



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**EFEITOS DA EXPOSIÇÃO A POLUENTES DO AR NA SAÚDE
HUMANA: INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS
EM REGIÕES METROPOLITANAS DO ESTADO DE SÃO PAULO**

Maikon Nascimento de Aguiar

Relatório de Iniciação Científica do
programa PIBIC, orientado pela Dr.^a.
Débora Souza Alvim.

URL do documento original:

[<http://urlib.net/xx/yy>](http://urlib.net/xx/yy)

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

INPE

São José dos Campos

2023

Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE)

Divisão de Biblioteca (DIBIB)

CEP 12.227-010

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/7348

E-mail: pubtc@inpe.br

**CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO
INTELECTUAL DO INPE - CEPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI- INPE):**

Presidente:

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Coordenação-Geral de Ciências da Terra
(CGCT)

Membros:

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia, Tecnologia e
Ciência Espaciais (CGCE)

Dr. Rafael Duarte Coelho dos Santos - Coordenação-Geral de Infraestrutura e
Pesquisas Aplicadas (CGIP)

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**EFEITOS DA EXPOSIÇÃO A POLUENTES DO AR NA SAÚDE
HUMANA: INTERNAÇÕES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS
EM REGIÕES METROPOLITANAS DO ESTADO DE SÃO PAULO**

Maikon Nascimento de Aguiar.

Relatório de Iniciação Científica do
programa PIBIC, orientado pela Dr.
Débora Souza Alvim.

URL do documento original:

[<http://urlib.net/xx/yy>](http://urlib.net/xx/yy)

INPE

São José dos Campos

2023



Esta obra foi licenciada sob uma [Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](#).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](#).

Informar aqui sobre marca registrada (a modificação desta linha deve ser feita no arquivo publicacao.tex).

Informar aqui sobre fontes financiadoras (a modificação desta linha deve ser feita no arquivo publicacao.tex).

*“O nível da poluição ambiental no planeta é igualada a burrice dos
homens”.*

Edy Ganh

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais, Eliane e Moisés, pelo apoio nos momentos mais difíceis e incertos e principalmente por sempre acreditarem em mim. Ao meu namorado e companheiro, Renan, que sempre esteve presente, me acompanhando nesses dois anos de pesquisa e aos meus amigos e familiares.

Gratidão para a minha professora e orientadora, Dra. Débora Souza Alvim, que me ensinou lições importantes e por ser um exemplo em competência, dedicação e profissionalismo e que me ofereceu essa oportunidade incrível de fazer pesquisa no INPE.

A todos os meus amigos de curso que estiveram ao meu lado para me dar forças e oferecer trocas de conhecimento, principalmente a Giovanna Santos da Silva que é minha companheira e amiga desde o início da graduação.

À CNPQ, pelo apoio financeiro concedido, através deste financiamento foi possível financiar cursos e me aperfeiçoar academicamente e pessoalmente.

RESUMO

Os processos industriais, os veículos automotores e as queimadas são, dentre as atividades antrópicas, são as maiores causas da introdução de substâncias poluentes na atmosfera, muitas delas tóxicas à saúde humana. A partir desse contexto vários estudos, têm demonstrado que a poluição atmosférica está associada ao excesso de internações hospitalares, em particular por doenças respiratórias e cardiovasculares. O objetivo desta proposta é analisar as concentrações horárias de monóxido de carbono (CO), monóxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂), ozônio (O₃), material particulado de 10 micra (MP10), material particulado de 2.5 micra (MP2.5) junto com dados de variáveis meteorológicas para investigar efeitos de curto prazo da poluição atmosférica na internação por problemas respiratórios durante o período de 2017 a 2019 nas cidades de Guarulhos, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, Campinas e São José dos Campos. Contudo, a partir da coleta de dados do sistema Qualar da Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), juntamente com os valores de temperatura, umidade relativa, precipitação, radiação solar total, velocidade e direção do vento a partir das 6:00 horas da manhã até as 21:00 horas da noite. Foram feitos estudos estatísticos relacionando o número de internações por problemas respiratórios com dados obtidos do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) das cidades citadas, alcançando, de forma quantitativa, resultados sobre a concentração de poluentes comparados aos valores recomendados pela legislação brasileira, CONAMA 491/2018 e pela OMS 2021. Observou-se que as maiores concentrações dos poluentes se encontram no inverno (JJA), com exceção do O₃, em razão das condições climáticas adversas, o que favorece baixa dispersão dos poluentes e da umidade do ar, que resulta em maior número de internações respiratórias. Os óxidos de nitrogênio (NO_x) apresentaram forte correlação para todas as cidades estudadas de concentração de NO_x com internação por dados respiratórios e com médias de concentração anuais que ultrapassaram os valores recomendados pela OMS 10 µg/m³, com a maior correlação para a cidade de São José dos Campos $R^2 = 0,86$ e menor para a cidade de São Caetano $R^2 = 0,38$, o material particulado foi o segundo material com maior grau de explicabilidade MP10 de $R^2 = 0,8$ e MP2.5 $R^2 = 0,72$, e mínimas para Guarulhos MP10 $R^2 = 0,31$ e MP2.5 $R^2 = 0,31$, correlacionando concentração de MP10 com dados de internação por doenças respiratórias.

Palavras Chaves: Poluição atmosférica, Doenças respiratórias, Estado de São Paulo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Distribuição de internações por Causas Selecionadas em 2019.....	19
Figura 2	Emissões relativas por tipo de fonte – RMSP.....	20
Figura 3	Evolução na emissão dos poluentes na RMSP.....	21
Figura 4	Internações devido a doenças respiratórias atribuíveis às queimadas.....	25
Figura 5	Porcentagem do uso de Carvão e lenha no preparo de alimentos em 2018..	25
Figura 6	Ciclo de Poluentes das fontes ao impacto no meio ambiente.....	27
Figura 7	Média da concentração de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por estação do ano (2017-2019)....	38
Figura 8	Média da concentração de MP2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por estação do ano (2017-2019)...	39
Figura 9	Média da concentração de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por estação do ano (2017-2019).....	40
Figura 10	Média da concentração de NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por estação do ano (2017-2019).....	42
Figura 11	Média da concentração de NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por estação do ano (2017-2019).....	43
Figura 12	Média da concentração de O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por estação por estação do ano (2017- 44 2019).....	
Figura 13	Média da concentração de SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por estação por estação do ano (2017- 47 2019).....	
Figura 14	Média mensal das internações e das concentração dos poluentes (6:00 às 50 21:00) no período de 2017-2019	
Figura 15	Focos de incêndio em cada mês no período da 2017 a 2019 no Estado de São 51 Paulo.....	
Figura 16	Matriz de correlação entre variáveis de poluição, meteorológicas e de 63 internações para a cidade de Guarulhos.....	
Figura 17	Dendrograma envolvendo variáveis de poluição, meteorológicas e de 64 internações para a cidade de Guarulhos.....	
Figura 18	Classificação das variáveis a partir do Boruta baseados no grau de 65 importância para Guarulhos.....	
Figura 19	Matriz de correlação entre variáveis de poluição, meteorológicas e de 66 internações para a cidade de Campinas.....	
Figura 20	Dendrograma envolvendo variáveis de poluição, meteorológicas e de 67 internações para a cidade de Campinas.....	
Figura 21	Classificação das variáveis a partir do Boruta baseados no grau de 68 importância para Campinas.....	

Figura 22	Matriz de correlação entre variáveis de poluição, meteorológicas e de interações para a cidade de São José dos Campos.....	69
Figura 23	Dendograma envolvendo variáveis de poluição, meteorológicas e de interações para a cidade de São José dos Campos.....	70
Figura 24	Classificação das variáveis a partir do Boruta baseados no grau de importância para São José dos Campos.....	71
Figura 25	Matriz de correlação entre variáveis de poluição, meteorológicas e de interações para a cidade de São Bernardo do Campo.....	72
Figura 26	Dendograma envolvendo variáveis de poluição, meteorológicas e de interações para a cidade de São Bernardo do Campo.....	73
Figura 27	Classificação das variáveis a partir do Boruta baseados no grau de importância para São Bernardo do Campo.....	73
Figura 28	Matriz de correlação entre variáveis de poluição, meteorológicas e de interações para a cidade de São Caetano do Sul.....	75
Figura 29	Dendograma envolvendo variáveis de poluição, meteorológicas e de interações para a cidade de São Caetano do Sul.....	76
Figura 30	Classificação das variáveis a partir do Boruta baseados no grau de importância para São Caetano do Sul.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Limite de concentração de poluentes de acordo com a OMS.....	17
Tabela 2	Padrões Estaduais de Qualidade do Ar (Decreto Estadual nº 59.113 de 23/04/2013)	18
Tabela 3	Estimativas de população, frota e emissão das fontes de poluição do ar em São José dos Campos, RMSP e RMC.....	34
Tabela 4	Estimativas de população, frota e emissão das fontes de poluição do ar em São José dos Campos, RMSP e RMC.....	35
Tabela 5	Comparativo entre os limites de poluente de acordo com o CONAMA e OMS.....	36
Tabela 6	Valores da concentração dos poluentes, internações e temperatura para média, mediana, desvio padrão, valor mínimo e máximo de Campinas no período 2017-2019.....	51
Tabela 7	Valores da concentração dos poluentes, internações e temperatura para média, mediana, desvio padrão, valor mínimo e máximo de Guarulhos no período de 2017-2019.....	53
Tabela 8	Valores da concentração dos poluentes, internações e temperatura para média, mediana, desvio padrão, valor mínimo e máximo de São José dos Campos no período de 2017-2019.....	55
Tabela 9	Valores da concentração dos poluentes, internações e temperatura para média, mediana, desvio padrão, valor mínimo e máximo de São Bernardo dos Campos no período de 2017-2019.....	57
Tabela 10	Valores da concentração dos poluentes, internações e temperatura para média, mediana, desvio padrão, valor mínimo e máximo de São Caetano do sul no período de 2017-2019.....	58
Tabela 11	Classificação dos valores de correlações.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANS	Agência Nacional de Saúde Complementar
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
DPOC	Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica
DCR	Doenças Respiratória Crônica
GEE	Gases de Efeito Estufa
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MP	Material Particulado
MP ₁₀	Material Particulado Grosso
MP _{2,5}	Material Particulado Fino
NO	Óxido Nítrico
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
O ₃	Ozônio
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
OMS	Organização Mundial da Saúde
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
RMC	Região Metropolitana de Campinas
PQAr	Padrão de Qualidade do Ar
Proconve	Programa nacional para redução da emissão de poluentes
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima

SUMÁRIO

PUBLICADO POR:	1
CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI- INPE):	2
Membros:	2
BIBLIOTECA DIGITAL:	2
REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:	2
AGRADECIMENTOS	iv
1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Contextualização e justificativa	14
1.2 Objetivo geral	16
1.3 Objetivos específicos	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Avaliação do Contexto	17
Ozônio (O ₃)	18
Dióxido Nitrogênio (NO ₂)	18
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	18
Monóxido de Carbono (CO)	18
Ozônio (O ₃)	19
Dióxido Nitrogênio (NO ₂)	19
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	19
Monóxido de Carbono (CO)	19
2.2 Poluição Atmosférica	21
2.2.1 Emissões Veiculares	22
2.2.2 Emissões Industriais	24
2.2.3 Outras Fontes de Emissão	25

2.3 Composição Atmosférica	27
2.3.1 Material Particulado	28
2.3.2 Monóxido de Carbono (CO)	29
2.3.3 Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	30
2.3.4 Dióxido de Enxofre (SO ₂)	32
2.3.5 Ozônio (O ₃)	33
3 METODOLOGIA	34
3.1 Coleta e Tratamento de Dados	34
3.2 Estudo Estatístico	35
3.2 Características dos Locais de Estudo	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
Ozônio (O ₃)	37
Dióxido Nitrogênio (NO ₂)	37
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	37
Monóxido de Carbono (CO)	37
4.1 Concentração dos Poluentes por Estação	37
4.1.1 Materiais Particulados	38
4.1.2 Monóxido de Carbono	40
4.1.3 Óxidos de Nitrogênio	42
4.1.4 Ozônio	44
4.1.5 Dióxido de Enxofre	46
4.2 Análise das Médias Mensais das Concentrações dos Poluentes e Número de Internações	47
4.3 Análise das Médias Anuais de Internações e das Concentrações dos Poluentes	51
4.3.1 Campinas	51
4.3.2 Guarulhos	53

4.3.3 São José dos Campos	55
4.3.4 São Bernardo dos Campos	57
4.3.5 São Caetano do Sul	58
4.4 Análises a partir da correlação de Pearson e Dendogramas	60
4.4.1 Guarulhos	63
4.4.2 Campinas	65
4.4.3 São José dos Campos	68
4.4.4 São Bernardo do Campo	71
4.4.5 São Caetano do Sul	74
CONCLUSÃO	17
REFERÊNCIAS	18

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e justificativa

Os poluentes atmosféricos são temas de diversos debates em torno do mundo em razão dos seus efeitos ao meio ambiente, como exemplo: mudanças climáticas, aquecimento global em decorrência do aumento dos gases do efeito estufa decorrente de práticas humanas, destruição da camada de ozônio, mas também se destaca as consequências dessas mudanças na qualidade de vida dos seres humanos.

Desde a Revolução Industrial, existe um número crescente das atividades industriais e também da circulação de veículos no mundo que utilizam, sobretudo, a queima de combustíveis fósseis, gerando partículas sólidas e gasosas que contribuem fortemente para a poluição atmosférica, esses processos avançaram sem um controle e acompanhamento dos possíveis danos desses poluentes ao meio ambiente e à saúde humana (BRAGA et al., 2001).

Os desafios que envolvem a poluição são amplos, eles abrangem setores como alimentício, energético, clima, saúde que pode sua vez afetam diretamente a economia e estima-se que US \$3,5 trilhões são investidos por governos em todo o mundo devido as consequências da poluição do ar (SANT'ANNA et al., 2021; SIRIOPOULOS et al., 2021).

Ao longo do século passado episódios de relação entre uma grande quantidade de mortes e contaminação do ar começaram a ocorrer em cidades da Europa e dos Estados Unidos, um dos primeiros episódios ocorreu na Bélgica em 1930, após alguns anos em 1948 em Donora, Pensilvânia e em 1952 em Londres, um dos episódios mais famoso envolvendo a poluição atmosférica, ficou conhecido como o “Grande Nevoeiro” e levando a um aumento de quatro mil mortes em relação à média de óbitos em períodos semelhantes. O efeito comum nesses casos são a alta concentração de poluentes em razão da quantidade de indústrias, somando-se, a condições meteorológicas desfavoráveis como, por exemplo, inversão térmica, ausência de ventos que pudessem dispersar os poluentes (BRAGA et al., 2001).

Após esses episódios, discussões acerca de padrões da qualidade do ar (PQAr) começou a ganhar destaque, criando então legislações para o controle ambiental e definição concentração dos poluentes que são consideradas “seguras”. A Organização

Mundial da Saúde (OMS) reconhece que essas definições variam de acordo com as circunstâncias locais, mas que os governos devem visar atingir menores concentrações com base na capacidade técnica, localidade e saúde pública (OMS, 2021; PLANELLES, 2021).

De acordo com OMS estima-se que a poluição do ar é responsável por aproximadamente 7 milhões de mortes anuais, sendo também um desafio em todo o Brasil, correspondendo por mais de 50 mil mortes anuais no país. Nove em cada dez pessoas respiram ar contaminado no mundo de acordo com o mais recente relatório da OMS, publicado em 2018 (OPAS, 2018). De acordo com pesquisas do médico patologista Paulo Saldiva, professor da Faculdade de Medicina da USP, o morador da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), por exemplo, perde em média um ano e meio de vida por causa da poluição (FELIN, 2018).

Os impactos da poluição do ar na saúde humana são variados, em razão de fatores individuais, como, por exemplo, idade, comorbidades, condições de vida e trabalho, condições socioeconômicas, tempo de exposição e componente da própria poluição, esses fatos são associadas a doenças como: doenças pulmonares, doenças cardiovasculares e acidentes vasculares cerebrais; disposição ao câncer e ao diabetes; incidência de mortes prematuras, prejuízo do desenvolvimento cognitivo em crianças e demência em idosos (FERNANDES et al., 2010; SANT'ANNA et al., 2021).

São Paulo é a cidade mais populosa da América do Sul e também a mais influente do Brasil no cenário global, entretanto, quem convive com seus péssimos índices de poluição do ar, em agosto de 2021 com aumento das queimadas, o tempo seco e a reabertura da cidade, que gerou maior trânsito de veículos, houve um aumento de 44% da poluição do ar em relação ao mesmo período no ano passado e a qualidade do ar na capital atingiu o nível Péssimo pela primeira vez desde 1999 (LÜDER, 2021).

Os malefícios disso para a saúde são inúmeros, o sistema imunológico enfraquece, o coração fica mais sujeito a doenças, aumento de risco de infarto, de AVC e também de partos prematuros, além da relação direta com câncer de Pulmão, só na região metropolitana, em média 20 pessoas morrem todos os dias por causa do ar poluído (GARCIA, 2016; LÜDER, 2021).

Como uma medida para tentar diminuir a poluição a prefeitura de São Paulo adotou o rodízio municipal de veículos, uma restrição a circulação de veículos

automotores na cidade, com o propósito de melhorar as condições ambientais reduzindo a carga de poluentes na atmosfera, se consolidou como um instrumento para reduzir congestionamento nas principais vias da cidade nos horários de maior movimento. Mas seu principal objetivo de reduzir a poluição da cidade não foi alcançado (GARCIA, 2016).

Os eventos estudados neste trabalho referem-se relação do número de internações hospitalares em virtude de os problemas respiratórios, realizando o diagnóstico do impacto da poluição do ar na saúde, nos municípios de Guarulhos, São Bernardo, São Caetano do Sul, Campinas e São José dos Campos, avaliando as concentrações dos poluentes e variáveis meteorológicas das estações de monitoramento da qualidade do ar da CETESB nestas regiões e correlacionando com o número de internações mensais por problemas respiratórios de janeiro de 2017 até dezembro de 2019 nestas cidades com dados do DATASUS.

1.2 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em identificar a associação entre exposição a poluição, e as internações por doenças respiratórias durante o período de 2017 até 2019 nas cidades de Guarulhos, São Bernardo, São Caetano do Sul, Campinas e São José dos Campos.

1.3 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa consistem em:

- a) determinar as concentrações horárias de monóxido de carbono (CO), monóxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂), ozônio (O₃), material particulado grosso (MP₁₀), material particulado fino (MP_{2.5}) em conjunto com variáveis meteorológicas a partir das estações de tratamento monitoramento da qualidade do ar da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB);
- b) correlacionar os efeitos a curto prazo da poluição atmosféricas nas hospitalizações por problemas respiratórios com dados provenientes do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Avaliação do Contexto

Com o avanço das atividades industriais, o crescente número de veículos diversos estudos em relação a qualidade do ar têm sido publicados com o intuito de investigar e diminuir suas causas, que tem como fonte principal as atividades antropogênicas. Além disso, cada vez mais pesquisas também demonstram como a poluição do ar afeta ao meio ambiente e a saúde humana, conseqüentemente, impactando em suas atividades e no bem-estar (MORAWSKA et al., 2021).

A industrialização e aumento do número de veículos contribuem com o desenvolvimento e progresso econômico, em razão das necessidades de consumo mundial e o seu crescimento, porém, esses avanços caminham sem uma política ambiental ou o cumprimento das existentes. O Brasil hoje enfrenta um desafio, entre o desenvolvimento socioeconômico, mas que preserve o meio ambiente (LEAL; SOBRAL; ARAUJO, 2008).

Nesse contexto, com o crescimento acelerado das emissões de gases poluentes e elevação da temperatura média mundial, há uma atenção internacional sobre as mudanças climáticas, e a necessidade de convenções ambientais. Em 1979 houve a primeira conferência mundial do clima em Genebra, que resultou na criação do secretariado de mudanças climáticas da Organização das Nações Unidas (ONU), e também na colocação do tema em pautas públicas, científicas e políticas (HUANG et al., 2012).

Os compromissos dos países, inclusive o Brasil, com as mudanças climáticas são debatidos atualmente na Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), conhecido também como conferência dos climas da ONU, é constituído pelos UNFCCC, a qual é a principal convenção no desenvolvimento de respostas globais às mudanças climáticas. O número da COP é de acordo com o número de encontros, o Protocolo de Kyoto, que tem como finalidade redução da emissão dos gases do efeito estufa aconteceu no Japão na COP-3, o Acordo de Paris ocorreu na COP-21 e teve como principal objetivo limitar o aumento médio da temperatura global a 1,5°C (TOBIN et al., 2018).

No que diz a respeito à saúde, diretrizes globais de qualidade do ar são estabelecidos pela OMS, o mais recente encontro aconteceu em setembro de 2021, em

que novos limites de poluentes foram definidos, Tabela 1, em razão a quantidade de provas científicas disponíveis sobre os efeitos nocivos dos poluentes a saúde humana, até então esses limites seguiam as diretrizes de 2005 da OMS (OMS, 2021; PLANELLES, 2021).

Tabela 1 – Limite de concentração de poluentes de acordo com a OMS

Poluente	Tempo de Amostragem	Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Material particulado fino ($\text{PM}_{2,5}$)	Anual	5
	Diária	15
Material particulado grosso (PM_{10})	Anual	15
	Diária	45
Ozônio (O_3)	8 Horas	100
Dióxido Nitrogênio (NO_2)	Anual	10
	Diária	25
Dióxido de Enxofre (SO_2)	Diária	40
Monóxido de Carbono (CO)	8 Horas	9 ppm

Fonte: (OMS, 2021)

Os padrões de qualidade do ar no estado de São Paulo são estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA em novembro de 2018, tendo por base as diretrizes estabelecidas pela OMS em 2005, aos quais seguem os seguintes critérios (CETESB, 2021).

- i. Padrões Intermediários - (PI) estabelecidas como valores temporários a serem cumpridos em etapas, visando à melhoria gradativa da qualidade do ar no estado de São Paulo, baseada na busca pela redução das emissões de fontes fixas e móveis, em linha com os princípios do desenvolvimento sustentável;
- ii. Padrões Finais (PF) - padrões determinados pelo melhor conhecimento científico para que a saúde da população seja preservada ao máximo em relação aos danos causados pela poluição atmosférica.

