

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANA FLÁVIA SCUDELER

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NA CONCENTRAÇÃO DO
MATERIAL PARTICULADO (MP₁₀) NA CIDADE DE FRANCISCO BELTRÃO,
PARANÁ**

FRANCISCO BELTRÃO

2022

ANA FLÁVIA SCUDELER

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NA CONCENTRAÇÃO DO
MATERIAL PARTICULADO (MP₁₀) NA CIDADE DE FRANCISCO BELTRÃO,
PARANÁ**

**Influence of Meteorological Conditions on the Concentration of Particulate
Matter (MP₁₀) in the city of Francisco Beltrão, Paraná**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental na Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Prof.(a) Dr.(a) Elaine Schornobay Lui.
Coorientador: Prof. Dr. Davi Zacarias de Souza.

FRANCISCO BELTRÃO

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ANA FLÁVIA SCUDELER

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NA CONCENTRAÇÃO DO
MATERIAL PARTICULADO (MP₁₀) NA CIDADE DE FRANCISCO BELTRÃO,
PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental na Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 24 de junho de 2022

Elaine Schornobay Lui
Titulação (Doutorado)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Francisco Beltrão

Davi Zacarias de Souza
Titulação (Doutorado)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Francisco Beltrão

Thalita Grando Rauen
Titulação (Pós Doutorado)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Francisco Beltrão

**FRANCISCO BELTRÃO
2022**

Dedico este trabalho à toda minha família, “in
memoriam” ao meu pai que já não está mais
presente conosco, e em especial minha mãe por
todo apoio, amor e compreensão durante todos
esses anos.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família, que sempre me apoiou nos meus estudos, acreditou em mim e me deram forças para continuar nos momentos mais difíceis dessa caminhada, em especial minha mãe “Elisete Rodrigues Scudeler” por ser o grande exemplo da minha vida e nunca me deixar desistir dos meus sonhos, agradeço ao meu pai “Evangelista Scudeler” que não está mais entre nós, e que lá de cima está me guiando, e a Deus que através da fé me permitiu acreditar que eu conseguiria vencer mais essa etapa em minha vida.

Agradeço em especial a minha orientadora a Professora Dr(a). Elaine Schornobay Lui, e ao meu coorientador o Professor Dr. Davi Zacarias de Souza, pelo apoio, conhecimentos transmitidos e pela sabedoria com que me guiaram nesta trajetória para a conclusão deste trabalho.

Agradeço também ao professor Waldir Naguel Schirmer, pesquisador da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, quem nos emprestou o equipamento AGV – MP₁₀ (Amostrador de Grandes Volumes) para realização das pesquisas.

Agradeço ainda a Prefeitura Municipal de Francisco Beltrão, em especial a secretaria de Turismo que nos cedeu o local para a instalação do aparelho e a Coordenadora da Torre da Concatedral Nossa Senhora da Glória, Marlene Meurer que sempre esteve disposta a me atender e ajudar em tudo que precisei para a realização da pesquisa.

Em especial agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Francisco Beltrão, a coordenadoria do Curso de Engenharia Ambiental (COEAM) em nome do Professor Adir Silvério Cembranel, aos meus colegas de sala, enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho.

RESUMO

O crescimento desordenado nos centros urbanos causa danos irreversíveis ao ambiente, afetando diretamente na saúde humana e tem sido motivação para a elaboração de estudos sobre a qualidade do ar. Francisco Beltrão se localiza no Sudoeste do Paraná, e tem sua economia voltada às atividades agroindustriais e serviços. Este trabalho tem como objetivo determinar a influência das condições meteorológicas na concentração do material particulado (MP₁₀) coletado na cidade. Foram realizadas campanhas utilizando um Amostrador de Grandes Volumes (AGV MP₁₀), que ocorreram no período de agosto de 2019 a julho de 2021. Das 119 amostras, todas estavam dentro dos padrões estabelecidos pela CONAMA nº 491/18, que é de 120 µg/m³, no entanto, 14 exemplares estavam com valores acima das normas indicadas pela OMS, que é de 45 µg/m³. A amostra que apresentou maior valor de concentração foi dia 10/09/2019 com um valor de 90,4 µg/m³, e que apresentou menor valor foi dia 06/10/20 com 3,2 µg/m³. Agosto e setembro de 2019 e 2020, apresentaram os maiores valores de concentração de MP₁₀, pois o período engloba as estações de outono e inverno, que possuem menores precipitações. Não foi identificada a influência da pandemia do Coronavírus nos valores de concentração de poluentes, pois não ocorreu uma variação significativa dos valores coletados. Constatou-se que Francisco Beltrão possui valores de concentração de material particulado adequados aos parâmetros indicados pelo CONAMA 491/2018, que é de 120 µg/m³, porém não dispensa a continuidade do monitoramento do MP₁₀ e estudos futuros sobre a poluição atmosférica na cidade.

Palavras-Chaves: Poluição Atmosférica. MP₁₀. Condições meteorológicas. Qualidade do ar.

ABSTRACT

The disorderly growth in urban centers causes irreversible damage to the environment, directly affecting human health and has been the motivation for the development of studies on air quality. Francisco Beltrão is located in the southwest of Paraná, and has its economy focused on agro-industrial activities and services. This work aims to determine the influence of meteorological conditions on the concentration of particulate matter (PM₁₀) collected in the city. Campaigns were conducted using a Large Volume Sampler (AGV MP10), which occurred in the period from August 2019 to July 2021. Of the 119 samples, all were within the standards set by CONAMA No. 491/18, which is 120 µg/m³, however, 14 samples were above the standards indicated by the WHO, which is 45 µg/m³. The sample that presented the highest concentration value was on 10/09/2019 with a value of 90.4 µg/m³, and that presented the lowest value was on 06/10/20 with 3.2 µg/m³. August and September 2019 and 2020, showed the highest MP10 concentration values, because the period encompasses the fall and winter seasons, which have lower precipitation. The influence of the Coronavirus pandemic on the pollutant concentration values was not identified, as there was no significant variation in the values collected. It was found that Francisco Beltrão has particulate matter concentration values appropriate to the parameters indicated by CONAMA 491/2018, which is 120 µg/m³, but it does not exempt the continuity of monitoring of MP10 and future studies on air pollution in the city.

Keywords: Air Pollution; PM₁₀; Meteorological Conditions; Air Quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura Vertical da Atmosfera.....	16
Figura 2 – Comparação do tamanho do MP _{2,5} e MP ₁₀ com fio de cabelo e grão de areia.....	24
Figura 3 – Impactos da poluição do ar na saúde humana.....	25
Figura 4 – Normais climáticas de Francisco Beltrão (ano base 1974 a 2020)....	32
Figura 5 – Localização de Francisco Beltrão – PR.....	37
Figura 6 – Mapa do Sistema Viário Municipal de Francisco Beltrão	38
Figura 7 – Amostrador de Grandes Volumes (AGV MP ₁₀).....	39
Figura 8 – Torre da Concatedral Nossa Senhora da Glória	40
Figura 9 - Filtro de fibra de vidro	41
Figura 10 - Dessecador.....	42
Figura 11 – Balança Analítica.....	42
Figura 12 – Filtro de fibra de vidro antes da coleta.....	43
Figura 13 – Filtro de fibra de vidro após a coleta	43
Figura 14 – Imagem de satélite do Programa Copernicus, da Agência Espacial Europeia (ESA).....	47
Figura 15 – Imagens do Satélite Sentinel-5P da cidade de Los Angeles (EUA), demonstrando a diminuição de poluição do ar durante o período da pandemia em comparação ao ano anterior.	52

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 – Camadas da Atmosfera.....	17
Quadro 2 – Principais fontes poluentes da atmosfera.....	19
Quadro 3 – Comparativo de alguns elementos químicos primários entre a CONAMA 03/1990 e CONAMA 491/2018	26
Quadro 4 – Diretrizes da qualidade do ar pela Organização Mundial da Saúde (OMS).....	27
Quadro 5 – Padrões da qualidade do ar (CONAMA 491/18).....	28
Quadro 6 – Padrões de níveis de alerta, atenção e emergência (CONAMA 491/18)	29
Quadro 7 - Níveis de AQG recomendados para 2021 em comparação com as diretrizes de qualidade do ar de 2005.....	29
Quadro 8 - Amostras com valores acima de 50 µg/m ³ indicados pela OMS	44
Quadro 9 - Níveis de concentração de MP no início das coletas julho e agosto de 2019	46
Quadro 10 - Valor de Concentração do Material Particulado (MP ₁₀).....	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparativos das concentrações da coleta do MP com as Normas vigentes.....	45
Gráfico 2 – Relação entre a concentração de MP10 e a precipitação pluviométrica na cidade de Francisco Beltrão entre os meses de agosto 2019 a julho de 2021.....	49
Gráfico 3 – Crescimento da frota veicular de Francisco Beltrão até 2021.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGV	Amostrador de Grandes Volumes
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiental
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
COVID-19	SARS-CoV-2 (Coronavírus)
ESA	Agência Espacial Europeia
FMC	Fumaça
GEE	Gases de Efeito Estufa
HPA	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDR – PR	Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná
MPA	Material Particulado Atmosférico
MP	Material Particulado
MP _{2,5}	Material Particulado até 2,5 µm
MP ₁₀	Material Particulado até 10 µm
NBR	Normas Brasileiras
OMS	Organização Mundial da Saúde
PDM	Plano Diretor Municipal
PTS	Partículas Totais em Suspensão
PRONAR	Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar
ppm	Parte por milhão
SEMA – PR	Secretaria do Meio Ambiente do Paraná
SIMEPAR	Sistema Meteorológico do Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

LISTA DE SÍMBOLOS

CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CH ₄	Metano
CFCs	Clorofluorcarbonetos
HCL	Cloreto de Hidrogênio
HF	Ácido Fluorídrico
H ₂ S	Sulfeto de Hidrogênio
µm	Micrometro
µg	Microgramas
nm	Nanometro
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
O ₂	Oxigênio
O ₃	Ozônio
OH [·]	Radical Hidroxila
P	Pressão
Pb	Chumbo
SO ₂	Dióxido de Enxofre
SO ₃	Trióxido de Enxofre
T	Temperatura
U	Umidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	REVISÃO DA LITERATURA	16
3.1	A Atmosfera e sua composição	16
3.2	Poluição atmosférica	18
3.3	Material Particulado (MP)	20
3.4	Efeitos na saúde humana	23
3.5	Legislação vigente	26
3.6	Meteorologia	31
3.6.1	Ventos	32
3.6.2	Umidade relativa.....	33
3.6.3	A temperatura na atmosfera.....	34
3.6.4	Precipitação.....	35
4	METODOLOGIA	36
4.1	Descrição e identificação do local de estudo	36
4.2	Sistema Viário de Francisco Beltrão	37
4.3	Instrumentos de coleta de dados	38
4.5	Local de instalação do AGV – MP₁₀	39
4.6	Metodologia de amostragem	40
4.7	Período da coleta	42
4.8	Cálculos de Concentração do MP₁₀	42
5	RESULTADOS	44
5.1	Comparativo com as normas vigentes	44
5.2	Valor da concentração do Material Particulado em relação a precipitação	48
5.3	Valor da concentração do Material Particulado em contraste com o Coronavírus (Sars-Cov-2)	50
6	CONCLUSÃO	54
	REFERÊNCIAS	56
	APÊNDICE A - Tabela de Dados da precipitação diária (Simepar) e valores diário da concentração do material particulado.	63

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização contínuo da população nas últimas décadas tem promovido uma dinâmica de vida acelerada nas cidades, havendo uma grande preocupação com os problemas voltados a poluição ambiental causados pelas atividades antrópicas (MAGALHÃES, 2010). É importante fomentar que os processos de industrialização e de urbanização estão diretamente relacionados com as principais fontes emissoras de poluentes na atualidade, principalmente as fontes voltadas a poluição do ar. (MELO, 2007; RIBEIRO, 2011).

É denominado material particulado (MP) todas as partículas sólidas ou líquidas presentes na atmosfera, e as principais fontes de emissão desse material particulado são provenientes de queimadas de materiais fósseis como a gasolina, óleo diesel ou madeira (BAIRD e CANN, 2011).

O MP é classificado de acordo com o diâmetro aerodinâmico de suas partículas, sendo que as partículas menores que 2,5 μm (micrômetros) são consideradas finas (MP_{2,5}) e as que permanecerem até 10 μm (MP₁₀) são consideradas partículas inaláveis (COSTA *et al.* 2009). Muitas dessas partículas são visíveis a olho nu, como poeira, cinzas e fumaças, porém outras não são visíveis, mas não deixam de ser significativas para o ambiente (ALVES, 2005).

Deste modo, o estudo da poluição do ar torna-se um campo multidisciplinar que envolve diversos fatores a serem analisados, dentre eles, aqueles relacionados aos parâmetros da saúde da população (como as doenças do trato respiratório e o aumento de internações), parâmetros meteorológicos (como a velocidade e direção do vento, umidade, precipitação, temperatura), a química da atmosfera e química ambiental (tipos de poluentes identificados no ar), ao crescimento das frotas veiculares e conseqüentemente das emissões de CO₂, e ao desenvolvimento econômico (crescimento de indústrias) (SLEZAKOVA *et al.* 2011; LI *et al.* 2015).

A cidade de Francisco Beltrão, é um polo regional e se localiza no sudoeste do estado do Paraná. Beltrão tem um foco comercial voltado ao comércio e serviços e as atividades da indústria e agropecuária. Com um enorme potencial de crescimento e uma boa qualidade de vida, a cidade tem atraído cada vez mais migrantes e novas empresas e indústrias tem se instalado ali, o que significa um crescimento populacional e um maior desenvolvimento econômico.

Com todo esse crescimento houve também nos últimos anos um grande aumento da frota veicular e industrial, assim, quanto mais industriais e carros em circulação, maiores os índices de emissões de poluentes no ar, acarretando efeitos adversos no ambiente e na saúde da população.

Desta maneira, a inexistência de estudos sobre a qualidade do ar em Francisco Beltrão faz desse trabalho uma considerável fonte de informações sobre a concentração dos poluentes atmosféricos na região.

Francisco Beltrão mesmo durante a pandemia do vírus SARS-CoV-2 (Coronavírus) teve um aumento significativo na quantidade de veículos licenciados, em 2020 foi de aproximadamente 2.257 veículos, e em 2021 de 5.166 veículos (IBGE, 2022). Esse aumento manteve o município com a maior frota da região sudoeste do Paraná, com quase 72.166 mil veículos entre carros, motos, ônibus e caminhões em circulação (IBGE, 2022).

Dessa maneira, os poluentes presentes no ar passaram a ser objeto de estudo, pois além do aumento da incidência de alergias e irritações do trato respiratório, essas partículas podem ter em sua composição agentes químicos, que causam interferência diretamente na saúde humana (BRITO, *et al.* 2018).

