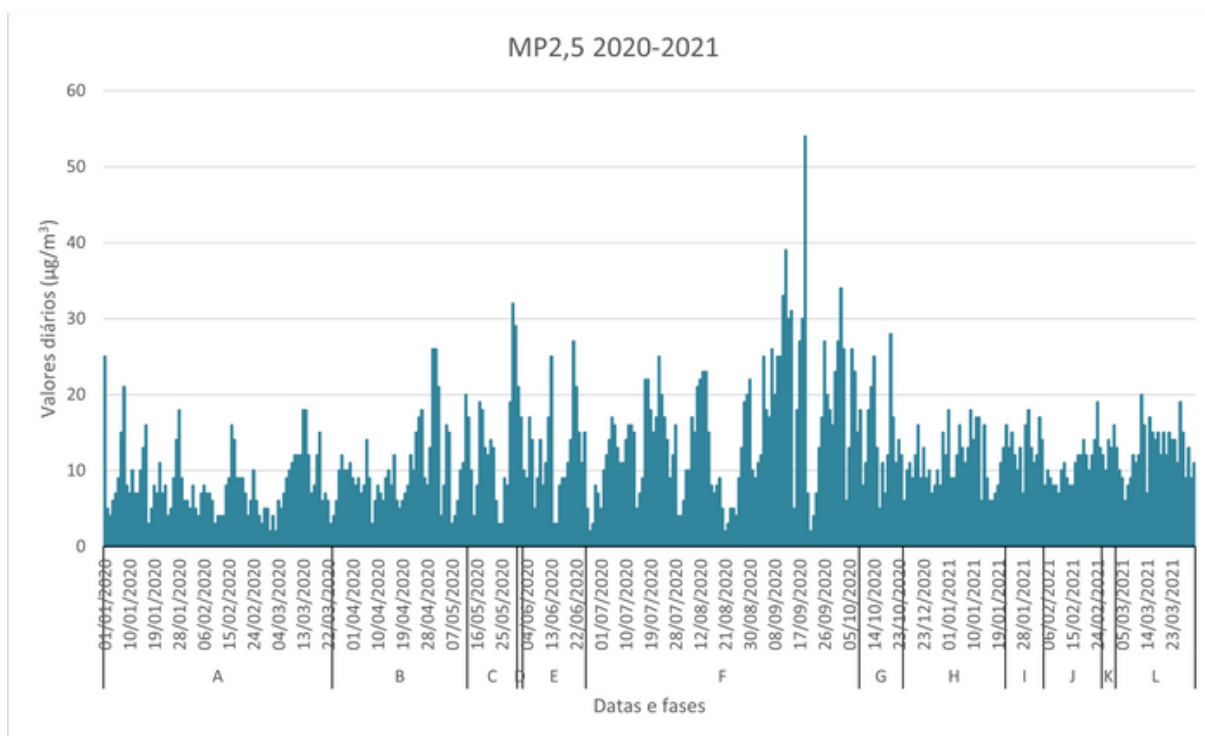
5.2.2 Partículas inaláveis finas

A **Figura 4** e **Figura 5**, apresentadas a seguir representam os dados referentes às medidas diárias de MP_{2,5} na estação Ibirapuera, sendo a primeira referente ao ano de 2019 e a segunda referente ao período de 2020 a 2021.

Figura 4 — Medidas de MP_{2,5} em 2019 (estação Ibirapuera)

Fonte: Elaboração da autora (2021).

Em 2019, período sem nenhum tipo de restrição de atividades e mobilidade, o valor mínimo diário de MP_{2,5} foi de 2 µg/m³ e o valor máximo foi de 41 µg/m³, e uma média diária de 13 µg/m³. Além disso, apresentou 22 sinalizações para qualidade do ar moderada. No período entre 2020 e 2021 o valor mínimo se manteve e o máximo subiu para 54 µg/m³. A média diária por sua vez, apesar do aumento no valor máximo, decaiu para 12 µg/m³. Também houve 18 sinalizações para qualidade do ar moderada e 1 sinalização para ruim. É importante ressaltar que os dados referentes a 2019 apresentavam dias em que não ocorreram as classificações da qualidade do ar.

Figura 5 — Medidas de MP_{2,5} em 2020-2021 (estação Ibirapuera)

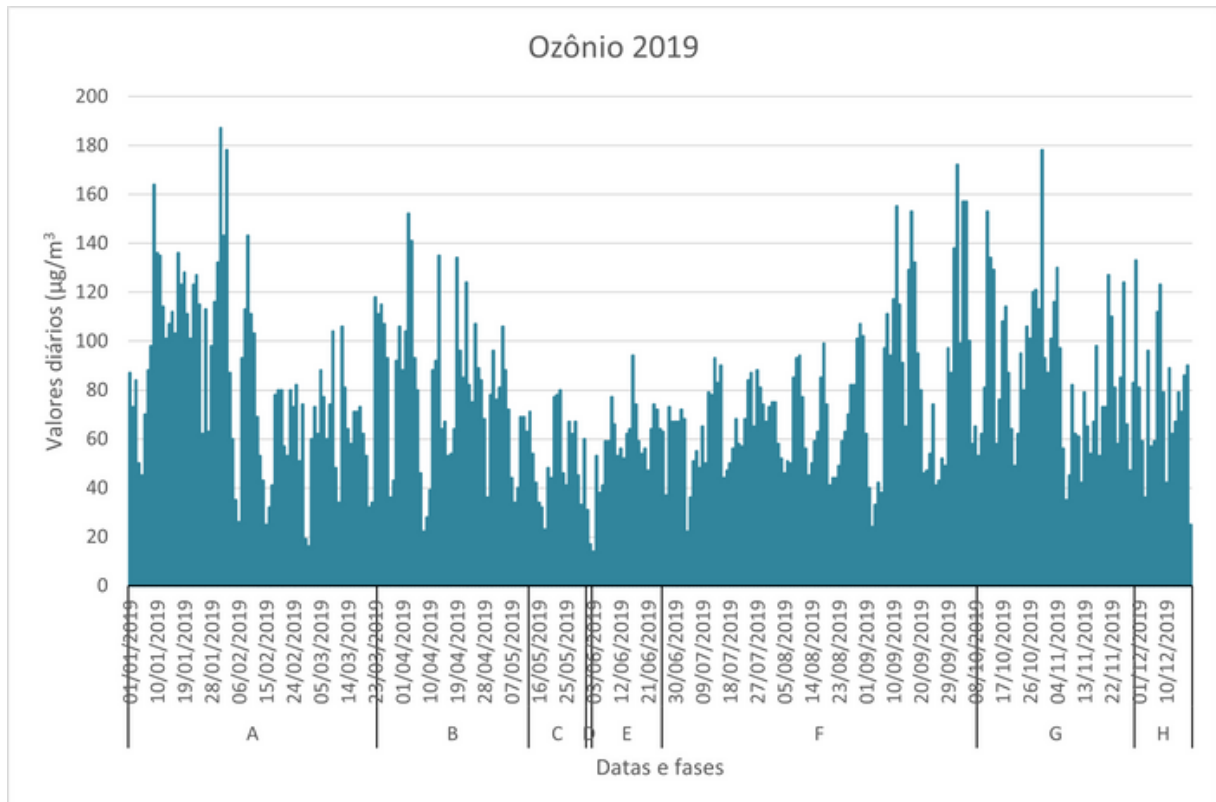
Fonte: Elaboração da autora (2021).