Tabela 2 – Padrões do Conama de Qualidade do Ar em 2018

Poluente	Tempo de Amostragem	PI 1 (µg/m³)	PI 2 (µg/m³)	PI 3 (µg/m³)	PF (µg/m³)
Material particulado fino (PM ₁₀)	24 horas MAA ¹	120 40	100 35	75 30	50 20
Material particulado grosso (PM _{2,5})	24 horas MAA ¹	60 20	50 17	37 15	25 10
Ozônio (O ₃)	8 Horas	140	130	120	100
Dióxido Nitrogênio (NO ₂)	1 Hora MAA ¹	260 60	240 50	220 45	200 40
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	24 Horas MAA ¹	60 40	40 30	30 20	20 -
Monóxido de Carbono (CO)	8 Horas				9 ppm

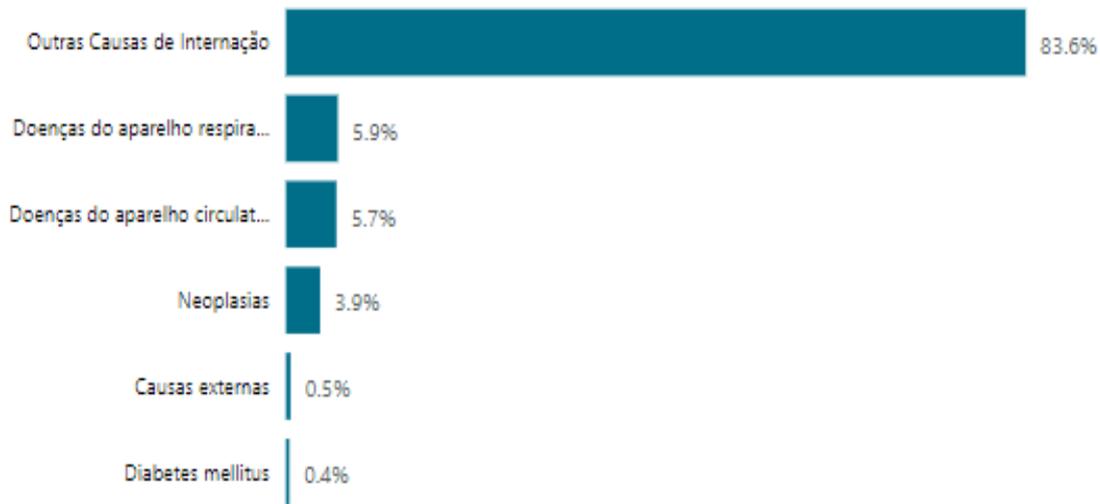
Fonte: (CONAMA, 2018)

Nota: 1 - Média aritmética anual.

Um dos principais motivos das mudanças climáticas é devida a poluição do ar, percebe-se uma forte relação desse tema com as questões ambientais, entretanto, 51 mil mortes no Brasil estão relacionadas com a sua ocorrência, além de milhares de internações no Sistema Único de Saúde, causando um forte impacto na saúde pública e na economia (SANT'ANNA et al., 2021).

Em 2019, doenças respiratórias causaram a maioria das internações no Brasil, 506.9 mil representando 5,9% das causas, mostrado na Figura 1 abaixo, antes da pandemia (COVID-19), essas causas já eram os principais motivos de internação de acordo com Agência Nacional de Saúde Complementar (ANS)(OLIVEIRA et al., 2020).

Figura 1 - Distribuição de internações por Causas Seleccionadas em 2019



Fonte: Agência Nacional de Saúde Complementar (2020)

A exposição a poluentes atmosféricos na saúde humana está relacionada com problemas cardiovasculares, respiratórias, principalmente, as doenças respiratórias crônicas (DCR), de acordo com o Ministério da Saúde, as doenças respiratórias crônica (DRC) são consideradas um dos maiores problemas de saúde mundial, são doenças das vias aéreas e em outras estruturas do pulmão. Algumas das mais comuns são doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), asma, rinite, bronquites, doenças pulmonares ocupacionais e hipertensão pulmonar. Além da fumaça do tabaco, outros fatores de risco incluem poluição do ar, mas além das DRCs, a poluição do ar também está relacionada com o aumento no risco de doenças cardiovasculares, como o infarto e outras (BRASIL, 2010).

Com a pandemia de COVID-19, é a segunda maior causa ambiental de morbidade e mortalidade relacionadas ao nascimento prematuro. Nesse contexto de pandemia, estudos demonstram a taxa de mortalidade por COVID-19 pode aumentar até 15% em pessoas expostas por um longo tempo a altas concentração de poluição (XIAO WU, RACHEL C NETHERY, M BENJAMIN SABATH, DANIELLE BRAUN, 2020).

De acordo com HUANG et al., 2021, grau elevados de poluição do ar como o $PM_{2,5}$ e NO_2 provocam uma maior disseminação e letalidade da COVID-19, além disso, alta concentração de $PM_{2,5}$ por si só já é capaz de provocar doenças respiratórias que necessitam de hospitalização.

2.2 Poluição Atmosférica

Entende-se por poluição atmosféricas concentrações de certas substâncias, como: gases, partículas sólidas em suspensão, líquidos e outros, que podem causar danos reais ou potenciais à saúde humana, à fauna, flora, não sendo seguras ou adequadas para às atividades em gerais (CETESB, 2021a).

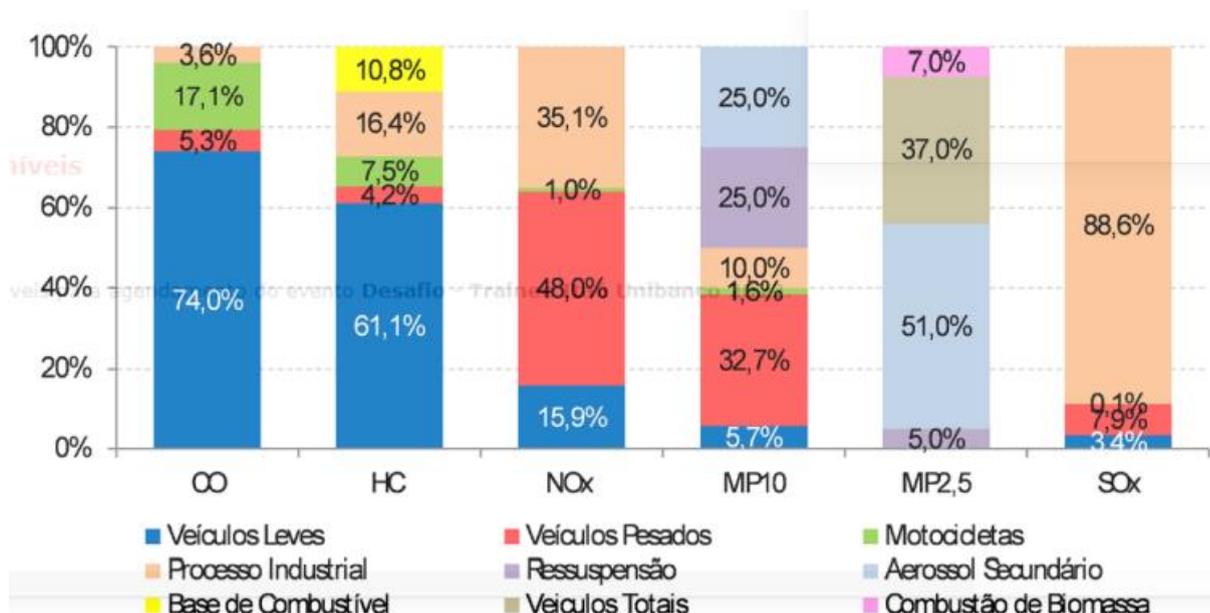
Esses poluentes são caracterizados de acordo com a sua origem:

- i. Poluentes Primários: emitidos diretamente pelas fontes para a atmosfera, por exemplo: gases de automóveis, indústrias, queimadas: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x), hidrocarbonetos, aldeídos e outros.
- ii. Poluentes Secundários: resultado das reações químicas dos componentes da atmosfera entre poluentes primários, por exemplo: decomposição de óxidos de nitrogênio pela radiação ultravioleta oriunda do sol na formação de ozônio troposférico O₃, ácido nítrico (HNO₃), ácido sulfúrico (H₂SO₄), peroxiacetil nitrato (PAN) e outros.

A poluição atmosférica é emitida principalmente pela queima de combustíveis, devido à emissão de efluentes gasosos e a reação químicas desses na atmosfera, essa emissão pode estar relacionada ao tráfego (incluindo gasolina, etanol, diesel), à produção de energia elétrica ou vapor (carvão, petróleo, gás natural), aos processos industriais devidos as transformações químicas presentes, além das queimadas em que algumas regiões do Brasil são a principal fonte de emissão.

Conforme a Figura 2 abaixo, 77% das emissões de poluentes atmosféricos são de fontes móveis (veículos), e os 23% restantes provém de fontes fixas, dos setores petroquímico, naval, químico, alimentício e de transformação de energia (CETESB, 2021).

Figura 2 – Emissões relativas por tipo de fonte – RMSP

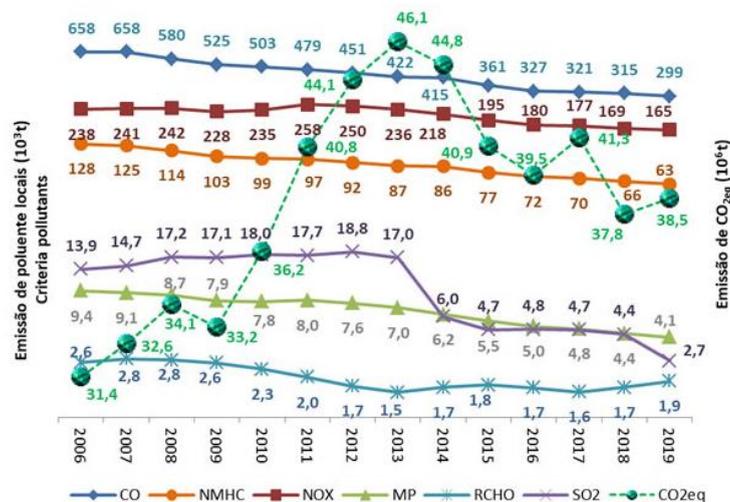


Fonte: CETESB (2021)

2.2.1 Emissões Veiculares

Nos centros urbanos, os automóveis são os principais emissores de gases poluentes, em 2011 o número de veículos em São Paulo era de 7 milhões, e responsáveis por 90% da contaminação do ar, hoje existem 8,9 milhões veículos que estão concentrados na RMSP e são responsáveis por 68% das emissões, estudos demonstram que 8 minutos em congestionamento já é prejudicial à saúde. A Figura 3 demonstra a evolução dos principais poluentes entre 2006 e 2019, em que há uma diminuição nas concentrações dessas emissões devido aos avanços tecnológicos, utilização de catalisadores e metas realizadas pelo Programa de controle de emissões veiculares (Proconve) (COPAT et al., 2020; CETESB, 2021).

Figura 3 – Evolução na emissão dos poluentes na Região Metropolitana de São Paulo



Fonte: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo-Cetesb (2020)

A diminuição desses poluentes está associada com a iniciativa do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), com a criação do Proconve em 1986, que estabeleceu um programa de metas para o controle e redução dos gases poluentes dos veículos, com os avanços tecnológicos as empresas automobilísticas encontram soluções para o controle desses gases como: substituição de carburadores por injeção eletrônica, em que a combustão do combustível com o ar, na primeira a alimentação do combustível é controlada eletronicamente, portanto há um consumo adequado de combustível, diminuindo também seu consumo. Outra alternativa do setor automobilístico é o uso de carros elétricos, que dispensa o uso de combustíveis fósseis, sendo uma alternativa para o futuro sustentável, porém, seus custos no Brasil ainda são altos e muito distante da realidade financeira da maioria da população (IBAMA, 2016).

As determinações da Resolução Conama foram reforçadas pela Lei 8.723, de 28 de outubro de 1993, que estabeleceu a redução dos níveis de emissão de monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, fuligem, material particulado e outros compostos poluentes nos veículos comercializados no país (IBAMA, 2016).

Diante desse cenário, encontra-se uma relação entre a qualidade do ar e a quantidade de veículos presentes, durante episódios de greves ao redor do mundo é observado uma variação nas concentrações de poluentes, por exemplo na greve dos

caminhoneiros que durou em média 10 dias em 2018 no Brasil, nesse período os poluentes primário diminuíram em 50%, e a concentração de ozônio troposférico poluente secundário, aumentou por volta de 30%-50% na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) (CHIQUETTO et al., 2021).

Mudanças na qualidade do ar também foram observadas durante o período de isolamento, devido a pandemia causada pelo vírus COVID-19 as estações de monitoramento da cidade de São Paulo registraram uma menor quantidade de poluentes primários, por conta da menor circulação de veículos, além disso, estudos demonstram que a poluição atmosférica reduziu em 40% nos países asiáticos e na Europa (MONTEIRO; LETICIA, 2020).

De acordo com Felin (2018), viver em uma cidade com o ar poluído pode aumentar as chances de ataque cardíaco por volta de 75%, o impacto negativo da poluição do ar é mais intenso na população de baixa renda. O programa Cidades e Soluções, da Globo News, acompanhou um morador da cidade de São Paulo durante um trajeto de quatro horas utilizando diferentes modos de transporte, ao optar pelo carro em vez do ônibus, uma pessoa contribui com 45 vezes mais emissões de dióxido de carbono na atmosfera (gás que contribui para o aquecimento do planeta) e 30 vezes mais de monóxido de carbono (gás tóxico e poluente), os valores de concentração máxima do MP2,5 durante o trajeto ($169,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), é 580% maior que o limite máximo da OMS, equivalendo a quase 6h41 no limite máximo da OMS, que é de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o MP2,5, a legislação atual deixa de proteger os brasileiros.

2.2.2 Emissões Industriais

Com o avanço da revolução industrial, as indústrias surgiram sem um controle dos possíveis danos que as emissões da queima de combustíveis, relacionada à produção de eletricidade (por exemplo, carvão, gás natural), causariam a saúde humana, ao analisar o processo de industrialização no Brasil, percebe-se que a maioria das instalações industriais estão próximas as áreas urbanas, não afetando apenas aos trabalhadores locais, mas causando também maior exposição da população desses centros às emissões atmosféricas.

Os primeiros acontecimentos envolvendo queima de combustíveis com a saúde humana surgiram na Europa e nos Estados Unidos. o maior desastre por poluição

atmosférica aconteceu em Londres em 1952 devido a uma inversão térmica, evento comum em cidade industrializadas, em que o ar frio (mais denso) fica na superfície e é impossibilitado de subir por conta do ar mais quente (menos denso), por conta desse fenômeno há uma grande concentração de poluentes, principalmente SO₂ próximo a superfície terrestre, na cidade de Londres esse episódio durou cerca de 5 dias, e o número de mortes por dia durante e logo após foram de três a quatro vezes maior que o normal, obtendo 4000 mil mortes. Após esse episódio, diversos países apresentaram uma legislação para reduzir as emissões de poluentes e definiram padrões para a qualidade do ar (BRAGA et al., 2001).

No desenvolvimento dos polos industriais no Brasil, não houve um controle de emissões adequado, como exemplo, a cidade de Cubatão, um polo industrial que cresceu após os anos 50, em uma área estratégica, próxima ao porto de Santos e a Capital São Paulo, e rica de recursos naturais. Devido a esses avanços, nos anos 80 a cidade foi apontada pela ONU como a mais poluída do mundo, e além disso, houve uma alteração nas taxas de morbidade e mortalidade durante esse período, e ficou conhecida pelo nome Vale da Morte.

Após esse episódio, foi implementado um plano de recuperação pela CETESB e após 10 anos de melhoria, Cubatão foi reconhecida na conferência de Meio Ambiente da ONU, como símbolo de recuperação ambiental, diminuindo o número de pessoas com doenças respiratórias e mortes prematuras, porém, OMS ainda considera os níveis de exposição ao PM_{2,5} em Cubatão três vezes maior que a concentração adequada (COSTA; GOMES, 2017).

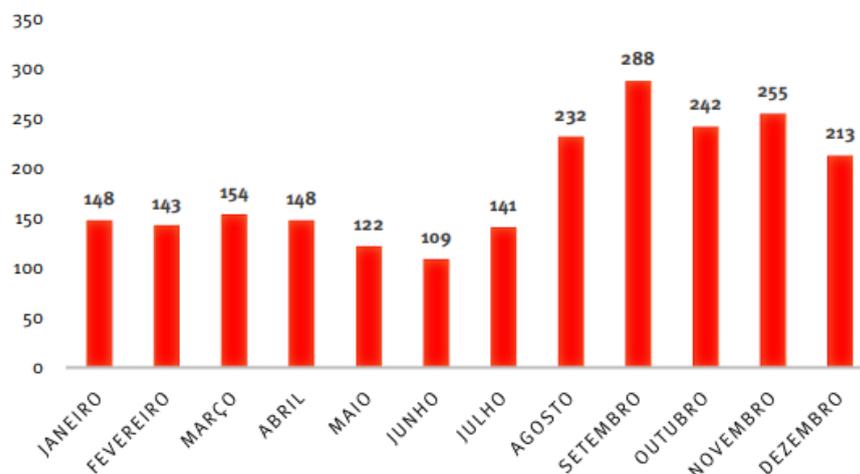
2.2.3 Outras Fontes de Emissão

A fonte da emissão de poluentes do ar varia de acordo com a regiões, no centro oeste e norte, as queimadas são responsáveis pela principal fonte de emissão de poluentes atmosféricos, Sant'Anna e Rocha (2020), avaliam que mais de 2 mil internações devido doenças respiratórias foram causadas por esse tipo de emissão, implicado em um custo para saúde pública de US\$ 1,5 milhão (ROCHA; SANT'ANNA, 2020).

É possível analisar no gráfico abaixo que os meses com maiores queimadas na Amazônia estão associados com os meses com menos chuva na região,

consequentemente, maior número de queimadas, as internações continuam altas após esse período possivelmente pela permanência dos poluentes no ar, estima-se que as consequências sejam maiores pois os dados incluem internações no sistema privado de saúde (IEPS; HRW, IPAM, 2020).

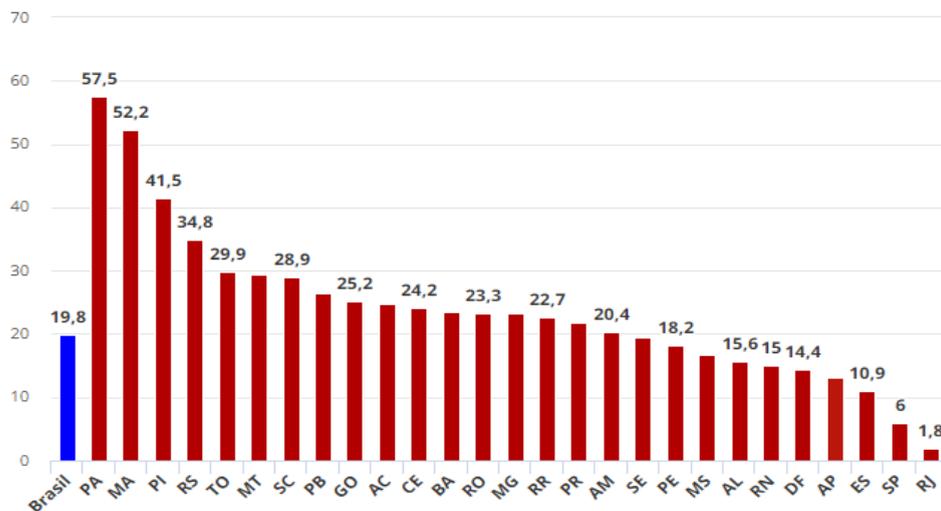
Figura 4 - Internações devido a doenças respiratórias atribuíveis às queimadas



Fonte: IEPS; HRW, IPAM (2020).

Além da poluição do ar externa, outra atividade que também impacta a saúde humana, é o uso de lenha e carvão no preparo de alimentos, observa-se um aumento recente devido ao aumento no desemprego e nos preços do gás, diversas famílias recorrem a esse tipo de cozimento, em que a queima do combustível é mais incompleta que a do gás de cozinha, gerando resíduos e gases indesejados. Aproximadamente 3 milhões de Brasileiros ainda utilizam a lenha e o carvão vegetal como fonte principal de energia, como é possível observar na Figura 5. (G1, 2019).

Figura 5 – Porcentagem do uso de carvão e lenha no preparo de alimentos em 2018



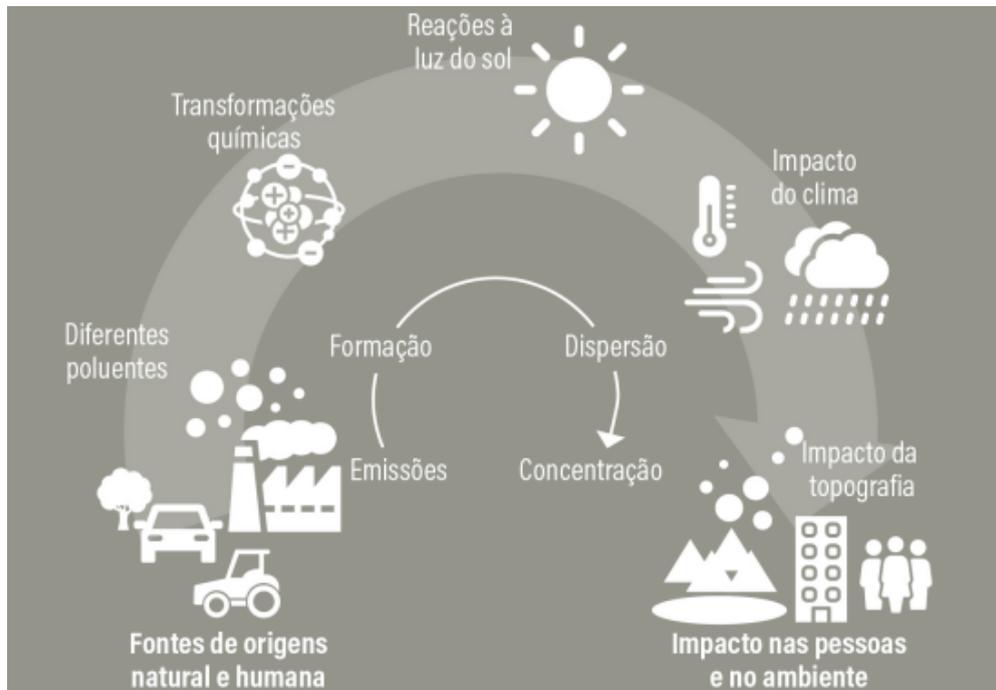
Fonte: IBGE,G1 (2021)

2.3 Composição Atmosférica

A atmosfera é composta principalmente por nitrogênio (78%), oxigênio (21%), argônio, vapor de água e outros gases com menores concentrações, alguns desses gases estão associados com a manutenção da temperatura de equilíbrio da Terra, como: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), ozônio (O₃), e são conhecidos como gases de efeito estufa (GEE) (SANT'ANNA et al., 2021).

