



UFOP



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia
Ambiental - DEAMB
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental



Matheus Vinícius Mota

“CORRELAÇÃO DA QUALIDADE DO AR COM A PANDEMIA DO COVID-19”

Ouro Preto

2021

“CORRELAÇÃO DA QUALIDADE DO AR COM A PANDEMIA DO COVID-19”

Matheus Vinícius Mota

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental na Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientador: Profa. Dra. Lia de Mendonça Porto – UFOP

Ouro Preto

2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M917c Mota, Matheus Vinicius.
Correlação da qualidade do ar com a pandemia do covid-19.
[manuscrito] / Matheus Vinicius Mota. - 2021.
68 f.: il.: color., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Lia de Mendonça Porto.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Epidemia - COVID-19. 2. Ar - Controle de qualidade. 3. Ar -
Poluição. 4. Meio ambiente. 5. Saúde pública. I. Porto, Lia de Mendonça.
II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 504:502

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716

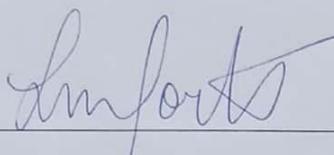
"CORRELAÇÃO DA QUALIDADE DO AR COM A PANDEMIA DO COVID-19"

Matheus Vinicius Mota

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental na Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 17/12/2021

Banca examinadora:



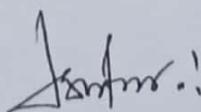
Orientadora: Prof.^a Dra. Lia de Mendonça Porto

**SANDRA APARECIDA
LIMA DE**

Assinado de forma digital por
SANDRA APARECIDA LIMA DE
MOURA:02504152752

MOURA:02504152752 Dados: 2022.01.05 13:53:05 -03'00'

Membro: Prof.^a Dra. Sandra Aparecida Lima de Moura



Membro: Prof. Dr. Danton Heleno Gameiro

*“O sonho é que leva a gente para a frente. Se a gente
for seguir a razão, fica aquietado, acomodado.”*

Ariano Suassuna

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por auxiliar e guiar meu caminho. Sinto que nada foi em vão, valeu a pena todo esforço e a minha dedicação. Que continue me acompanhando nos próximos passos.

Aos meus pais, Lázaro e Vera, pelo amor, carinho, educação e todo apoio para que eu conseguisse vencer as batalhas da vida. Vocês fizeram de mim a pessoa que hoje sou, e eu só tenho motivos para agradecer.

Aos meus irmãos, Ana Júlia e Miguel, pelo carinho e amor, que deixaram a vida mais leve.

A Sandra, por todo amor, suporte e carinho durante toda a graduação, trazendo conforto e aconchego nos momentos mais difíceis.

A Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas e aos professores pelo ensino de qualidade, em especial à minha orientadora, Profa. Dra. Lia de Mendonça Porto, que se dedicou junto a mim na elaboração deste trabalho. Agradeço por ter contado com você nesta caminhada.

A gloriosa República Uai Mano, pelos anos de aprendizado e amizades. Eu quero açúcar!

Viva a Escola de Minas!

RESUMO

Em 2019, o novo coronavírus identificado pela primeira vez na China, iniciou uma pandemia global, onde os acometidos pela doença, apresentam uma síndrome respiratória aguda que pode ser agravada devido a condições individuais preexistentes, como doenças cardiorrespiratórias. A relação da qualidade do ar em que um ser humano está sujeito e a ocorrência de doenças crônicas do aparelho cardiorrespiratório são comprovadas. Além disso, o vírus denominado SARS-CoV-2, altamente contagioso, possui um sistema de entrada nas células humanas, acessando uma enzima específica, a ACE-2, que pode ser aumentada por longos períodos de exposição à poluição atmosférica. A transmissão por contato direto é amplamente difundida pela epidemiologia, mas há a teoria de transmissão aerotransportada, que pode esta ser associada à má qualidade do ar, onde poluentes, alguns gases e material particulado, aumentam o tempo de sobrevivência do vírus no ambiente e consequentemente a distância que este pode percorrer para infectar um indivíduo. Este trabalho tem como principal objetivo estabelecer a correlação da qualidade do ar com a pandemia do COVID-19. Os estudos analisados mostraram que a exposição por longos períodos à baixa qualidade do ar pode aumentar o risco de desenvolvimento de doenças cardiorrespiratórias, que são comorbidades consideradas como fator de risco para o desenvolvimento da forma grave da doença COVID-19.

Palavras-chaves: COVID-19, qualidade do ar, poluição atmosférica, meio ambiente, saúde pública.