Assim como nos gráficos de CO, o que se pode perceber é que os maiores valores estão presentes na fase F, uma fase que é caracterizada por medidas não tão restritivas, apesar de no período anterior à pandemia o pico se dar mais próximo a fase E e no próximo a fase G. Uma possível explicação para essa diferença de posição entre os picos é a de que, em 2020 a fase G possuía maior nível de flexibilização das atividades (verde), sendo que a fase E possuía maiores restrições (laranja) e portanto apresentaria um menor número de emissões, mesmo que de forma branda. Nakada e Urban (2020) expõem ainda que a redução das concentrações dos poluentes em São Paulo não tem grande influência das alterações nas condições de dispersão. Os autores apontam ainda o fato de o MP_{2,5}, assim como o CO, vem apresentando uma tendência de redução nas suas concentrações. Por ser um poluente tanto primário, quanto secundário, a explicação desta tendência pode se dar através da análise de outros poluentes, como NO_x, que não foi utilizado nesta pesquisa e ainda, da precipitação e temperatura, que serão abordadas nas seções seguintes desta pesquisa.

5.2.3 Ozônio

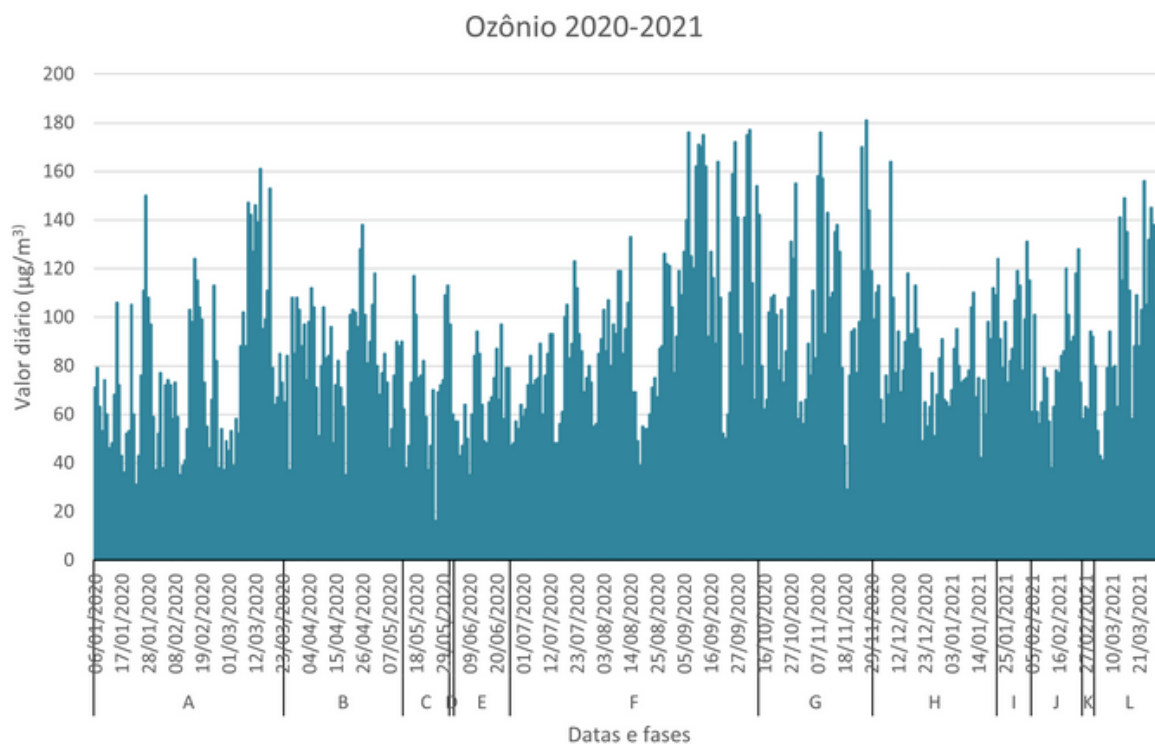
Os gráficos da **Figura 6** e da **Figura 7** representam respectivamente os valores diários de O₃ em 2019 e no período de 2020 a 2021. Sendo aplicado para estes as mesmas marcações utilizadas nos dois outros poluentes utilizados.

Figura 6 — Medidas de O₃ em 2019 (estação Ibirapuera)



Fonte: Elaboração da autora (2021).