Para mensurar o padrão de qualidade do ar em Francisco Beltrão, foram seguidos os valores indicados de concentração de MP_{10} , que estão dispostos na resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente, o CONAMA nº 491/18 que nos mostra um valor máximo de concentração de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e também foi feito um comparativo com os valores sugeridos pela OMS (Organização Mundial da Saúde, 2021) que é de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Assim este estudo tem como intuito fazer um estudo entre os parâmetros meteorológicos da cidade Francisco Beltrão, especialmente a precipitação, com os níveis de concentrações do MP_{10} coletados e fazer um comparativo com as legislações vigentes, e se possível, fazer indicativos de uma melhoria na qualidade do ar da cidade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a influência das condições meteorológicas na concentração do material particulado inalável (MP₁₀) na atmosfera da cidade de Francisco Beltrão, Paraná.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar a concentração do material particulado inalável até 10 µm;
- Correlacionar as concentrações dos particulados com as variáveis meteorológicas, principalmente com a precipitação;
- Comparar as concentrações de MP₁₀ com as legislações vigentes como CONAMA 491/2018, e mundial pela OMS (2021).

3 REVISÃO DA LITERATURA

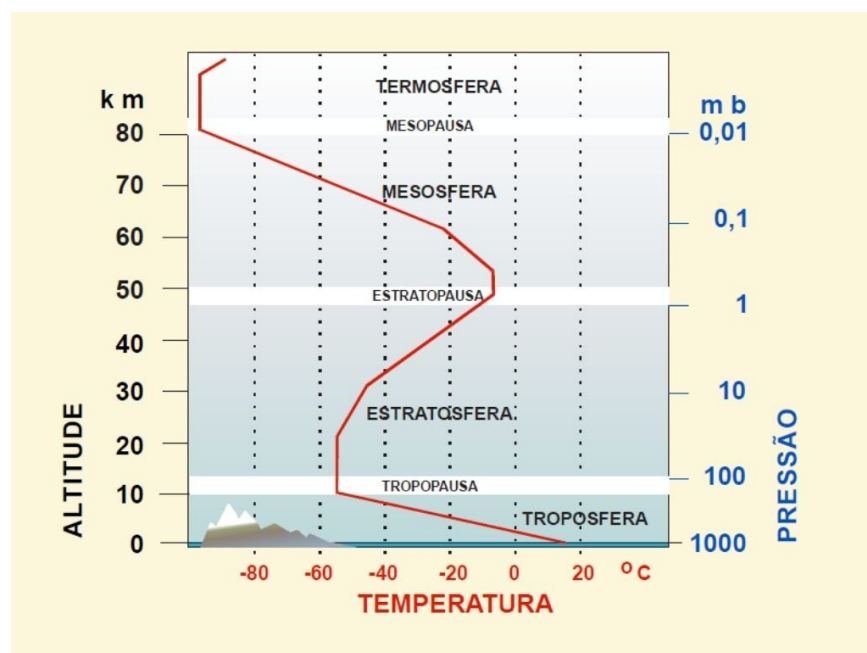
3.1 A Atmosfera e sua composição

A atmosfera terrestre é uma mistura de gases, vapor d'água e partículas sólidas em suspensão. Conforme cita Oliveira (2020), a atmosfera se destaca pelas seguintes funções:

- a) proteger a biosfera da radiação ultravioleta proveniente do Sol;
- b) fornecer O₂ para manutenção da vida dos seres aeróbicos (macro e microrganismos);
- c) proteger a Terra de variações excessivas de temperatura, pela incidência direta dos raios solares;
- d) equalizar as temperaturas das camadas mais próximas da superfície terrestre através da dinâmica e movimentação de massas de ar.

A estrutura vertical da atmosfera (Figura 1) é comumente apresentada tendo-se como principal critério a variação da temperatura com a altitude. Nesse sentido, os estratos da atmosfera são divididos em: Troposfera, Tropopausa, Estratosfera, Estratopausa, Mesosfera, Mesopausa e Termosfera (JUNIOR, 2020).

Figura 1 – Estrutura Vertical da Atmosfera



Fonte: VIANELLO e ALVES (1991)

Os principais componentes do ar seco são nitrogênio (78,09%), oxigênio (20,94%), argônio (0,93%) e dióxido de carbono (0,04%) (CERQUEIRA, 2021).

A composição química da atmosfera varia muito pouco em qualquer lugar do planeta até uma altura por volta de 70 km e o componente do ar mais variável é o vapor de água (quadro 1). A quantidade de água no ar depende da pressão de vapor da água líquida, que é fortemente dependente da temperatura e está diretamente relacionada com os processos de evaporação e condensação (GUIMARAES, p. 5, 2016).

No quadro 1 podemos observar como é feita a divisão das camadas da atmosfera:

Quadro 1 – Camadas da Atmosfera

CAMADAS DA ATMOSFERA		
CAMADAS	CARACTERÍSTICAS	ALTURA EM RELAÇÃO A SUPERFÍCIE
TROPOSFERA	<ul style="list-style-type: none"> • Maior concentração dos gases; • Fenômenos meteorológicos; • Temperatura diminui cerca de 6,5° a cada quilômetro que se distancia do solo. 	17 km
ESTRATOSFERA	<ul style="list-style-type: none"> • Camada de Ozônio; • Proteção contra os raios ultravioletas. 	15 - 50 km
MESOSFERA	<ul style="list-style-type: none"> • Camada mais fria; • Temperatura diminui conforme a altitude aumenta. 	50 - 80 km
TERMOSFERA	<ul style="list-style-type: none"> • Camada mais extensa; • Camada mais quente; • Temperaturas próximas a 1000°C; • O ar é escasso e, por isso, absorve facilmente a radiação solar. 	80 – 500 km
EXOSFERA	<ul style="list-style-type: none"> • Camada mais externa; • Composta basicamente de hélio e hidrogênio; • O ar torna-se intensamente rarefeito, até o ponto em que deixa de existir, no espaço sideral; • Nela encontram-se os satélites de dados e os telescópios espaciais. 	Acima de 500 km

Fonte: OLIVEIRA (2020)

Outros gases com menores concentrações na atmosfera também contribuem fortemente para a poluição do ar, e dentre esses gases, podemos destacar os que estão associados com a manutenção e o equilíbrio da temperatura da Terra, os chamados gases de efeito estufa (GEE), sendo um dos mais importantes contribuintes para o efeito estufa é, sem dúvida, o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), ozônio

(O₃), óxido de nitrogênio (NO_x), clorofluorcarbonetos (CFCs) e o vapor de água (FROTA, VASCONCELOS, p. 125, 2019).

Com isso pode-se considerar a atmosfera como um mix de compostos que ao longo de milhares de anos conseguiu atingir um equilíbrio que é essencial para a existência da vida no planeta.

3.2 Poluição atmosférica

A poluição atmosférica consiste em um problema de extrema relevância para o Brasil e todo mundo, pois ela é responsável por danos irreversíveis à saúde humana e ao meio ambiente. A poluição do ar tem impacto diretamente na qualidade do clima, aumentando o aquecimento global e influenciando diretamente no derretimento das geleiras, influenciando também na qualidade da água (CANÇADO, 2006).

Há anos as atividades antrópicas vêm sendo realizadas modificando a composição química da atmosfera, através da emissão de gases poluentes no ar. Seus efeitos no meio ambiente estão relacionados não somente aos impactos dos poluentes, como também a problemas de ordem política, social e econômica (CARVALHO *et al.* 2003).

Conforme descrito na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 491/2018 (BRASIL, 2018), o poluente atmosférico é:

Qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inadequado ao bem-estar da população, que cause danos aos materiais, à flora e a fauna ou que sejam prejudiciais à segurança, ao usufruto e gozo da propriedade e das atividades comuns de uma determinada comunidade (Resolução CONAMA nº 491/18, Art 1º).

Como já mencionado, o comportamento dos poluentes na atmosfera depende de diversos fatores a serem estudados como os parâmetros meteorológicos, a química da atmosfera, a química ambiental, ao intenso movimento veicular do local, a saúde da população, o desenvolvimento econômico, a dispersão de poluentes, a topografia e a geografia da região (LI *et al.* 2015; SLEZAKOVA *et al.* 2011).

As emissões podem ser de várias fontes e suas origens podem ser naturais ou antrópicas. Os naturais podem ser referentes ao solo, a vegetação (polinização),

aos oceanos, os vulcões e fontes naturais de líquidos, vapores e gases, descargas elétricas atmosféricas, e as fontes antrópicas voltadas a atividade de processos industriais, a queima intensa de biomassa, os veículos em circulação, ressuspensão de poeira do solo, entre outros (IAT, 2022).

O quadro 2 apresenta as principais fontes de poluição do ar e seus principais poluentes:

Quadro 2 – Principais fontes poluentes da atmosfera

FONTES		POLUENTES
F O N T E S E S T A C I O N Á R I A S	Combustão	Material particulado, dióxido de enxofre e trióxido de enxofre, monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio.
	Processo Industrial	Material particulado (fumos, poeiras, névoas), gases – SO ₂ SO ₃ HCl, hidrocarbonetos, mercaptanas, HF, H ₂ S, NOX
	Queima de resíduo sólido	Material particulado, gases SO ₂ SO ₃ HCl, NOX
	Outros	Hidrocarbonetos, material particulado
F O N T E S M Ó V E I S	Veículos gasolina / diesel / Álcool, aviões, motocicletas, barcos, locomotivas, etc.	Material particulado, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, aldeídos, dióxido de enxofre, ácidos orgânicos.
Fontes Naturais		Material particulado – poeiras Gases – SO ₂ H ₂ S, CO, NO, NO ₂ , hidrocarbonetos
Reações químicas na atmosfera Ex: Hidrocarbonetos + óxidos de nitrogênio (luz solar)		Poluentes secundários – O ₃ , aldeídos, ácidos, orgânicos, nitratos orgânicos, aerossol fotoquímicos, etc.

Fonte: Autoria própria / Instituto Ambiental do Paraná – IAP/IAT (2022)

Conforme destaca Meller *et al.* (2017) os poluentes emitidos na atmosfera são classificados como poluentes primários e secundários. Os poluentes primários são definidos como aqueles emitidos diretamente da fonte para a atmosfera e os mais

estudados são o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o dióxido de enxofre (SO₂), os óxidos de nitrogênio (NO_x), os compostos orgânicos voláteis (COV), os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) e os materiais particulados (MP). Os poluentes secundários são formados pelas reações químicas dos poluentes primários, geralmente na presença da luz solar, pois o radical hidroxila (OH) é o principal responsável pela iniciação da oxidação dos poluentes primários emitidos na atmosfera. Vários poluentes secundários são formados na atmosfera, dentre eles destacam-se os poluentes foto-oxidantes, principalmente os Nitratos de Peroxiacil (PAN) e o ozônio (O₃).

Ambos os tipos de poluentes são removidos da superfície da terra via deposição seca e úmida ou durante o processo de transporte e transformação, podendo impactar em uma variedade de receptores, tais como os humanos, os animais, os ecossistemas, as florestas, a agricultura e os materiais. Outros destinos desses poluentes são a camada mais alta da troposfera, chamada de tropopausa, e, depois, a estratosfera (GUIMARAES, p. 9, 2016).

Assim, entende-se por Material Particulado (MP) como um conjunto de poluentes constituídos de fuligem, pó e material suspenso na atmosfera com diâmetro reduzido, resultante da queima de combustíveis fósseis, biomassa vegetal, de processos industriais e do desgaste de pneus e freios (COSTA *et al.* 2009).

3.3 Material Particulado (MP)

A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2005) define o termo Material Particulado Atmosférico (MPA) ou aerossol atmosférico como um conjunto de partículas sólidas e líquidas suspensas e dispersas no ar.

De acordo com Rocha *et al.* (2010) o material particulado atmosférico pode ser dividido em dois grandes grupos diferentes relacionados sempre ao tamanho das partículas:

- Partículas com diâmetro médio menor que 10 µm são consideradas partículas em suspensão, pois são pequenas e podem permanecer flutuando no ar por longos períodos. Essas partículas afetam o microclima local e são perigosas à saúde das pessoas. Existe legislação em quase todos os países especificando seus valores máximos na atmosfera;

- Partículas com diâmetro médio maior que 10 μm são consideradas partículas sedimentáveis que, devido ao tamanho, se depositam próximo à fonte de emissão. Em geral, o impacto visual é grande devido ao depósito de material nas diversas superfícies, mas o impacto na saúde é pequeno, com exceção do material composto de substâncias tóxicas perigosas.

Segundo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2022) tamanho das partículas encontradas na atmosfera está relacionado diretamente com o tamanho do potencial que elas podem causar à saúde humana, assim quanto menores essas partículas maiores são seus efeitos provocados no ser humano. Assim o material particulado pode ser classificado como:

- **Partículas Totais em Suspensão (PTS)** – elas possuem um diâmetro que é menor ou igual a 50 μm . Uma parte dessas particulado pode ser inalável e acarretar problemas relacionados diretamente à saúde, outra parte pode afetar de uma forma ruim a qualidade de vida, interferindo nas condições estéticas e visuais de um determinado ambiente.

- **Partículas grossa inaláveis (MP₁₀)** – podem ser definidas, como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 10 μm e podem ficar retidas no trato respiratório superior que é formado por órgãos localizados fora da caixa torácica como o nariz externo, cavidade nasal, faringe, laringe e parte superior da traquéia.

- **Partículas finas menores que 2,5 μm (MP_{2,5})** – devido ao seu tamanho diminuto penetram profundamente no sistema respiratório, possuindo grande potencial para atingir a parte inferior da traquéia, brônquios, bronquíolos, alvéolos e pulmões e lá ficarem retidas, o que pode provocar danos severos à saúde.

- **Fumaça (FMC)** – a fumaça está associada ao Material Particulado Atmosférico (MPA) suspenso na atmosfera procedente dos processos de combustão, o método de determinação da fumaça é baseado na medida de refletância da luz que incide na poeira (coletada em um filtro), estando diretamente relacionado ao teor de fuligem disperso na atmosfera.

- **Dióxido de Enxofre (SO₂)** – o SO₂ é resultado da queima de combustíveis que contém enxofre, óleo combustível industrial, como óleo diesel e a gasolina. Este poluente é um dos principais formadores da chuva ácida. O dióxido de enxofre pode reagir com outras substâncias presentes na atmosfera formando

partículas de sulfato que são responsáveis pela diminuição da visibilidade na atmosfera.

- **Monóxido de Carbono (CO)** – o CO é um gás sem cor e sem cheiro que resulta da queima incompleta de combustíveis de origem orgânica (combustíveis fósseis, biomassa, dentre outros). Em geral ele é encontrado em maiores concentrações nas cidades grandes, emitido principalmente por veículos automotores.

- **Oxidantes Fotoquímicos, como o Ozônio (O₃)** – oxidantes fotoquímicos é a denominação que se dá à mistura de poluentes secundários formados por reações entre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, perante a presença de luz solar, sendo estes últimos liberados na queima incompleta e evaporação de combustíveis e solventes. O principal produto formado dessa reação é o gás ozônio, e por isso é utilizado como parâmetro indicador da presença de oxidantes fotoquímicos no ar. Tais poluentes formam a conhecida névoa fotoquímica ou smog fotoquímico, que possui este nome porque causa na atmosfera uma diminuição da visibilidade. Além de ser totalmente prejudicial à saúde, o ozônio pode causar danos seríssimos a vegetação.