ABSTRACT

In 2019, the new coronavirus identified for the first time in China, started a global pandemic, where those affected by the disease present an acute respiratory syndrome that can be aggravated by preexisting individual conditions, such as cardiorespiratory diseases. The relationship between the quality of air that a human being is subject to and the occurrence of chronic diseases of the cardiorespiratory system are proven. In addition, the highly contagious virus called SARS-CoV-2 has an entry system into human cells, accessing a specific enzyme, ACE-2, which can be increased by long periods of exposure to air pollution. Direct contact transmission is widely disseminated by epidemiology, but there is the theory of airborne transmission, which may be associated with poor air quality, where pollutants, some gases and particulate matter, increase the survival time of the virus in the environment and consequently the distance it can travel to infect an individual. The main objective of this work is to establish the correlation of air quality with the COVID-19 pandemic. The studies analyzed showed that exposure for long periods to poor air quality can increase the risk of developing cardiorespiratory diseases, which are comorbidities considered as a risk factor for the development of the severe form of the COVID-19.

Keywords: COVID-19, air quality, air pollution, environment, public health.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exposição humana a um poluente tóxico.....	12
Figura 2: Efeitos na saúde relacionados à qualidade do ar.....	14
Figura 3: Impactos dos poluentes atmosféricos na saúde humana.....	16
Figura 4: Ilustração conceitual da definição de gotículas, núcleos de gotículas e nanogotículas.....	23
Figura 5: Classificação dos diferentes modos de transmissão da COVID-19	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fontes e características de alguns poluentes na atmosfera utilizados como indicadores para o IQAr	9
Tabela 2: Estrutura de Índice de Qualidade do Ar	11
Tabela 3: Qualidade do ar e efeitos à saúde	13
Tabela 4: Efeitos dos principais poluentes atmosféricos, utilizados como indicadores da qualidade do ar, na saúde e no meio ambiente.....	17
Tabela 5: Padrões de qualidade do ar estabelecidos pelo Brasil e OMS	27

LISTA DE SIGLAS

OMS – Organização Mundial da Saúde
H1N1 – Vírus causador da gripe suína
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente
FEPALHR – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Ressler
IQAr – Índice de Qualidade do Ar
MP₁₀ – Material Particulado menor que 10 µm
MP_{2,5} – Material Particulado menor que 2,5 µm
O₃ – Ozônio
CO – Monóxido de Carbono
NO₂ – Dióxido de Nitrogênio
SO₂ – Dióxido de Enxofre
PTS – Partículas Totais em Suspensão
COVID-19 – *Corona Virus Disease*
RT-PCR – Reação Transcriptase Reversa - Reação em Cadeia da Polimerase
CoV – Coronavirus
RNA – Ácido Ribonucleico
SARS – *Severe Acute Respiratory Syndrome*
MERS – *Middle East Respiratory Syndrome*
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CFD – Computational Fluid Dynamics
DPOC – Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica
OPAS – Organização Pan-Americana da Saúde
SUS – Sistema Único de Saúde
°C – Graus Celsius ou graus centígrados
IMC – Índice de Massa Corpórea
ONU – Organização das Nações Unidas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	3
1.1.1	Objetivo Geral	3
1.1.2	Objetivos Específicos	3
2	METODOLOGIA	4
3	REFERENCIAL TEÓRICO	5
3.1	Atmosfera	5
3.2	Poluição Atmosférica	6
3.2.1	Poluentes	6
3.3	Qualidade do Ar	8
3.3.1	Relação da Qualidade do Ar e Saúde Humana	11
3.4	Coronavírus	19
3.4.1	Gravidade dos Casos de COVID-19 e Comorbidades Preexistentes 21	
3.4.2	Transmissão do Coronavírus	22
4	RESULTADOS e DISCUSSÃO	27
5	CONCLUSÃO	33
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
	APÊNDICE A	43

1 INTRODUÇÃO

A atmosfera é essencial à vida e envolve a Terra em uma espessura de 1% do raio do planeta. É uma mistura de gases e está dividida em cinco camadas, troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera. A troposfera é a mais importante das camadas da atmosfera, uma vez que possui oxigênio e calor necessários para que haja sobrevivência humana. O um terço inferior, a camada mais baixa, compreende a metade de todos os gases da atmosfera, sendo a única parte em que se é possível respirar (FLINKER *et al.*, 2018).

O nitrogênio é o gás mais abundante na atmosfera, representando 78% do total. O oxigênio apresenta uma concentração de 21%, e os outros gases como o dióxido de carbono, vapor d'água, ozônio, hélio, argônio, neônio entre outros, representam 1% (BARRY e CHORLEY, 2012).

O conceito de poluição do ar é definido pela presença de contaminantes ou substâncias poluidoras no ar, sendo gases, materiais particulados e compostos orgânicos voláteis que interfiram na saúde e bem estar humano, ou causem danos ao meio ambiente (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018).

A poluição do ar acompanha a humanidade desde os tempos remotos. No entanto, ela começou a ser percebida quando as pessoas começaram a viver em assentamentos urbanos em consequência da Revolução Industrial e quando o carvão mineral passou a ser utilizado como fonte de energia. As inovações tecnológicas ocorridas no século XX, a utilização do petróleo e seus derivados como fonte de combustíveis em paralelo com os processos industriais, a crescente utilização de automóveis e outros meios de transporte movidos a combustíveis fósseis passaram a predominar no cotidiano como agentes poluidores (PHILIPPI JR, ROMÉRIO e BRUNA, 2014).