A emissão em excesso de gases poluentes devido a diferentes processos, tais como expostos nos tópicos acima, reage com a atmosfera de acordo com a sua concentração, mas também é dependente das condições topográficas e climáticas, como, por exemplo, a velocidade e dispersão dos ventos, mudança de pressão, umidade, precipitação e temperatura, não se limitando a um único agente poluente, e sim, a uma combinação de substâncias e interações complexas, como demonstrado na Figura 6 abaixo.

Figura 6 - Ciclo de poluentes das fontes ao impacto no meio ambiente



Fonte: (SANT'ANNA et al., 2021)

Os principais poluentes atmosféricos envolvidos no estudo são: material particulado inalável (diâmetro < 10 μm), monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre e ozônio. Abaixo estão descritas as características, propriedades, formação e seus efeitos à saúde humana.

2.3.1 Material Particulado

Compreende-se por material particulado (MP) ou aerossol atmosférico, um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças, partículas sólidas e líquidas em suspensão no ar, além de compostos químicos incluindo, nitratos, carbono orgânico, sulfatos e compostos químicos e biológicos (COPAT et al., 2020). Seu tamanho e composição são relacionadas com a sua fonte de emissão, que podem ser classificadas como naturais, exemplo: ação do vento sobre o solo, vulcões, quanto antropogênicas como: tráfego, construção civil, processos indústrias e incêndios.

O material particulado é classificado de acordo com o seu tamanho, as partículas inaláveis grossas, MP_{10} são as que possuem o diâmetro aerodinâmico médio menor que 10 micrômetros e, $\text{MP}_{2,5}$ menor do que 2,5 micrômetros. O tamanho da partícula é

inversamente proporcional aos danos causados à saúde, as de menor diâmetro, $MP_{2,5}$, são capazes atingir os alvéolos pulmonares com maior eficiência que as partículas grossas(WEI et al., 2020; CETESB, 2021b).

De acordo com ZHU et al. (2020) o $PM_{2,5}$ está associado a hospitalizações e mortalidade por DPOC em países europeus e asiáticos, em seu estudo, comparou-se diversas faixas etárias, em que os idosos são o grupo de maior risco, além das estações do ano, em que as estações mais quentes nesses países demonstrou um risco maior do que as estações mais frias.

Diversos estudos destacam o material particulado como um dos principais poluentes associado a morbidade e mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias, e as faixa-etárias mais vulneráveis são em crianças com até cinco anos em razão da maior frequência respiratória e conseqüentemente maior absorção desses por unidade de peso do que os adultos, e os idosos(FERNANDES et al., 2010).

2.3.2 Monóxido de Carbono (CO)

O monóxido de carbono (CO) é um gás inodoro, incolor, sem sabor, a sua formação é devida quantidade limitada de oxigênio disponível para a combustão do combustível, ao invés da produção de dióxido de carbono, CO_2 , o oxigênio é suficiente apenas para geração de moléculas de monóxido de carbono, CO — um processo conhecido como combustão incompleta, geralmente, sua emissão é originada por veículos, porém, nos últimos anos a legislação brasileira determinou que os novos carros saiam de fábrica com conversores catalíticos (catalisadores), minimizando a geração deste poluente.

As equações 1 e 2 apresentam a combustão do CH_4 incompleta, com quantidade limitada de oxigênio, e a equação 3 apresenta a reação com oxigênios suficientes para a combustão completa.





O principal sumidouro de CO é sua reação com OH, enquanto a deposição seca e o fluxo estratosférico são considerados sumidouros menores. Na troposfera, o radical livre hidroxila (OH) oxida o monóxido de carbono (CO) produzindo radicais hidroperóxidos (HO₂), conforme reações 4 e 5:



Considerado um dos gases mais letais, se inalado, o CO se combina com as moléculas de hemoglobina, que tem como função o transporte de oxigênio, porém, o monóxido de carbono tem uma afinidade 200 vezes maior que o oxigênio na combinação com a hemoglobina, inibindo o transporte e a troca de oxigênio do sangue com os tecidos vitais, causando graves implicações à saúde, como dor de cabeça, problemas cardiovasculares, comprometimento do sistema nervoso, e até mesmo, a morte (CHENOWETH; ALBERTSON; GREER, 2021).

2.3.3 Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

Os óxidos de nitrogênio têm como principais fontes os motores de automóveis, seguidas de usinas termoeletricas e industriais que fazem o uso de combustíveis fósseis, como, por exemplo, caldeiras, fornos. Existem muitas formas químicas de óxidos de nitrogênio, em relação a saúde humana, o dióxido de nitrogênio é o que mais causa danos à saúde. (OMS)

Na atmosfera, o nitrogênio do ar reage com oxigênio formando os óxidos de nitrogênio, quanto maior a temperatura de combustão, mais óxido nítrico é gerado, 90-95% dos óxidos de nitrogênio são normalmente emitidos como óxido nítrico e apenas 5-10% como dióxido de nitrogênio, pode existir variações de acordo com a fonte do poluente.

Primeiramente, ocorre a formação de NO, reação 5, que é rapidamente oxidado no ar para formar NO₂ por oxidantes disponíveis (como oxigênio, ozônio e COVs), reação 6, dependendo das condições em que ocorre a queima.



Durante o tráfego de veículos, os poluentes primários COV e NO_x são emitidos por automóveis e outras fontes de combustão em áreas urbanas.

Os COV são oxidados a radicais peróxidos orgânicos pelo radical OH, reações 7 e 8, formando compostos representados por RO₂. Estes reagem com o NO oxidado a NO₂, reação 9. Esta reação concorre com a oxidação de NO a NO₂ pelo ozônio. Ocorre então fotólise de NO₂ em •NO e •O. O •O por sua vez reage com O₂ e forma ozônio.

As sequências de reações básicas são:



O •OH é proveniente das reações de fotólise do O₃, e do radical hidroperóxila (•HO₂), peróxido de hidrogênio (H₂O₂), ácido nitroso (HONO), tal como as reações 12 e 13:



A partir do processo de combustão, nitrogênio reage com o oxigênio formando óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂), e outros óxidos de nitrogênio (NO_y) em elevadas temperaturas, e posteriormente, pela absorção da radiação solar, NO₂, HC e O₂, o ozônio O₃ é formado.

Os óxidos de nitrogênio emitidos têm muitos impactos adversos na saúde humana, a exposição a curto prazo pode causar danos ao sistema respiratórios até mesmo de pessoas saudáveis, podendo levar a doenças pulmonares, e sendo ainda mais perigosas para pessoas que já possuem doenças cardíacas e chances de mortes prematuras, e também no meio ambiente e nos ecossistemas biológicos, como a destruição da camada de ozônio, formação de oxidantes fotoquímicos - smog e a chuva ácida (PANDEY; SINGH, 2021).

2.3.4 Dióxido de Enxofre (SO₂)

Um gás incolor, altamente tóxico, o dióxido de enxofre é resultado da combustão de combustíveis fósseis a partir de fontes naturais, como vulcões, quanto antropogênicas, por exemplo, termoelétricas e automóveis, mas também utilizado na fabricação de fertilizante, ácido sulfúrico e papel a partir de outras reações. O SO₂ liberado na atmosfera reage com a umidade é oxidado, levando a formação de ácido sulfúrico de acordo com a reação abaixo, e a possibilidade de chuva ácida (BRAGA et al., 2001; CETESB, 2020; MALIK; KUMAR, 2021)



Na história, o dióxido de enxofre teve diversas utilidades como gás refrigerador, conservante de alimentos, e como agente redutor, atuando como um alvejante e também na etapa de branqueamento na indústria de papel, mas seu uso vem decrescendo por questões ambientais e de saúde, como exemplo, a diminuição do teor de enxofre nos

combustíveis, como a diminuição do enxofre no diesel no Brasil, para que na hora da queima seja produzido menos SO₂ (MALIK; KUMAR, 2021).

Visando a redução desse poluente, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), em 2013, reduziu o teor de enxofre na gasolina.

Com a iniciativa da ANP, haverá redução da emissão de enxofre na atmosfera em 94 por cento e a emissão de poluentes, em até 59 por cento, no médio e longo prazo, nos veículos mais modernos, contribuindo para a melhora da qualidade do ar e para a diminuição de doenças respiratórias (LORENZI, 2013).

O dióxido de enxofre (SO₂) é um gás extremamente solúvel em água, portanto, tem facilidade em ser absorvido pela mucosa do nariz e pelo aparelho respiratório, causando tosse, irritação no nariz, garganta e pulmões, e suas consequências podem ser agravadas durante e após atividades físicas, em razão da respiração mais profunda, além disso, há evidências de interações por SO₂ mesmo dentro dos padrões de qualidade do ar (CETESB, 2020; AFONSO Jr, 2016).

2.3.5 Ozônio (O₃)

O ozônio é um dos responsáveis pela camada encontrada na estratosfera, que absorve radiação ultravioleta do sol devido ao ciclo do ozônio oxigênio, porém, quando encontrado na camada baixa da atmosfera (troposfera) é um poluente, ele é formado devido a reação dos óxidos de nitrogênio com compostos orgânicos voláteis (COV) na presença de raios ultravioletas (UV) de acordo com a reação fotoquímica abaixo (BRAGA et al., 2001).



A camada de ozônio na estratosfera retém entre 95 a 99% do UV solar, as concentrações médias de O₃ próximo a troposfera são relativamente baixas, porém, com o avanço do setor de transporte, e a emissão de gases que contribuem para a formação

desse poluente secundário, criou condições para que esta produção esteja próxima a superfície terrestre.

A formação do *smog* fotoquímico, *smog* – termo inglês que significa névoa, é resultado de uma mistura de poluentes atmosféricos, e tem como principal componente o O₃ troposférico (HANRAHAN, 2012). Devido ao seu alto poder oxidativo, o gás ozônio causa danos ao crescimento de espécies nativas e culturas agrícolas causando perdas econômicas além, disso estudos acerca sobre os danos que o ozônio pode causar a saúde humana por si são difíceis devido a sua mistura com outros poluentes, em especial, o material particulado, o qual em conjuntos altera a toxicidade do MP e são absorvidos mais facilmente nas vias aéreas, todavia, a exposição a esse gás leva a uma série de efeitos adversos na função pulmonar e no sistema cardiovascular, que vão desde a incidência de asma até alterações na função pulmonar e mortalidade respiratória (RAO; VIZUETE, 2021).

3 METODOLOGIA

3.1 Coleta e Tratamento de Dados

A fonte de dados dos estudos foi obtida no sistema do Qualar da Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), para CO, NO, NO₂, PM₁₀, PM_{2,5} e O₃, juntamente com os valores temperatura, umidade relativa, precipitação, radiação solar total, velocidade e direção do vento a partir das 6:00 horas da manhã até as 21:00 horas da noite, horários em que há a maior exposição da poluição aos poluentes.

O número de internações por problemas respiratórios, o qual é relacionado no Código Internacional de Doenças como CID 10, foi obtido através de dados mensais do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), disponível em <https://datasus.saude.gov.br/aceso-a-informacao/morbidade-hospitalar-do-sus-sih-sus/> para as cidades de Guarulhos, São Bernardo, São Caetano do Sul, Campinas e São José dos Campos, no período de janeiro de 2017 a dezembro de 2019.

O tratamento dos dados foi realizado na linguagem Python, com a transformação dos arquivos em PDF das concentrações dos poluentes e variáveis metroológicas para arquivos Excel.

Pretende-se incluir novas cidades que possuem grande impacto de emissão veicular, industrial entre outros afim de aumentar o atual estudo. Essas cidades seriam Paulínia, Ribeirão Preto, Piracicaba, Rio Claro, Santa Gertrudes e Cubatão.

3.2 Estudo Estatístico

O estudo estatístico estima o impacto da poluição do ar no número de internações, foram realizados gráficos de médias horarias das 6:00 até as 21:00 horas dos poluentes durante o período do verão, outono, primavera e inverno. Analisou-se, as concentrações dos poluentes, internações e temperatura para média, mediana, desvio padrão, valor mínimo e máximo para as cidades, além das análises da média por sazonalidade.

3.2 Características dos Locais de Estudo

As cidades Guarulhos, São Bernardo dos Campos, São Caetano do Sul, Campinas e São José dos Campos foram escolhidas em razão da qualidade dos dados.

Em relação ao aspecto climático no estado de São Paulo, é caracterizado por uma estação seca de maio a setembro em que os níveis de poluentes primários são maiores, devido à maior ocorrência de inversões térmicas em baixos níveis, alta porcentagem de calma dos ventos, ventos fracos e baixos índices pluviométricos, nos meses de outubro a março é predominante a presença de chuvas, e também de um clima mais quente, além do aspecto climático, as características geográficas também influencia na localidade de cada cidade individualmente, como: proximidade do mar e a presença de montanhas e depressões (CETESB, 2021).

Na Tabela 3, - são mostradas características gerais a respeito de cada cidade deste estudo, mas também informações das causas que podem ser correlacionadas com a poluição atmosférica, como mortalidade infantil e mortalidade por doenças respiratórias.

Tabela 3 – Informações sobre as cidades de Estudo

Cidade	População¹	Área	IDHM³	Mortalidade Infantil⁴	Mortalidade Doenças Resp⁵
Guarulhos	1.404.694	318,675	0,763	12,45	871
São Bernardo do Campo	849.874	409,532	0,805	9,61	727
São Caetano do Sul	162.763	15,331	0,862	8,58	234
São José dos Campos	737.310	1.099,409	0,807	10,47	481
Campinas	1.223.237	794,571	0,805	7,54	881

Fonte: (IBGE, 2021)

Nota: 1 – População estimada em milhões no ano 2021

2 – Área Territorial em km² em 2020

3 – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) em 2010

4 – Óbitos por mil nascidos vivos em 2019

5 – Mortes por doenças do aparelho respiratório em 2019

Na Tabela 4, a seguir, é apresentado um resumo das estimativas de população, frota veicular e das emissões de fontes fixas e móveis para os locais de estudo, Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), Região Metropolitana de Campinas (RMC) e São José dos Campos, que possuem monitoramento automático da qualidade do ar.

Tabela 4 - Estimativas de população, frota e emissão das fontes de poluição do ar em São José dos Campos, RMS e RMC.

Locais com monitoramento automático				Emissão (1000 t/ano)				
Município	População	Frota	Fontes	CO	HC	NO_x	MP	SO_x
			Fixa	4,18 ⁴	5,6 ⁵	26,1 ⁵	3,57 ⁵	5,59
RMSP	21.893.842	7.324.690	n ^o indústrias	62	24	162	193	146
			Móvel	112,9	24,89	48,27	1,22	0,72
RMC	3.304.338	1.241.164	Fixa (36 ind.)	2,61	6,39	9,78	1,97	13,54
			Móvel	25,52	5,35	13,15	0,31	0,21
São José dos Campos	729.737	236.456	Fixa (4 ind.)	1,99	0,69	3,87	0,34	5,74
			Móvel	5,29	1,10	2,07	0,05	0,04

Fonte: Adaptado CETESB (2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 5 mostra o comparativo entre os limites padrões intermediários das concentrações dos poluentes, de acordo com a resolução do CONAMA 491/2018, sendo seguido no estudo os valores padrões intermediários PI-1, vigente hoje no estado de São Paulo, em comparação com as últimas diretrizes da qualidade do ar da OMS em 2021 com seus valores padrões finais, o qual é o ideal para a saúde humana, os dois limites seguem metas gradativas e progressivas ao longo do tempo, o ideal é que os limites impostos pelo CONAMA atinja os valores da OMS (BRASIL, 2018).

A Tabela servirá de auxílio durante as análises para entender se as concentrações dos poluentes nas cidades analisadas respeitam os limites impostos por essas organizações

Tabela 5 – Índices de Padrão de Qualidade do Ar, segundo legislação vigente em âmbito nacional e pela OMS

Poluente	Tempo de Amostragem	CONAMA Padrão Primário	OMS Padrão Final
Material particulado fino (PM _{2,5})	24 horas MAA ¹	60 20	15 5
Material particulado grosso (PM ₁₀)	24 horas MAA ¹	120 40	45 15
Ozônio (O ₃)	8 Horas	140	100
Dióxido Nitrogênio (NO ₂)	1 Hora MAA ¹	260 60	200 10
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	24 Horas MAA ¹	60 40	40
Monóxido de Carbono (CO)	8 Horas	9 ppm	9ppm

Fonte: CONAMA (2021), OMS (2021)

Nota: 1 - Média aritmética anual.

4.1 Concentração dos Poluentes por Estação

Para construção dos gráficos sazonais, utilizou-se a média horária mensal dos poluentes para os anos de 2017, 2018 e 2019, com a divisão em 4 partes, o primeiro

gráfico média de dezembro, janeiro e fevereiro representado por DJF, segundo média de março, abril e maio por MAM, junho, julho e agosto por JJA, e por fim, setembro, outubro e novembro por SON.

Em relação aos eixos das concentrações dos poluentes, o eixo y a esquerda representa a concentração dos poluentes nas estações de monitoramento, o eixo y a direita representa a concentrações dos poluentes de acordo com a Tabela 5, valores recomendados pela legislação brasileira, CONAMA 491/2018 e pela OMS 2021.

Observou-se maiores concentrações dos poluentes no inverno (JJA), com exceção do O₃, em razão das condições climáticas adversas em JJA, favorecendo baixa dispersão dos poluentes e da umidade do ar, que resulta em complicações respiratórias por causa do ressecamento das mucosas, provocando sangramento pelo nariz, ressecamento da pele e irritação dos olhos .(CETESB , 2021).

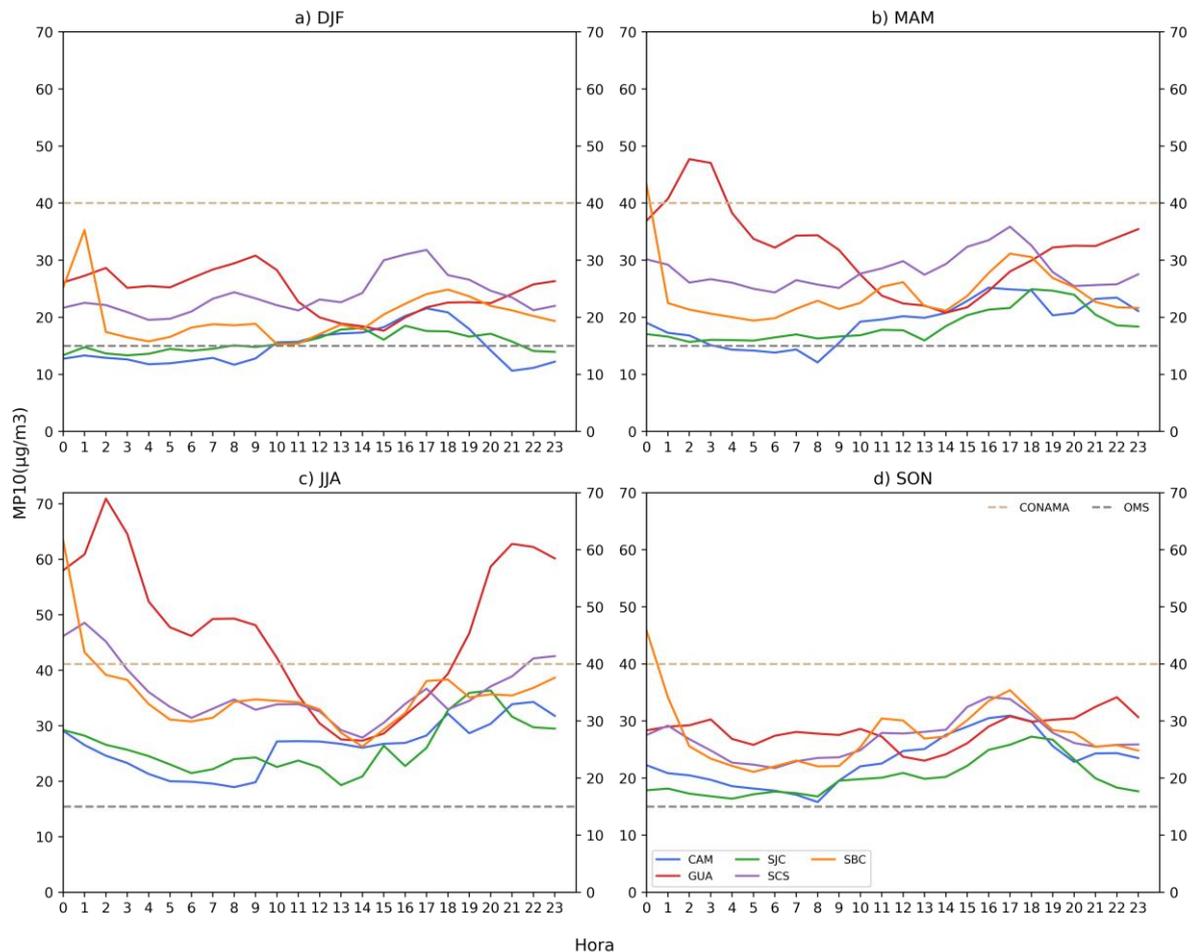
A maior concentração nos meses frios é explicado pelo fenomeno da inversão térmica, o ideal, é que se tenha ar quente (menos denso), numa camada próxima ao solo, ar frio (mais denso) numa camada logo acima desta, em constantes trocas por correntes de convecção colaborando com a dispersão da poluição local. No inverno, o ar frio fica retido na superfície em razão dos resfriamentos do solo, o ar quente fica por cima da camada de ar frio, passando a funcionar como um bloqueio, o que aumenta a concentração dos poluentes, como pode ser verificado nas Figura 7 até Figura 12 e Figuras 14 e 15.