- **Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)** – são gases e vapores resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis e de outros produtos orgânicos, eles são emitidos por veículos, pelas indústrias, por processos de estocagem e transferência de combustível. Muitos desses compostos, participam ativamente das reações de formação do ozônio. Dentre os compostos orgânicos voláteis presentes nas atmosferas urbanas estão os compostos aromáticos monocíclicos, como o benzeno, o tolueno, o etil-benzeno e xilenos.

- **Óxidos de Nitrogênio (NOx)** – é formado durante os processos de combustão e nas grandes cidades o principal emissor deste poluente são os veículos automotores. O NO, sob a ação de luz solar se transforma em NO₂ que tem papel importantíssimo na formação de oxidantes fotoquímicos como o ozônio. Dependendo dos níveis elevados de concentração, o NO₂ pode causar prejuízos à saúde humana.

- **Chumbo (Pb)** – No passado, os veículos eram os principais contribuintes de emissões de chumbo para o ar. O Brasil foi, em 1989, um dos primeiros países a retirar o chumbo de sua gasolina automotiva, sendo este totalmente eliminado em 1992. Essa conquista deu-se graças à substituição do chumbo pelo

álcool como aditivo à gasolina. Como consequência, a concentração de chumbo na atmosfera das áreas urbanas diminuiu significativamente.

3.4 Efeitos na saúde humana

O material particulado (MP) é uma mistura complexa de partículas líquidas e sólidas (aerossóis), na faixa de tamanho de poucos nanômetros (nm) até 100 micrometros (μm), suspensas no ar, que representam grande risco no desenvolvimento de doenças respiratórias e cardiovasculares, quanto menores essas partículas mais perigosas aos seres humanos elas são (SOUZA *et al.* 2010).

Conforme citado pela Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2022), o tamanho das partículas está diretamente ligado ao seu potencial de causar problemas de saúde. Pequenas partículas com menos de 10 micrômetros de diâmetro representam os maiores problemas, porque podem penetrar profundamente nos pulmões e algumas podem até entrar na corrente sanguínea.

A exposição a essas partículas pode afetar os pulmões e o coração. Numerosos estudos científicos ligaram a exposição à poluição por partículas a uma variedade de problemas, incluindo: morte prematura em pessoas com doença cardíaca ou pulmonar, ataques cardíacos não fatais, arritmia cardíaca, asma agravada, função pulmonar diminuída, aumento dos sintomas respiratórios, tais como irritação das vias respiratórias, tosse ou dificuldade em respirar (USEPA, 2022).

Como é esperado, o maior efeito da poluição do ar na saúde humana ocorre nos pulmões. Por exemplo, as pessoas asmáticas sofrem mais com a doença quando o dióxido de enxofre, o ozônio ou a concentração de material particulado aumenta no ar que eles respiram, o ozônio é um dos poluentes do ar mais nocivos à saúde, porque ao contrário dos compostos químicos à base de enxofre, seu efeito na saúde das pessoas fortes e saudáveis é tão sério quanto naquelas com problemas respiratórios preexistentes. (BAIRD, CANN, 2011).

Partículas de tamanho entre 1 μm a 5 μm passam pela região nasal e são depositadas na traquéia bronquial e regiões pulmonares e partículas finas menores que 1 μm alcançam os brônquios e os alvéolos. Já as partículas maiores que 10 μm são geralmente adsorvidas pela cavidade nasal e garganta, enquanto que 90% das partículas maiores que 5 μm precipitam nas partes superiores das vias respiratórias (LIMA, 2007).

Na figura 2 pode-se comparar o tamanho das partículas $PM_{2,5}$ e PM_{10} com o tamanho de um fio de cabelo humano e um grão de areia fino, sendo possível dimensionar quão perigosas e invisíveis essas partículas são, e como são maléficas a saúde humana.

Figura 2 – Comparação do tamanho do $PM_{2,5}$ e PM_{10} com fio de cabelo e grão de areia

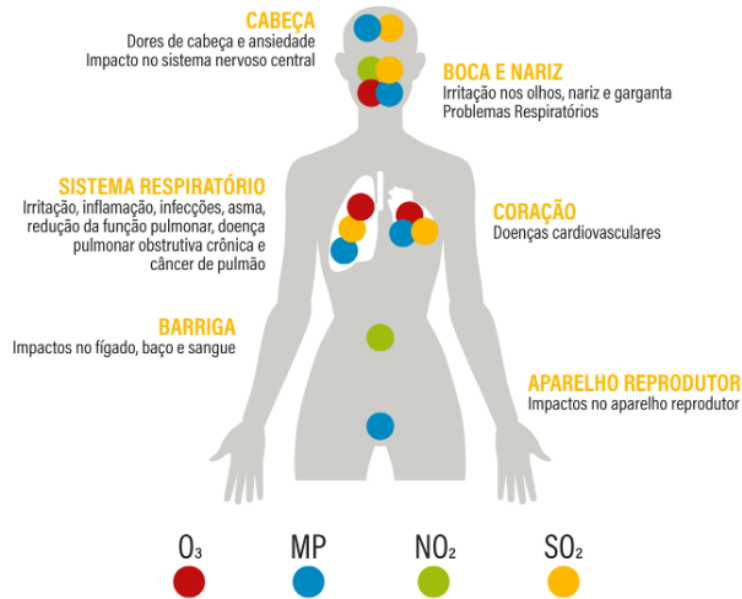


Fonte: U.S. EPA (2022)

A organização Mundial da Saúde (OMS, 2015) cita:

Que a exposição de curto e longo prazo à poluição do atmosférica tem um impacto negativo e irreversível sobre a saúde da população. Tendo um impacto muito maior resultante de uma exposição de longo prazo e da exposição em níveis muito elevados. Além disso, muitos poluentes, perante uma exposição a longo prazo, mesmo em níveis mais baixos podem resultar em algumas pessoas efeitos adversos na saúde (OMS, 2015).

Figura 3 – Impactos da poluição do ar na saúde humana



Fonte: Agência Europeia do Ambiente, Organização Mundial da Saúde, e Ministério do Meio Ambiente (2022)

Lisboa (2010) comenta que a maioria das vítimas da poluição atmosférica não morrem durante um episódio crítico ou um evento único. As doenças do trato respiratório se iniciam aos poucos, assim as pessoas contraem uma doença respiratória ou outro sintoma associado com a poluição do ar e aos poucos vão desenvolvendo sintomas que podem aos poucos enfraquecer gradativamente, para depois morrer e ter um problema sério como uma pneumonia, ataque do coração ou falha de algum órgão vital, ou ainda, podem desenvolver doenças gravíssimas como o câncer ou até mesmo gerar crianças com defeito de nascença (LISBOA, 2010).

Assim, para que seja possível prevenir esses tipos de doenças relacionadas com a poluição atmosférica, algumas resoluções foram dispostas para que fosse estabelecido níveis de qualidade do ar para elaboração de Planos de Emergência para episódios críticos de poluição, visando à tomada de ações dos governos, entidades privadas e comunidades, com o intuito de prevenir grave e iminente risco à saúde da população (BARROS, 2014).

3.5 Legislação vigente

A regulamentação da legislação vigente no Brasil sobre a qualidade da poluição do ar é feita por intermédio do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). A resolução 491/2018 revoga a antiga Resolução Conama nº 03/1990 sobretudo os itens 2.2.1 e 2.3 da antiga Conama nº 05/1989. O Conselho Nacional do Meio Ambiente dispõe sobre os padrões de qualidade do ar e em uso das competências que lhe são conferidas considera que os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar são parte estratégica do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR. É através do Índice de Qualidade do Ar – IQAR que são mensurados valores para fins de comunicação e informação à população que relaciona as concentrações dos poluentes monitorados aos possíveis efeitos adversos à saúde (CONAMA 491/18, 2021).

Após a revogação dos itens da antiga CONAMA 05/89, a resolução 491/18 determina padrões mais rigorosos para a análise da qualidade do ar. Os padrões atualmente em vigor e a título de comparação com o anterior estão bem mais exigentes, como exemplo o padrão de SO₂ (dióxido de enxofre) que anteriormente era de 80 µg/m³ agora é de 40 µg/m³, por sua vez o padrão de NO₂ (dióxido de nitrogênio) foi alterado de 100 µg/m³ para 60 µg/m³ (disposto no quadro 3).

Quadro 3 – Comparativo de alguns elementos químicos primários entre a CONAMA 03/1990 e CONAMA 491/2018

PARÂMETRO ATMOSFÉRICO	PERÍODO DE REFERÊNCIA	RESOLUÇÃO 03/1990 (µg/m ³)	RESOLUÇÃO 491/2018 (µg/m ³)
Dióxido de Enxofre – SO ₂	24 horas	365	125
	Anual	80	40
Dióxido de Nitrogênio – NO ₂	1 hora	320	260
	Anual	100	60
Ozônio – O ₃	8 horas	160	140
	24 horas	150	120
Fumaça	Anual	60	40

Fonte: Adaptado pelo Autor, Envex (2022)

Os padrões de qualidade do ar que definem legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera no Brasil (CONAMA 491/18), que possam garantir a proteção da saúde da população e do meio ambiente, estão dispostos no quadro 4 na sequência, onde os padrões de qualidade do ar intermediários - PI: são padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas (PI-1; PI-2 e PI-3); e o padrão de qualidade do ar final - PF: são valores guia definidos pela Organização Mundial da Saúde – OMS em 2005 que era de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, porém o valor do PF foi atualizado recentemente para 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO, 2021).

Quadro 4 – Padrões da qualidade do ar (CONAMA 491/18)

POLUENTE ATMOSFÉRICO	PERÍODO DE REFERÊNCIA	PI-1	PI-2	PI-3	PF (2005)	PF (2021)
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Material Particulado – MP ₁₀	24 horas Anual ¹	120 40	100 35	75 30	50 20	45 15
Material Particulado – MP _{2.5}	24 horas Anual ¹	60 20	50 17	37 15	25 10	15 5
Dióxido de Enxofre – SO ₂	24 horas Anual ¹	125 40	50 30	30 20	-	-
Dióxido de Nitrogênio - NO ₂	1 hora ² Anual ¹	260 60	240 50	220 45	200 40	25 10
Ozônio – O ₃	8 horas ³	140	10	120	100	-
Fumaça	24 horas Anual ¹	120 40	100 35	75 30	50 20	-
Monóxido de Carbono – CO	8 horas ³	-	-	-	-	-
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas Anual ⁴	-	-	-	240 80	-
Chumbo - Pb ₅	Anual ¹	-	-	-	0,5	-
¹ – média aritmética anual						
² – média horária						
³ – máxima média móvel obtida no dia						
⁴ – média geométrica anual						
⁵ – medido nas partículas totais em suspensão						

Fonte: CONAMA 491 (2018)

São determinados também pelo CONAMA 491/2018 os principais padrões de níveis de alerta, atenção e emergência para os poluentes e suas respectivas concentrações (Quadro 5):

Quadro 5 – Padrões de níveis de alerta, atenção e emergência (CONAMA 491/18)

Nível	SO ₂ µg/m ³ (média de 24h)	Material Particulado		CO ppm (média móvel de 8h)	O ₃ µg/m ³ (média móvel de 8h)	NO ₂ µg/m ³ (média de 1h)
		MP ₁₀ µg/m ³ (média de 24h)	MP _{2,5} µg/m ³ (média de 24h)			
Atenção	800	250	125	15	200	1.130
Alerta	1.600	420	210	30	400	2.260
Emergência	2.100	500	250	40	600	3.000

SO₂ = dióxido de enxofre;

MP₁₀ = material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 µm;

MP_{2,5} = material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 µm;

CO = monóxido de carbono;

O₃ = ozônio;

NO₂ = dióxido de nitrogênio µg.m³;

ppm = partes por milhão.

Se formos levar em consideração os padrões exigidos e indicados pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2005) disposto no quadro 6, é visto que atualmente os valores indicados pelo CONAMA 491/18 (visto no quadro 4) estão bem acima do proposto pela OMS, pois quando entrou em vigor o CONAMA 491/18, não foi levado em consideração alguns parâmetros adotados pelo OMS em 2005.

Em setembro de 2021, foram revistas algumas normas da poluição do ar, indicadas pela Organização Mundial da Saúde, onde diretrizes de qualidade do ar foram alterados, pois foi constatado evidências fortes para mostrar como a poluição do ar afeta diferentes aspectos da saúde em concentrações ainda mais baixas do que se pensava anteriormente (OMS, 2022).

Quadro 6 – Diretrizes da qualidade do ar pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2005)

SUBSTÂNCIA	MENOR CONCENTRAÇÃO EM QUE FORAM OBSERVADOS EFEITOS ADVERSOS	DURAÇÃO DA EXPOSIÇÃO
Ozônio	100 µg.m ³	8 horas
NO ₂	200 µg.m ³	1 hora
CO ^(a)	30 µg.m ³	1 hora
SO ₂	500 µg.m ³	10 minutos
PM ₁₀	50 µg.m ³	24 horas
PM _{2.5}	25 µg.m ³	24 horas
Chumbo	0.5 µg.m ³	1 ano

Fonte: OMS (2022)

Segue abaixo no quadro 7, um comparativo dos valores indicados pela OMS em 2005 e das novas diretrizes em 2021:

Quadro 7 – Níveis de AQG recomendados para 2021 em comparação com as diretrizes de qualidade do ar de 2005

Pollutant	Averaging Time	2005 AQGs	2021 AQGs
PM _{2.5} , µg/m ³	Annual	10	5
	24-hour ^a	25	15
PM ₁₀ , µg/m ³	Annual	20	15
	24-hour ^a	50	45
O ₃ , µg/m ³	Peak season ^b	-	60
	8-hour ^a	100	100
NO ₂ , µg/m ³	Annual	40	10
	24-hour ^a	-	25
SO ₂ , µg/m ³	24-hour ^a	20	40
CO, mg/m ³	24-hour ^a	-	4

Fonte: OMS (2022)

A OMS integra regularmente evidências científicas sobre os impactos na saúde da poluição do ar, bem como monitora o progresso da qualidade do ar dos países. As recomendações incluídas nas diretrizes de qualidade do ar da OMS são baseadas em revisões sistemáticas da literatura e métodos de avaliação rigorosos subsequentes, bem como em extensas consultas com especialistas e usuários finais das diretrizes de todas as regiões do mundo (OMS, 2022)

Outra resolução importante para a qualidade do ar, que está em vigor dentro do estado do Paraná, é a Resolução SEMA 016/2014, onde ela define critérios para o

Controle da Qualidade do Ar como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e bem estar da população e melhoria da qualidade de vida. A SEMA evidencia as fontes poluidoras estacionárias, ou seja, a emissão direto na chaminé da indústria. As demais normas indicadas pela SEMA seguem os padrões indicados pelo CONAMA 491/18

Compete então a SEMA 016/2014 – PR:

Art. 1º Definir os critérios para o Controle da Qualidade do Ar como um dos instrumentos básicos e primordiais da gestão ambiental para proteção da saúde e bem estar da população e melhoria da qualidade de vida, com o objetivo de permitir o desenvolvimento econômico e social do Estado de forma ambientalmente segura, pelo estabelecimento de:

I - Padrões de emissão e critérios de atendimento para fontes industriais, comerciais e de serviços;

II - Padrões de condicionamento;

III - metodologias a serem utilizadas para determinação de emissões.

com vistas a:

I - Melhoria na qualidade do ar;

II - Não comprometimento da qualidade do ar em áreas consideradas não degradadas.