Há diversas fontes de poluição atmosférica, podendo ter origem antrópicas, mas também fontes naturais. Entre as fontes antrópicas, podemos citar a queima de combustíveis fósseis para geração de energia elétrica, nos transportes, indústrias e residências; processos industriais e utilização de solventes. Entre as fontes naturais, podemos citar as erupções vulcânicas, poeiras transportadas pelo vento, a água do

mar vaporizada e emissões de compostos orgânicos voláteis pelas plantas (AGÊNCIA EUROPEIA DO AMBIENTE, 2020).

Os poluentes atmosféricos são associados a diversas doenças respiratórias, cardiovasculares e a imunossupressão. Segundo a Organização das Nações Unidas, 2020, ocorrem todos os anos 7 milhões de mortes prematuras devido à baixa qualidade do ar, principalmente em países pobres e em desenvolvimento. No Brasil, o número de mortes anuais devido a poluição do ar é de 51 mil pessoas (OPAS, 2018).

O Índice de Qualidade do Ar, monitorado pela CETESB (2021), segue os parâmetros propostos pela CONAMA 491 de 2018, que é a legislação brasileira que estabelece os padrões de qualidade do ar. A OMS (2021) estabelece diretrizes para qualidade do ar no planeta, considerando poluentes como material particulado inalável (MP₁₀) e respirável (MP_{2,5}) dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO) e ozônio (O₃).

A Pandemia do COVID-19, causada pelo vírus SARS-CoV-2, teve sua origem identificada na China, no final de 2019 (HIDALGO, RODRÍGUES-VEGA e PÉREZ-FERNÁNDEZ, 2021). A infecção é transmitida pelo contato com uma pessoa infectada por meio de gotículas e/ou aerossóis e é caracterizada por uma síndrome respiratória aguda grave, acometendo principalmente os pulmões, mas podendo causar lesões no coração, rins e outros órgãos, podendo levar o indivíduo doente à morte (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021). A porta de entrada do vírus nas células, a enzima ACE-2, é um fator que implica velocidade do contágio e a expressão desta enzima pode estar aumentada devido a doenças causadas pela má qualidade do ar (FRONTERA *et al.*, 2020).

A relação entre o IQAr com a gravidade dos casos está associada a doenças e fatores de risco como comorbidades cardiorrespiratórias preexistentes. Ainda se percebe que o sistema de entrada do vírus nas células humanas se dá a partir da interação da proteína *spike* dos vírus com a enzima ACE-2, encontrada em maior quantidade em pessoas com problemas cardiorrespiratórios, principalmente hipertensão. O processo de aerotransmissão do coronavírus, em que a poluição momentânea influencia a transmissão, é uma abordagem que considera a qualidade do ar como um dos fatores relevantes na contaminação do indivíduo. Esse trabalho

objetivou avaliar, por meio de uma revisão bibliográfica, a correlação da qualidade do ar com a pandemia do COVID-19.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Identificar a correlação entre a qualidade do ar e a pandemia do COVID-19.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Apresentar conceitos básicos relacionados à atmosfera e sua poluição;
- Correlacionar a poluição atmosférica com o Índice de Qualidade do Ar (IQA);
- Identificar as doenças provocadas pela exposição prolongada à poluentes atmosféricos e a baixas qualidades do ar;
- Entender sobre a pandemia do COVID-19, os sintomas provocados pela doença;
- Identificar as formas de transmissão do vírus Sars-CoV-2 descritas na literatura;
- Compreender a forma de contágio nos seres humanos pelo vírus SARS-CoV-2;
- Estabelecer a correlação do índice de qualidade do ar com a transmissão e a gravidade dos casos de COVID-19.

2 METODOLOGIA

Essa pesquisa pode ser classificada como pesquisa exploratória, que tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o objeto de estudo. O planejamento da pesquisa exploratória é bastante flexível e pode assumir caráter de pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, estudos de caso e levantamentos. As técnicas de pesquisas que podem ser utilizadas são: formulários, questionários, entrevistas, fichas para registro de avaliações clínicas, leitura e documentação (HEERDT e LEONEL, 2007).

Neste trabalho, foi utilizada a pesquisa bibliográfica, com técnicas de leitura e documentação. Foram realizadas buscas nos sites *Scielo*, *Science Direct*, *PubMed*, *Google Scholar* e na biblioteca digital da Universidade Federal de Ouro Preto, considerando publicações em diversos idiomas, predominantemente inglês, português e espanhol. As palavras-chave pesquisadas foram “COVID-19”, “SARS-CoV-2”, “coronavírus”, “transmissão aerotransportada”, “qualidade do ar”, “transmissão”, “poluição atmosférica”, “material particulado”, “atmosfera”, “qualidade do ar” e “saúde humana”.