4.1.1 Materiais Particulados

Na Figura 7 são apresentadas as concentrações de MP10 para as quatro estações do ano, média de 2017-2019, observa-se uma maior concentração de material particulado para o outono (MAM) e inverno (JJA), itens b) e c), e também nos horários com menor incidência de sol, das 18:00 até 9:00 da manhã.

Os valores limites da concentração catalogada para o MP10, vide Tabela 5, é de 40 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) recomendado pelo CONAMA, na Figura 7 c), a cidade de Guarulhos ultrapassou esses valores, chegando ao máximo de 70 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) as 2:00.

Figura 7 – Média da concentração de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por estação do ano (2017-2019)

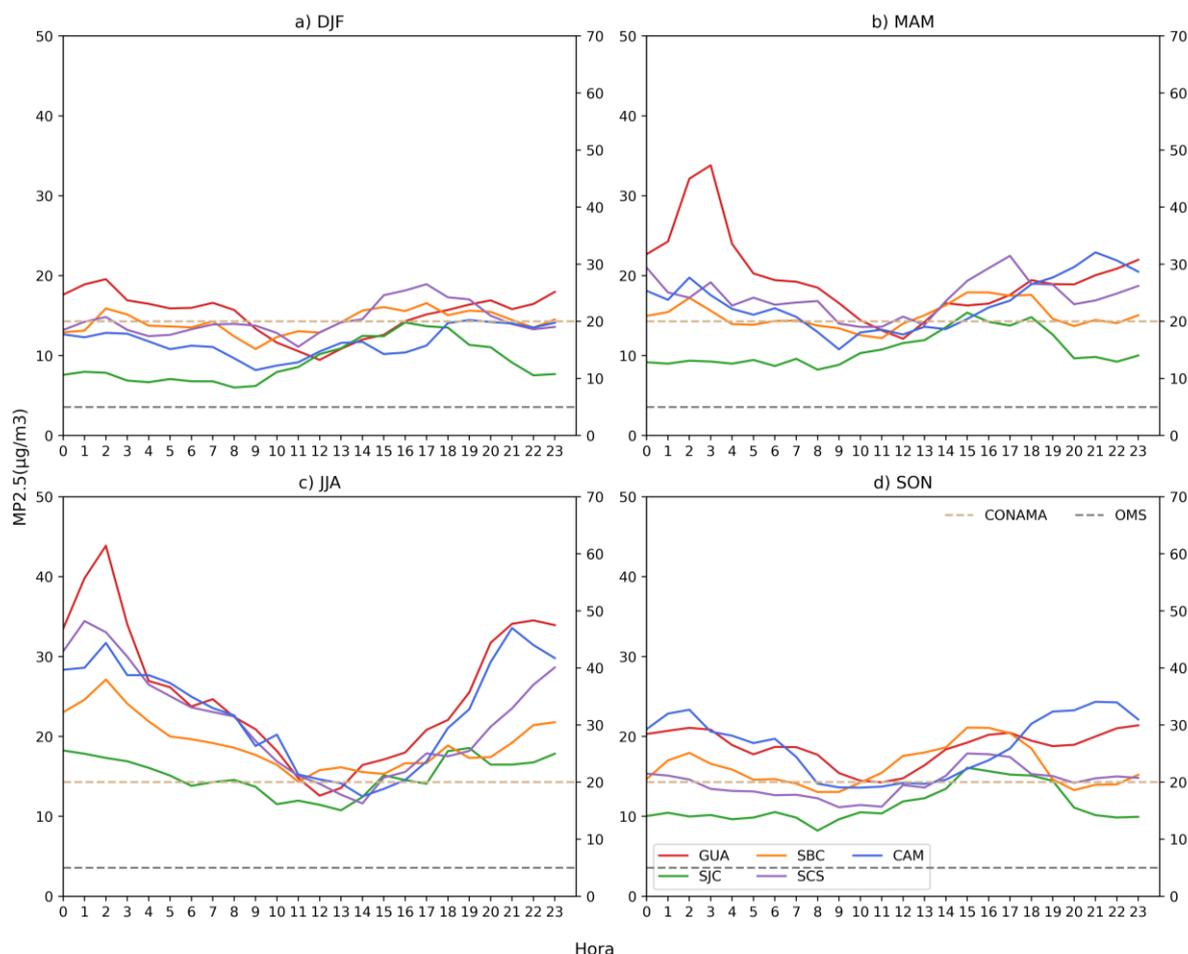


Fonte: Autor

Para o material particulado grosso, MP10, Figura 7, a cidade de Guarulhos apresentou as maiores concentrações, seguido por São Caetano do Sul, São Bernardo dos Campos, Campinas e São José dos Campos.

Na Figura 8 são apresentadas as concentrações de MP2.5 para as quatro estações do ano, média de 2017-2019, observa-se na Figura 8 uma maior concentração de material particulado para o outono (MAM) e inverno (JJA), itens b) e c), e também nos horários com menor incidência de sol, das 18:00 até 9:00 da manhã, comportamento semelhante ao material particulado grosso MP10. Observa-se que todas as cidades ultrapassam os limites proposto pelo CONAMA 20 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Figura 8– Concentração de MP2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por estação do ano (2017-2019)



Fonte: Autor

A cidade de Guarulhos apresentou as maiores máximas de, aproximadamente, 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP10, e 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP2.5 por volta das 2:00 a 3:00 da madrugada. Campinas e São José dos Campos apresenta as menores concentração para MP10, porém, em relação aos materiais particulados finos a cidade de Campinas apresentou valores maiores, e São José dos Campos manteve-se com a concentração menor tanto para o material particulado grosso, quanto fino.

4.1.2 Monóxido de Carbono

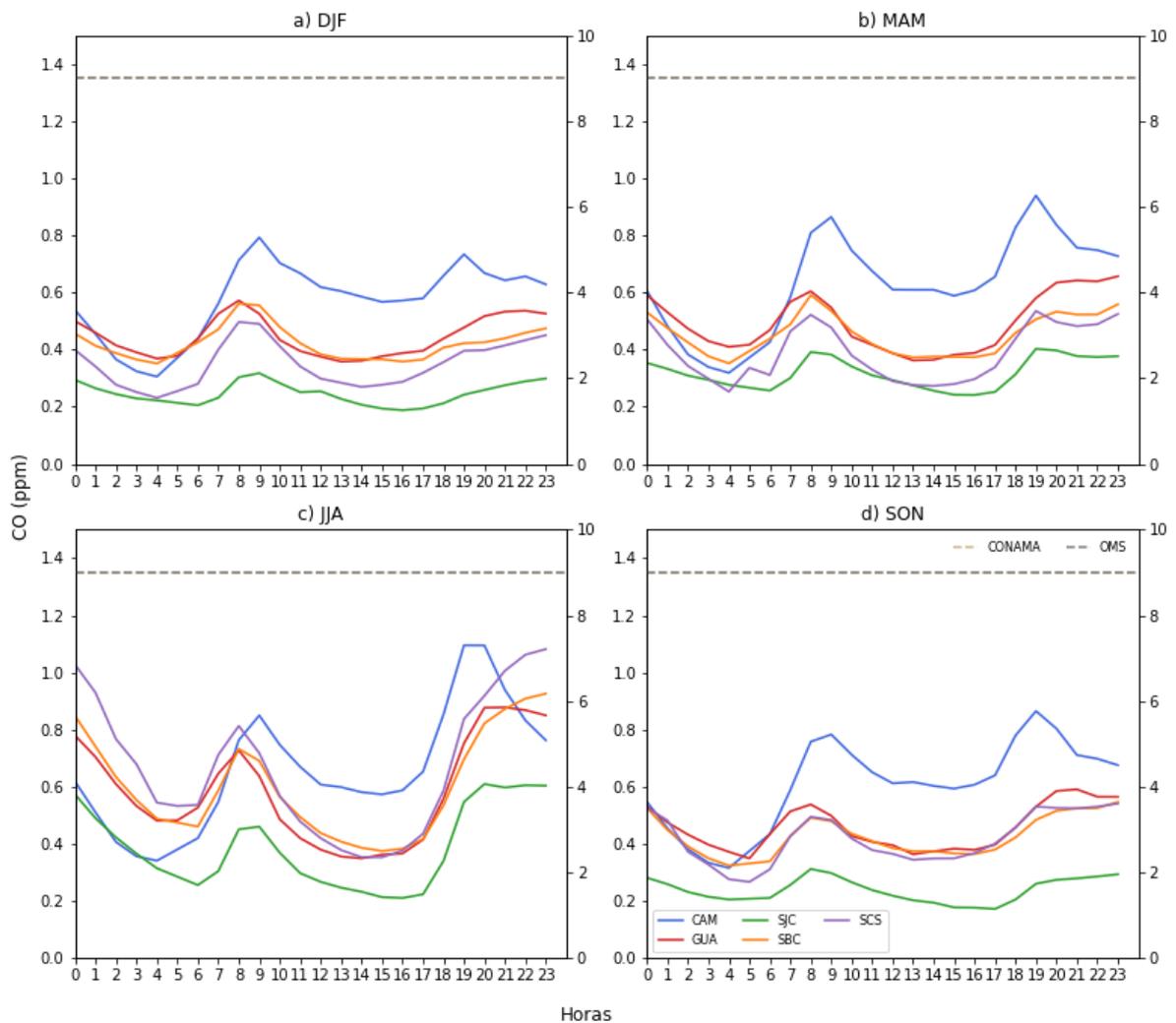
Na Figura 9 são apresentadas as concentrações de CO para as quatro estações do ano, média de 2017-2019, o monóxido de carbono apresenta um aumento da concentração a partir das 6:00 até 10:00 e das 17:00 até 20:00, esse aumento é devido há um maior fluxo de veículos nas cidades estudadas, já que esse horários representam a ida e volta do

trabalho, que resulta na queima de combustíveis como gasolina e etanol que estão relacionados com a emissão de monóxido de carbono (SANT'ANNA et al., 2021)

A estação de monitoramento de Campinas apresentou a maior concentração desse poluente, com um máximo no inverno de aproximadamente 1,1 ppm às 19:00, sendo adequada à saúde humana, tendo em vista que os padrões de qualidade do ar, vide Tabela 5, o limite de 9 ppm é considerado seguro para saúde humana, recomendado pela OMS e pela resolução CONAMA (CETESB, 2021).

Após Campinas, as cidades com maiores concentrações são Guarulhos, São Caetano do Sul e São Bernardo dos Campos que demonstram um comportamento semelhante em relação ao monóxido de carbono, e a cidade de São José dos Campos demonstrou a menor concentração desse poluente, com uma concentração máxima de 0,6 ppm no inverno às 17:00.

Figura 9 – Média da concentração de CO (ppm) por estação do ano (2017-2019)



Fonte: Autor

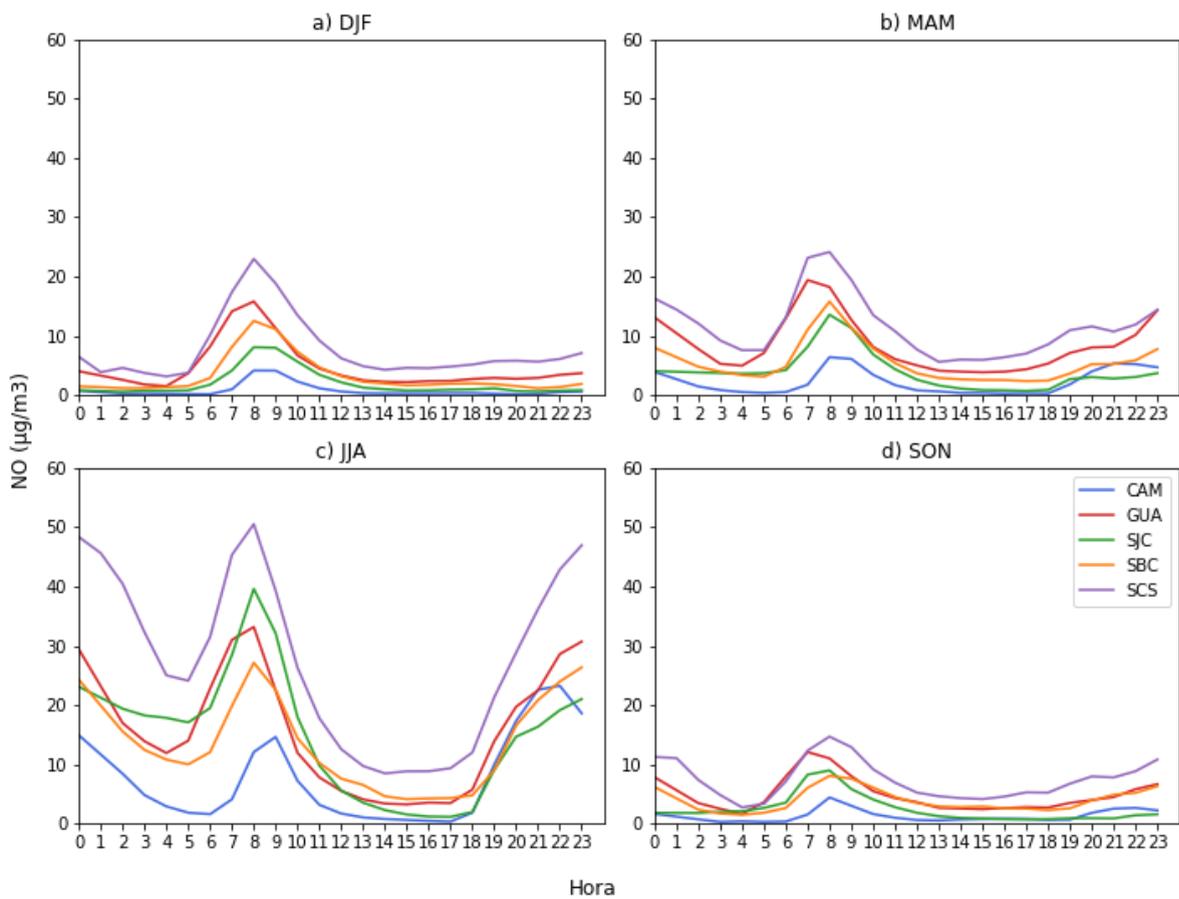
4.1.3 Óxidos de Nitrogênio

Os óxidos de nitrogênio (NO_x), dentre eles óxido nítrico (NO), que sob ação de luz solar se transformam em dióxido nitrogênio (NO_2), são formados durante processos de combustão, sendo os veículos pesados principal fonte de emissão (CETESB, 2021).

Na Figura 10 e 11 são apresentadas, respectivamente, as concentrações de NO e NO_2 para as quatro estações do ano, média de 2017-2019, que apresenta comportamento semelhantes para o verão (DJF) e outono (MAM), com máximas no inverno (JJA) e mínima na primavera (SON).

No período da manhã, em que há um maior fluxo de veículos, ocorre os aumentos dos óxidos de nitrogênio, como mostra as Figuras 11 e 12, começando por volta das 5:00 até 9:00 horas, após esse horário há uma diminuição das concentrações devido à queda no tráfego de veículos, as concentrações voltam a aumentar no final do dia, após as 17:00 até 20:00, devido ao aumento de NO₂ pela oxidação do NO com O₃ e também pela oxidação dos radicais de COV com NO (ALVIM, 2021).

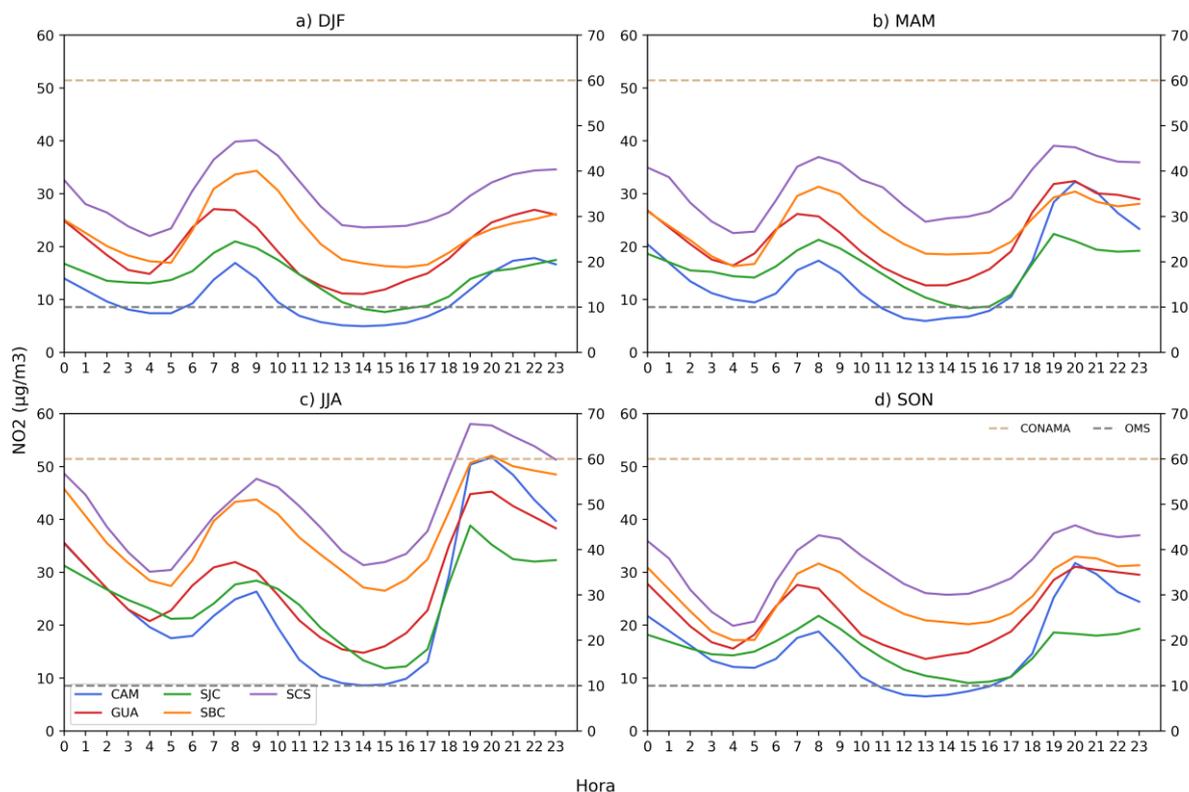
Figura 10 – Média da concentração de NO($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por estação do ano (2017-2019)



Fonte: Autor

A cidade de São Caetano do Sul possui a maior concentração de monóxido de nitrogênio, atingindo um valor de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ as 9:00 no inverno, Figura 11 c, seguindo pelas cidades de Guarulhos, São José dos Campos e São Bernardo do Campos que apresentam comportamento semelhante, e Campinas possui a menor concentração mínima na primavera (SON) e verão (DJF) chegando a valores próximos de 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 11 – Média da concentração de NO₂(µg/m³) por estação do ano (2017-2019)



Fonte: Autor

A cidade de São Caetano do Sul possui a maior concentração de óxidos de nitrogênio, ultrapassando o limite proposto pelo CONAMA, 60 µg/m³, no inverno, Figura 12 c, todas as cidades ultrapassaram os valores limites proposta pela OMS, 10 µg/m³, como observa-se na Figura 12.

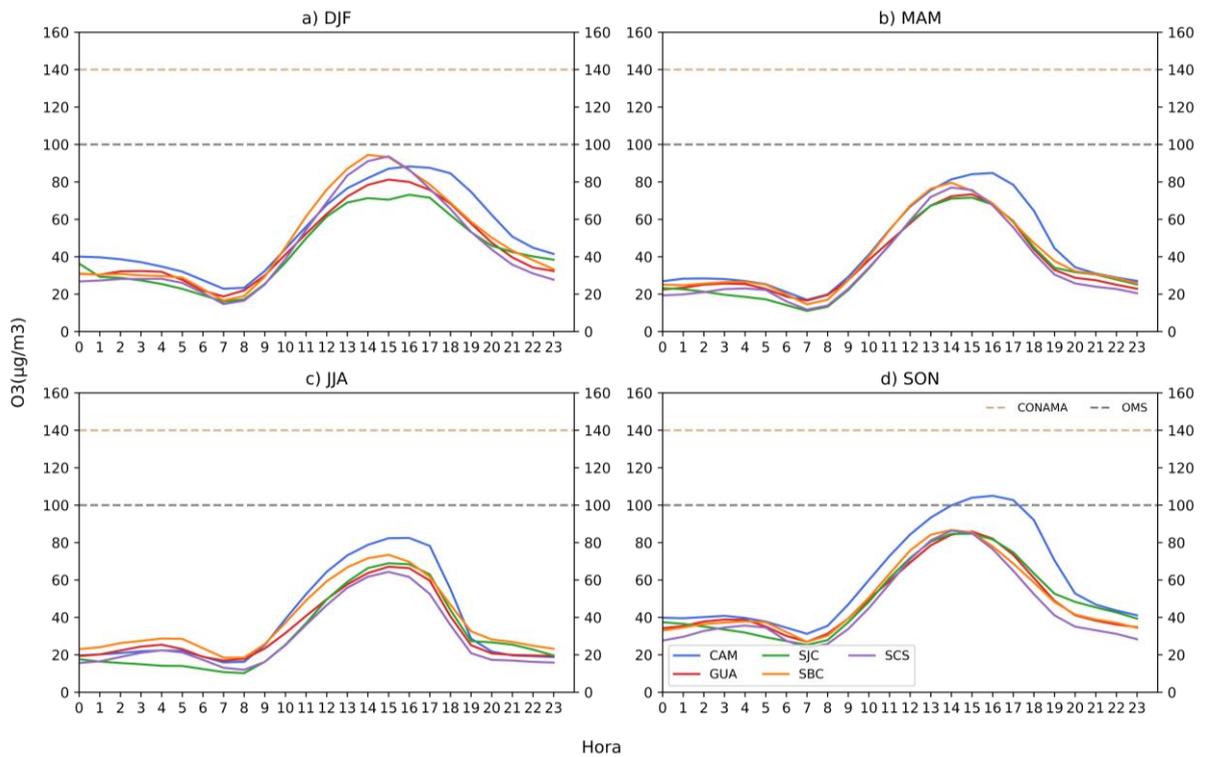
4.1.4 Ozônio

O ozônio é um poluente secundário, em que é formado a partir das emissões dos poluentes primários como óxidos de nitrogênio (NO_x), composto orgânicos voláteis (COV), em conjunto com a disponibilidade da radiação solar.