O menor valor diário que o O₃ apresenta durante período de 2019 é de 14 µg/m³ e o maior valor diário é de 187 µg/m³, além de uma média diária de 77 µg/m³. Ademais, no período entre 2020 e 2021 estes valores passam a ser de 16 µg/m³ para o mínimo, de 181 µg/m³ para o máximo e de 87 µg/m³ para a média. Durante o período de 2020 a 2021, a avaliação da qualidade do ar através do ozônio obteve 30 sinalizações como ruim e 14 como muito ruim. Em contrapartida, no ano de 2019 foram 19 sinalizações como ruim e 5 como muito ruim. Mostrando assim um grande decaimento na qualidade do ar, em decorrência do aumento nas concentrações de ozônio.

Figura 7 — Medidas de O₃ em 2020-2021 (estação Ibirapuera)

Fonte: Elaboração autora (2021).

Os maiores valores diários de O₃ em 2019 ocorreram na fase A, já entre 2020 e 2021 esses valores ocorreram durante as fases F e G. Apesar dessa diferença, as médias mensais, com exceção de janeiro, foram maiores no período considerado pandêmico, como pode ser observado na **Tabela 1**. Deste modo, exibindo comportamento similar ao que ocorreu na Espanha e Índia, onde houve um aumento de 57,7% e 17% nos níveis de O₃ dos respectivos países (NAKADA & URBAN, 2020). Apesar disso, a estação do Ibirapuera havia demonstrado um declínio dos níveis entre os anos 1966 e 2006 (DE FATIMA ANDRADE, 2017).

Tabela 1 — Médias mensais O₃ em µg /m³ (estação Interlagos)

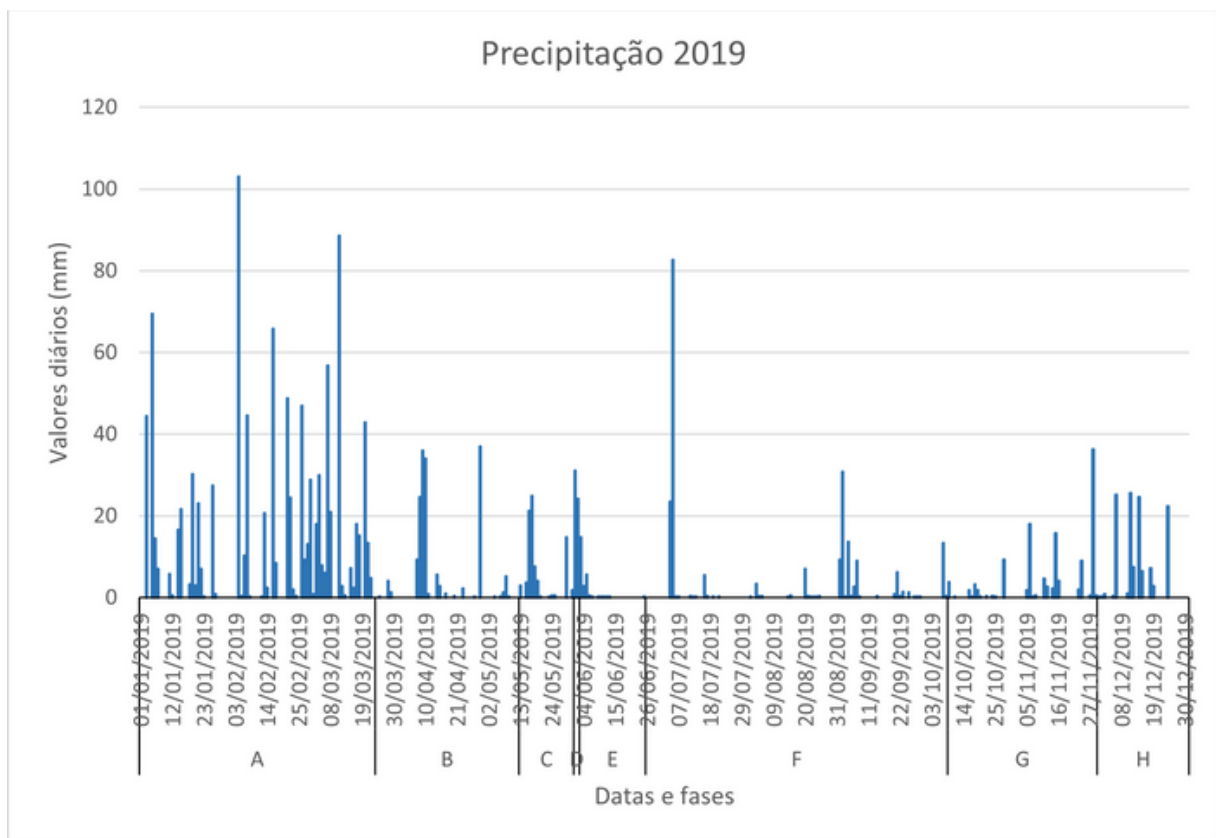
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2019	58	40	38	43	32	29	34	41	46	63	49	44
2020	39	41	58	59	44	37	47	51	74	66	66	52
2021	53	48	55									

Fonte: Elaboração da autora (2021).

5.2.4 Precipitação e temperatura

A precipitação, assim como umidade, temperatura e direção do vento tem impactos diretos sobre a qualidade do ar, uma vez que atuam em conjunto favorecendo ou não a concentração e dispersão de poluentes (VIANNA et al., 2009). A **Figura 8** apresenta o gráfico de precipitação diária na estação de Interlagos no ano de 2019 e a **Figura 9** o do período de 2020 a 2021.