Para chegar ao objetivo do trabalho, inicialmente, foi necessário compreender conceitos importantes relacionados à atmosfera, suas definições e composição; poluentes e qualidade do ar. A partir daí, buscou-se entender os efeitos da poluição atmosférica na saúde humana, tornando possível correlacioná-los. Além disso, pesquisou-se sobre o novo coronavírus, sua origem, efeitos sobre a saúde humana e formas de transmissão. Após os estudos sobre as definições supracitadas, foi possível compreender e identificar a influência da qualidade do ar no processo de transmissão e gravidade dos casos de COVID-19.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Atmosfera

De acordo com Lenzi e Favero (2019):

“A atmosfera teve três momentos da sua história que influenciaram sua formação e constituição. O primeiro foi o período que antecedeu o aparecimento da vida sobre a Terra. O segundo, o surgimento da vida na forma de seres autotróficos e heterotróficos. O terceiro momento, que se estende aos dias de hoje, é o aparecimento do ser humano com suas máquinas e seus inventos” (LENZI e FAVERO, 2019, p.3).

A atmosfera é essencial à vida e envolve a Terra em uma espessura de 1% do raio do planeta. É uma mistura de gases e está dividida em cinco camadas: Troposfera, onde acontece a maior parte dos fenômenos meteorológicos e possui extensão de 15 km; Estratosfera, abriga a Camada de Ozônio, se estende a até 50km de altitude e nela são filtrados os raios ultravioletas emitidos pelo Sol; Mesosfera, se estende a até 80km de altitude e apresenta menores temperaturas atmosféricas; Termosfera, chega a atingir até 500 km de altitude e abriga gases ionizados que ajudam a refletir e propagar ondas de rádio; e por último a Exosfera que é a camada onde os satélites artificiais costumam se posicionar (FLINKER *et al.*, 2018).

Segundo Flinker *et al.* (2018), a vida na Terra existe devido as funções que a atmosfera exerce, tais como o efeito estufa, que mantém a temperatura estável no planeta conservando-a mesmo durante a noite, filtragem da radiação solar excessiva e também a proteção contra segmentos de objetos como meteoros que são em sua grande maioria desintegrados ao entrarem na atmosfera.

Quando há o aumento nas concentrações de gases e outras substâncias presentes na atmosfera, pode ocorrer um desequilíbrio, sendo caracterizado como poluição atmosférica.

3.2 Poluição Atmosférica

A poluição do ar acompanha a humanidade desde tempos remotos. No entanto, ela começou a ser mais sentida quando as pessoas começaram a viver em assentamentos urbanos em consequência da Revolução Industrial e quando o carvão mineral começou a ser mais utilizado como fonte de energia. As inovações tecnológicas ocorridas no século XX e a utilização do petróleo como fonte de combustíveis aumentaram ainda mais essa poluição, em paralelo com os processos industriais, a crescente utilização de automóveis e outros meios de transporte movidos a combustíveis fósseis, passaram a predominar no cotidiano como agentes poluidores de destaque. A poluição do ar tornou-se um problema mundial, com reflexos em todo o planeta, como a intensificação do efeito estufa e a redução da camada de ozônio (PHILIPPI JR, ROMÉRIO e BRUNA, 2014).

A poluição do ar é definida como a presença de contaminantes ou de substâncias poluidoras no ar atmosférico, sejam eles gases, materiais particulados e compostos orgânicos voláteis, que interfiram na saúde e no bem-estar humano, ou ainda causem efeitos danosos ao meio ambiente (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018).

De acordo com a Agência Europeia do Ambiente (2020), há diversas fontes de poluição atmosférica, tais como: queima de combustíveis fósseis na geração de eletricidade, nos transportes, na indústria e nos aglomerados domésticos; processos industriais e a utilização de solventes em indústrias química e extrativa; agricultura; tratamento de resíduos; erupções vulcânicas, poeiras transportadas pelo vento, a água do mar vaporizada e as emissões de compostos orgânicos voláteis das plantas são exemplos de fontes de emissões naturais.

3.2.1 Poluentes

Segundo o Ministério Do Meio Ambiente (2018):

“poluentes atmosféricos são qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da

propriedade ou às atividades normais da comunidade” (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018).

De acordo com a CETESB (2021), o nível de poluição atmosférica é medido pela quantidade de substâncias poluentes presentes no ar. Há grande variedade de substâncias que podem ser encontradas na atmosfera, sendo difícil a tarefa de estabelecer uma classificação. Os poluentes são divididos em duas categorias: poluentes primários, que são emitidos diretamente pelas fontes de emissão e poluentes secundários, que são formados na atmosfera através da reação química entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera.