Sendo assim, dentro desta resolução são impostos valores de emissões de poluentes para diversos tipos de fontes poluidoras como dos padrões de condicionamento para fontes estacionárias, dos padrões de emissão atmosférica por tipologia de fontes estacionárias potencialmente poluidoras, do automonitoramento das empresas igual expresso no artigo 70 que fala sobre os empreendimentos e atividades, públicos ou privados, que abriguem fontes efetiva ou potencialmente poluidoras do ar, deverão adotar o automonitoramento ambiental, através de ações e mecanismos que evitem, minimizem, controlem e monitorem tais emissões.

É importante destacar que todos os parâmetros e legislações abrangidos acima, sofrem influências diretas quando são analisadas junto as condições meteorológicas, possuindo um papel de suma importância no transporte de poluentes na atmosfera e suas reais consequências para a saúde de toda uma população.

3.6 Meteorologia

A concentração de uma determinada substância na atmosfera varia no tempo e no espaço em função de reações químicas ou fotoquímicas, dos fenômenos de transporte, de fatores meteorológicos, ventos, turbulências, inversões térmicas, e da topografia da região (LISBOA, 2007, p. 3). Para isso, as condições meteorológicas tem um papel determinante na descrição físico-química do transporte de poluentes entre a fonte e o receptor. Portanto, as análises dos dados meteorológicos, a definição dos períodos críticos, o monitoramento dos são ferramentas principais para o monitoramento do controle da poluição do ar.

O município de Francisco Beltrão está localizado sobre um derrame basáltico antigo, no Terceiro Planalto do Paraná, com clima predominante temperado, com invernos amenos cuja temperatura é superior a $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e inferior a $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ e verões quentes com temperatura superior a $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, a cidade está inserida na Classificação de Köppen Cfa (Plano Diretor Municipal, 2016). O verão é muito quente e chuvoso, já o inverno apresenta-se como uma estação um pouco mais seca que o verão, chovendo apenas com a passagem de frentes frias. Junto com a chuva vem geralmente o frio, que pode chegar a até $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, conforme registrado em julho de 1975 (Figura 4, IDR-PR).

Graças à distância de cerca de 400 km do oceano, a amplitude térmica anual é de $9\text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo uma das maiores do estado. Com isso os invernos tendem a ser mais frios e os verões mais quentes que regiões com latitude e altitude semelhantes, porém localizadas em lugares mais próximos ao mar (IDR, 2022).

Abaixo seguem algumas características das principais normais climáticas da cidade, com base nos dados da série histórica da estação meteorológica do Instituto Agrônômico do estado do Paraná (IDR – PARANÁ).

Estação: Francisco Beltrão

Período: 1974 a 2020

Código: 02653012

Latitude: 26.05 s

Longitude: 53.04 W

Altura: 650 m

Figura 4 – Normais climáticas de Francisco Beltrão (ano base 1974 a 2020)

MES	TEMPERATURA DO AR (.c)				U. REL		VENTO		PRECIPITACAO			EVAPOR.	INSOL.			
	média máxima	média mínima	máxima abs	ano	min abs	ano	média comp	média %	dir pr.	m/s	total	máxima 24h	ano	dias chuva	total mm	total horas
JAN	30,2	18,5	36,4	1991	8,0	1974	23,6	75			190,2	146,8	1980	14	79,6	220,6
FEV	29,9	18,3	37,6	2014	8,7	1991	23,2	76			173,3	131,0	1983	13	65,7	190,6
MAR	29,2	17,0	37,4	2005	3,4	1976	22,2	76			145,0	98,4	1983	11	71,8	213,2
ABR	26,2	14,2	33,8	2007	1,0	1999	19,3	77			163,4	178,0	2010	9	59,5	190,7
MAI	22,3	10,9	31,9	1981	-0,2	2007	15,7	81			193,7	176,5	2014	10	48,4	170,4
JUN	20,8	9,5	31,0	1974	-4,2	1978	14,2	81			163,7	183,6	1991	10	43,3	146,0
JUL	21,2	9,0	30,0	1994	-5,0	1975	14,2	77			129,2	137,8	1983	9	59,2	174,6
AGO	23,4	10,2	34,0	1999	-2,4	1984	16,0	71			110,5	152,0	2011	8	78,7	195,7
SET	24,7	12,1	36,6	2020	-0,4	2002	17,7	70			157,6	116,0	2014	10	82,8	182,8
OUT	26,9	14,7	37,2	2020	3,3	1982	20,2	71			250,7	113,2	1975	12	84,2	198,9
NOV	28,4	15,9	38,3	1985	4,8	1995	21,7	69			178,9	137,0	1982	11	90,9	221,7
DEZ	29,7	17,7	38,2	1985	8,6	2010	23,1	72			173,5	117,0	1994	12	86,9	219,4
ANO	26,1	14,0					19,3	74,6			2030			131	851	2325
EXT			38,3	1985	-5,0	1975						183,6	1991			

outubro mês mais chuvoso média mm de chuva acumulado ano

Fonte: IDR – Paraná (2022)

De acordo com Liu e Johnson (2002), as variáveis climatológicas apresentam-se correlacionadas significativamente com a poluição do ar, sendo possível citar como modelo para análise da dispersão e diluição desses poluentes, a direção e velocidade dos ventos, a ocorrência de precipitação pluviométrica, a umidade e temperatura.

3.6.1 Ventos

A direção e velocidade do vento é de suma importância na dispersão da poluição atmosférica e seu estudo está relacionado diretamente com o impacto da poluição em um determinado local.

Sabemos que os ventos é o movimento do ar em relação à superfície terrestre, e ele pode ser processado tanto no sentido vertical, quanto no sentido horizontal. Assim, o vento possui maior força e velocidade nas partes mais elevadas, pois a velocidade próxima ao solo perde força pela fricção ou atrito do mesmo com os obstáculos existentes na superfície da terra (LEINZ e AMARAL, 1989).

Para Soares e Batista (2004), a velocidade do vento é uma grandeza vetorial, da qual se medem, normalmente, parâmetros da sua componente

horizontal. Os parâmetros medidos são: velocidade, direção e força do vento. A força do vento é a força exercida pela massa de ar, em decorrência de sua velocidade sobre um obstáculo perpendicular à sua direção (TORRES, MACHADO, p. 42, 2008).

Lisboa (2007, p. 4) descreve que o fluxo geral do ar sobre a terra é induzido por variações de pressão de grande escala (macrometeorológicos) comumente apresentados nas cartas meteorológicas. A intensidade destes sistemas de pressão e seu posicionamento normal ou trajetórias determinam a distribuição dos ventos em uma dada área. Dentre deste macrossistema existem vários fatores que influenciam diretamente nas particularidades do movimento de ar tanto nas direções vertical e horizontal, e para muitos problemas da poluição atmosférica é a combinação de padrões gerais e particulares que é importante para determinar a influência dos ventos na poluição atmosférica de uma determinada localidade.

Conforme visto no Plano Diretor do município (2016), a cidade de Francisco Beltrão sofre pouca ação dos ventos, pois está localizada em uma espécie de "bacia", sendo totalmente cercada por morros com altitudes de cerca de 100 metros superiores ao da área central. Deste modo o vento costuma ser de fraca intensidade, e ventos fortes só são registrados durante tempestades.

3.6.2 Umidade relativa

A umidade relativa do ar é a razão que existe entre a quantidade de vapor de água contida por momento no metro cúbico de ar na atmosfera e a quantidade de vapor que este mesmo volume de ar conteria se estivesse saturado, a uma mesma temperatura (LISBOA, p. 7, 2007).

De acordo com Ayoade (2003), embora o vapor d'água represente somente 2% da massa total da atmosfera e 4% de seu volume, ele é o componente atmosférico mais importante na determinação do tempo e do clima. A quantidade de vapor d'água contida na atmosfera varia de lugar para lugar e no transcurso do tempo em determinada localidade. Ela pode variar de quase zero, em áreas quentes e áridas, até um máximo de 3% nas latitudes médias e 4% nos trópicos úmidos (TORRES, MACHADO, p. 35, 2008).

A cidade de Francisco Beltrão possui uma umidade relativa do ar de aproximadamente 75, 9º C (IDR, 2022).

3.6.3 A temperatura na atmosfera

De acordo com Ayoade (2003), a temperatura pode ser definida como moléculas em movimento, assim quanto mais rápido as moléculas se movimentam mais elevada fica a temperatura. A temperatura pode ser definida também pelo grau de calor que um corpo possui, sendo a condição que determina o fluxo de calor que passa de uma substância para outra.

Lisboa (2007) cita que a variação vertical de temperatura é muito mais violenta que a variação horizontal. O estudo dos gradientes verticais de temperatura apresenta grande interesse, pois eles condicionam a possibilidade de ocorrência e o sentido dos movimentos verticais de ar na atmosfera. Quando o ar experimenta um processo de ascensão ou de descenso, sua temperatura é determinada pelo gradiente adiabático.

- Gradiente vertical da adiabática seca: é o fenômeno da expansão ou compressão do ar seco ou úmido. Se um volume de ar seco ou não saturado for elevado, sua pressão diminui e sua temperatura baixa devido a expansão. Teoricamente, quando um pequeno volume diário é deslocado para cima na atmosfera ele sim ele encontra baixa pressão, se expande e resfria
- Inversão térmica: as inversões de temperatura podem provocar graves problemas de contaminação, não por que representa uma fonte de contaminação, e sim por que fazem com que os contaminantes se acumulem na atmosfera inferior em lugar de se dispersarem. Muitos dos casos mais graves de contaminação atmosférica ocorrem durante inversões de temperatura. As inversões de temperatura se combinam com outros fatores tais como a frequência dos ventos a velocidade dos ventos, a regularidade dos terrenos, colinas, vales e edifícios incrementando os problemas relacionados com a qualidade do ar em alguns lugares.

Na região de Beltrão o verão é muito quente e chuvoso, muitas vezes a temperatura passa dos 30°C, raramente passando de 35°C, entretanto já foi registrado até 38,3°C em novembro de 1985 (Figura 4), recorde máximo para a cidade desde 1974 (IDR, 2022). O inverno apresenta-se como uma estação um pouco mais seca que o verão, chovendo apenas com a passagem de frentes frias. Junto com a chuva

vem geralmente o frio, que pode chegar a até -5°C , conforme registrado em julho de 1975 (Figura 4), ano inclusive em que foi registrada a última queda de neve na cidade (no dia 20 de julho) (IDR, 2022).

3.6.4 Precipitação

A precipitação pode ser definida como toda água que provém do meio atmosférico e atinge a superfície terrestre (MIRANDA *et al.* 2017). O comportamento das chuvas permite verificar se a atmosfera foi menos ou mais estável, favorecendo ou não a dispersão dos poluentes que ali estão. Assim, efetuar a caracterização da distribuição da pluviosidade é de suma importância para o controle da poluição atmosférica. A precipitação máxima é definida como a ocorrência extrema com duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma área e pode atuar na erosão do solo, inundações em áreas urbanas e rurais, obras hidráulicas, e influenciar diretamente na concentração dos poluentes no ar (BERTONI, TUCCI, 2015). A maioria da remoção natural da poluição é feita pela chuva e neve. Por uma experiência natural, nós sabemos que o ar parece limpo apenas depois de uma chuva. De fato, nas regiões que possuem uma precipitação moderada, essa varredura através da chuva é responsável pela remoção de 90% dos aerossóis. Embora os gases poluentes são menos susceptíveis a essa varredura que os aerossóis, eles dissolvem-se nas gotas de chuva ou nas nuvens.

É visto nos dados coletados da SIMEPAR (2022) que o município de Francisco Beltrão possui uma precipitação uniforme ao longo do ano, o índice pluviométrico anual varia de 1400 a 2000 mm, sendo que os meses de maior precipitação para a região são março, abril maio e outubro (Figura 4).

O verão é muito quente e chuvoso e são comuns as chuvas de fim de tarde, quando a umidade associada ao calor gera nuvens pesadas com chuvas de curta duração. Entretanto os dois últimos verões têm sido de chuvas irregulares, causando grandes perdas para a cidade, envolvendo enchentes e alagamentos em alguns bairros e até mesmo perdas na agricultura, principalmente as culturas de milho e soja. O inverno apresenta-se como uma estação um pouco mais seca que o verão, chovendo apenas com a passagem de frentes frias (Plano Diretor Municipal de Francisco Beltrão, 2016).

4 METODOLOGIA

Este trabalho foi baseado em coleta dos dados do material particulado “in loco” através de um Amostrador de Grandes Volume (AVG – MP₁₀) e pesquisas bibliográficas que foram realizadas por meios eletrônicos, bem como artigos e trabalhos acadêmicos desenvolvidos por outros autores sobre o assunto.

4.1 Descrição e identificação do local de estudo

A pesquisa foi realizada na cidade de Francisco Beltrão, localizada no sudoeste do estado do Paraná. A cidade possui uma população estimada no ano de 2021 de 93.308 habitantes e tem uma área territorial de 735,111 km² (IBGE, 2022), sendo o município mais populoso do Sudoeste paranaense. Este pertence a mesorregião Sudoeste e está localizada nas coordenadas geográficas com Longitude: 53°03'50'W-GR e Latitude: 26°03'34'SUL, e com uma altitude média de 600m.