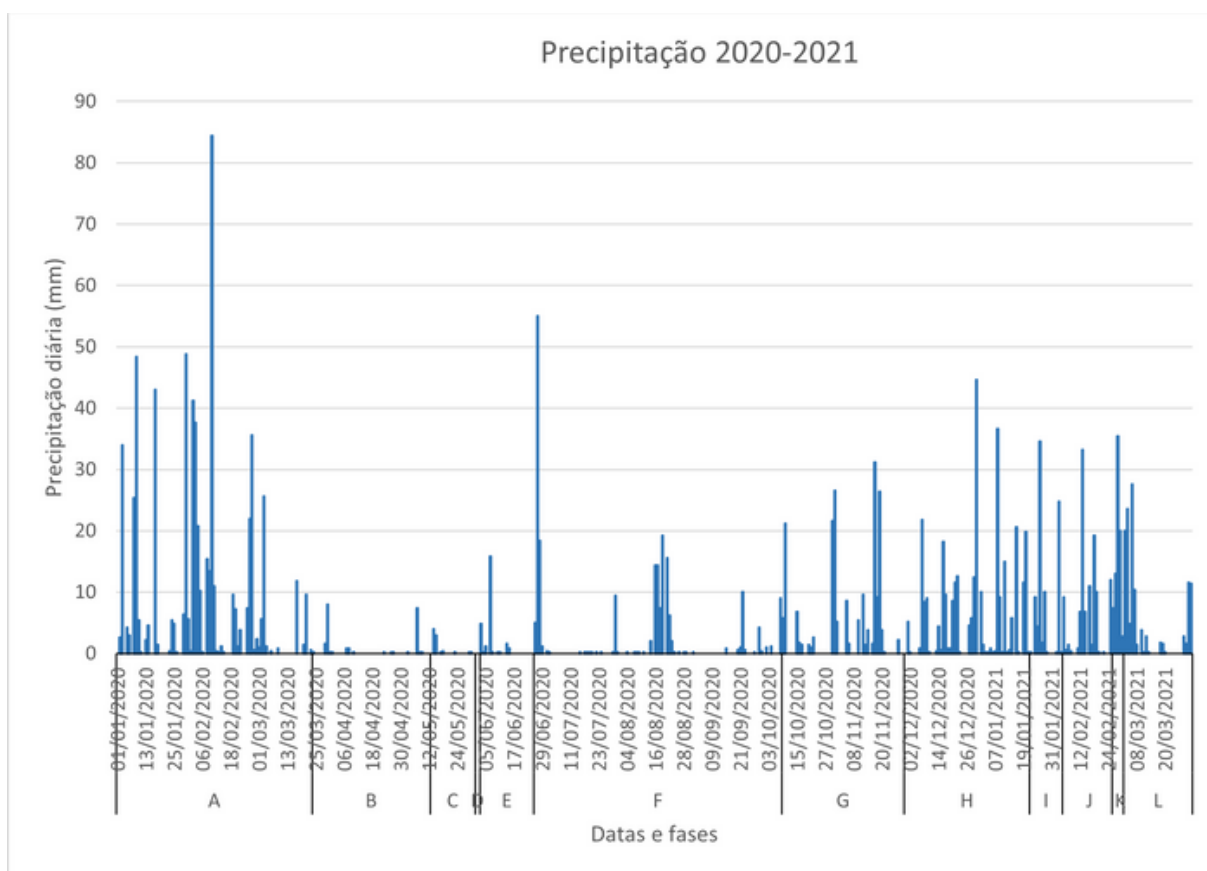
Figura 8 — Precipitação diária 2019 em mm (estação Interlagos)



Fonte: Elaboração da autora (2021).

Ambos os períodos analisados possuem os maiores volumes de precipitação na fase A, entretanto, os valores totais de precipitação são menores no período pandêmico. E apesar de não possuir as maiores medidas de todo o período, no mês de abril, que compreende as fases B e C, enquanto verifica-se uma diminuição das medidas de O_3 , pode-se observar um aumento das medidas de CO e de $MP_{2.5}$. Este aumento por sua vez pode estar relacionado ao fato de abril possuir a menor precipitação total entre os meses analisados, favorecendo deste modo a concentração dos poluentes na atmosfera.

Figura 9 — Precipitação diária 2020-2021 em mm (estação Interlagos)



Fonte: Elaboração da autora (2021).

Ressalta-se ainda que, apesar da precipitação total ter sido maior em 2019, nos meses de agosto, outubro, novembro e dezembro de 2020 os valores das precipitações totais superaram os de 2019 para o mesmo período, como demonstra a **Tabela 2**.

Este comportamento pode explicar a melhoria da qualidade do ar nestes meses durante o período pandêmico, uma vez que, seguindo a hipótese das restrições, esperava-se o contrário, já que neste intervalo foram adotadas medidas menos restritivas.

Tabela 2 — Precipitação total mensal (estação Interlagos)