Segundo SANTOS *et al.* (2017), entre os principais poluentes primários temos: dióxido de carbono (CO₂); monóxido de carbono (CO); dióxido de nitrogênio (NO₂); dióxido de enxofre (SO₂); material particulado (fumos, poeiras, névoa); hidrocarbonetos; gás sulfídrico (H₂S). Os principais poluentes secundários, são: ozônio troposférico (O₃); peróxido de hidrogênio (H₂O₂); aldeídos (fórmico e acético); peroxiacetilnitrato (PAN); sulfeto (SO₃); sulfato (SO₄); gás amoníaco (NH₃).

Outros poluentes atmosféricos que são muito citados devido à toxicidade apresentada, são as dioxinas, furanos e o tolueno. As dioxinas e furanos são duas classes de compostos aromáticos tricíclicos, de função éter, com estrutura quase planar e que possuem propriedades físicas e químicas semelhantes (ASSUNÇÃO e PESQUERO, 1999). Esses compostos são principalmente subprodutos de processos industriais, em condições de combustão incompleta. Para ocorrer a formação desses poluentes, são necessárias fontes de matéria orgânica, fontes de cloro e um local com altas temperaturas (200°C a 600°C) e com catalisadores. Essas condições são encontradas em diversas indústrias, como siderurgias, fábricas de equipamentos refrigeradores e de óleos térmicos, indústria de papel e celulose, fábricas de pesticidas, incineração de diversos resíduos sólidos (urbanos, perigosos, hospitalares) e processos de reciclagem de metais (CABRITA *et al.*, 2003).

Alguns poluentes são controlados pela resolução CONAMA 491 de 2018 e são utilizados como referência para auxiliar na avaliação da qualidade do ar.

3.3 Qualidade do Ar

De acordo com o Brasil (2019),

“a qualidade do ar é produto da interação de um complexo conjunto de fatores dentre os quais destacam-se a magnitude das emissões, a topografia e as condições meteorológicas da região, favoráveis ou não à dispersão dos poluentes” (BRASIL, 2019).

Estudos epidemiológicos têm demonstrado correlações entre a exposição aos poluentes atmosféricos e os efeitos de morbidade e mortalidade, causadas por problemas respiratórios e cardiovasculares, mesmo quando as concentrações dos poluentes na atmosfera não ultrapassam os padrões de qualidade do ar vigentes (BRASIL, 2019).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2018), o padrão de qualidade do ar é um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, determinado como valor de concentração de um poluente específico associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica. Os padrões de qualidade do ar intermediários, estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas, e o padrão de qualidade do ar final são valores guia definidos pela OMS em 2005.

O monitoramento da qualidade do ar é feito para verificar se as emissões de poluentes classificados como indicadores estão de acordo com a legislação ambiental. Para cada um desses poluentes foram definidos limites máximos de concentração que, quando excedidos, podem afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos ao meio ambiente em geral (FEAM, 2013).

Um grupo de poluentes foi escolhido universalmente como indicadores da qualidade do ar, por causa da frequência de ocorrência e seus efeitos, estando explicitados na Tabela 1.

Tabela 1: Fontes e características de alguns poluentes na atmosfera utilizados como indicadores para o IQAr

FONTES E CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS POLUENTES NA ATMOSFERA			
Poluentes	Características	Principais Fontes Antropogênicas	Principais Fontes Naturais
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Tamanho < 100 µm	Processos industriais, veículos automotores (exaustão), poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa.	Vulcões, pólen, aerossol marinho e solo.
Partículas Inaláveis Finas (MP_{2,5})	Possuem diâmetro menor ou igual a 2,5 µm. Por causa do tamanho pequeno, penetram profundamente no sistema respiratório e podem atingir os alvéolos pulmonares.	Processos de combustão (indústrias e veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera).	Vulcões, pólen, aerossol marinho e solo.
Partículas Inaláveis (MP₁₀)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Tamanho < 10 µm	Processos de combustão (indústrias e veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera).	Vulcões, pólen, aerossol marinho e solo.
Dióxido de Enxofre (SO₂)	Gás incolor, com forte odor, altamente solúvel. Na presença de vapor d'água pode ser transformado a SO ₃ passando rapidamente a H ₂ SO ₄ , sendo um dos principais constituintes da chuva ácida. É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis. No verão, através dos processos fotoquímicos, as reações do SO ₂ são mais rápidas.	Combustão de combustíveis fósseis (carvão), queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel.	Vulcões, emissões de reações biológicas.
Óxidos de Nitrogênio (NO_x)	Podem levar a formação de HNO ₃ , nitratos e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, indústrias, usinas termoeletricas (óleo, gás, carvão) e incineração.	Processos biológicos no solo e relâmpagos.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em geral, principalmente em veículos automotores.	Queimadas e reações fotoquímicas.
Ozônio (O₃)	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica mais conhecido como <i>smog</i> . Composto muito ativo quimicamente.	Não é emitido diretamente à atmosfera, sendo produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os NO _x e compostos orgânicos voláteis (VOCs).	Camada de ozônio
Fumaça	Está relacionada ao material particulado suspenso na atmosfera proveniente dos processos de combustão.	Motores de combustão, incêndios e queimadas.	Incêndios naturais, erupções vulcânicas.