Na Figura 12 é apresentado as concentrações O₃ para as quatro estações do ano, média de 2017-2019, as estações mais quentes primavera (SON) e verão (DJF) tem as

maiores concentrações desse poluente, -com um aumento da concentração horária a partir das 8:00 até 16:00, após emissão dos poluentes precursores (NO_x, CO e COV) relacionado com o pico de tráfego veicular, e atingindo o máximo de concentração das 14:00 às 16:00 horas, horário de maior disponibilidade de luz e maiores temperaturas do ar. Com a diminuição da luz solar, o processo de fotoquímico de formação do ozônio cessa e sua concentração é reduzida, sendo consumido pelo NO₂ formando NO₃, que formará pentóxido de dinitrogênio (N₂O₅) (ALVIM, 2021).

Figura 12 – Média da concentração de O₃ (µg/m³) por estação por estação do ano (2017-2019)



Fonte: Autor

A cidade de Campinas apresenta a maior concentração do ozônio em 3 estações, outono, inverno e ultrapassando os limites indicadas pela OMS na primavera, como mostra na Figura 12 d, mas ficando dentro dos valores limites estipulados pelo CONAMA.

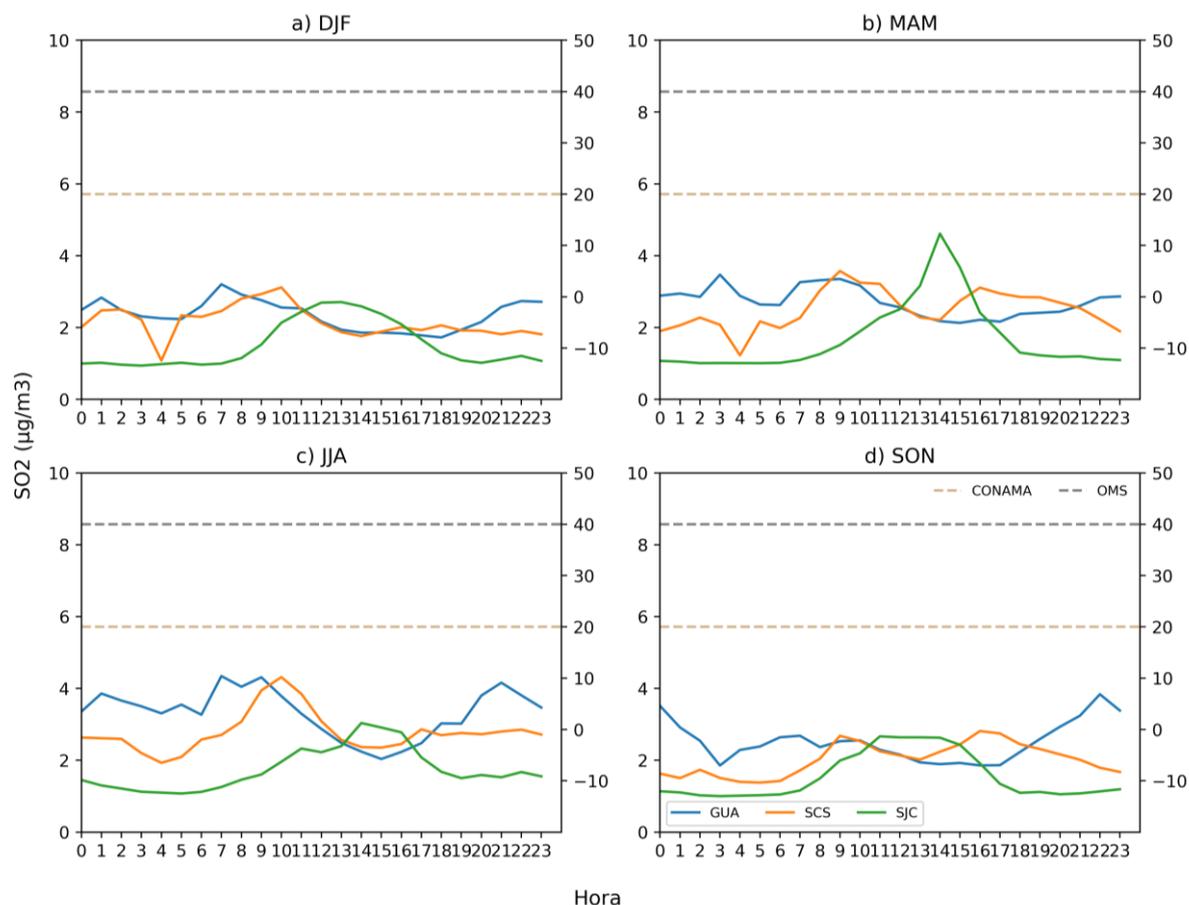
No verão as cidades de São Caetano do Sul e São Bernardo dos Campos apresentam as maiores máximas, mas se mantendo dentro dos padrões da OMS, as demais cidades demonstraram um comportamento semelhante em relação ao ozônio.

4.1.5 Dióxido de Enxofre

O dióxido de enxofre é derivado da combustão de combustíveis fósseis, como o carvão utilizado em instalações industriais e também em veículos que utilizam diesel. Em 2013, visando a redução desse poluente, a ANP determinou a obrigatoriedade na diminuição da quantidade desse poluente no diesel (LORENZI, 2013).

Na Figura 13 são apresentadas as concentrações de SO₂ para as quatro estações do ano, média de 2017-2019, há apenas 3 estações de monitoramento para esse poluente em Guarulhos, São Caetano do Sul e São José dos Campos, observa-se na Figura 13, que os limites estipulados pelo CONAMA, 60 µg/m³, e da OMS, 40 µg/m³, não são ultrapassados, e que os valores de médias horárias para estações de monitoramentos apresentam valores baixos, não ultrapassando 5 µg/m³, essa concentração é explicado em razão do maior controle de emissões imposto pelos agentes regulatórios, a redução no teor de enxofre nos combustíveis como diesel e no carvão, a concentração desse poluente vem decrescendo (CETESB, 2020).

Figura 13 – Média da concentração de SO₂ (µg/m³) por estação por estação do ano (2017-2019)



Fonte: Autor

As concentrações SO_2 se encontram controladas para as cidades do estudo, de acordo com o estudo de CAO et al (2022), a exposição ambiental de curto prazo ao SO_2 é um importante fator de risco de doenças respiratórias e que a cada aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de SO_2 está associado a um aumento de 0,63% de hospitalização por doenças respiratórias.

4.2 Análise das Médias Mensais das Concentrações dos Poluentes e Número de Internações

Em relação às internações por doenças respiratórias, considerou-se o número de internações a cada 10.000 habitantes, as médias seguem um padrão sazonal, como é mostrado na Figura 15 d, com máximas no inverno, na maioria das cidades, Campinas, São Caetano do Sul e São Bernardo dos Campos tiveram suas máximas em maio, mês

que marca o início da seca (SANT'ANNA; ROCHA, 2020). Além de maio, junho e julho apresentaram as maiores médias para a maioria das cidades, e os meses que tiveram o menor número de internações foram dezembro, janeiro e fevereiro meses que marcam o verão, estação chuvosa.

Para a média das concentrações dos poluentes, foi considerado partir das 6:00 horas da manhã até as 21:00 horas da noite, horários em que há a maior exposição da população aos poluentes.

Após o período do inverno, há uma tendência de queda nos números de internações, porém, por volta de setembro, há um pico de internações para as cidades de São Caetano do Sul e Guarulhos, e estabilidade para a cidade de Campinas, São José dos Campos e São Bernardo do Sul, tal comportamento nesse período está principalmente relacionada aos incêndios, como mostra a Figura 16, em que há um maior foco de incêndios no estado de São Paulo. Com o aumento de incêndios há uma maior geração de material particulado, principalmente do MP_{2,5} o qual é mostrado na Figura 15 f, situações semelhantes são encontradas em outras cidades.

O material particulado pode penetrar profundamente nos pulmões e entrar na corrente sanguínea, causando não só problemas respiratórios, também cardiovasculares, cerebrovasculares (derrame) (GALILEU, 2022).

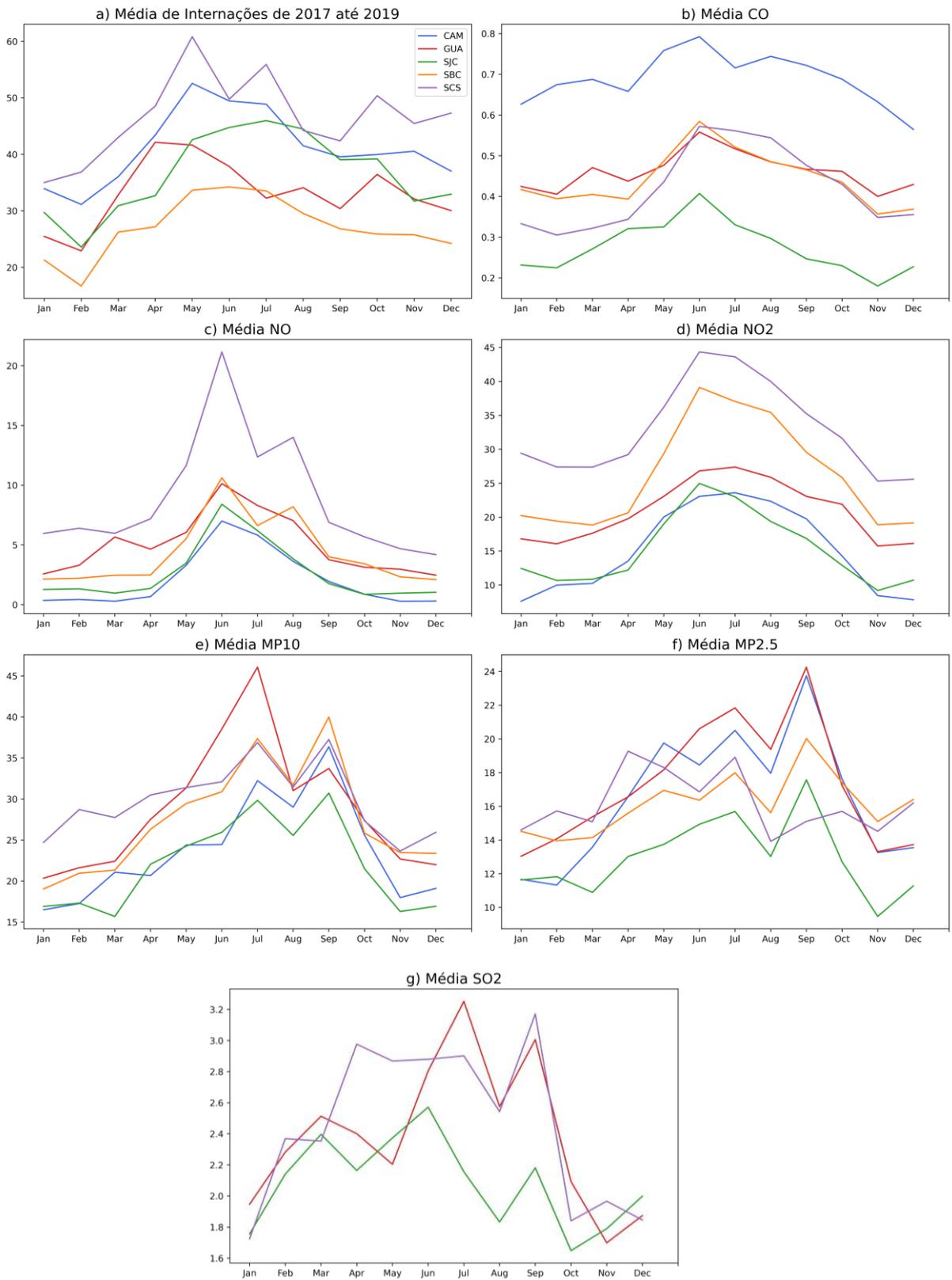
A estação de monitoramento de São Caetano do Sul apresentou a maior média de internações, observa-se na Figura 14 c, d, que a cidade também apresenta as maiores concentrações mensais de óxidos de nitrogênio. Em 2008, São Caetano do Sul foi considerada uma das cidades com o ar mais poluído do Estado de São Paulo, na época a cidade tinha excesso de monóxido de carbono e dióxido de nitrogênio, de acordo com a Figura 14, observa-se que as concentrações de monóxido de carbono diminuíram, se mantendo abaixo dos limites do CONAMA e OMS, 9 ppm, em 2008 a cidade tinha uma média de 11 ppm, porém, acerca dos óxidos de Nitrogênio a média se mantém alta em relação as outras cidades, seguido por São Bernardo dos Campos, Guarulhos, Campinas e São José dos Campos, com as médias dessas 4 cidades bem próximas para o NO, e para NO₂ a cidade de São Bernardos do Campos teve uma média maior que as outras cidades, mas menos que São Caetano, todas as cidades estão acima dos padrões da OMS, 10 µg/m³, para o NO₂ (FOLHA DE SÃO PAULO, 2008).

A maioria dos poluentes apresentam a maior concentração em junho, observa-se na Figura 14 b, a média de CO é maior nos meses de junho, julho e agosto, e menor em novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, Campinas é a cidade com maior concentração desse poluente, seguido por Guarulhos, São Bernardo dos Campos, São Caetano do Sul, e por último, São José dos Campos.

A média de NO é maior nos meses de junho, julho e agosto, e menor nos últimos 3 meses do ano e nos 3 primeiros, outubro novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, São Caetano do Sul é a cidade com maior concentração desse poluente, seguido por Guarulhos, São Bernardo dos Campos, e Campinas e São José dos Campos tiveram comportamento semelhantes em relação à média, o NO₂ apresenta comportamento parecido com o NO, com exceção de São Bernardo dos Campos que a média mensal maior que Guarulhos.

Para o material particulado, o MP10 e MP2.5 tem as maiores concentrações médias em junho, julho e setembro, e menores em novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, Guarulhos é a cidade com maior concentração de MP10 seguido por São Bernardo dos Campos, São Caetano do Sul, São Bernardo dos Campos, Campinas e São José dos Campos, para o MP2.5 Guarulhos também tem a maior concentração, seguido por Campinas, São Bernardo dos Campos, São Caetano do Sul e São José dos Campos.

Figura 14 – Média mensal das interações e das concentração dos poluentes (6:00 às 21:00) no período de 2017-2019

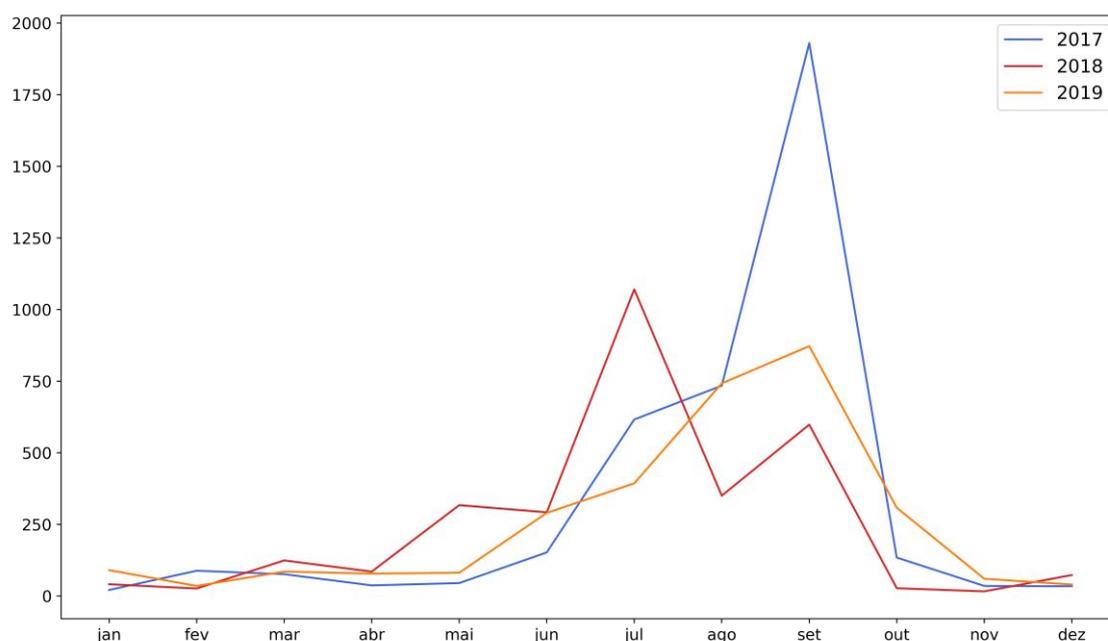


Fonte: Autor

O dióxido de enxofre tem dados apenas para Guarulhos, São José dos Campos e São Caetano do Sul, em que tem as maiores concentrações médias em junho, julho e setembro, e menores em novembro, dezembro, janeiro, São Caetano do Sul é a cidade com maior concentração de SO₂, seguido por Guarulhos, que apresentou a maior média geral, e São José dos Campos.

Em setembro de 2017, o estado de São Paulo teve recorde de focos de incêndio em único mês desde que começou o monitoramento em 1998, esse mês geralmente é o que mais ocorre incêndios em razão de estiagem, umidade do ar baixa e altas temperaturas, na Figura 15 são mostrados o número de focos de incêndio em cada mês no período da 2017 a 2019 no Estado de São Paulo.

Figura 15 – Focos de incêndio em cada mês no período da 2017 a 2019 no Estado de São Paulo



Fonte: INPE

4.3 Análise das Médias Anuais de Internações e das Concentrações dos Poluentes

4.3.1 Campinas

Observa-se na Tabela 6, uma menor média anual para CO, MP2.5, NO e NO₂. juntamente com uma menor média anual de internações em 2018, e em 2019 há uma média maior para O₃, MP10, MP2.5, porém, a maior média de internações aconteceu em 2017, em que há uma média anual maior para concentrações de CO e NO₂. O ano de 2017 tem o maior número de internações, 7,6 % maior em relação ao ano de 2018 e 3,15% maior em relação a 2019, o NO₂ tem a maior concentração anual média no ano de 2017, 7,8 % maior que a média anual de 2018 e 5,8% maior em 2019, o CO e o NO não apresentaram variações significativas ao longo dos 3 anos.

Os demais poluentes se encontram com médias anuais de concentrações maiores no ano de 2019, como o O₃ tem concentração média anual 6,5 % maior em 2019 em relação a 2017 e 4,5 % em relação a 2018.

Na Tabela 6, o MP_{2.5} tem concentração média anual 8,6 % maior em 2019 em relação a 2017 e 22 % em relação a 2018, o MP₁₀ tem concentração média anual 12 % maior em 2019 em relação a 2017 e 4 % em relação a 2018.

A temperatura média mensal oscilou entre 23,55 em 2017 e 24,4C em 2019, atingindo valores mínimos e máximos de, respectivamente, 12,37C e 31,52C.

Tabela 6 – Valores da concentração dos poluentes, internações e temperatura para média, mediana, desvio padrão, valor mínimo e máximo de Campinas no período 2017-2019

Ano	Variáveis	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
2017	Internações	4,26	4,1	0,76	3,25	5,5
	MP2.5	16,27	14,69	6,99	5,52	43,07
	O ₃	58,02	58,52	27,22	10,93	128,46
	CO	0,71	0,68	0,15	0,38	1,19
	Temperatura	23,55	23,96	4,14	12,42	30,48
	MP10	20,32	18,08	9,05	7,94	53,5
	NO	2,81	0,97	4,38	0	27,47
	NO ₂	16,02	12,8	11,6	3,81	58,17
2018	Internações	3,96	3,83	0,67	3,13	5,15
	MP2.5	14,44	12,96	5,99	5,33	44,77

	O3	59,12	61,66	26,47	9,7	106,9
	CO	0,64	0,6	0,15	0,36	1,25
	Temperatura	23,68	24,2	4,06	12,8	31,27
	MP10	21,73	20,16	8,52	8,63	48,9
	NO	2,46	0,6	4,7	0	28,7
	NO2	14,86	11,33	11,58	3,33	66,73
	Internações	4,13	4,01	0,7	2,93	5,23
	MP2.5	17,67	15,92	7,55	5,61	43,45
	O3	61,77	62,48	29,31	10,93	135
2019	CO	0,7	0,67	0,16	0,38	1,22
	Temperatura	24,24	24,74	4,25	12,37	31,52
	MP10	22,69	22,32	7,75	6,65	45,74
	NO	2,8	0,78	4,98	0	30,07
	NO2	15,13	11	11,79	3,21	53,47

Fonte: Autor

4.3.2 Guarulhos

Na tabela 7 são apresentadas as variáveis estatísticas das variáveis de estudo, assim como sua média, mediana, desvio padrão, máximo e mínimo, respectivamente para os anos, 2017, 2018 e 2019 para a cidade de Guarulhos.

As médias de internações para a cidade Guarulhos se mantem muito próximas em 2017 e 2018, com concentração média anual 0,86% maior em 2017 em relação a 2018, o ano 2019 tem a menor média de internações, com uma concentração média anual 12% maior em 2017 em relação a 2019.

Os óxidos de nitrogênio, NO₂ e NO apresentaram mínimas em 2018, com uma concentração média anual de NO e NO₂, os dois poluentes apresentam a mesma diferença percentual, 17% maior de 2017 para 2018, e NO uma concentração média máxima em 2019, 23% maior que 2018 e NO₂ com uma concentração média 2019, 7% maior que 2018, com NO com a maior média de concentração em 2019 e NO₂ em 2017.

O MP₁₀ foi o poluente que teve as maiores variações durante os 3 anos, com máxima em 2018 e mínima em 2017, com uma concentração média anual 30% maior em

2018 em relação a 2017, e 13% maior em 2019 em relação a 2017, o MP_{2,5} seguiu o mesmo comportamento em relação a máxima em 2018 e mínima em 2017, mas com variações menores entre os anos, com uma concentração média anual 12% maior em 2018 em relação a 2017, e 11% maior em 2019 em relação a 2017, com os número de 2018 e 2019 ficando bem próximos.

Para os poluentes CO e O₃ não houve variações significativas para a média de suas concentrações durante os 3 anos.