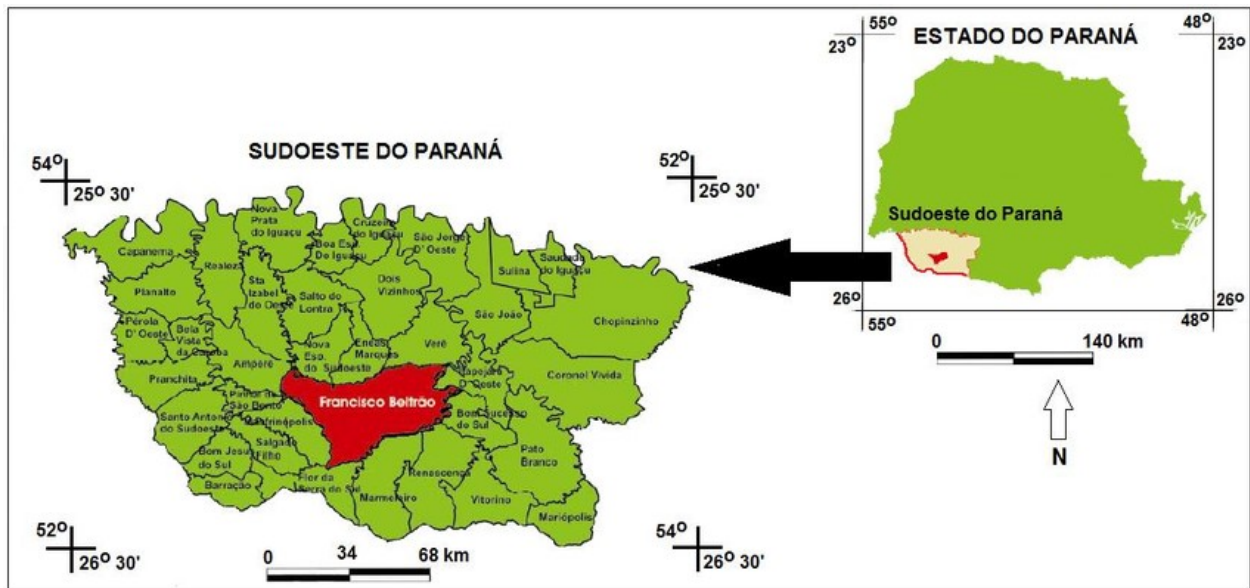
O relevo da mesorregião Sudoeste é marcado por uma homogeneidade morfológica decorrente do predomínio de feições planas e onduladas. A constituição geológica da cidade é representada pelas rochas basálticas da formação Serra Geral, formadas por derrames de lavas do grande vulcanismo fissural ocorrido durante a era Mesozóica (BONETI, 2005).

Conforme visto no Plano diretor Municipal (2016) os solos do município de Francisco Beltrão são oriundos da decomposição e desintegração das rochas vulcânicas que formam o terceiro planalto paranaense. Estas rochas deram origem a solos argilosos em sua grande maioria e com boa profundidade, na área oeste e sul do município, encontra-se o tipo latossolo roxo onde grande parte das lavouras mecanizadas estão localizadas, pois apresentam condições físicas favoráveis, como ausência de pedras e suavidade do relevo.

Assim Francisco Beltrão, pela sua localização e formação de solos, se torna um grande polo econômico regional, possuindo uma boa aptidão agrícola e sujeitos a intensa utilização.

Outro quesito importante a destacar sobre Francisco Beltrão é a malha viária atual, pois são por estas rodovias, que ocorrem o deslocamento populacional e da produção e quanto mais qualificadas forem estas infraestruturas mais benefícios irão trazer para o desenvolvimento urbano e regional (CASARIL, 2017).

Figura 5 – Localização de Francisco Beltrão – PR



Fonte: MONDARDO (2008)

4.2 Sistema Viário de Francisco Beltrão

O sistema viário de Beltrão compreende as rodovias PR - 483, PR - 180, PR - 475 e PR - 566, onde existe um grande fluxo veicular, principalmente de caminhões e carretas, pois essas rodovias é um dos principais caminhos para escoamento da produção agrícola do país. Recentemente foi iniciado a obra de implantação do Contorno Noroeste de Francisco Beltrão, conexão entre as rodovias PR-180 e a PR-483, fazendo assim que esse alto fluxo de caminhões e carretas sejam desviadas das proximidades da cidade, aliviando o trânsito e diminuindo a emissão de gases poluentes diretamente na cidade (Prefeitura Municipal de Francisco Beltrão, 2022).

É esperado com a conclusão desta obra do Contorno Noroeste da cidade, que o fluxo de caminhões pesados seja desviado, assim impactando diretamente nas emissões de gases poluentes como o CO₂ e assim, conseqüentemente, no nível de concentração do material particulado na atmosfera da zona urbana de Beltrão.

Figura 7 – Amostrador de Grandes Volumes (AGV MP₁₀)



Fonte: Autoria própria (2022)

4.5 Local de instalação do AGV – MP₁₀

O aparelho AGV-MP₁₀ foi instalado na Torre da Concatedral Nossa Senhora da Glória, na praça Central de Francisco Beltrão (Figura 8), onde no entorno existe um intenso fluxo de veículos leves e pesados.

Para sua instalação foram utilizadas algumas normas estabelecidas pela US EPA que nos diz que:

- O amostrador deve estar afastado no mínimo 20 metros de árvores edifícios ou outros grandes obstáculos. Uma Regra geral é que o amostrador fique afastado de um obstáculo em no mínimo duas vezes a altura do obstáculo com relação à entrada do amostrador;
- O amostrador não deve ser instalado diretamente no solo;
- A entrada do amostrador deve ficar por volta de 2 a 7 metros do solo;
- O fluxo de ar em redor do amostrador deverá estar livre de qualquer obstrução;
- A entrada do amostrador deve estar no mínimo 2 metros da entrada de qualquer outro amostrador de grande volume (AGV).

Figura 8 – Torre da Concatedral Nossa Senhora da Glória



Fonte: Google Earth (2022)

4.6 Metodologia de amostragem

A metodologia de amostragem do material particulado atmosférico seguiu as normas estabelecidas pela ABNT – NBR 13412/1995 e NBR 9547/1997, “Material Particulado em Suspensão no Ar Ambiente - Determinação da Concentração de Partículas Inaláveis pelo Método do Amostrador de Grande Volume Acoplado a um Separador Inercial de Partículas”. Essas normas prescrevem o método para a determinação da concentração mássica de material particulado inalável em suspensão na atmosfera, com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 μm (MP), em um período de amostragem determinado. As metodologias da NBR 13412 / 1995 e 9547/1997 se baseiam no método utilizado pela US EPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos), "*Reference Method for the Determination of Particulate Matter as PM₁₀ in the Atmosphere*", (USEPA, 1988).

O período de funcionamento do AGV para a coleta de amostras do material particulado foi de 24 horas. O AVG – MP₁₀ é um aparelho que succiona o ar, e as partículas coletadas são encaminhadas para um filtro, podendo ser de fibra de vidro ou de quartzo. Neste trabalho foram utilizados os filtros de fibra de vidro (Figura 8) da marca GE com dimensões de 203x254mm (8 pol x 10 pol) e área de coleta de 40.645 mm² (63 pol²).

Por exigência de norma, os filtros empregados são específicos para uma eficiência mínima de 99% para partículas com diâmetro igual ou superior a $0,3 \mu\text{m}$, baixa resistência ao fluxo de ar e pouca afinidade por umidade.

A duração da amostragem foi controlada por um programador de tempo (timer) com exatidão de pelo menos ± 15 minutos em 24 horas e medida com um horômetro (ENERGÉTICA, 2001). O AGV MP₁₀ é projetado para trabalhar a uma vazão controlada em torno de $1,13 \text{ m}^3 / \text{min}$ em condições reais de temperatura e pressão.

Figura 9 – Filtro de fibra de vidro



Fonte: Autoria própria (2022)

Para iniciar o processo de tratamento dos filtros foi necessário que os mesmos ficassem em um dessecador contendo sílica gel (Figura 9) para equilíbrio de umidade durante um período de 24 horas antes e depois da utilização dos mesmos. Para efetuar a pesagem dos filtros, foi utilizada uma balança analítica da marca Weblaborsp (Figura 10), do modelo M214Ai. O sistema de pesagem dos filtros foi em triplicata, ou seja, antes e depois de sua utilização os mesmos foram pesados 3 vezes (em três dias diferentes) para obtenção da média dos valores coletados. (ENERGÉTICA, 2016).

Figura 10 – Dessecador

Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 11 – Balança Analítica

Fonte: Autoria própria (2022)

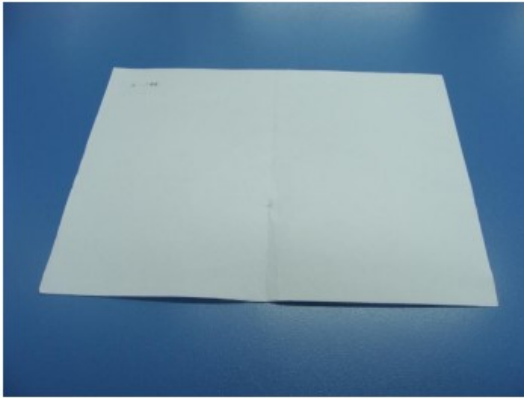
4.7 Período da coleta

As coletas do MP₁₀ aconteceram no período de agosto de 2019 a julho de 2021, todas as terças e quintas da semana, por um período de 24 horas consecutivas.

4.8 Cálculos de Concentração do MP₁₀

Para realizar os cálculos da concentração de MP₁₀ foram verificados o coeficiente de variação da vazão volumétrica, por meio de um manômetro acoplado ao equipamento, o tempo da amostragem que pode ser observado no horâmetro do AGV que é um relógio que mede o intervalo de tempo decorrido desde quando foi ativado até o momento em que foi desativado, e também foram utilizados para os comparativos de dados de concentração os dados meteorológicos da cidade, sendo coletadas as informações como a temperatura, a precipitação pluviométrica e a pressão atmosférica, que foram obtidas através do SIMEPAR (SIMEPAR, 2022).

Abaixo, nas figuras 12 e 13, são apresentados os filtros antes e após a realização das coletas do MP₁₀.

Figura 12 – Filtro antes da coleta

Fonte: Aatoria própria (2022)

Figura 13 – Filtro pós a coleta

Fonte: Aatoria própria (2022)

O filtro foi pesado (após estabilizar a umidade) antes e após a coleta para se determinar o ganho líquido em peso (massa) (Figura 12 e 13). O volume de ar amostrado, corrigido para condições padrão (25°C, 760 mmHg) é determinado a partir da vazão medida e do tempo de amostragem. A concentração de partículas de até 10 µm em suspensão no ar ambiente, MP₁₀, foi computada dividindo-se a massa de partículas coletadas pelo volume de ar amostrado e é expressada em microgramas por metro cúbico (µg/m³):

$$C = \frac{M_f - M_i}{V} * 10^6$$

Eq. (1)

Onde:

CMP₁₀ = concentração de partículas MP₁₀ em suspensão, µg/m³

MI = ganho líquido de MP₁₀ no filtro durante a amostragem, g

Vp = volume total de amostrado em unidade padrão de volume, m³ padrão

10⁶ = fator de conversão, µg/g

5 RESULTADOS

5.1 Comparativo com as normas vigentes

No período estudado entre agosto de 2019 a julho de 2021, foram coletadas ao todo 119 amostras de concentração do material particulado (MP₁₀) na zona urbana da cidade de Francisco Beltrão.

Dentre as 119 amostras realizadas, nenhuma ultrapassou os valores de concentração de material particulado (MP₁₀) indicados pelo CONAMA 491/2018, que é de 120 µg/m³ (gráfico 1). No entanto, quando os valores encontrados de concentração do material particulado foram comparados com os valores recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) de 45 µg/m³, 14 dias de coleta ultrapassaram esses padrões de qualidade do ar (gráfico 1). A Resolução SEMA – PR seguem os mesmos padrões indicados pela CONAMA 491/18, sendo assim os valores encontrados também estão de acordo com os valores estipulados em âmbito estadual.

Quadro 8 – Amostras coletadas com valores acima de 45 µg/m³ indicados pela OMS

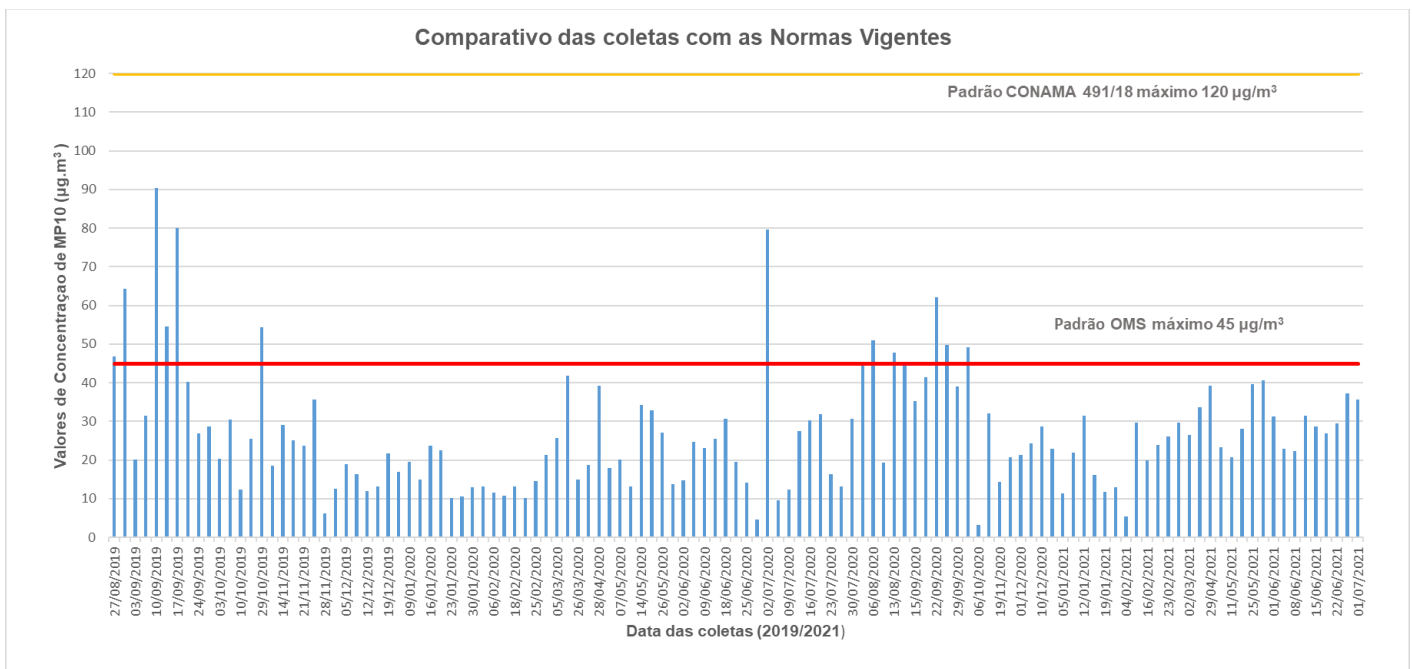
Filtros	Data da coleta	Nível de concentração de MP ₁₀ (µ/m ³) / 24h
1	27/08/2019	46,7
2	29/08/2019	64,2
5	10/09/2019	90,3
6	12/09/2019	54,5
7	17/09/2019	79,9
15	29/10/2019	54,4
63	03/09/2019	79,6
72	04/08/2020	45,0
73	06/08/2020	51,0
75	13/08/2020	47,8
76	18/08/2020	45,4
79	22/09/2020	31,4
80	24/09/2020	49,6
82	01/10/2022	49,1

Fonte: Autoria própria (2022)

Sabe-se que a legislação brasileira da qualidade da poluição do ar (CONAMA 491/18) adota uma postura menos exigente em relação aos valores recomendados pela OMS. Infelizmente o Brasil possui pouco investimento em pesquisas voltadas a qualidade da poluição do ar, visto que a maioria dos estados brasileiros sequer avaliam as emissões de seus poluentes.