Fonte: FEPAHLR - RS (2016), adaptado pelo autor (2021).

De acordo com Ministério do Meio Ambiente (2018), é possível calcular o índice de qualidade do ar, utilizando a Equação (1).

$$IQAr = I_{ini} + \frac{I_{fin} - I_{ini}}{C_{fin} - C_{ini}} \times (C - C_{ini}) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde,

I_{ini} : valor do índice que corresponde à concentração inicial da faixa.

I_{fin} : valor do índice que corresponde à concentração final da faixa.

C_{ini} : concentração inicial da faixa onde se localiza a concentração medida.

C_{fin} : concentração final da faixa onde se localiza a concentração medida.

C : concentração medida do poluente.

O objetivo do IQAr é permitir uma informação precisa, rápida e facilmente compreendida sobre os níveis diários de qualidade do ar. A CETESB, a agência do Governo do Estado de São Paulo responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição, estruturou os dados para compreensão do IQAr, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Estrutura de Índice de Qualidade do Ar

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

Fonte: CETESB (2021).

Os limites definidos para controle da qualidade do ar possibilitam a compreensão de uma pessoa leiga sobre a qualidade do ar e é ferramenta para o Estado na tomada de decisão em relação à intervenção evitando que a má qualidade do ar cause danos para a saúde humana.

3.3.1 Relação da Qualidade do Ar e Saúde Humana

De acordo com Sant'anna *et al.* (2021),

“Os impactos da poluição do ar na saúde humana estão conectados com a incidência de mortes prematuras, doenças pulmonares, cardiovasculares,

acidentes vasculares cerebrais, disposição ao câncer e ao diabetes, além de prejuízo do desenvolvimento cognitivo em crianças e demência em idosos” (SANT'ANNA *et al.* 2021, p2).

A exposição por longos períodos a poluentes como material particulado, fumaça, óxido de enxofre e nitrogênio podem causar doenças cardiorrespiratórias em toda população. Os primeiros estudos experimentais, epidemiológicos e clínicos que embasaram os conhecimentos acerca dos efeitos adversos dos poluentes atmosféricos para a saúde humana datam das décadas de 1980 e 1990 (SANT'ANNA *et al.*, 2021).

Ainda de acordo com Sant'anna *et al.* (2021) a exposição humana a um poluente tóxico pode ser definida conforme a Figura 1.

Figura 1: Exposição humana a um poluente tóxico



Fonte: Sant'anna *et al.* (2021).

Apesar do cálculo do índice da qualidade do ar considerar todos os poluentes, mostrado pela Equação (1), a sua classificação é feita pelo poluente que está em maior concentração, resultando em um IQAr de maior valor. A relação do índice de qualidade do ar com os efeitos causados à saúde é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Qualidade do ar e efeitos à saúde

Qualidade do ar e efeitos à saúde		
Qualidade	Índice	Significado
N1 – Boa	0 – 40	Está dentro dos padrões de qualidade do ar definidos pela legislação.
N2 – Moderada	41 – 80	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
N3 – Ruim	81 – 120	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
N4 – Muito Ruim	121 – 200	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
N5 – Péssima	>200	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: CETESB (2021).

A maioria das pessoas expostas não apresentam sintomas ou os apresentam de forma leve, e podem apresentar doenças do trato respiratório superior tratadas com

auxílio médico. Essas incidências são maiores do que os casos mais graves, sendo que a mortalidade ocorre apenas em alguns casos, conforme Figura 2.

r

Figura 2: Efeitos na saúde relacionados à qualidade do ar



Fonte: Sant'anna *et al.* (2021).

Schwartz (1994) mostrou que a poluição do ar está primeiramente ligada a mortes não-hospitalares, representadas por mortes súbitas, muitas por arritmia e infarto do miocárdio e verificou para cada aumento de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de partículas totais em suspensão (PTS) há um aumento do risco relativo de 1,06 para mortalidade, um risco ainda maior para a doença cardiovascular de 1,08 e para a população idosa o risco relativo é de 1,09, e o de pneumonia de 1,18.