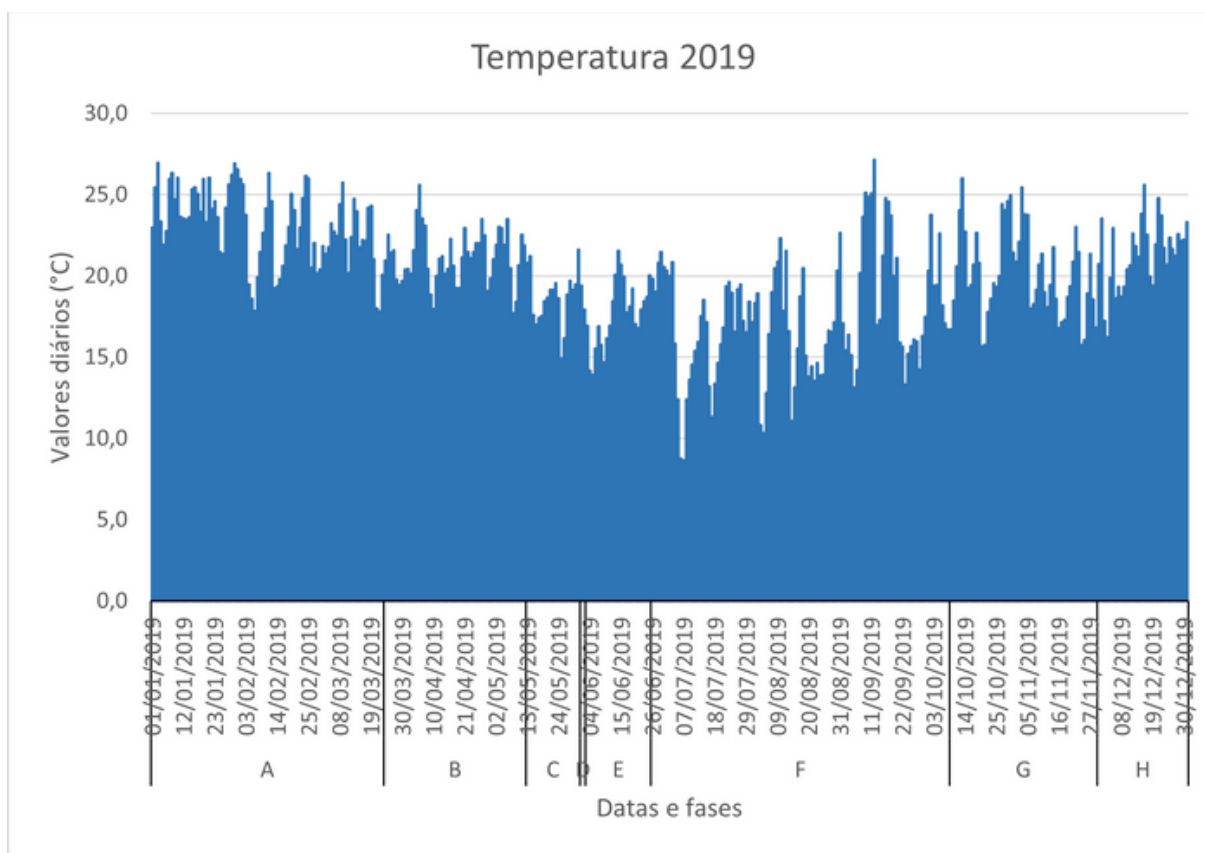
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2019	274,6	400,6	370,4	153,8	89,4	80,4	113,4	13,6	77	35,2	98,4	124
2020	246	326,4	68	2,6	16,2	104,6	11,8	83	18	101,4	110,2	180,8
2021	193,6	194,2	148,6									

Fonte: Elaboração da autora (2021) baseado no Banco de Dados Meteorológicos do INMET.

Em relação à temperatura, maiores valores desse parâmetro tornam as condições meteorológicas mais favoráveis à formação do O_3 (CETESB, 2020). Altas temperaturas também estão associadas ao aumento no número de partículas na atmosfera e as baixas temperaturas ao aumento da saturação do ar (JAMRISKA et al., 2008).

A **Figura 10** e a **Figura 11** apresentam, respectivamente os valores diários de temperatura do ano de 2019 e do período entre 2020 e 2021.

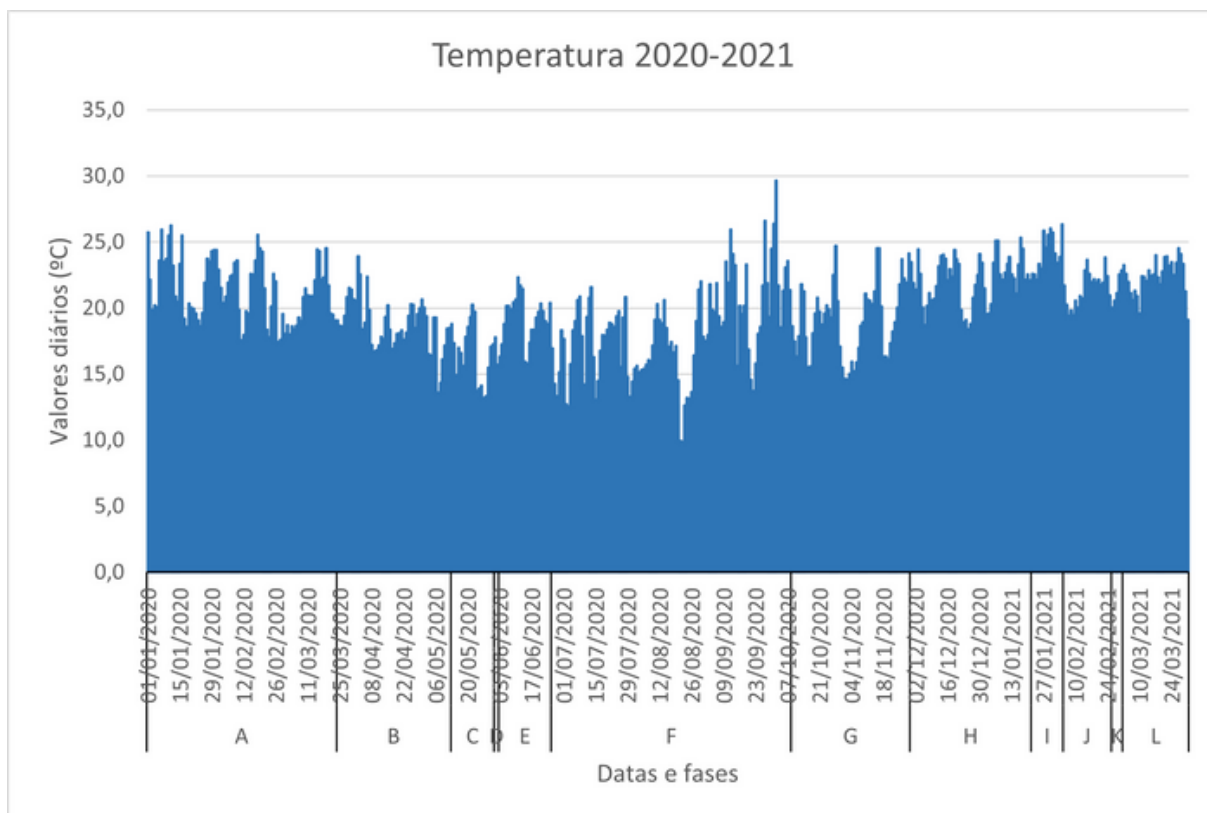
Figura 10 — Temperatura diária 2019 (estação Interlagos)



Fonte: Elaboração da autora (2021).