No gráfico 1 é possível visualizar a comparação das concentrações do MP₁₀ com os padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA 491/18 e pela OMS 2021.

Gráfico 1 – Comparativos das concentrações da coleta do MP com as Normas vigentes



Fonte: Autoria própria (2022)

Pode-se visualizar no quadro 8, que na primeira semana de coleta do trabalho que englobou o período de 27/08/19 a 19/09/2019, foram as datas que se obteve os maiores picos de concentração de poluição do ar em Beltrão, com 46,7 µg/m³ no dia 27/08/19, 64,2 µg/m³ no dia 29/08/19, 90,3 µg/m³ no dia 10/09/19 e o dia 17/09/2019 a concentração de MP₁₀ ainda se manteve alta, com o valor de 79,9 µg/m³.

Quadro 9 – Níveis de concentração de MP no início das coletas julho e agosto de 2019

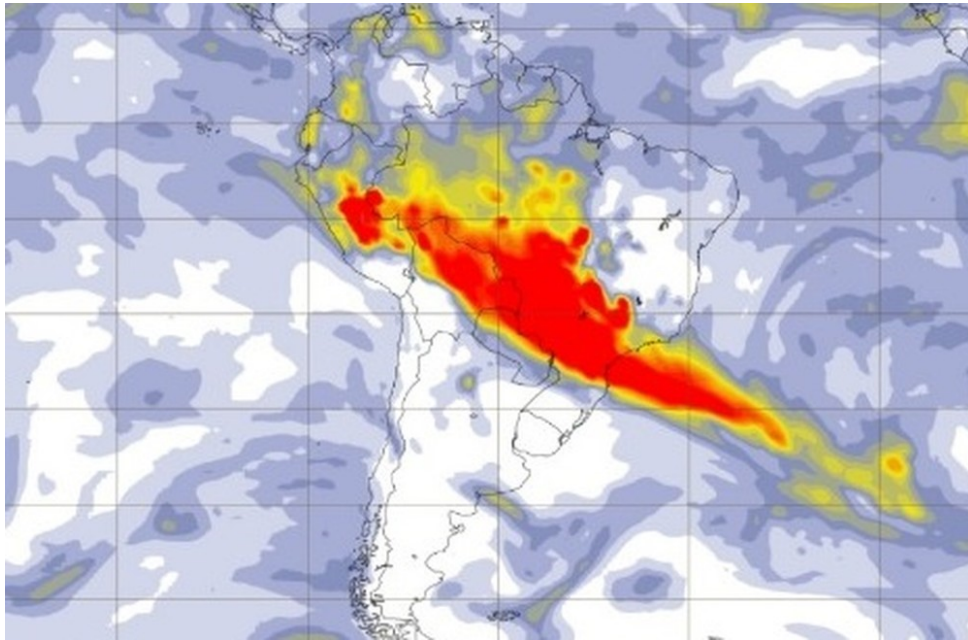
Filtros	Data	Nível de MP₁₀
1	27/08/2019	46,70107304
2	29/08/2019	64,24790231
3	03/09/2019	20,07617715
4	05/09/2019	31,45404827
5	10/09/2019	90,39765468
6	12/09/2019	54,51648837
7	17/09/2019	79,98736118
8	19/09/2019	40,30400509

Fonte: Autoria própria (2022)

É possível afirmar que esses valores elevados durante os períodos de agosto e setembro de 2019, se deram pela pouca chuva ocorrida na época (gráfico 2), através dos dados coletados do SIMEPAR (Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná). Outro fator que pode explicar esses valores, foram as fortes queimadas oriundas de focos de incêndio na Amazônia, que através da presença de ventos em baixos níveis da atmosfera, auxiliaram o transporte do material particulado das regiões de queimadas para o sul do Brasil (LEMES, 2020). O INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), através de imagens de satélite mostrou que os ventos úmidos que sopram da Amazônia para as regiões Sul e Sudeste trouxeram fumaça de queimadas para diversas cidades de São Paulo e Paraná (INPE, 2019).

Abaixo na figura 14 é possível visualizar uma imagem do Programa Copernicus, da Agência Espacial Europeia (ESA), que mostram altas concentrações de aerossol, indicativo de fumaça de queimadas advindas da Amazônia, chegando a áreas do Sul e do Sudeste do país.

Figura 14 – Imagem de satélite do Programa Copernicus, da Agência Espacial Europeia (ESA)



Fonte: INPE (2019)

Após a análise diária das concentrações, foram calculados para cada mês a média aritmética da concentração de MP_{10} (Quadro 10) de acordo com o número de amostragens feitas. Os resultados obtidos mostraram que as médias mensais variam de $12,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $55,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ou seja, todos os períodos estão com níveis de MP_{10} dentro das indicações do CONAMA 491/18.

Percebe-se também, numa comparação anual das coletas, que os meses que se repetem, possuem poucas divergências em relação ao valor de concentração do material particulado encontrado. Os meses de agosto e setembro de 2019 e 2020, tiveram os valores mais elevados de MP_{10} e aproximados.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2022), cerca de sete milhões de pessoas morrem, por ano, no mundo em decorrência da má qualidade do ar. A poluição atmosférica também está diretamente relacionada a problemas ambientais, como a chuva ácida, a intensificação dos gases de efeito estufa (GEE) e as mudanças climáticas. Por conta disso, trabalhos de monitoramento da qualidade do ar são essenciais.

Quadro 10 – Valor de Concentração do Material Particulado (MP₁₀)

Média Mensal	Ano de referência	Concentração (µg.m ³)
Agosto	2019	55,4
Setembro	2019	49,0
Outubro	2019	28,6
Novembro	2019	23,0
Dezembro	2019	15,8
Janeiro	2020	16,4
Fevereiro	2020	12,2
Março	2020	24,4
Abril	2020	39,2
Maio	2020	22,7
Junho	2020	19,6
Julho	2020	27,9
Agosto	2020	41,7
Setembro	2020	45,5
Outubro	2020	26,2
Novembro	2020	22,4
Dezembro	2020	25,3
Janeiro	2021	17,6
Fevereiro	2021	22,4
Março	2021	26,4
Abril	2021	36,4
Maio	2021	30,4
Junho	2021	28,7
Julho	2021	35,7

Fonte: Autoria própria (2022)

5.2 Valor da concentração do Material Particulado em relação a precipitação

Conforme menciona Vicentini (2011), a chuva tem um grande potencial de remoção dos poluentes do ar. As gotas que se formam pela precipitação capturam os poluentes ao caírem, fazendo uma limpeza na atmosfera.

As chuvas também auxiliam na intensificação e direção dos ventos, porém, como a cidade de Francisco Beltrão está localizada em uma espécie de "bacia", ela acaba sofrendo pouca ação dos ventos (PDM, 2016), (a cidade é totalmente cercada por morros com altitude média de 100 metros), então, a velocidade e a direção do vento acabam não influenciando aparentemente na qualidade da poluição do ar da cidade. Desta maneira a chuva se torna protagonista na remoção destes poluentes e papel determinante para a quantificação do material particulado deste trabalho.

Com os dados de precipitação pluviométrica adquiridos através do órgão SIMEPAR da estação meteorológica da cidade de Francisco Beltrão, junto aos dados

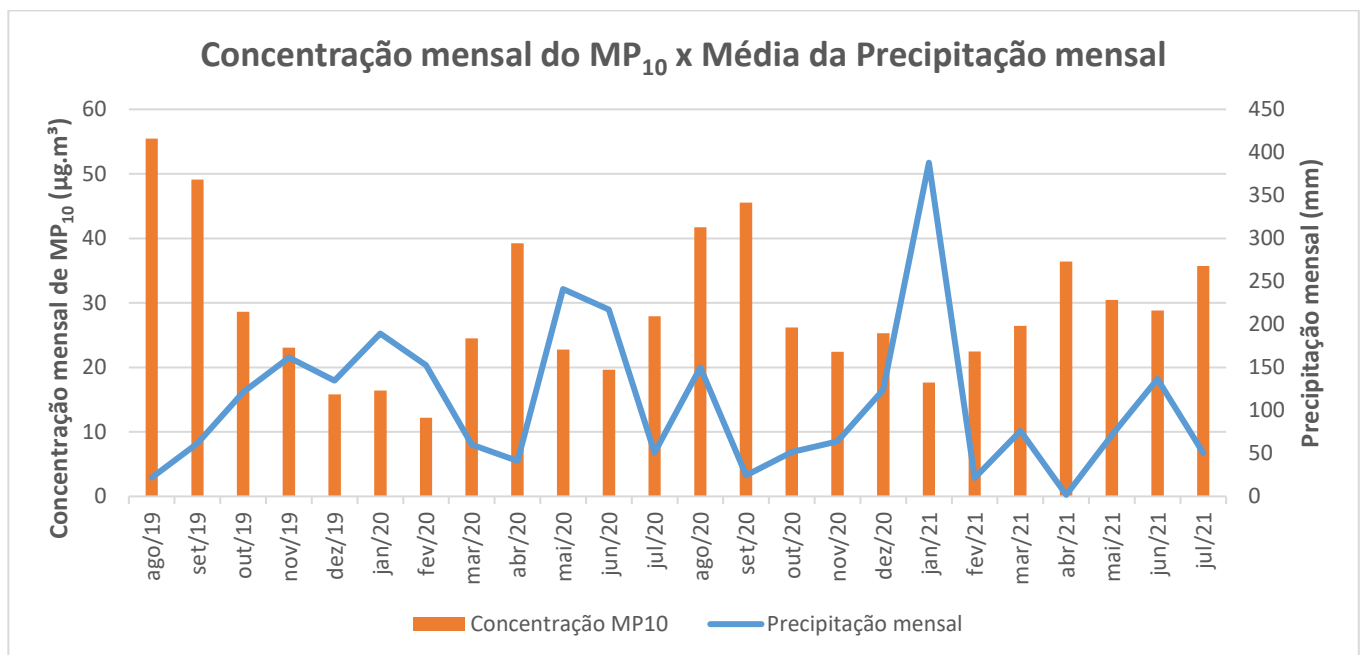
coletados de concentração de MP_{10} , buscou-se avaliar a relação entre estas duas variáveis (Gráfico 2), e assim apontar se as precipitações tem real influência no número de concentração de material particulado encontrado.

Analisando o quadro acima (quadro 9) os meses de agosto e setembro de 2019 e 2020, que são os meses que compreendem as estações do ano outono e inverno, apresentaram os menores índices de precipitação e temperaturas e são os meses com os maiores índices de concentração de material particulado no ar. O maior valor médio de concentração mensal do material particulado foi de $55,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em agosto de 2019, seguido pelo valor de $45,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em setembro de 2020.

Já nos meses de janeiro e fevereiro de 2020 e 2021, a precipitação ocorrida foi a maior de todo período estudado (Gráfico 2) e a concentração de partículas foi a menor encontrada, sendo de $12,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em janeiro de 2020 e $17,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em janeiro de 2021.

Desta forma, foi possível observar que quanto maior a precipitação (chuva), menor foi a concentração de partículas suspensas na atmosfera (MP_{10}) e assim vice e versa, e que as condições meteorológicas influenciam diretamente na concentração desse material particulado.

Gráfico 2 – Relação entre as médias de concentração de MP_{10} e a média mensal de precipitação em Francisco Beltrão entre os meses de agosto 2019 a julho de 2021



Fonte: Autoria própria (2022)

5.3 Valor da concentração do Material Particulado em contraste com o Coronavírus (Sars-Cov-2)

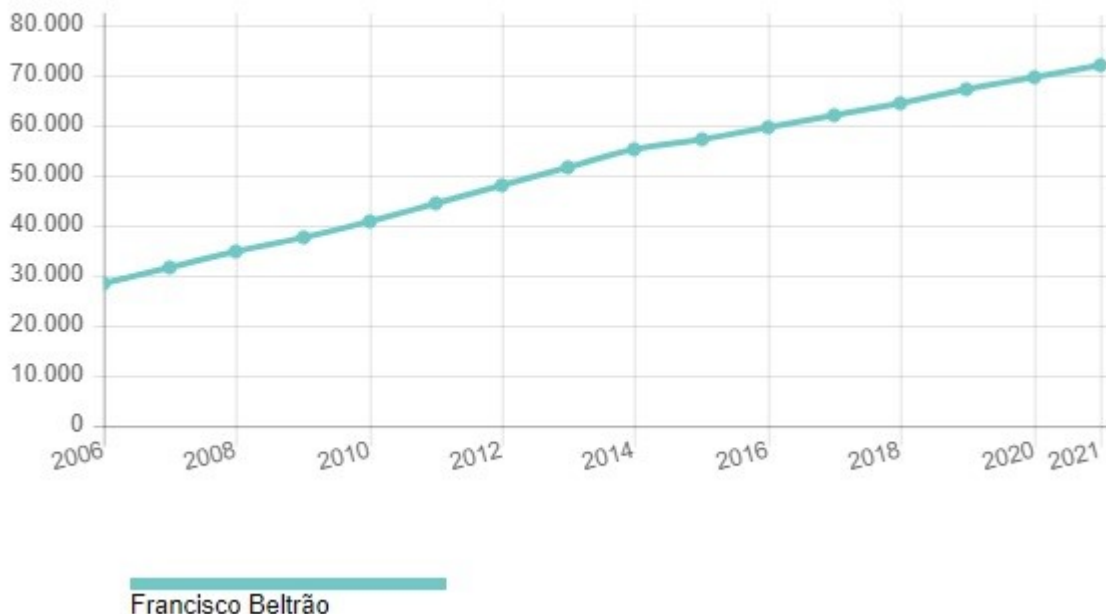
É importante ressaltar que o início desse projeto se deu em agosto de 2019, porém em março de 2020, ocorreu a explosão da pandemia do coronavírus (Sars-Cov-2) em todo planeta, e a partir de março de 2020 foi determinado *lockdown* na cidade de Francisco Beltrão.

Apesar do auge da pandemia do COVID – 19 a data que merece destaque em valores de concentração de MP₁₀ é o dia 02/07/2020, onde, mesmo todos em *lockdown*, o nível de poluição continuou alto, atingindo o valor de 79,6 µg/m³, apesar disso se mantendo dentro dos padrões do CONAMA 491/2018, de 120 µg/m³, mas ultrapassando os níveis indicados pela OMS, que é de 45 µg/m³.

Durante a pandemia, houve registro do aumento no número de carros em circulação na cidade, chegando a um total de 72.166 mil veículos licenciados, conforme apresentado no Gráfico 3 (IBGE, 2022).

Gráfico 3 – Crescimento da frota veicular de Francisco Beltrão até 2021

veículos



Fonte: IBGE (2022)

Neste mesmo período, as indústrias existentes não pararam de funcionar, Beltrão possui um ramo industrial voltado principalmente a indústria alimentícia (Prefeitura Municipal de Francisco Beltrão, 2022) como frigoríficos de frangos e

suínos, laticínios, indústrias de doces e conservas e panificação e muitas pequenas indústrias de alimentos, sendo uma possível explicação para a manutenção dos mesmos níveis de emissão de poluentes no ar em 2021 quando comparados aos níveis de 2020 (quadro 10). Um estudo sobre as fontes de material particulado se faz necessário nesse cenário, assim será possível entender qual a contribuição das fontes veicular e industrial na concentração de MP₁₀ de Francisco Beltrão.