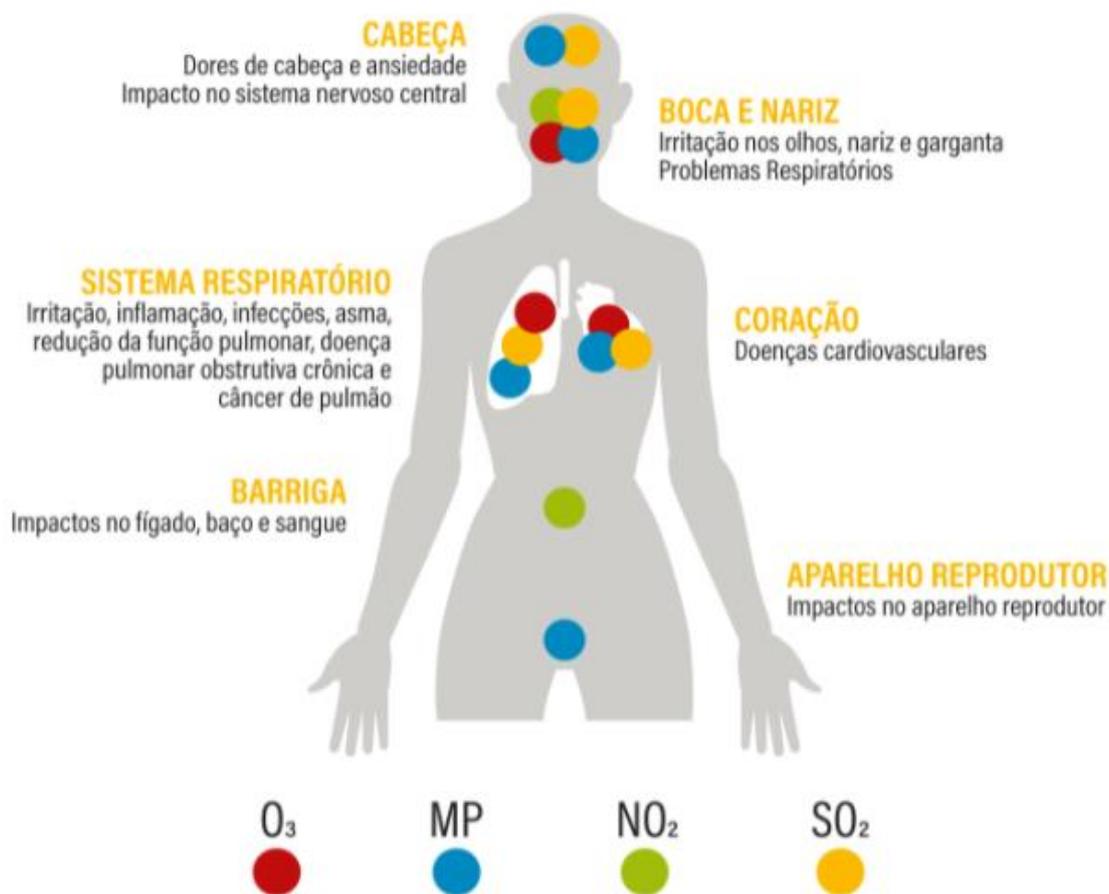
De acordo com Colombini (2008), um estudo foi feito em Harvard sobre os efeitos adversos provocados pelos altos níveis de $\text{MP}_{2,5}$, seis cidades americanas foram envolvidas e foram identificadas uma clara associação com admissões hospitalares de causa cardiovascular, e em menor extensão, para doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC). Esses achados também foram confirmados para o MP_{10} ,

no Estudo Nacional de Morbidade, Mortalidade e Poluição do Ar que envolveu 90 cidades americanas e resultou na positiva associação de altos níveis de MP₁₀ com mortalidade cardiorrespiratória e admissões hospitalares por pneumonia, agravamento das doenças cardiovasculares, e da DPOC em pacientes acima de 65 anos.

O potencial de um poluente para afetar a saúde humana é determinado tanto pelo grau de exposição quanto por sua toxicidade. De acordo com a OMS (2018) e a OPAS (2018), as principais doenças que afetam o maior número de pessoas são: doenças pulmonares (mais de 50% dos casos de pneumonia em crianças); doenças cardiovasculares e acidentes vasculares cerebrais; disposição ao câncer e à diabetes; prejuízo do desenvolvimento cognitivo em crianças e demência em idosos. Além disso, o material particulado e o ar tóxico estão entre as substâncias carcinogênicas associadas ao câncer de pulmão (POPE III *et al.*, 2002).

Na Figura 3 é possível ver alguns dos efeitos na saúde humana dos principais poluentes atmosféricos.

Figura 3: Impactos dos poluentes atmosféricos na saúde humana



Fonte: Felin (2018).

Ainda segundo a OPAS (2018), a poluição do ar é responsável anualmente por 51 mil mortes no Brasil, número muito superior às 32.121 mortes no trânsito que aconteceram no mesmo ano, de acordo com a base de dados do Ministério da Saúde.

Os principais poluentes atmosféricos, listados na Tabela 4, podem causar danos tanto para a saúde humana, assim como ao Meio Ambiente.