Nos dois gráficos, observa-se que há na fase F um período de maior queda nas temperaturas, que também coincide com a diminuição de O_3 , também na fase F. Além disso, nesta mesma fase em 2020 há o pico tanto da temperatura, quanto do O_3 . E apesar de o pico em 2019 não ocorrer nesta fase, ainda assim há um aumento considerável nas concentrações.

Figura 11 — Temperatura diária 2020-2021 (estação Interlagos)



Fonte: Elaboração da autora (2021).

Para o CO e MP_{2,5} estas relações não se apresentam de forma tão clara, sendo então a pluviosidade um parâmetro de maior relevância para o presente estudo. Este fato reafirma o apontamento feito por Freitas et al. (2020), onde afirma que o aumento destes dois poluentes não pode ser explicado apenas através das condições meteorológicas, havendo a necessidade de avaliar outras variáveis, como por exemplo o tráfego, principalmente de veículos leves, já que estes estão relacionados tanto com a emissão de MP_{2,5} quanto de CO.

5.3 Estudos similares

No último ano e neste, muitos estudos foram propostos para se avaliar a qualidade do ar em diferentes países e cidades, como por exemplo, Rahman et al. (2021) em Daca (Bangladesh), Chauhan & Singh (2020) em Dubai e Nova Iorque, Wang et al. (2020) na China, Freitas et al. (2020) em São Paulo e Dantas et al. (2020) no Rio de Janeiro. Cada um destes estudos apresenta métodos e parâmetros diferentes para a análise da qualidade do ar, sendo o O_3 e $MP_{2,5}$ frequentes em todos, seja em conjunto ou individualmente.

De um modo geral, os estudos citados apresentam de forma quase unânime a aplicação de modelagens estatísticas variadas com o intuito de prever de que modo a COVID-19 influenciaria os índices de qualidade do ar. E avaliam a qualidade do ar durante os primeiros meses de pandemia, sendo maio o mês limite entre as análises.

Os dados de Rahman et al. (2021) apresentam uma redução de 26 a 54,2% nos valores de $MP_{2,5}$ nas áreas urbanas de Daca nos meses de março a maio de 2020. A redução foi associada aos efeitos de *lockdowns* parciais e totais na cidade. Os autores ainda apontam o O_3 como um fator que pode favorecer o aumento das taxas de infecção por COVID-19.

Chauhan & Singh (2020) também observaram diminuições de $MP_{2,5}$ em diferentes cidades e em diferentes períodos, sendo o decréscimo notado quando as cidades adotaram medidas restritivas. Apesar disso, os autores ainda deixam claro que as concentrações desse poluente também dependem das variações climáticas locais. Wang et al. (2020) ainda aponta que na China, a redução deste poluente se deu especialmente devido à diminuição dos transportes e atividades industriais.

No estudo de Freitas et al. (2020) foi percebida nas primeiras semanas de quarentena uma redução de 25 a 75% nos níveis de poluentes, entre eles o $MP_{2,5}$ e CO, entretanto, as concentrações voltam a subir nas semanas seguintes. É possível que fatores como a pressão atmosférica e a velocidade do vento possuam maior influência do que apenas a temperatura e a pluviosidade. No caso do ozônio percebeu-se o aumento dos níveis em algumas estações. Dantas et al. (2020) também relata o aumento do ozônio no Rio de Janeiro em contraste às diminuições de dióxido de nitrogênio e de monóxido de carbono, aponta-se similaridades entre este fenômeno com o observado durante a greve dos caminhoneiros em 2018.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pandemia de COVID-19 evidenciou temáticas como a de saúde humana, doenças infecciosas, poluição e degradação ambiental, todas estas possuindo algum tipo de conexão com mudanças climáticas (ou colapso climático, como vem sendo discutido mais recentemente). Considerando este contexto, compreender como a qualidade do ar pode ser influenciada pelas dinâmicas antrópicas torna-se essencial para a área de gestão ambiental, uma vez que tais dinâmicas causam impactos diretos ao meio ambiente, aos seres humanos e à saúde pública, sendo estes fatores de grande relevância para gestão ambiental urbana.

Embora os diversos estudos que foram e tem sido publicados entre 2020 e 2021 apontarem para uma melhora considerável na qualidade do ar em diversas localidades durante períodos de *lockdown*, o que se concluiu com este estudo é que fatores como precipitação e temperatura possuem uma influência muito maior sobre a concentração de poluentes do que as medidas de restrições de atividades, ao menos para a localidade avaliada. Isto pode se dar pelo fato de que a maior parte destes estudos avaliam apenas o primeiro semestre do ano, não possuindo assim um panorama mais abrangente da pandemia. Contudo, a não correlação entre a diminuição das concentrações e as medidas restritivas pode ter como possível explicação o engajamento reduzido das práticas de isolamento social, o qual não foi utilizado nesta pesquisa. Importante pontuar, nesse sentido, que exceto em ocasiões muito restritas e locais, como no caso do município de Araraquara (interior do estado de São Paulo) não foram realizados *lockdowns* no Brasil.

Vale destacar ainda que aspectos como umidade do ar, radiação solar, localização das estações, fluxo de veículos e nível de renda da população também devem ser levados em consideração, além ainda de fenômenos meteorológicos com o El Niño. Estes são fatores que têm influência sobre a dispersão de poluentes e seria propício em trabalhos futuros verificar como estes fatores podem ter modificado as concentrações de poluentes na região. Ademais, por apresentar um comportamento diferenciado e mais complexo dos demais poluentes abordados nessa pesquisa, também se mostra oportuno a realização de estudos que sejam específicos para o ozônio.