A temperatura média mensal oscilou entre 21,1°C em 2018 e 21,86°C em 2019, atingindo valores mínimos e máximos de, respectivamente, 12,26°C e 31,1°C

Tabela 7 – Valores da concentração dos poluentes, interações e temperatura para média, mediana, desvio padrão, valor mínimo e máximo de Guarulhos no período 2017-2019

Anos	Variáveis	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
2017	Interações	3,48	3,45	0,73	2,14	4,61
	MP2.5	16,2	14,97	6,9	6,06	38,33
	O3	49,65	47,83	23,75	13,73	118,9
	CO	0,48	0,45	0,12	0,28	0,83
	Temperatura	21,18	21,23	3,88	12,27	29,35
	MP10	21,98	20,96	4,39	14,58	35,21
	NO	8,33	5,47	7,29	1,4	41,19
	NO2	24,37	22,92	9,56	9,36	52,13
	SO ₂	3,12	2,66	1,49	1,39	10,07
2018	Interações	3,42	3,59	0,63	2,31	4,19
	MP2.5	18,14	16,63	7,4	6,91	49,06
	O3	50,01	49,03	21,58	14,27	98,29
	CO	0,48	0,44	0,15	0,29	1,11
	Temperatura	21,1	21,19	3,58	13,57	28,89
	MP10	31,44	28,9	9,09	15,45	51,58
	NO	7,15	3,9	7,71	1,32	43,24
	NO2	20,84	19,54	7,75	8,97	48,42

	SO2	2,42	2,1	0,86	1,2	5,19
	Internações	3,06	2,95	0,57	2,11	3,94
	MP2.5	18,03	16,79	5,76	9,25	42,27
	O3	49,24	50,43	21,7	11,84	99,16
	CO	0,49	0,45	0,14	0,32	1,03
2019	Temperatura	21,86	22,04	3,86	12,26	31,1
	MP10	25,7	24,49	7,31	14,1	46,1
	NO	9,24	5,36	9,84	0,13	56,74
	NO2	22,31	19,85	9,64	7,84	50,87
	SO2	2,31	2,04	0,99	1,1	8,71

Fonte: Autor

4.3.3 São José dos Campos

Na Tabela são apresentadas as variáveis estatísticas das variáveis de estudo, assim como sua média, mediana, desvio padrão, máximo e mínimo, respectivamente para os anos 2017, 2018 e 2019.

Em São José dos Campos, o ano de 2017 teve o maior média de internações, juntamente com a maior média dos poluentes CO, SO₂ e MP_{2.5}, em 2018 houve a menor média de internações, e apresentou mínimas para o O₃, MP_{2.5}, e SO₂, entretanto, máximas para 2 poluentes, NO₂ e MP₁₀, os quais apresentaram baixa variação durante os 3 anos.

A média de internação é 14% maior em 2017 em relação a 2018, 7% maior em relação a 2019, sobre os poluentes que apresentaram maior média em 2017, a concentração média do CO é maior em 2017, 16% maior em relação 2018 e 89% maior em relação a 2019, SO₂ apresentou concentração em 2017, 14,6% maior em relação a 2018 e 10,8% maior em relação a 2019.

O MP_{2.5} tem uma concentração média anual em 2017, 3% maior em relação a 2018 e 11% maior em relação a 2019, em relação ao MP₁₀ com concentração média 0,1% maior em 2018 em relação a 2017, e 3,6% maior em relação a 2019.

Os óxidos de nitrogênio e material particulado grosso apresentaram baixa variação durante os 3 anos, o NO apresentou concentração média máxima em 2019, com um percentual 6% maior em relação a 2017 e 4% maior em relação a 2018, e NO₂ com média máxima em 2018, com um percentual 2% em relação a 2017 e 1% em relação a 2019.

O O₃ apresentou maior concentração média em 2019, com uma variação 10% maior em 2018 e 9% maior em relação a 2017.

A temperatura média mensal oscilou entre 22,42°C em 2018 e 23,15°C em 2019, atingindo valores mínimos e máximos de, respectivamente, 12°C e 31,9°C.

Tabela 8 – Valores da concentração dos poluentes, interações e temperatura para média, mediana, desvio padrão, valor mínimo e máximo de São José dos Campos no período 2017-2019

Anos	Variáveis	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
2017	Interações	3,89	3,87	0,88	2,74	5,47
	MP2.5	12,56	11,82	4,32	3,9	24,83
	O3	49,61	48,41	20,58	16,7	114,1
	CO	0,36	0,33	0,1	0,19	0,8
	Temperatura	22,63	22,86	4,07	12,02	30,72
	MP10	20,96	18,39	7,95	10,77	55,46
	NO	5,71	2,34	8,52	0,07	54,8
	NO2	17	16,11	7,31	3,48	37,7
	SO2	2,04	1,67	1,13	1	8,42
2018	Interações	3,41	3,45	0,76	2,21	4,61
	MP2.5	12,14	12	4,53	3	24,03
	O3	49,16	48,01	16,58	14,57	83,55
	CO	0,31	0,29	0,15	0,06	0,95
	Temperatura	22,42	22,75	3,8	13,38	30,35
	MP10	20,98	18,69	8,88	9,32	60,35
	NO	5,83	2,22	9,36	0,12	56,16
	NO2	17,33	15,61	8,57	5,88	53,23
	SO2	1,78	1,58	0,81	0,69	4,94
2019	Interações	3,64	3,57	0,83	2,1	4,96
	MP2.5	11,27	10,98	3,76	3,26	20,52

O3	54,06	54,41	23,51	17,93	137
CO	0,19	0,17	0,11	0	0,6
Temperatura	23,15	23,55	4,04	12,18	31,92
MP10	20,25	19,68	5,23	8,9	33,28
NO	6,06	2,04	9,36	0,17	55,9
NO2	17,15	15,63	7,91	6,2	40,9
SO2	1,84	1,45	1,11	0,72	6,81

Fonte: Autor

4.3.4 São Bernardo dos Campos

Na Tabela 9 são apresentadas as variáveis estatísticas das variáveis de estudo, assim como sua média, mediana, desvio padrão, máximo e mínimo, respectivamente para os anos 2017, 2018 e 2019.

Em relação a São Bernardo dos Campos, houve uma redução da média de internações ao passar dos 3 anos, com máxima em 2017 e mínima em 2019, o número de internação em 2017 é 7,9% maior em relação a 2018 e 9,6% em 2019.

Em 2017 houve máximas para os poluentes O₃ e MP₁₀, o O₃ tem concentração média anual 2,3% maior em 2017 em relação a 2019 e 12,3% em relação a 2018, o MP₁₀ tem concentração média anual 0,7 % maior em 2017 em relação a 2018 e 3,1 % em relação a 2019

Os valores das menores média dos poluentes se concentraram no ano de 2018, para O₃, NO₂ e MP_{2,5}, NO₂ com a maior concentração em 2019, com 0,9% maior em relação a 2017 e 3,2% maior em 2018 e o MP_{2,5} também com maior concentração em 2019, 1,7% maior em relação a 2017 e 2,8% maior em relação a 2018.

O CO e NO apresentaram máximas para 2018, CO tem a concentração média anual 2% maior em 2018 em relação a 2019, e 7% maior em relação a 2017, o NO tem concentração média anual em 2018 5,3% maior em 2019, e 22,1% maior em relação a 2017.

Os dados para temperatura média mensal estão apenas disponíveis para o ano de 2017, atingindo valores mínimos e máximos de, respectivamente, 13,25°C e 28,5°C.

Tabela 9 – Valores da concentração dos poluentes, interações e temperatura para média, mediana, desvio padrão, valor mínimo e máximo de São Bernardo dos Campos no período 2017-2019

Anos	Variáveis	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
2017	Interações	2,86	2,77	0,85	1,39	4,31
	MP2.5	15,66	15,05	4,43	8,2	30,5
	O3	55,73	54,09	25,69	12,36	128,6
	CO	0,45	0,43	0,11	0,28	0,87
	Temperatura	20,94	21,18	3,23	13,25	28,52
	MP10	26,73	23,95	10,68	11,96	70,23
	NO	5,69	4	4,58	0,8	31,57
	NO2	27,89	26,21	9,54	12,93	56,69
2018	Interações	2,65	2,78	0,45	1,8	3,29
	MP2.5	15,49	15,43	4,74	5,96	32,97
	O3	49,63	49,1	23,66	9,07	104,35
	CO	0,48	0,43	0,16	0,3	1,25
	Temperatura	-	-	-	-	-
	MP10	26,54	25,08	9,09	12,81	56,55
	NO	6,95	3,96	8,03	0,33	40,07
	NO2	27,26	25,37	10,17	12,33	65,55
2019	Interações	2,61	2,72	0,51	1,84	3,77
	MP2.5	15,92	15,79	4,1	6,73	26,52
	O3	54,46	54,49	25,32	10,19	129,56
	CO	0,47	0,42	0,14	0,29	1
	Temperatura	-	-	-	-	-
	MP10	25,93	25,83	6,89	13,97	45,73
	NO	6,6	3,85	7,2	0,2	41,64
	NO2	28,13	25,44	10,13	12,3	55,23

Fonte: Autor

4.3.5 São Caetano do Sul

Conforme mostra a tabela 10, São Caetano do Sul tem a maior média de internação em relação a cidade estudadas, com média máxima de internação em 2019 e mínima em 2018, a média de internações em 2019 2,57% maior em relação a 2017, e 5,7% em relação a 2018.

Juntamente com a máxima de internação em 2019, o O₃ tem concentração 3% maior em 2019 relação a 2018 e 5% maior em relação a 2017, CO 2% maior em relação a 2018 e 15% maior em relação a 2017, SO₂

Para os poluentes NO, NO₂, SO₂ e MP₁₀ há máxima em 2017, NO tem a concentração média anual 36% maior em 2017 relação a 2018, e 40% maior em relação a 2019, NO₂ tem a concentração média anual em 2017, 9% maior em relação a 2018 e 24% maior em 2019, SO₂ apresenta maior concentração anual em 2017 123% maior em relação a 2018 e 132% maior em 2019, e por fim, MP₁₀ tem a concentração média anual 7% maior e relação a 2019 e 5,7% maior em relação a 2018, observa-se uma queda nas concentrações dos poluentes durante os 3 anos, com exceção do O₃ e CO.

O MP_{2,5} tem concentração média anual maior em 2018, 2,7% maior e relação a 2019, em 2017 não há dados para o poluente MP_{2,5} em 2017.

A temperatura média mensal oscilou entre 20,97°C em 2018 e 23,84°C em 2019, atingindo valores mínimos e máximos de, respectivamente, 13,8°C e 31,4°C.

Tabela 10 – Valores da concentração dos poluentes, internações e temperatura para média, mediana, desvio padrão, valor mínimo e máximo de São Caetano do Sul no período 2017-2019

Anos	Variáveis	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
2017	Internações	4,67	4,67	1,09	3,13	7,56
	MP2.5	-	-	-	-	-
	O3	46,38	42,49	26,21	6,43	124,12
	CO	0,4	0,37	0,17	0,12	1,04
	Temperatura	20,97	20,66	3,65	13,8	28,61
	MP10	29,82	28,36	9,37	15,77	60,26
	NO	15,58	11,21	12,19	2,93	74,9
	NO2	37,67	36,7	9,58	21,9	67,52

	SO ₂	4,06	3,84	1,96	1,18	12,28
2018	Internações	4,53	4,82	0,83	2,89	5,84
	MP2.5	16,2	15,62	4,75	7,76	38,39
	O3	47,42	46,82	25,33	8,14	112,77
	CO	0,45	0,4	0,18	0,24	1,35
	Temperatura	22,02	21,39	3,56	15,63	29,39
	MP10	28,38	27,24	7,99	13,71	52
	NO	11,46	7,53	11,28	1,63	63,71
	NO2	34,49	33,37	9,66	19,42	71,48
	SO2	1,82	1,72	0,8	0,5	4,56
	2019	Internações	4,79	5,13	1,06	2,7
MP2.5		15,77	14,94	4,55	8,08	30,75
O3		48,92	46,15	25,91	6,53	117,67
CO		0,46	0,41	0,19	0,25	1,39
Temperatura		23,84	23,53	3,24	18,57	31,43
MP10		27,86	28,26	6,41	14,21	47,44
NO		11,14	6,58	11,88	1,38	73,81
NO2		30,3	27,54	8,97	18,13	58,19
	SO2	1,75	1,69	0,59	0,74	5,4

Fonte: Autor

4.4 Análises a partir da correlação de Pearson e Dendogramas

Empregou-se a análise por Correlação de Pearson para determinar o grau de associação existente entre os casos de internações por doenças respiratórias e a concentração dos poluentes atmosféricos e os parâmetros climáticos, foi utilizado o coeficiente de determinação representado por R².

De acordo com Almeida e Steinke (2016), o grau de relação entre duas variáveis são classificadas de acordo com seus intervalos, conforme Tabela 11.

Tabela 11 – Classificação dos valores de correlações

R²	Média
0	Nula
0,00 ----- 0,09	Fraca
0,09 ----- 0,36	Média
0,36 ----- 0,81	Forte
0,81 ----- 0,99	Fortíssima
1	Perfeita

Fonte: Almeida e Steinke (2016)

Com o auxílio da técnica de agrupamento, dendrograma, foi analisado o nível de similaridade entre as variáveis, os pares de objetos são arranjados de acordo com os respectivos graus de similaridade, de forma que fiquem agrupados segundo uma disposição hierárquica.

Também foi utilizado o método de seleção variável, boruta, o qual é gerado box-plots em que os de cor verde são atributos importantes, amarelos são chamados de provisórios, o algoritmo que não conseguiu chegar a uma conclusão sobre a sua importância, e o box-plots vermelhos são os atributos rejeitados.

Observa-se uma relação inversa entre as interações e temperatura, O₃, velocidade do vento e umidade do ar nas matrizes de correlação e dendogramas para todas as cidades do estudo, com exceção de Guarulhos para a umidade do ar.

A relação inversa entre a temperatura indica que nos períodos de inverno, menores temperaturas, tem-se a maior concentração dos poluentes, como foi possível observar nos resultados anteriores.

O O₃ por ser um poluente secundário, necessita-se de um certo tempo para a sua formação, e ocorrem à medida que as massas de ar se deslocam com isso é normal que concentrações elevadas destes poluentes atinjam áreas mais afastadas das fontes de emissão que os poluentes primários, de acordo com o estudo de Godoy et al (2021) foram detectadas correlações entre o O₃ e os desfechos com interações respiratórias

negativas, porém, nesse estudo foi realizada a análise de longo prazo, que as evidências de longo prazo são menos conclusivas para esse poluente.

A baixa umidade do ar resulta em complicações respiratórias por causa do ressecamento das mucosas, provocando sangramento pelo nariz, ressecamento da pele e irritação dos olhos, Bueno et al (2010) afirma no seu estudo que maiores os índices de precipitação e umidade relativa proporcionaram melhoria da qualidade do ar, reduzindo a concentração de material particulado em suspensão e a incidência de doenças respiratórias em crianças, alta umidade relativa indica um maior período de chuvas resultando na maior dispersão dos poluente, com um menor número de internações.

Em relação a velocidade do vento, quanto menor a velocidade, menor a dispersão dos poluentes, o que favorece uma maior concentração dos poluentes no local, e consequentemente, uma elevação nos números de internações.

De acordo com Conceição (2017), a direção e a velocidade do vento são fatores importantes na avaliação da influência de fontes fixas de contaminantes atmosféricos, já que as partículas de poluentes advindos das indústrias, por exemplo, podem ser arrastadas para os locais de monitoramento.

A variável de direção do vento indica para onde está indo a massa de ar que leva consigo os poluentes, essa variável meteorológica também está relacionada com a dispersão dos poluentes.

Para a cidade de Guarulhos e São Caetano do Sul, a variável de direção do vento se mantiveram favoráveis a dispersão dos poluentes com uma correlação negativa, para Campinas, São José dos Campos e São Bernardo do Campo a direção do vento teve uma correlação positiva com os poluentes e os números de internações, é possível por conta da direção do vento os poluentes gerados pelas áreas industriais se dispersem para as estações de monitoramento, aumentando a concentração dos poluentes.

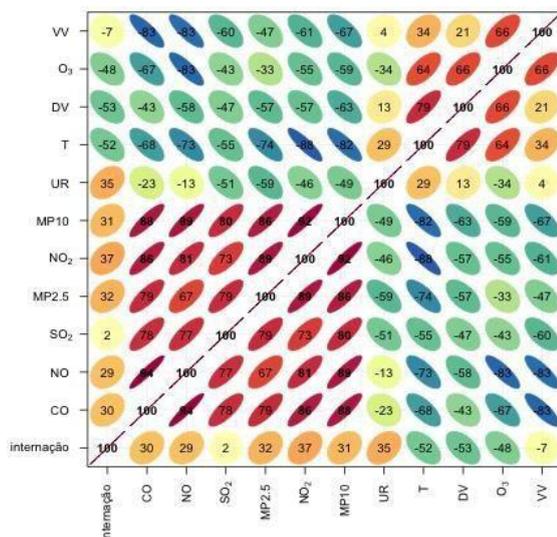
Observou-se relação direta entre a incidência de doenças respiratórias e a concentração dos poluentes, a associação entre os demais poluentes foi discutido para cada cidade, conforme os itens a seguir.

4.4.1 Guarulhos

Conforme observado nas matrizes de correlações da Figura 19 para a cidade de Guarulhos, os resultados encontrados da correlação de Pearson entre os dados de internação por doenças respiratórias do Datasus e as variáveis de poluição e meteorológica constatou-se correlações positivas para 0.37 NO₂, 0.35 UR, 0.32 MP2.5, 0.31 MP10, 0.30 CO, 0.29 NO,

0.02 SO₂ e correlações negativas para -0.53 DV, - 0.52 T, -0.48 O₃, - 0.07 VV.

Figura 16 – Matriz de correlação entre variáveis de poluição, meteorológicas e de internação por doenças respiratórias para a cidade de Guarulhos.



Fonte: Autor

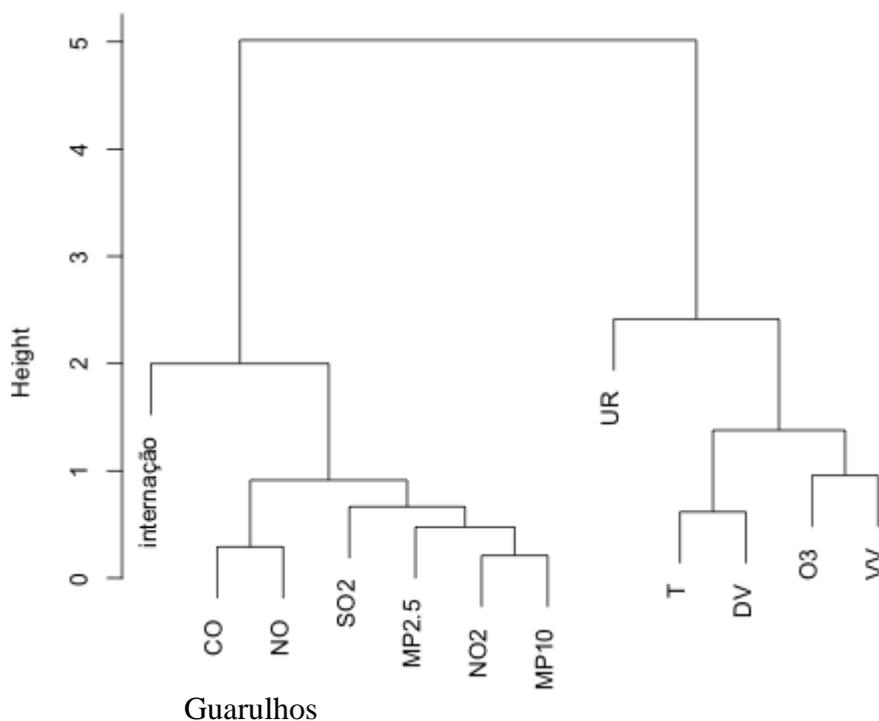
Observou-se a maior correlação direta é entre o número de internações e o NO₂, classificada como uma correlação forte de acordo com a Tabela 11, os demais poluentes demonstram uma média correlação com o número de internações, com exceção do SO₂, que teve uma baixa correlação.

De acordo com o estudo de Negisoli e Nascimento (2013), o qual evidenciou que uma correlação de Pearson de 0.23 para o NO₂ na cidade de Sorocaba demonstrou um efeito agudo no número de internações por pneumonia em crianças de até 6 anos.

Na Figura 17, o dendrograma, observou-se dois maiores agrupamentos, o primeiro agrupamento a esquerda, com o número de internações e poluentes que tiveram a

correlação positiva, e o segundo com as correlações negativas, o que está de acordo com os resultados apresentados na matriz de correlação.

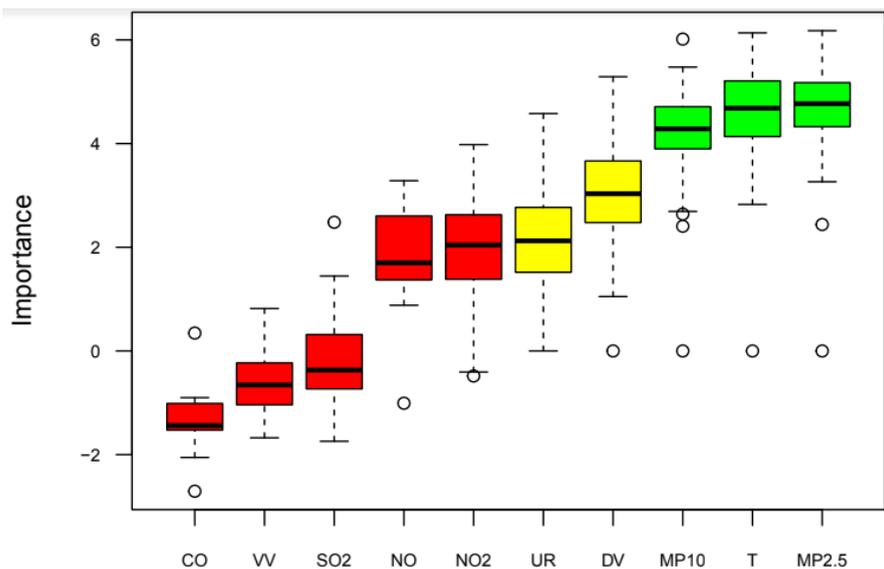
Figura 17 – Dendrograma envolvendo variáveis de poluição, meteorológicas e de internação por doenças respiratórias para a cidade de



Fonte: Autor

Observa-se estudo de Bakonyi et al (2004), correlação próximas para a cidade de Curitiba em relação a Guarulhos, com 0,3 para NO_2 e 0.29 MP10, os quais os resultados sugerem que a poluição atmosférica promove efeitos adversos para a saúde das crianças, mesmo quando os níveis dos poluentes estão inferiores do que determina a legislação.