Quadro 10 – Valor de Concentração do Material Particulado (MP₁₀) após início da pandemia do Coronavírus em março de 2020

Média Mensal	Ano de referência	Concentração (µg/m³)
Março	2020	24,4
Abril	2020	39,2
Maio	2020	22,7
Junho	2020	19,6
Julho	2020	27,9
Agosto	2020	41,7
Setembro	2020	45,5
Outubro	2020	26,2
Novembro	2020	22,4
Dezembro	2020	25,3
Janeiro	2021	17,6
Fevereiro	2021	22,4
Março	2021	26,4
Abril	2021	36,4
Maio	2021	30,4
Junho	2021	28,7
Julho	2021	35,7

Fonte: Autoria própria (2022)

Foram analisados alguns estudos nacionais e internacionais que abrangem pesquisas sobre a pandemia do vírus do Sars-Cov-2 (COVID – 19) em relação a poluição do ar.

Albuquerque (2020), relata em seu estudo que no Brasil os grandes centros urbanos como São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília, Goiânia, Curitiba, Salvador e Belo Horizonte, tiveram aspectos positivos a serem levados em consideração em relação a diminuição nos níveis de poluição do ar em relação ao *lockdown* da pandemia. Em São Paulo, por exemplo, por ser a cidade brasileira que mais sofreu com o aumento do número de casos do Covid-19, a imposição do isolamento social contribuiu para uma redução de 50% nos índices de poluentes, isso em razão da principal fonte de emissão de poluentes na cidade estar associada à sua frota veicular. Ainda de acordo com Albuquerque (2020), durante o período da pandemia o índice de poluentes que desencadeiam doenças respiratórias reduziu cerca de 30%.

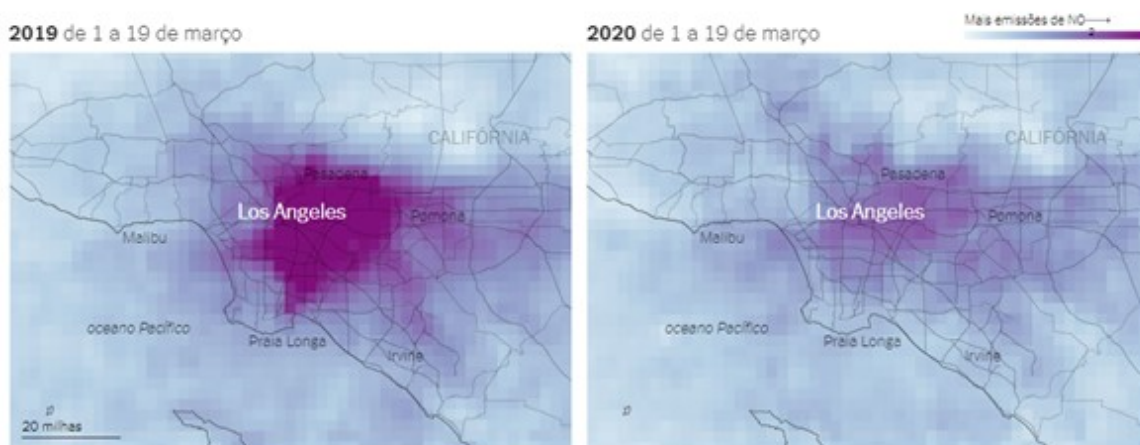
Diversos países durante a pandemia do Coronavírus, implantaram métodos e estudos para quantificar a diminuição da poluição do ar. E foi através de estudos e análises de satélites, como o Sentinel-5P, e através de modelos como XGBoost e Binning (algoritmos especializados em problemas de previsão, envolvendo dados não estruturados, como imagens, textos e vídeos, e redes neurais artificiais) que os mesmos detectaram uma redução dos níveis de poluição em âmbito mundial do NO_2 , MP_{10} e $\text{MP}_{2.5}$ (BHERWANI, *et al.* 2021).

Esses estudos apontaram que NO_2 reduziu na China, na Europa e na Índia. As reduções foram altamente correlacionadas com mudanças nos níveis de mobilidade, ou seja, relacionados ao transporte como um todo. Já em relação a poluição ambiental das concentrações do $\text{MP}_{2.5}$, que tem graves consequências adversas à saúde, foram observadas reduções nos países da China e da Índia (WIJNANDS *et al.* 2022).

Segundo Plumer e Popovich (2020), dados apresentados por pesquisadores da Universidade de Columbia, mostram que as emissões de monóxido de carbono reduziram mais de 50% em comparação ao ano anterior, por estar associada à queda no tráfego de veículos na cidade de Nova York nos Estados Unidos.

Os dados do satélite do Sentinel-5P processados pelo Descartes Labs que detecta as emissões de gases na atmosfera, principalmente os produzidos por veículos, apresenta quedas de poluição nas principais áreas metropolitanas dos Estados Unidos, incluindo Los Angeles, Seattle, Nova York, Chicago e Atlanta (PLUMER; POPOVICH, 2020).

Figura 15 – Imagens do Satélite Sentinel-5P da cidade de Los Angeles (EUA), demonstrando a diminuição de poluição do ar durante o período da pandemia em comparação ao ano anterior



Fonte: Dados do satélite Sentinel-5P processados pelo [Descartes Labs](#)

Fonte: Journal The New York Time (2020)

Apesar dos valores encontrados de concentração de MP₁₀ durante o período de agosto de 2019 a julho de 2021 (quadro 9) em Francisco Beltrão não terem ultrapassado os valores estabelecidos pela CONAMA no 491/18, que é de 120 µg/m³, e quatorze amostras das 119 terem ultrapassado as indicações da OMS, que é 45 µg/m³, não foi possível observar diferenças nos níveis de concentração de MP₁₀ antes e durante a pandemia do vírus Sars-Cov-2 (COVID – 19).

6 CONCLUSÃO

Ao longo do período de estudo (27 de agosto de 2019 a 01 de julho de 2021), foram realizadas 119 amostragens de concentração de material particulado inalável (MP₁₀) na cidade de Francisco Beltrão no Sudoeste do estado do Paraná.

O valor mínimo diário coletado de material particulado durante a pesquisa foi de 3,2 μm^3 em 06/10/2020 e o valor máximo diário obtido de concentração de MP foi de 90,3 μm^3 no dia 10/09/2019. Todas as 119 amostras coletadas estão dentro dos padrões indicados pelo CONAMA 491/2018, que é de 120 μm^3 . Em 14 dos 119 dias amostrados os níveis de concentração do MP₁₀ estão acima do valor indicado pela OMS, que é de 45 μm^3 .

Embora os níveis de concentração de MP₁₀ durante a pesquisa não ultrapassem os padrões nacionais indicados pelo CONAMA 491/18, há uma ressalva importante a fazer, pois os indicativos do padrão nacional da qualidade do ar são mais flexíveis e permissivos quando comparados aos valores indicados pela OMS (2021).

Por meio da utilização dos dados de precipitação da SIMEPAR, foi observado que nos meses com maiores índices pluviométricos os valores de MP caíram drasticamente. Janeiro do ano de 2020 apresentou a precipitação acumulada de 189,2 mm e o valor médio de concentração de MP foi de 16,4 μm^3 . Já em janeiro de 2021 foi obtido o valor da precipitação acumulada no mês de 388 mm e concentração média de MP de 17,6 μm^3 . Da mesma forma no mês de junho de 2020 o valor acumulado de precipitação foi de 217,2 mm e o valor de concentração do particulado de 19,6 μm^3 .

Já nos meses com pouca chuva, como agosto e setembro de 2019, foram observados os valores mensais de 22 mm de precipitação e 55,4 μm^3 de concentração de particulado (agosto de 2019) e em setembro de 2019 o valor 61,6 mm de chuva e nível de concentração do particulado de 49,0 μm^3 . Por meio desses dados coletados foi possível comprovar que a chuva faz uma limpeza na atmosfera, auxiliando diretamente no nível de concentração dos poluentes

No que compete a pandemia do Sars-Cov-2 (coronavírus), foi visto que mesmo antes e durante a COVID – 19, os índices de concentração do material particulado se mantiveram similares, não apresentando alteração nos de concentração dos poluentes na cidade.

É indicado o desenvolvimento e aprofundamento de novos estudos na área de poluição atmosférica dentro do estado Paraná, e especialmente na cidade de Francisco Beltrão, para que através das coletas e análises desses dados, seja possível mensurar o nível de concentração e quais poluentes estão presentes na atmosfera da cidade, e assim através dessas informações, realizar indicativos ao governo na implantação de políticas públicas com o objetivo de propiciar a redução do potencial de gases poluidores do ar, e assim minimizar os impactos dessa poluição na saúde das pessoas e no meio ambiente.

Espera – se que os resultados desta pesquisa sirvam, portanto, de parâmetro norteador para a gestão da qualidade do ar na cidade de Francisco Beltrão, auxiliando no planejamento e eficácia do monitoramento da qualidade do ar na mesma.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Material Particulado em Suspensão na Atmosfera – Determinação da Concentração de Partículas Inaláveis pelo Método do Amostrador de Grande Volume Acoplado a um Separador Inercial de Partículas**. NBR 13412, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Material particulado em suspensão no ar ambiente – Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume**. NBR 9547, setembro 1997.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 332p.

AGÊNCIA EUROPEIA DO AMBIENTE (EEA) **Emissões dos principais poluentes atmosféricos na Europa** – 1988. <https://www.eea.europa.eu/ims/emissions-of-the-main-air>. Acesso em: 10/05/2022.

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS (USEPA) **Noções básicas de matéria particulada (PM)**. 2022. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>. Acesso em: 20/05/2022.

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS (USEPA). **Air Quality Criteria for Particulate Matter**. 2012.

ALVES, C. **Aerossóis Atmosféricos: perspectiva histórica, fontes, processos químicos de formação e composição orgânica**. Química Nova, v 28, p 859-870, 2005.

ALBUQUERQUE, A. C. CAMPOS, N. L. F. SIMIONI, F. C. 2020. **COVID-19: breve análise dos impactos ambientais causados pela pandemia**. Revista Científica ANAP Brasil ISSN 1984-3240 - Volume 13, número 30. Disponível em: <https://www.eventoanap.org.br/data/inscricoes/5420/form3048191369.pdf>. Acesso em: 10/06/2022.

BHERWANI, H. KUMAR, S. MUSUGU. K. NAIR, M. GAUTAM, S. GUPTA, A. CHANG-HOI, H. AVNEESH, A. KUMAR, R. 2021. **Assessment and valuation of health impacts of fine particulate matter during COVID-19 lockdown: a comprehensive study of tropical and sub-tropical countries**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350873353_Assessment_and_valuation_of_health_impacts_of_fine_particulate_matter_during_COVID-19_lockdown_a_comprehensive_study_of_tropical_and_sub_tropical_countries. Acesso em: 30/05/2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 491, de 19 de novembro de 2018**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>. Acesso em: 20/05/2022.

BRASIL. **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB)**. Poluentes, Qualidade do Ar. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em 30/07/2021 as 18:00h.

BRASIL. **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB)**. Aquecimento do Planeta, PROCLIMA – Programa Estadual de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo – 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/aquecimento-do-planeta/>. Acesso em 30/01/2022.

BRITO, P. H. F. ARAÚJO, R. S. SILVA, G. M. M. **Composição Química do Material Particulado Atmosférico: Uma Revisão de Literatura**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará 2018. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/4648>. Acesso 02/03/2022.

BRITO, G. F. S.; SODRÉ, F. F.; ALMEIDA, F. V. **O Impacto do Material Particulado na Qualidade do Ar. UFRJ**. Rev. Virtual Quim., 2018, 10 (5), Disponível: <http://rvq.s bq.org.br> Acesso 01/05/2022.

BARROS, L. V. L. **Avaliação da relação entre parâmetros meteorológicos e concentrações de material particulado inalável (MP10) no campus da UFSC**. 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/124736>. Acesso em 15/04/2022.

BAIRD, Colin; CANN, M. **Química Ambiental**. Grupo 4A, 2011. ed. Bookman, Porto Alegre 9788577808519. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577808519/> Acesso em: 2021 ago. 13.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: ABRH ; UFRS, 2015.

BONETI, L. W. **Formação e apropriação do espaço territorial do Sudoeste do Paraná**. In: ALVES, A.; FLÁVIO, L. C.; SANTOS, R. (orgs.). Espaço e Território: interpretações e perspectivas do desenvolvimento. Francisco Beltrão: UNIOESTE. 2005.

CANÇADO, J. E. D. et al. **Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica**. Jornal Brasileiro de Pneumologia. Ribeirão Preto, v. 32, supl.1, p. S5-S11, mai. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/jbpneu/v32s2/a02v32s2.pdf>>. Acesso em: 01/04/2022.

CARVALHO JÚNIOR, J. A.; LACAVALA, P. T. **Emissões em processos de combustão**. São Paulo: UNESP, 2003.

CASARIL, C. C. **Formação Sócio-Espacial Sudoeste Paranaense. 2017**. Mercator, Fortaleza, v. 16, e16019, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2017.e16019> ISSN: 1984-2201, Universidade Federal do Ceará. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mercator/a/shfT6dS7n7XqzvWYnBzRPyj/?format=pdf&lang=pt> . Acesso em: 01/06/2022.

CERQUEIRA, B. C.; SILVA, B. R.; CAMPOS, R.; SANTANA L. L. B.; LOPES, W. A., SILVA, L. A.; PAULA, R.; CUNHA, S. **Oxigênio no contexto da covid-19: o que sabemos sobre a molécula que respiramos e o papel central da química.** Quim. Nova, Vol. 45, No. 1, 121-131, 2021.

COSTA, M. A. P. M et al. **Efeitos das partículas totais em suspensão (PTS) na saúde da população dos bairros de Benfica, Bom Sucesso, Ramos e Manguinhos.** HYGEIA, Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde. Rio de Janeiro, 2009.

ENVEX, Engenharia e Consultoria. **Resolução CONAMA 491/2018 – Novos padrões de qualidade do ar.** 2021. Disponível em: <http://www.envexengenharia.com.br/resolucao-conama-4912018-novos-padroes-de-qualidade-do-ar/> Acesso em: 25/03/2022.

FRANCISCHETT, Leandra. **Frota de veículos cresce mais que a população de Francisco Beltrão.** Jornal de Beltrão. 22/01/2021. Disponível em: <https://www.jornaldebeltroao.com.br/noticia/305352/frota-de-veiculos-cresce-mais-que-a-populacao-de-francisco-beltrao> Acesso em 12/03/2022.

FROTA, Evanise Batista; VASCONCELOS, Nadja Maria Sales. **QUIMICA AMBIENTAL.** Capítulo 3 - A atmosfera; pg 63 a 79, segunda edição, Editora da Universidade Estadual do Ceará – EdUECE - Fortaleza, 2019.