Wang et al. (2020) expressa ainda que apenas com as ações restritivas não é possível conter, na maior parte dos territórios, eventos de altas taxas de poluição. Sendo então necessário avaliar diferentes medidas que atuem em conjunto para o enfrentamento da crise climática.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, Andre Luis et al. Interfaces à transmissão e spillover do coronavírus entre florestas e cidades. **Estudos Avançados**, v. 34, n. 99, p. 191-208, 2020.
- ALHO, Cleber JR. Importância da biodiversidade para a saúde humana: uma perspectiva ecológica. **Estudos avançados**, v. 26, n. 74, p. 151-166, 2012.
- BADR, O.; PROBERT, S. D. Sinks and environmental impacts for atmospheric carbon monoxide. **Applied energy**, v. 50, n. 4, p. 339-372, 1995.
- BARCELLOS, Christovam et al. Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 18, n. 3, p. 285-304, 2009.
- BIBLIOTECA VIRTUAL DO GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. São Paulo: aspectos territoriais. Disponível em: <<http://www.bibliotecavirtual.sp.gov.br/temas/sao-paulo/sao-paulo-aspectos-territoriais.php>> Acesso em: 24 de abr. de 2021.
- CANÇADO, José Eduardo Delfini et al. Clinical repercussions of exposure to atmospheric pollution. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 32, p. S5-S11, 2006.
- CASTRO, Antônio Hermeson; SILVA, Glória Maria; ARAÚJO, Rinaldo Santos. Qualidade do ar-parâmetros de controle e efeitos na saúde humana: uma breve revisão. **Holos**, v. 5, p. 107-121, 2013.
- CASAGRANDE, Alessandro; JUNIOR, Pedro SILVA; MENDONÇA, Francisco. Mudanças climáticas e aquecimento global: controvérsias, incertezas e a divulgação científica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 8, 2011.
- CASTRO, Antônio Hermeson; SILVA, Glória Maria; ARAÚJO, Rinaldo Santos. Qualidade do ar-parâmetros de controle e efeitos na saúde humana: uma breve revisão. **Holos**, v. 5, p. 107-121, 2013.
- CAUCHICK MIGUEL, Paulo Augusto et al. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- CETESB. Qualidade do ar no estado de São Paulo 2019. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2020/07/Relatório-de-Qualidade-do-Ar-2019.pdf>> Acesso em: 22 de abr. de 2021.
- CHAUHAN, Akshansha; SINGH, Ramesh P. Decline in PM2. 5 concentrations over major cities around the world associated with COVID-19. **Environmental Research**, v. 187, p. 109634, 2020.
- CIVITELLO, David J. et al. Biodiversity inhibits parasites: broad evidence for the dilution effect. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 28, p. 8667-8671, 2015.

COHEN, Aaron J. et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. **The Lancet**, v. 389, n. 10082, p. 1907-1918, 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n° 03 de 28 de junho de 1990**. Brasília: DOU de 22/08/1990.

CONFALONIERI, Ulisses Eugenio Cavalcanti et al. Emergência de doenças infecciosas humanas: processos ecológicos e abordagens preditivas. 2010.

CONTINI, Carlo et al. The novel zoonotic COVID-19 pandemic: An expected global health concern. **The Journal of Infection in Developing Countries**, v. 14, n. 03, p. 254-264, 2020.

DANTAS, Guilherme et al. The impact of COVID-19 partial lockdown on the air quality of the city of Rio de Janeiro, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 729, p. 139085, 2020.

DAVIS, Mike. **Mike Davis: O coronavírus e a luta de classes: o monstro bate à nossa porta**. Blog da Boitempo. Tradução Artur Renzo. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://blogdaboitempo.com.br/2020/03/16/mike-davis-o-coronavirus-e-a-luta-de-classes-o-monstro-bate-a-nossa-porta/>. Acesso em: 29 abr. 2021.

DE FATIMA ANDRADE, Maria et al. Air quality in the megacity of São Paulo: Evolution over the last 30 years and future perspectives. **Atmospheric environment**, v. 159, p. 66-82, 2017.

DE OLIVEIRA, Maxwell Ferreira. Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em Administração. Universidade Federal de Goiás. Catalão–GO, 2011.

DE OLIVEIRA, Marcel Nunes; DE SOUZA CAMPOS, Maria Amávia; SIQUEIRA, Thomaz Décio Abdalla. CORONAVÍRUS: GLOBALIZAÇÃO E SEUS REFLEXOS NO MEIO AMBIENTE. **BIUS-Boletim Informativo Unimotrisaúde em Sociogerontologia**, v. 20, n. 14, p. 1-12, 2020.

DE SOUZA, Ligia da Paz. A pandemia da COVID-19 e os reflexos na relação meio ambiente e sociedade. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, n. 4, 2020.

EVANS, Tom et al. Links between ecological integrity, emerging infectious diseases originating from wildlife, and other aspects of human health-an overview of the literature. **World Conservation Society, New York, USA**, 2020.

FREITAS, Edmilson D. et al. Mobility restrictions and air quality under COVID-19 pandemic in São Paulo, Brazil. 2020.

FROIS, Amanda Keren; VITIELLO, Sergio Ricardo. A política de mudanças climáticas em um estado capitalista agroextrativista–fundário: o Paraná. 2020.

GONÇALVES, Verônica Korber. Covid-19 e a emergência climática: conexões e desafios. **Le monde diplomatique Brasil. São Paulo, SP. (17 abr. 2020), online.**, 2020.

GUARIEIRO, Lilian LN; VASCONCELLOS, Pérola C.; SOLCI, Maria Cristina. Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: uma breve revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 5, p. 434-445, 2011.

HALSEY, Samniqueka. Defuse the dilution effect debate. **Nature ecology & evolution**, v. 3, n. 2, p. 145-146, 2019.

JACOBI, Pedro Roberto et al. Mudanças climáticas globais: a resposta da educação. **Revista Brasileira de Educação**, v. 16, n. 46, p. 135-148, 2011.