Figura 18 – Classificação das variáveis a partir do Boruta baseados no grau de importância para Guarulhos



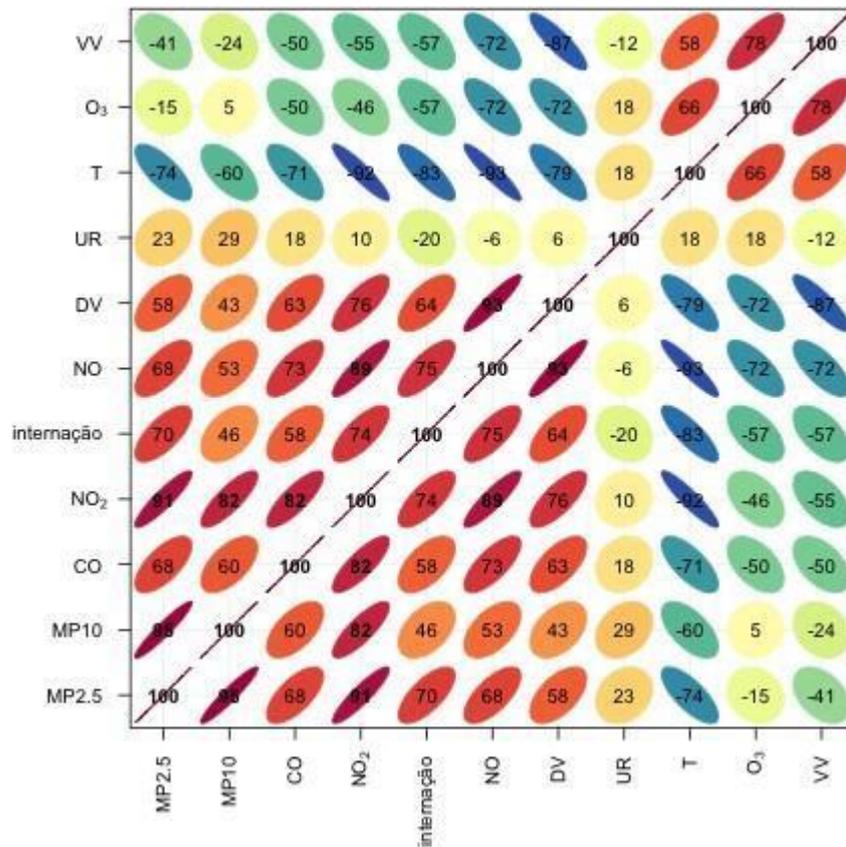
Fonte: Autor

De acordo com resultado da Figura 18, as variáveis de maior importância que explica o número de internação foram o MP2.5, temperatura e MP10, a cidade de Guarulhos apresentou a maior média anual de material particulado dentre as cidades do estudo, com níveis acima do CONAMA e da OMS.

4.4.2 Campinas

Conforme observado nas matrizes de correlações da Figura 18 para a cidade de Campinas, os resultados encontrados da correlação de Pearson entre os dados de internação por doenças respiratórias do Datasus e as variáveis de poluição e meteorológica constatou-se correlações positivas para 0.75 NO, 0.74 NO₂, 0.70 MP2.5, 0.64 DV, 0.58 CO, 0.46 MP₁₀ e correlações negativas para -0.83T, -0.57 O₃, -0.57 VV e -0.20 UR.

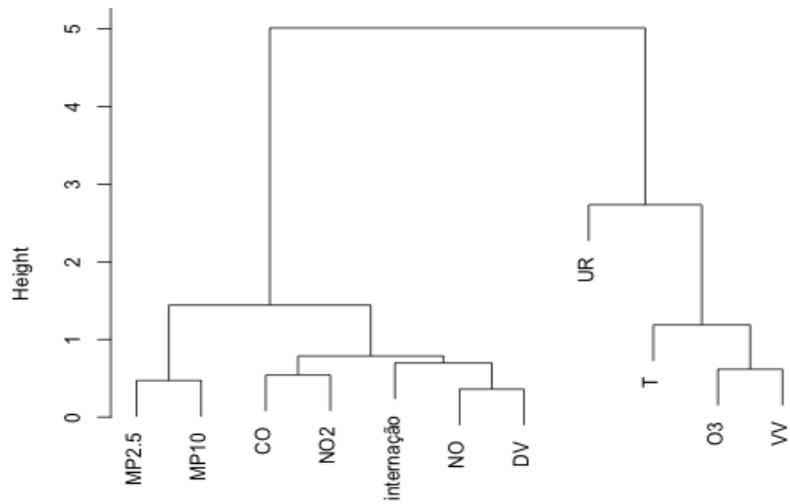
Figura 19 – Matriz de correlação entre variáveis de poluição, meteorológicas e de internações para a cidade de Campinas.



Fonte: Autor

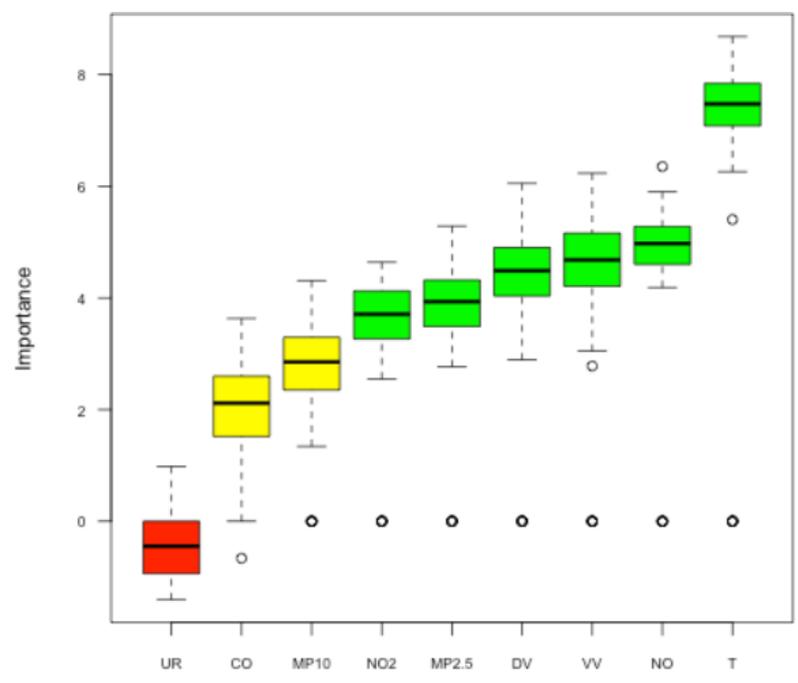
As correlações entre o número de internações, os poluentes e direção do vento apresentaram uma forte correlação de acordo com a Tabela 11, o que também observado no dendrograma da Figura 19, verifica-se proximidade nas variáveis de poluição para NO₂, CO, NO com internações por doenças respiratórias confirmando os resultados do coeficiente de correlação de Pearson.

Figura 20 – Dendrograma envolvendo variáveis de poluição, meteorológicas e de internação por doenças respiratórias para a cidade de Campinas.



Fonte: Autor

Figura 21 – Classificação das variáveis a partir do Boruta baseados no grau de importância para Campinas



Fonte: Autor

Ao analisar as variáveis de maior importância de acordo com a Figura 21, a temperatura, NO, velocidade do vento, direção do vento, MP2.5 e NO₂ também demonstraram maiores correlação tanto na matriz de correlação quanto pelo

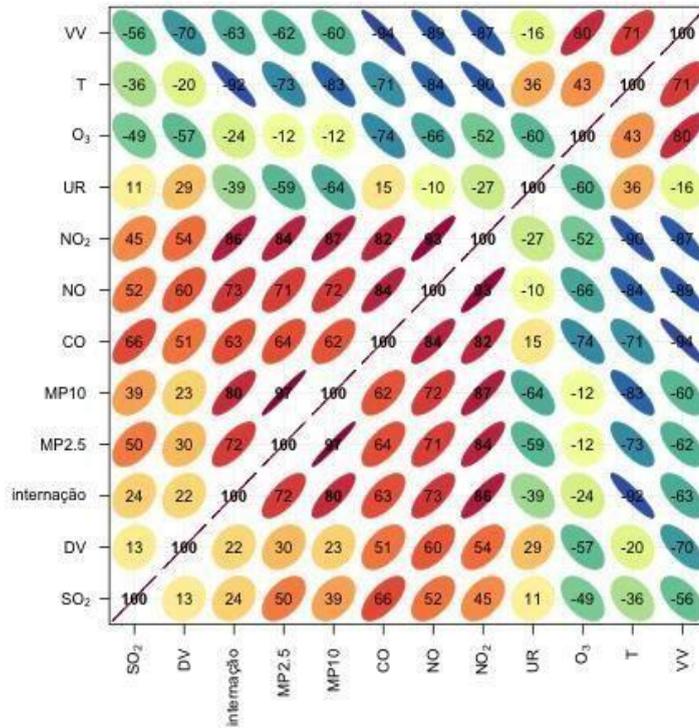
dendrograma, os óxidos de nitrogênio foram os poluentes com a maior relação comparando-se os 3 métodos.

4.4.3 São José dos Campos

Conforme observado nas matrizes de correlações da Figura 22 para a cidade de São José dos Campos, os resultados encontrados da correlação de Pearson entre os dados de internação por doenças respiratórias do Datasus e as variáveis de poluição e meteorológica constatou-se correlações positivas para 0.86 NO₂, 0.80 MP10, 0.73NO, 0.72 MP2.5, 0.63 CO, 0.24 SO₂, 0.22 DV e correlações negativas para -0.92 T, -0.63 VV, -0.39 UR, -0.24 O₃.

Assim como observador no estudo Godoy et al (2021) constatou-se que o NO₂ e o MP10 como poluentes que se mostraram mais significantes em todos em relação a saúde, o NO₂ apresentou uma correlação fortíssima para os números de internação, de acordo com a Tabela 11, seguido por MP₁₀ apresentou uma correlação forte, mais alta que os demais poluentes, que também apresentaram uma correlação forte, com exceção do SO₂ e O₃.

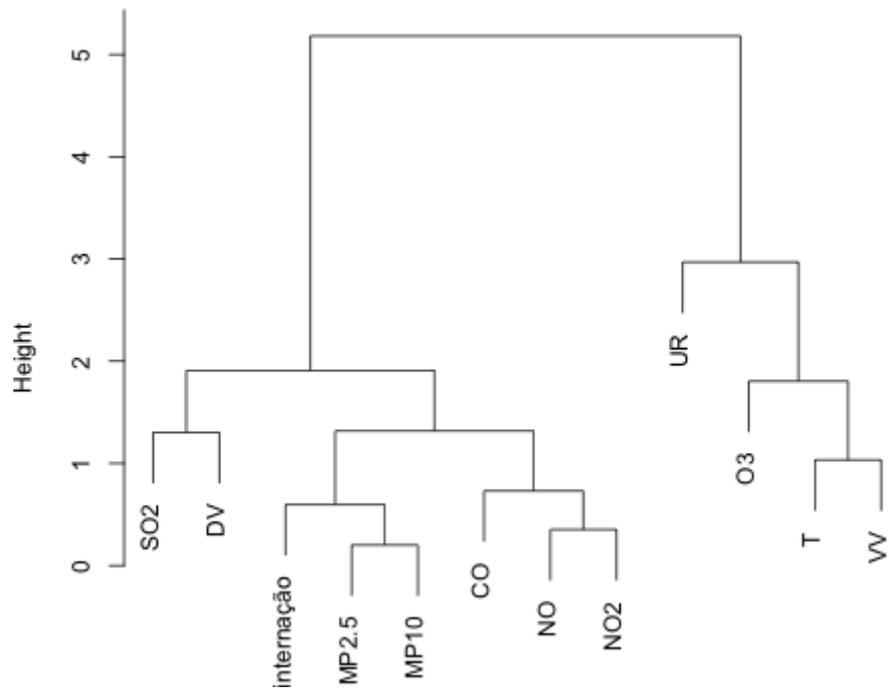
Figura 22 – Matriz de correlação entre variáveis de poluição, meteorológicas e de internação por doenças respiratórias para a cidade de São José dos Campos.



Fonte: Autor

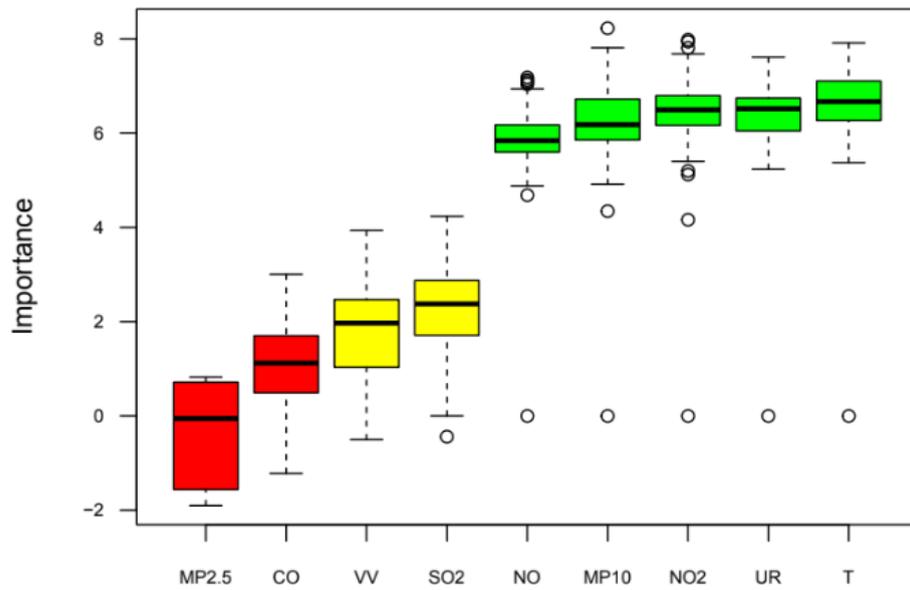
Observou-se no dendrograma da Figura 21, a proximidade no agrupamento das variáveis de interações com a concentração dos materiais particulados, MP₁₀, MP_{2.5}, CO, NO, NO₂, SO₂ e DV conforme verifica-se na matriz de correlação de Pearson.

Figura 23 – Dendrograma envolvendo variáveis de poluição, meteorológicas e de interações para a cidade de São José dos Campos.



Fonte: Autor

Figura 24 – Classificação das variáveis a partir do Boruta baseados no grau de importância para São José dos Campos.



Fonte: Autor

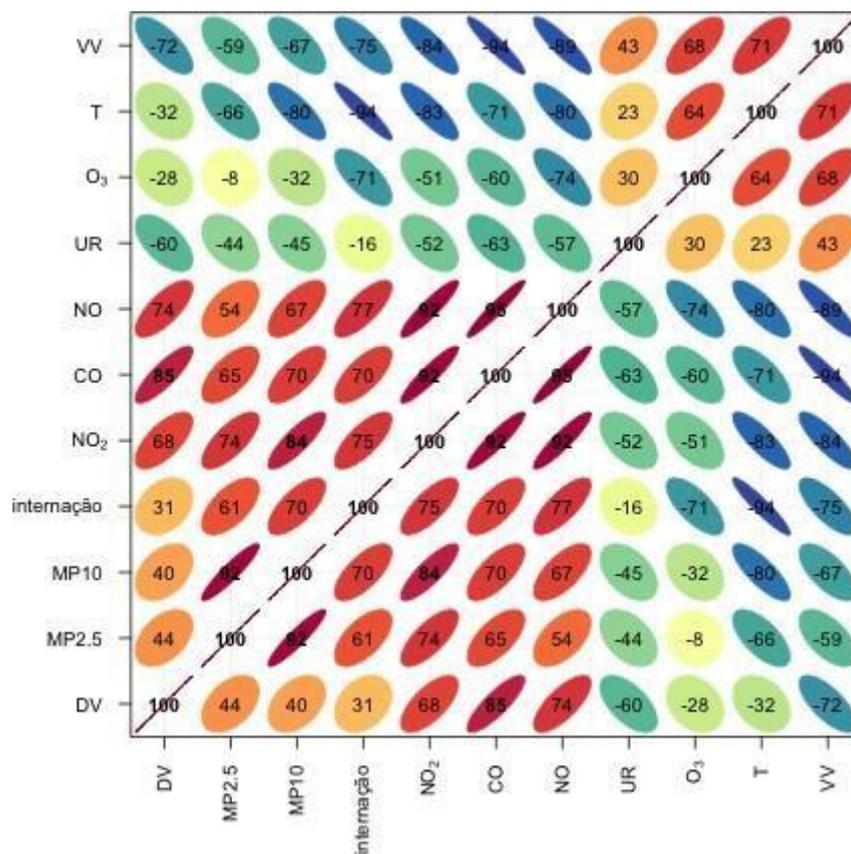
Ao analisar as variáveis de maior importância de acordo com a Figura 24, a temperatura, umidade do ar, NO₂, MP10 e NO também demonstraram maiores correlação tanto na matriz de correlação quanto pelo dendrograma, os óxidos de nitrogênio foram os poluentes com a maior relação comparando-se os 3 métodos, juntamente com MP10.

4.4.4 São Bernardo do Campo

Conforme observado nas matrizes de correlações da Figura 25 para a cidade de São Bernardo do Campo, os resultados encontrados da correlação de Pearson entre os dados de internação por doenças respiratórias do Datasus e as variáveis de poluição e meteorológica constatou-se correlações positivas para 0.77 NO, 0.75 NO₂, 0.70 CO, 0.70 MP10, 0.61MP2.5,

0.31 DV e correlações negativas para -0.94T, -0.75 VV, -0.71 O₃, -0.16 UR.

Figura 25 – Matriz de correlação entre variáveis de poluição, meteorológicas e de internações para a cidade de São Bernardo do Campo

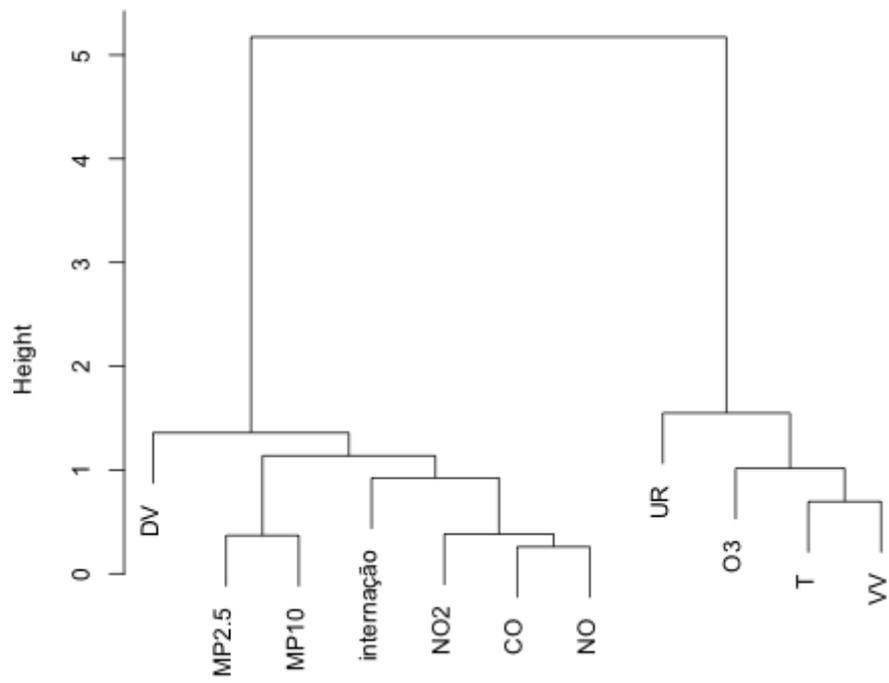


Fonte: Autor

Todos os poluentes apresentaram uma correlação forte para o número de interações, de acordo com a Tabela 11, conforme verifica-se na matriz de correlação para São Bernardo do Campo, também é observado no gráfico de dendrograma, Figura 26, a proximidade no agrupamento das variáveis de NO₂, NO e CO para a cidade de São Bernardo do Campo, confirmando os resultados do coeficiente de correlação de Pearson.

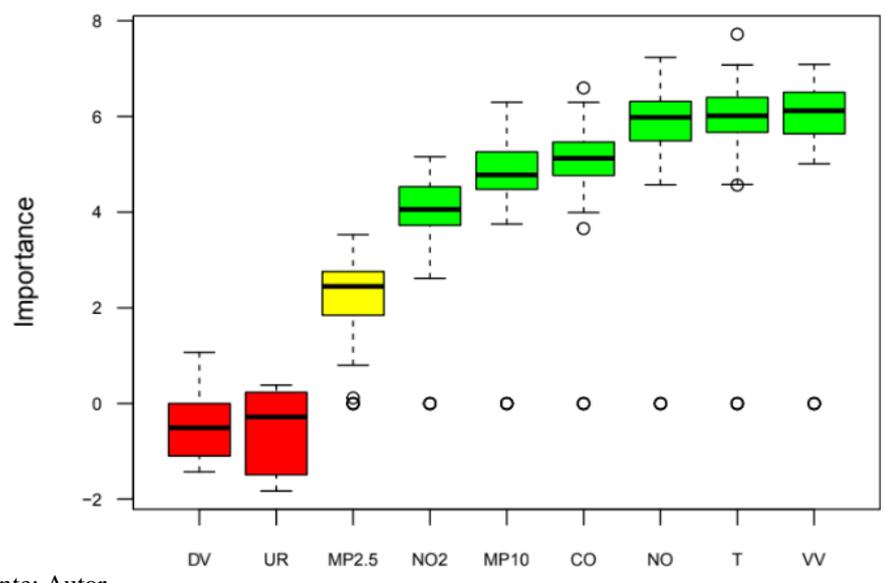
Observa-se relação inversa entre as interações e temperatura, O₃, velocidade do vento e umidade relativa, o que é observado no dendrograma também pelo segundo agrupamento dessas variáveis.