GUIMARÃES, Claudinei de Souza. **Controle e Monitoramento de Poluentes Atmosféricos.** 2016. Elsevier Editora Ltda: Grupo GEN, 2016. 9788595154438. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595154438/> Acesso em: 30/02/2022.

IAT. Instituto Água e Terra. Paraná 2021. **Monitoramento da Qualidade do Ar** Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Monitoramento-da-Qualidade-do-Ar> Aceso em: 09/06/2022.

IAT. Instituto Água e Terra, Paraná. Antigo IAP 2012. **Relatório Anual da Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Curitiba Ano de 2012.** Disponível em: http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-08/relatorio_qualidade_do_ar_anual_iap_2012.pdf Acesso: 10/04/2022.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia Estatística** - Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente 2020 Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/francisco-beltrao.html> Acessado em 25/02/2022.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia Estatística** – Frota Veicular <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/francisco-beltrao/pesquisa/22/28120> Acesso em 26/05/2022.

IDR, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná IAPAR-EMATER. **Médias históricas em estações do IDR-Paraná, Francisco Beltrão**. 2021. Disponível em: http://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/medias-historicas/Francisco_Beltrao.pdf Acesso em: 13/03/2022.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2019. **Fumaça de queimadas na Amazônia e em países vizinhos chega aos céus do Sul e do Sudeste do Brasil**. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/situacao-atual/>. Acesso em: 28/06/2022.

JUNIOR, J. P.; **Dinâmica e Morfologia da Tropopausa sobre a região de Natal RN utilizando dados de radiossondagens do Centro de lançamento da barreira do Inferno**. Programa de Pós-graduação em Ciências Climáticas, do Centro de Ciências Exatas e da Terra da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2020. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/30171/1/Dinamicamorfologiatropopausa_SilvaJunior_2020.pdf. Acesso: 20/05/2022.

LEINZ, Viktor; AMARAL, Sergio Estanislau do. **Geologia geral**. [S.l: s.n.], Editora: Companhia Editora Nacional, São Paulo, 1989.

LEMES, M. C. R. REBOITA, M. S. CAPUCIN, B. C. **Impactos das queimadas na Amazônia no tempo em São Paulo na tarde do dia 19 de agosto de 2019**. Revista Brasileira de Geografia Física v.13, n.3 (2020) 983-993. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>. Acesso em: 28/06/2022.

LISBOA, H. M. **Meteorologia e dispersão atmosférica**. Ed. Montreal. Dezembro, 2007.

LIMA, Euclides Antônio Pereira. **Um estudo sobre a qualidade do ar de Uberlândia: Material Particulado em Suspensão**. Universidade Federal de Uberlândia / Programa de Pós Graduação em Engenharia Química. 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/15115/1/Euclides.pdf> Acesso em: 25/01/2022.

Li, F., Liu, Y., Lü, J., Liang, L., Harmer, P., 2015. **Ambient air pollution in China poses a multifaceted health threat to outdoor physical activity**. J. Epidemiol. Community Health 69, 201–4.

LIU, Pao-Wen Grace; JOHNSON, Richard. Forecasting peak daily ozone levels-I. **A regression with time series errors model having a principal component trigger to fit 1991 ozone levels**. Journal of the Air & Waste Management Association. v. 52, n. 9, p 1064-1074, 2002.

MAGALHÃES, L. C.; NALINI, H. A. Jr.; LIMA, A. C; COUTRIM, M. X.; XAVIER, M. Determinação de metais traço no material particulado em suspensão em ouro preto, minas gerais. Química Nova, v. 33, nº 3, 519-523, 2010

MANUAL AGV-MP10. ENERGÉTICA. 2016 **Amostrador de Grande Volumes (Energética)**. Disponível em: https://www.energetica.ind.br/wp-content/uploads/2016/01/env1_manual-pts_rev_08.pdf. Acesso 20/01/2022.

MELO JÚNIOR, A. S. **Análise quantitativa do material particulado na região de Campinas através das técnicas de microfluorescência de raios X e reflexão total usando radiação síncrotron** – Universidade Estadual de Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura E Urbanismo – UNICAMP – Campinas, SP: [s.n.], 2007.

MELLER, G. S.; Fürstenau, O. K.; Tiago, S. R.; Sou, M.V. D. Controle da Poluição. Sagah Educação S.A.: Grupo A, 2017. 9788595021150. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595021150/>. Acesso em: 29/01/2022.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). 2022. **Estudos sobre poluição atmosférica**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/acordo-viabiliza-estudos-sobre-poluicao-atmosferica>. Acesso em 20/05/2022

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL CPRM - **Serviço Geológico Do Brasil: Geodiversidade Do Estado Do Paraná - Programa Geologia Do Brasil**, 2013.

MIRANDA, C. T. S. Thebaldi, M. S. R., Giovana M. R. B. **Precipitação máxima diária anual a estimativa da Equação De Chuvas intensas do Município de Divinópolis, MG, Brasil**. REVISTA SCIENTIA AGRARIA Versão On-line ISSN 1983-2443 SA vol. 18 n°. 4 Curitiba Out/Dez 2017 p. 09-16. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322023870_PRECIPITACAO_MAXIMA_DIARIA_ANUAL_E_ESTIMATIVA_DA_EQUACAO_DE_CHUVAS_INTENSAS_DO_MUNICIPIO_DE_DIVINOPOLIS_MG_BRASIL/link/5a3e4d910f7e9ba868900181/download. Acesso em: 10/02/2022.

MONDARDO, M.L. **Faces e contra faces da relação campo-cidade no município de Francisco Beltrão/PR**. Campo-Território: Revista de Geografia Agrária, 3 (5): 114-137. 2008.

OLIVEIRA, A. S.; **FUNDAMENTOS DE METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA: Capítulo III – A Atmosfera**. NEAS/UFRB 2020. <https://www.ufrb.edu.br>. Acesso em 20/05/2022.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – **Poluição externa - Diretrizes da qualidade do ar**. 2005. Disponível em: https://www.who.int/ceh/capacity/v1_poluicao_externa.pdf?ua=1 Acesso em 13/03/2022.

OMS, ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. 2005. WHO. **Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: global update 2005: summary of risk assessment**. Geneva World Heal. Organ. 1–22. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-SDE-PHE-OEH-06-02>. Acesso em 15/03/2022.

OMS, ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. 2021. WHO. **Novas diretrizes de qualidade do ar**. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf>. Acesso em: 28/06/2022.

PLANO DIRETOR MUNICIPAL DE FRANCISCO BELTRAO (2017). **Aspectos ambientais do Município**. Disponível em: <https://www.franciscobeltrao.pr.gov.br/o-municipio/plano-diretor/>. Acesso em: 15/04/2022.

PLUMER, Brad; POPOVICH, Nadja. Traffic and Pollution Plummet as U.S. Cities Shut Down for Coronavirus. **The New York Times**, 22 mar. 2020. Clima. Disponível em: <https://www.nytimes.com/interactive/2020/03/22/climate/coronavirus-usa-traffic.html>. Acesso em: 01/06/2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FRANCISCO BELTRAO. **Sistema Viário**. 2006. Disponível em: <https://franciscobeltrao.pr.gov.br/wp-content/uploads/2016/11/31-SISTEMA-VIARIO-COM-ESTRADAS.pdf>. Acesso em: 08/05/2022.

PIRIN, Lizandra. **Sindicalismo Rural E Agricultura Familiar No Município De Francisco Beltrão – Pr**. Universidade Estadual de Londrina. 2006. Disponível em <https://docplayer.com.br/62615491-Lizandra-pirin-sindicalismo-rural-e-agricultura-familiar-no-municipio-de-francisco-beltrao-pr.html> Acesso em 02/04/2022.

ROCHA, J.C., Rosa, A.H., Cardoso, A.A., 2009. **Introdução à Química Ambiental**, cap 3, pg 117 2a. ed. Bookman, Porto Alegre.

RESOLUÇÃO SEMA Nº 16 DE 26/03/2014, disponível em <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=269324>. Acesso em 15/01/2022.

RIBEIRO, Laurinda José. **EXPANSÃO URBANA E DERIVAÇÕES AMBIENTAIS SOBRE O RIBEIRÃO PIRAPITINGA EM CATALÃO GO**. UFG (Universidade Federal de Goiás), 2011. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tde/391/1/Dissertacao%20Laurinda%20J%20Ribeiro.pdf> Acesso em: 05/02/2022.

SIMEPAR. **Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná**. 2022. Disponíveis informações via e-mail.

SOUZA, P. A. Mello, W. Z. Mariani, R. L. Sella, S. M. **CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL PARTICULADO FINO E GROSSO E COMPOSIÇÃO DA FRAÇÃO INORGÂNICA SOLÚVEL EM ÁGUA EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS (SP)**. Quim.

SOARES, R.V. e BATISTA, A.C. **Meteorologia e Climatologia Florestal**. Curitiba: UFPR. 2004. 195 p.

SLEZAKOVA, K., Castro, D., Begonha, A., Delerue-Matos, C., Alvim-Ferraz, M. da C., Morais, S., Pereira, M. do C., 2011. **Air pollution from traffic emissions in Oporto, Portugal: Health and environmental implications**. Microchem. J. 99, 51–59.

TORLONI, M; VIEIRA A. V. **Manual de proteção respiratória**. São Paulo: Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais, 2003. 518p.

TORRES, F. T. P. MACHADO, P. J. O. **Introdução à climatologia**. Ubá: Ed. Geographica, 2008. – (Série Textos Básicos de Geografia) 234p. ISBN 978-85-61911-05-8.

VÁLIO, Vinicius Mori. **Análise do material particulado atmosférico em uma região de São Carlos-SP**. 2015. 127 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-13082015-144101/ptbr.php>. Acesso em: 15/04/2022.

VICENTINI, P. C. **Uso de modelos de qualidade do ar para a avaliação do efeito do PROCONVE entre 2008 E 2020 na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. UFRJ/ COPPE, 2011.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV – Imprensa Universitária. 1991. 449 p.

WIJNANDS, J. NICE, K. SENEVIRATNE, S. THOMPSON, J. H. 2022. **The impact of the COVID-19 pandemic on air pollution: A global assessment using machine learning techniques**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/360306998_The_impact_of_the_COVID-19_pandemic_on_air_pollution_A_global_assessment_using_machine_learning_techniques. Acesso em: 07/06/2022.

APÊNDICE A - Tabela de Dados da precipitação diária (Simepar) e valores diário da concentração do material particulado.

Tabela de Dados da precipitação diária (Simepar) e valores diário da concentração do material particulado.

Data da coleta	Concentração diária do MP₁₀	Precipitação diária
27/08/2019	46,70107304	0
29/08/2019	64,24790231	0
03/09/2019	20,07617715	0
05/09/2019	31,45404827	4,4
10/09/2019	90,39765468	0
12/09/2019	54,51648837	7,6
17/09/2019	79,98736118	0
19/09/2019	40,30400509	28,4
24/09/2019	26,91600983	0
01/10/2019	28,7508148	0
03/10/2019	20,39092181	0
08/10/2019	30,41361876	0
10/10/2019	12,42799593	0
22/10/2019	25,44103703	0
29/10/2019	54,41289762	0
12/11/2019	18,46400941	0
14/11/2019	29,15557919	21
19/11/2019	25,09408559	0
21/11/2019	23,70786433	0
27/11/2019	35,69828491	9,4
28/11/2019	6,18697909	0
03/12/2019	12,61634412	2
05/12/2019	18,94219779	7,6
10/12/2019	16,44659508	0
12/12/2019	11,91254903	0
17/12/2019	13,20218633	5,8
19/12/2019	21,69373965	0
07/01/2020	16,87063893	0
09/01/2020	19,56878274	9,2
14/01/2020	14,88970789	9,4
16/01/2020	23,66111019	17,2
21/01/2020	22,60015146	0
23/01/2020	10,16338232	3,6
28/01/2020	10,65714939	0
30/01/2020	13,05518331	47,4
04/02/2020	13,0873495	0
06/02/2020	11,48801563	0
12/02/2020	10,71226049	0
18/02/2020	13,24527468	6,8
20/02/2020	10,21981632	0
25/02/2020	14,4738475	76

03/03/2020	21,29816557	0
05/03/2020	25,67319805	0
10/03/2020	41,91894935	0
26/03/2020	14,8972475	0
31/03/2020	18,67039995	0
28/04/2020	39,23376782	0
05/05/2020	17,94477285	21,8
07/05/2020	20,21989019	0
12/05/2020	13,25903851	18,4
14/05/2020	34,20902383	0
19/05/2020	32,90301537	0
26/05/2020	27,06185568	0
28/05/2020	13,82969554	0
02/06/2020	14,84227006	0
04/06/2020	24,71485483	47,4
09/06/2020	23,09541396	39,2
11/06/2020	25,46952986	23
18/06/2020	30,60781513	0
23/06/2020	19,46157927	0
25/06/2020	14,1630954	15,4
30/06/2020	4,666899032	33,8
02/07/2020	79,65424102	0
07/07/2020	9,635590196	12
09/07/2020	12,30798593	0
14/07/2020	27,59364344	0
16/07/2020	30,33947921	0
21/07/2020	31,8369054	0
23/07/2020	16,30623669	0
28/07/2020	13,12607154	10
30/07/2020	30,66503863	0
04/08/2020	45,01834676	0
06/08/2020	51,00255536	0
11/08/2020	19,36835635	0
13/08/2020	47,84422207	0
18/08/2020	45,41965629	42,4
15/09/2020	35,25388217	0
17/09/2020	41,38433749	2,4
22/09/2020	62,18728537	0
24/09/2020	49,6941805	0
29/09/2020	39,1005311	0
01/10/2020	49,17829685	0
06/10/2020	3,234010874	0
12/11/2020	32,01336644	1,4
19/11/2020	14,39810189	0
26/11/2020	20,79456822	0

01/12/2020	21,32502328	0
08/12/2020	24,32739377	0
10/12/2020	28,76373544	0
15/12/2020	22,82325614	0
05/01/2021	11,46636563	33,8
07/01/2021	21,93275547	0,2
12/01/2021	31,53357802	3
14/01/2021	16,08244682	0,2
19/01/2021	11,84976644	32,8
21/01/2021	13,01257605	4,2
04/02/2021	5,417559891	2,6
11/02/2021	29,77181786	0
16/02/2021	19,86600606	0,6
18/02/2021	23,88048612	0
23/02/2021	26,0918843	0
25/02/2021	29,70668621	0,2
02/03/2021	26,43772155	0
27/04/2021	33,61094665	0
29/04/2021	39,19489455	0
04/05/2021	23,35842118	0
11/05/2021	20,74529471	0,8
13/05/2021	28,00456522	0
25/05/2021	39,6224784	0
27/05/2021	40,62203875	0
01/06/2021	31,28050091	0
03/06/2021	22,8574315	0
08/06/2021	22,29966485	3
10/06/2021	31,57402186	12,8
15/06/2021	28,78542877	0
17/06/2021	26,96405122	0
22/06/2021	29,4109533	0,2
29/06/2021	37,19941128	0
01/07/2021	35,72371974	0