JAMRISKA, Milan; MORAWSKA, Lidia; MERGERSEN, Kerrie. The effect of temperature and humidity on size segregated traffic exhaust particle emissions. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 10, p. 2369-2382, 2008.

LAYRARGUES, Philippe Pomier. Pandemias, colapso climático, antiecológico: Educação Ambiental entre as emergências de um ecocídio apocalíptico. **Revista Brasileira De Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 15, n. 4, p. 1-30, 2020.

LEE, A. Wuhan novel coronavirus (COVID-19): why global control is challenging?. **Public health**, v. 179, p. A1, 2020.

LEIS, Héctor Ricardo; D'AMATO, José Luis. O ambientalismo como movimento vital: análise de suas dimensões histórica, ética e vivencial. **Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável**, v. 2, p. 77-103, 1998.

LIMA, Rodolfo César; MOREIRA, Elvis Bergue Mariz; NÓBREGA, Ranyére Silva. A influência climática sobre a epidemia dengue na cidade do Recife por Sistema de Informações Geográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 2, p. 384-398, 2016.

LU, Hongzhou; STRATTON, Charles W.; TANG, Yi-Wei. Outbreak of pneumonia of unknown etiology in Wuhan, China: the mystery and the miracle. **Journal of medical virology**, v. 92, n. 4, p. 401-402, 2020.

LUNA, E. The emergency of emergent diseases and emergent and re-emergent infectious diseases in Brazil. 2002.

MANDL, Judith N. et al. Reservoir host immune responses to emerging zoonotic viruses. **Cell**, v. 160, n. 1-2, p. 20-35, 2015.

MORSE, S. S. Factors in the emergence of infectious diseases. **Emerging Infectious Diseases**, v. 1, n. 1, p. 7, 1995.

MURPHY, Frederick A. Emerging zoonoses. **Emerging Infectious Diseases**, v. 4, n. 3, p. 429, 1998.

NAKADA, Liane Yuri Kondo; URBAN, Rodrigo Custódio. COVID-19 pandemic: Impacts on the air quality during the partial lockdown in São Paulo state, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 730, p. 139087, 2020.

OLIVEIRA, GS de; VECCHIA, Francisco Arthur Silva. Mudanças climáticas. **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, v. 1, p. 367-400, 2013.

PARK, Sunmin; ALLEN, Rober James; LIM, Chul-Hee. A likely increase in fine particulate matter and premature mortality under future climate change. *Air Quality, Atmosphere & Health*, v. 13, n. 2, p. 143-151, 2020.

PLANO SÃO PAULO. 1º **Balço** – 03/06/2020. 2020. Disponível em: https://www.saopaulo.sp.gov.br/wp-content/uploads/2020/06/20200603_Coletiva_vf-certo-1.pdf. Acesso em: 24 abr. 2021.

PLOWRIGHT, Raina K. et al. Pathways to zoonotic spillover. **Nature Reviews Microbiology**, v. 15, n. 8, p. 502-510, 2017.

RAHMAN, Md Siddiqur et al. How air quality and COVID-19 transmission change under different lockdown scenarios? A case from Dhaka city, Bangladesh. **Science of The Total Environment**, v. 762, p. 143161, 2021.

RAMOS, Maria Angélica Barreto et al. Mudanças climáticas. **Geodiversidade do Brasil**, p. 163, 2008.

RIBEIRO, Andressa F. et al. Associação entre incidência de dengue e variáveis climáticas. *Revista de Saúde Pública*, v. 40, p. 671-676, 2006.

RIBEIRO, Wagner Costa. Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 297-322, 2010.

SABROZA, Paulo Chagastelles; WALTNER-TOEWS, David. Doenças emergentes, sistemas locais e globalização. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 17, p. S04-S05, 2001.

SANTOS, Ubiratan de Paula. Poluição, aquecimento global e repercussões na saúde. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 53, n. 3, p. 193-194, 2007.

SANTOS, João Almeida; PARRA FILHO, Domingos. Metodologia científica. 2012.

SÃO PAULO. Governo de São Paulo. Decreto nº 64.881, de 22 de março de 2020. **Diário Oficial**. São Paulo, 2020a. Disponível em: <http://dobuscadireta.imprensaoficial.com.br/default.aspx?DataPublicacao=20200323&Caderno=DOE-I&NumeroPagina=1>. Acesso em: 26 abr. 2021.

SÃO PAULO. Governo de São Paulo. Decreto nº 65.044, de 03 de julho de 2020. **Diário Oficial**. São Paulo, 2020b. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2020/decreto-65044-03.07.2020.html>. Acesso em: 26 abr. 2021.

SILVA, C. M. et al. A pandemia de COVID-19: vivendo no Antropoceno. **Rev. Virtual de Quím**, v. 12, p. 1000, 2020.

SUÁREZ, Avelino; WATSON, Robert T.; DOKKEN, David Jon. Climate change and biodiversity. 2002.

TESTA, Joara Fernanda. A poluição atmosférica por veículos automotores na Região Metropolitana de São Paulo: causas e impactos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1209-1221, 2015.

TOZATO, Heloisa Camargo; MELLO-THÉRY, Neli Aparecida; DUBREUIL, Vincent. Impactos das mudanças climáticas na biodiversidade brasileira e o desafio em estabelecer uma gestão integrada para a adaptação e mitigação. **Revista Gestão & Políticas Públicas**, v. 5, n. 2, p. 309-331, 2015.

TRAVERSI, Deborah et al. Mutagenic properties of PM2.5 urban pollution in the northern Italy: the nitro-compounds contribution. **Environment International**, v. 35, n. 6, p. 905-910, 2009.

VIANNA, Nelzair A. et al. Uma proposta de intersetorialidade para investigar poluição atmosférica e alergias respiratórias. **Gazeta Médica da Bahia**, v. 78, n. 2, 2009.

WANG, Pengfei et al. Severe air pollution events not avoided by reduced anthropogenic activities during COVID-19 outbreak. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 158, p. 104814, 2020.