Figura 26 – Dendrograma envolvendo variáveis de poluição, meteorológicas e interação por doenças respiratórias para a cidade de São Bernardo do Campo.



Fonte: Autor

Figura 27 – Classificação das variáveis a partir do Boruta baseados no grau de importância para São Bernardo do Campo.



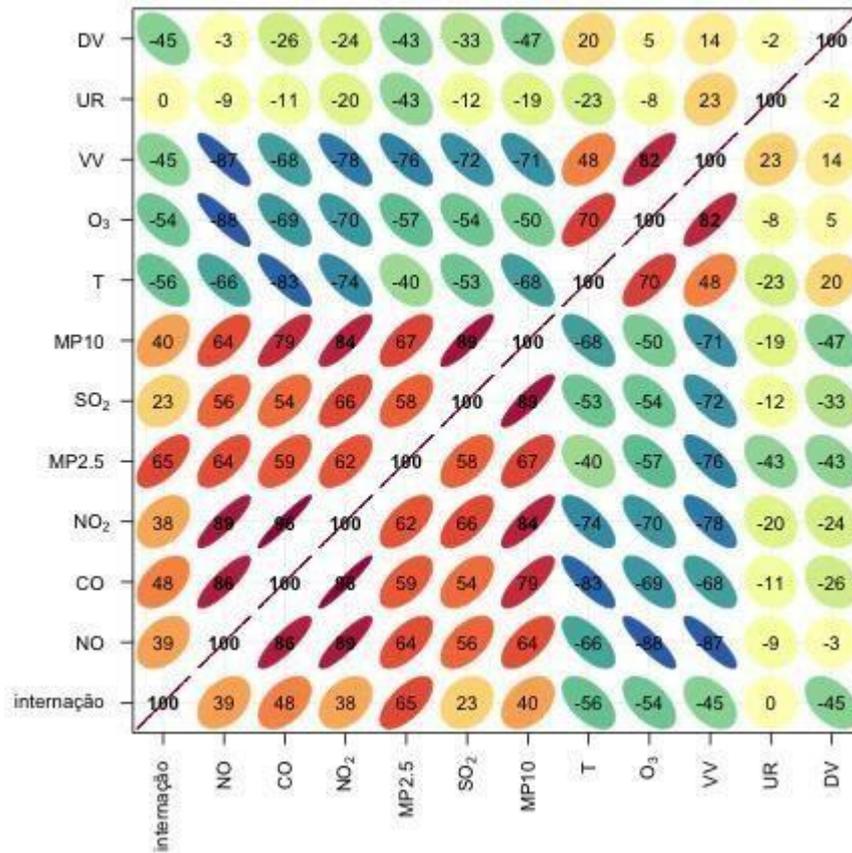
Fonte: Autor

Observa-se na Figura 27 que São Bernardo do Campos demonstrou um forte grau de importância para todos os poluentes, com exceção do MP2.5. Comparando-se os 3 métodos os óxidos de nitrogênio e o CO foram os poluentes que melhor explicaram a incidência de internação na cidade de São Bernardo do Campo.

4.4.5 São Caetano do Sul

Conforme observado nas matrizes de correlações da Figura 24 para a cidade de São Caetano do Sul, os resultados encontrados da correlação de Pearson entre os dados de internação por doenças respiratórias do Datasus e as variáveis de poluição e meteorológica constatou-se correlações positivas para 0.65 MP2.5, 0.48 CO, 0.40 MP10, 0.39 NO, 0.38 NO₂, 0.23 SO₂ e correlações negativas para -0.56T, -0.54 O₃, -0.45 DV, -0.45 VV.

Figura 28 – Matriz de correlação entre variáveis de poluição, meteorológicas e internação por doenças respiratórias para a cidade de São Caetano do Sul



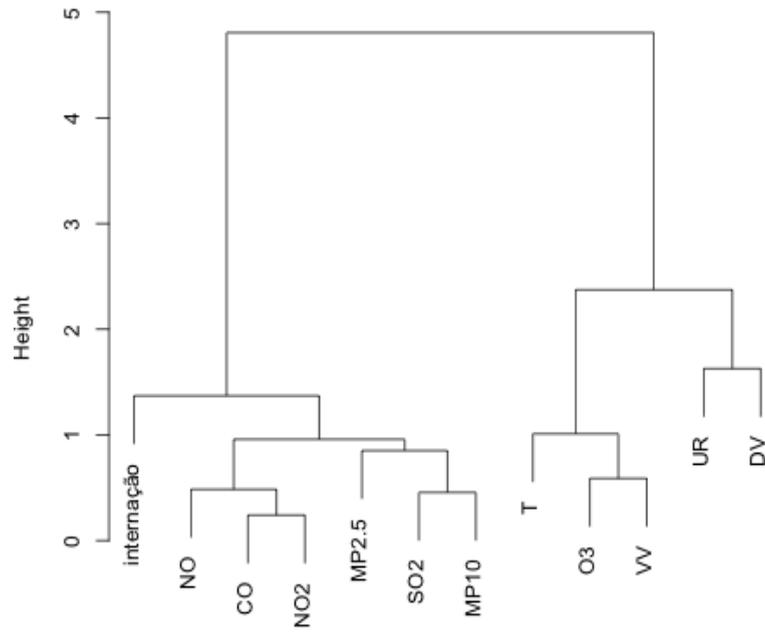
Fonte: Autor

O dióxido de enxofre e o MP10 mostraram uma forte correlação entre si, tanto pela matriz de correlação, quanto pelo dendrograma, Figura 29, Aragão (2016) afirma em seu estudo para a cidade de São Caetano do Sul, o aumento dos atendimentos de emergência por pneumonia foram associadas aos aumentos das concentrações de MP10 e SO₂

Também é observado no gráfico de dendrograma, Figura 29 a proximidade no agrupamento das variáveis de SO₂ e MP10, NO e CO para a cidade de São Caetano do Sul, confirmando os resultados do coeficiente de correlação de Pearson.

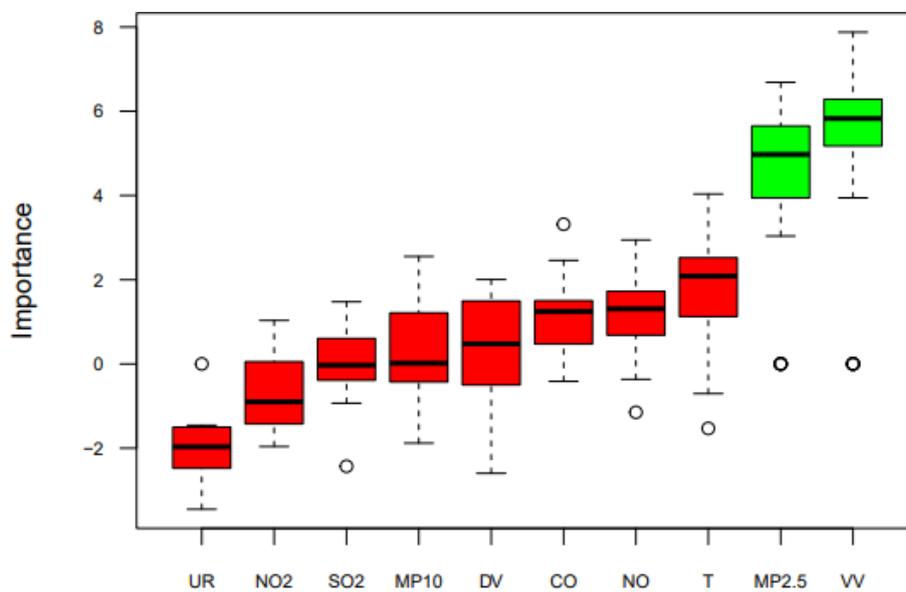
Conforme o estudo de Monteiro, Oliveira e Gurgel (2022) a respeito do material particulado, foi verificado uma correlação positiva e significativa entre as MP2.5 de 0.41 e a quantidade de internações na cidade de Niterói-RJ, valor bem próximo apresentado em São Caetano do Sul.

Figura 29– Dendrograma envolvendo variáveis de poluição, meteorológicas e de internação por doenças respiratórias para a cidade de São Caetano do Sul



Fonte: Auto

Figura 30 – Classificação das variáveis a partir do Boruta baseados no grau de importância para São Bernardo do Campo



Fonte: Autor

Ao analisar as variáveis de maior importância de acordo com a Figura 27, a maioria das variáveis demonstraram sem grau de importância para o número de interações, com exceção do MP2.5 e a velocidade do vento.

CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que o dióxido e o monóxido de nitrogênio foram os poluentes que mais influenciaram na incidência de internações por doenças respiratórias em Campinas, São José dos Campos e São Bernardo dos Campos, apesar de Guarulhos e São Caetano não apresentarem um alto grau de importância para o dióxido de nitrogênio, tiveram suas médias anuais para o NO₂ ultrapassando os limites estabelecido pela OMS, 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, assim como as outras cidades.

O material particulado fino, MP_{2.5}, foi o poluente que se mostrou mais significativo para os casos em São Caetano do Sul, Guarulhos e Campinas apresentaram médias anuais ultrapassando os limites estabelecido pelo próprio CONAMA 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o aumento tanto do material particulado fino ou grosso, está diretamente ligado com os efeitos das queimadas, foi observado um aumento na concentração desse poluentes nos meses de setembro em que há o maior incidências de queimadas, conseqüentemente, houve um aumento no número por doenças respiratórias.

As médias anuais a respeito do monóxido de carbono se mostraram controladas, abaixo dos limites estabelecidos para OMS e o CONAMA, 9 ppm, apesar da cidade de Campinas ter a maior média anual para esse poluente, o CO apresentou baixa variabilidade durante os 3 anos, e também ao longo dos meses, o que explica o baixo grau de associação para incidência de doenças respiratórias na cidade de Campinas.

Neste trabalho também, verificou-se o efeito da sazonalidade na concentração dos poluentes atmosféricos, justificado pelo efeito da inversão térmica, de modo que no inverno a maioria dos poluentes demonstraram uma maior concentração, assim como uma maior incidência de internações por doenças respiratórias, as variáveis meteorológicas de temperatura e umidade do ar, demonstram o mesmo resultado, com exceção da cidade de Guarulhos, o efeitos das estações do anos, principalmente nas estações secas, se mostra importante para construção de políticas públicas para que possam prevenir doenças respiratórias.

O Ozônio também tem as maiores concentração nas estações mais quentes primavera e verão, isso é devido a sua formação, o qual depende da absorção de radiação solar, para o efeito desse poluente na saúde é necessário fazer um estudo de curto prazo, de acordo com Rao e Vizuet (2021), a exposição a esse gás leva a uma série de efeitos

adversos na função pulmonar e no sistema cardiovascular, que vão desde a incidência de asma até alterações na função pulmonar e mortalidade respiratória.

Não foram constatadas associações de SO₂ fortes com o número de internação, provavelmente se deve ao fato de as associações deste poluente com internações por doenças respiratórias serem encontradas com níveis de concentração elevados de SO₂, o que não foi constatado nas cidades do estudo, o SO₂ também não registrou qualquer ultrapassagem nas concentração de acordo com o CONAMA e OMS, provavelmente devido redução a concentração do S no combustível, por outro lado, CAO et al (2022) afirma que estudos a curto prazo do aumento do enxofre está relacionado com aumento no número de internações diárias por doenças respiratórias.

REFERÊNCIAS

ALVIM, D. S.; SILVA, G. F. P.; CARVALHO, N. A.; CHIQUETTO, J. B.; HERDIES, D. L. PANDEMIA DE COVID-19: IMPACTOS NA QUALIDADE DO AR DURANTE O BLOQUEIO PARCIAL NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO. In: XXI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2021, Campina Grande. XXI Congresso Brasileiro de Meteorologia.

AFONSO Jr., A. **Influência das variáveis meteorológicas e poluentes atmosféricos na morbidade hospitalar por doenças cardiovasculares e respiratórias no município de São Paulo**. São Paulo, 2016. 115p. Dissertação (Mestrado)–IAG, Universidade de São Paulo

BAKONYI, S. M. C. et al. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. **Revista de Saúde Pública**, v. 38, n. 5, p. 695–700, 2004.

BRAGA, A. et al. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, v. 0, n. 51, p. 58, 2001.

BRASIL. Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 491. **Diário Oficial da União**, v. 223, n. 1, p. 155, 2018. Disponível em: <in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895>.

BRASIL, M. da S. **Doenças Respiratórias Crônicas** Cadernos de Atenção Básica

Doenças Respiratórias Crônicas Ministério da Saúde, , 2010. .

CAO, D. et al. Ambient sulfur dioxide and hospital expenditures and length of hospital stay for respiratory diseases: A multicity study in China. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 229, p. 113082, 1 jan. 2022.

CETESB. Ficha de Informação Toxicológica - Dióxido de Enxofre. **Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental**, v. 3, p. 3, 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2020/07/Dióxido-de-enxofre.pdf>>.

CETESB. **Poluentes | Qualidade do Ar**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>>. Acesso em: 1 set. 2021a.

CETESB. **Emissão Veicular**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/>>. Acesso em: 8 set. 2021b.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **QUALIDADE DO AR NO ESTADO DE SÃO PAULO**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2021/05/Relatorio-de-Qualidade-do-Ar-no-Estado-de-Sao-Paulo-2020.pdf>>. Acesso em: 5 out. 2021.

CHENOWETH, J. A.; ALBERTSON, T. E.; GREER, M. R. Carbon Monoxide Poisoning. **Critical Care Clinics**, v. 37, n. 3, p. 657–672, 1 jul. 2021.

CHIQUETTO, J. B. et al. Impact of a truck Driver’s strike on air pollution levels in São Paulo. **Atmospheric Environment**, v. 246, n. August 2020, p. 118072, fev. 2021. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231020308049>>.

COPAT, C. et al. The role of air pollution (PM and NO₂) in COVID-19 spread and lethality: A systematic review. **Environmental Research**, v. 191, p. 110129, 1 dez. 2020.

COSTA, C.; GOMES, L. **A batalha de Cubatão contra a poluição atmosférica - BBC News Brasil**. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/media-39236610>>. Acesso em: 16 set. 2021.

FELIN, B. **Qual o impacto da poluição do ar na saúde?** Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/blog/2018/07/qual-o-impacto-da-poluicao-do-ar-na-saude>>. Acesso em: 16 out. 2021.

FERNANDES, J. S. et al. Air Pollution and its respiratory, cardiovascular and reproductive effects in the human health. **Revista Médica de Minas Gerais**, v. 20, n. 1,

p. 92–101, 2010.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Folha de S.Paulo - Ar de São Caetano é dos mais poluídos de SP**. Disponível em:

<<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff1206200802.htm>>. Acesso em: 24 jun. 2022.

G1. **14 milhões de famílias usam lenha ou carvão para cozinhar, aponta IBGE | Economia | G1**. Disponível em:

<<https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/05/22/14-milhoes-de-familias-usam-lenha-ou-carvao-para-cozinhar-aponta-ibge.ghtml>>. Acesso em: 17 set. 2021.

GALILEU. **99% da população mundial respira ar com poluição acima dos limites da OMS - Revista Galileu | Um Só Planeta**. Disponível em:

<<https://revistagalileu.globo.com/Um-So-Planeta/noticia/2022/04/99-da-populacao-mundial-respira-ar-com-poluicao-acima-dos-limites-da-oms.html>>. Acesso em: 24 jun. 2022.

GARCIA, M. F. **Poluição da cidade de São Paulo torna todos os seus habitantes fumantes**. Disponível em: <<https://observatorio3setor.org.br/noticias/poluicao-da-cidade-de-sao-paulo-torna-todos-os-seus-habitantes-fumantes/>>. Acesso em: 31 out. 2021.

HANRAHAN, G. Air Pollutants and Associated Chemical and Photochemical Processes. **Key Concepts in Environmental Chemistry**, p. 215–242, 1 jan. 2012.

HUANG, J. Bin et al. The Science of Global Warming. **Advances in Climate Change Research**, v. 3, n. 3, p. 174–178, 25 set. 2012.

HUANG, G. et al. Long-term exposure to air pollution and COVID-19 incidence: A multi-country study. **Spatial and Spatio-temporal Epidemiology**, p. 100443, 11 ago. 2021.

IBAMA. Programa de controle de emissões veiculares (Proconve). **06/12/2016**, p. 9, 2016. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve>>. Acesso em: 2 out. 2021.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA POLÍTICAS DE SAÚDE; HUMANS RIGHTS WATCH; INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA. **O ar é insuportável**, 2020. . Disponível em:

<<https://www.hrw.org/pt/report/2020/08/26/376135>>.

LEAL, G. C. G.; SOBRAL, M. S. S. de F.; ARAUJO, A. F. O Processo De Industrialização E Seus Impactos No Meio Ambiente Urbano. **Qualitas Revista Eletrônica**, v. 7, n. 1, p. 1–11, 2008. Disponível em: <<http://revista.uepb.edu.br/>>.

LORENZI, S. **Brasil reduz teor de enxofre na gasolina a um quarto em janeiro - Jornal O Globo**. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/brasil-reduz-teor-de-enxofre-na-gasolina-um-quarto-em-janeiro-11181213>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

LÜDER, A. **Poluição do ar na cidade de SP aumenta 44% em agosto; queimadas e fim da quarentena estão entre as causas | São Paulo | G1**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2021/08/26/poluicao-do-ar-na-cidade-de-sp-aumenta-44percent-em-agosto-queimadas-e-fim-da-quarentena-estao-entre-as-causas.ghtml>>. Acesso em: 31 out. 2021.

MALIK, M. K.; KUMAR, S. Sulfur dioxide: Risk assessment, environmental, and health hazard. **Hazardous Gases**, p. 375–389, 1 jan. 2021.

MONTEIRO, D. S.; OLIVEIRA, R. L.; GURGEL, F. P. do A. **INFLUÊNCIA DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS NAS DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM CENTROS URBANOS**. [s.l: s.n.]v. 22

MONTEIRO, L.; LETICIA, R. **Covid-19 e poluição: como a pandemia afetou o ar que respiramos - Revista Galileu | Meio Ambiente**. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Meio-Ambiente/noticia/2020/08/covid-19-e-poluicao-como-pandemia-afetou-o-ar-que-respiramos.html>>. Acesso em: 2 set. 2021.

MORAWSKA, L. et al. The state of science on severe air pollution episodes: Quantitative and qualitative analysis. **Environment International**, v. 156, p. 106732, 1 nov. 2021.

MOZER, M. **Pesquisa mostra que o mau uso de lenha e carvão pode complicar casos da covid-19 | Ufes**. Disponível em: <<https://www.ufes.br/conteudo/pesquisa-mostra-que-o-mau-uso-de-lenha-e-carvao-pode-complicar-casos-da-covid-19>>. Acesso em: 17 set. 2021.

NEGRISOLI, J.; FERNANDO NASCIMENTO, L. C. Artigo Original Poluentes atmosféricos e internações por pneumonia em crianças Atmospheric pollutants and hospital admissions due to pneumonia in children. **Rev Paul Pediatr**, v. 31, n. 4, p.

501–507, 2013.

OLIVEIRA, C. M. et al. **Mapa Assistencial de Saúde Suplementar**. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZDFkODkxNzMtODgwNC00ZTFiLTg2MzUtZmEwNDViNmU1ZWl4IiwidCI6IjlkYmE0ODBJLTRmYTctNDJmNC1iYmEzLTBmYjEzNzVmYmU1ZiJ9>>. Acesso em: 30 ago. 2021.

OMS. **Ambient (outdoor) air pollution**. 1. Disponível em: <[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)>. Acesso em: 3 out. 2021.

PANDEY, S. K.; SINGH, J. Nitrogen dioxide: Risk assessment, environmental, and health hazard. **Hazardous Gases**, p. 273–288, 1 jan. 2021.

PLANELLES, M. **OMS define como “perigosos” os níveis de poluição do ar que eram considerados seguros até agora | Sociedade | EL PAÍS Brasil**. Disponível em: <<https://brasil.elpais.com/sociedade/2021-09-22/oms-define-como-perigosos-os-niveis-de-poluicao-do-ar-que-eram-considerados-seguros-ate-agora.html>>. Acesso em: 26 set. 2021.

RAO, V.; VIZUETE, W. Ozone: Good high, bad nigh. **Particulates Matter**, p. 39–55, 1 jan. 2021.

ROCHA, R.; SANT’ANNA, A. A. Health Impacts of Deforestation-Related Fires in the Brazilian. **Instituto de Estudos para Políticas de Saúde**, v. 11, 2020.

SANT’ANNA, A. et al. O Estado Da Qualidade Do Ar No Brasil. **Wri Brasil**, p. 1–32, 2021. Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes>>.

SANT’ANNA, A. A.; ROCHA, R. Impactos dos Incendios Relacionados ao Desmatamento na Amazônia Brasileira Sobre Saúde. **Instituto de Estudos para Políticos de Saúde, IEPS**, 2020. Disponível em:

<<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/sisam/v2/>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

SIRIOPOULOS, C. et al. Health economics of air pollution. **Pollution Assessment for Sustainable Practices in Applied Sciences and Engineering**, p. 639–679, 1 jan. 2021.

TOBIN, P. et al. Mapping states’ Paris climate pledges: Analysing targets and groups at COP 21. **Global Environmental Change**, v. 48, p. 11–21, 1 jan. 2018.

WEI, T. et al. Particulate matter exchange between atmosphere and roads surfaces in urban areas. **Journal of Environmental Sciences (China)**, v. 98, p. 118–123, 2020.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.05.027>>.

XIAO WU, RACHEL C NETHERY, M BENJAMIN SABATH, DANIELLE BRAUN, F. D. **Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States: A nationwide cross-sectional study.** [s.l: s.n.]

ZHU, R.-X. et al. Relationship Between Particulate Matter (PM2.5) and Hospitalizations and Mortality of Chronic Obstructive Pulmonary Disease Patients: A Meta-Analysis. **The American Journal of the Medical Sciences**, v. 359, n. 6, p. 354–364, 1 jun. 2020. Disponível em:
<<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0002962920301087>>. Acesso em: 18 set. 2021.