Tabela 4: Efeitos dos principais poluentes atmosféricos, utilizados como indicadores da qualidade do ar, na saúde e no meio ambiente

EFEITOS DOS PRINCIPAIS POLUENTES NA ATMOSFERA		
Poluentes	Efeito sobre a saúde	Efeitos sobre o Meio Ambiente
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Causam efeitos significativos em pessoas com doenças pulmonares, como asma e bronquite.	Danos a vegetação, redução da visibilidade e contaminação do solo.
Partículas Inaláveis Finas (MP_{2,5})	Aumento de atendimentos hospitalares e mortes prematuras. Insuficiências respiratórias pela deposição deste poluente nos pulmões.	Danos a vegetação, redução da visibilidade e contaminação do solo.
Partículas Inaláveis (MP₁₀)	Aumento de atendimentos hospitalares e mortes prematuras. Insuficiências respiratórias pela deposição deste poluente nos pulmões.	Danos a vegetação, redução da visibilidade e contaminação do solo.
Dióxido de Enxofre (SO₂)	Desconforto na respiração, doenças respiratórias, agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares já existentes. Pessoas com asma, doenças crônicas de coração e pulmão são mais sensíveis ao SO ₂ . Irritação ocular.	Pode levar a formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação.
Óxidos de Nitrogênio (NO_x)	Aumento da sensibilidade à asma e à bronquite.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos a vegetação.
Monóxido de Carbono (CO)	Causa efeito danoso no sistema nervoso central, com perda de consciência e visão. Exposições mais curtas podem também provocar dores de cabeça e tonturas.	Pode levar a formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação.
Ozônio (O₃)	Irritação nos olhos e vias respiratórias, diminuição da capacidade pulmonar. Exposição a altas concentrações pode resultar em sensações de aperto no peito, tosse e chiado na respiração. O O ₃ tem sido associado ao aumento de admissões hospitalares.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais. Pode danificar materiais devido ao seu alto poder oxidante.
Fumaça	Dificuldade para respirar, dor e ardência na garganta, rouquidão, dor de cabeça, lacrimejamento e vermelhidão nos olhos. Além disso, pode aumentar a prevalência de infarto, AVC, maior risco de câncer e até doenças crônicas.	Contaminação do ar.

Fonte: FEPAHLR - RS (2016), adaptado pelo autor (2021).

André *et al.* (2019) mostrou impacto semelhante em seis regiões metropolitanas brasileiras (onde vivem 23% da população do país) e concluiu que serão contabilizadas, de 2018 até 2025, cerca de 128 mil mortes precoces, que representarão um custo de R\$ 51,5 bilhões em perda de produtividade. Haverá ainda 69 mil internações públicas a um custo de R\$ 126,9 milhões para o SUS.

Foi feito um estudo na cidade de São Paulo em que foi identificado um excessivo número de mortes relacionadas à exposição ao MP₁₀ para indivíduos acima de 65 anos, sendo que para cada aumento de 100 µg/m³ na concentração do MP₁₀, foi registrado um aumento de 13% na mortalidade geral. Essa associação persistiu mesmo quando houve uma análise com controle do clima e da sazonalidade, sendo os efeitos observados antes mesmo de atingido o padrão médio anual do poluente (COLOMBINI, 2008).

De acordo com Felin (2018), estima-se que viver em uma cidade com ar poluído aumente o risco de ataque cardíaco em 75% em comparação com cidades de ar limpo. Além disso, o impacto da poluição é desigual: os efeitos são mais intensos na população de baixa renda. Os problemas de saúde refletem na economia, devido a mortes prematuras e faltas no trabalho por doenças relacionadas aos poluentes no ar. Somente em São Paulo, a mortalidade e a morbidade geradas pela poluição do ar geram um custo econômico de até US\$208 milhões ao ano.

Freitas *et al.* (2004) realizaram um estudo para investigar efeitos de curto prazo da poluição atmosférica na morbidade respiratória de menores de 15 anos e na mortalidade de idosos (>64 anos) no período de 1993 a 1997 em São Paulo, em relação às variações diárias de poluentes atmosféricos (PM₁₀, CO, O₃). O estudo identificou associação entre os níveis de poluentes atmosféricos e internações por doenças respiratórias da população analisada. Foram analisados por um período de cinco anos e detectado o aumento de 8% nas mortes totais de idosos, associado com um incremento de partículas inaláveis.

Jasinski, Pereira e Braga (2011), fizeram um estudo para avaliar os efeitos dos poluentes atmosféricos e suas estruturas de defasagem sobre a morbidade respiratória de crianças e adolescentes, na cidade de Cubatão, São Paulo, Brasil, entre 1997 e 2004. Chegaram à conclusão que, apesar de haver uma redução nos níveis de poluição atmosférica desde o início de seu monitoramento, os poluentes analisados (MP₁₀, SO₂, NO₂ e O₃) apresentaram efeitos relevantes sobre a saúde dos moradores da cidade. Tais efeitos foram avaliados pelas internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes. Entre crianças de 0 a 10 anos,

foram observados efeitos para MP₁₀ e O₃. Os efeitos sobre os adolescentes foram verificados apenas para a exposição aguda ao ozônio.

Souza *et al.* (2014), realizaram um estudo para analisar a associação entre concentrações dos poluentes atmosféricos e atendimentos diários por causas respiratórias em crianças. Foram analisadas as contagens diárias de admissões hospitalares de crianças menores de 6 anos e as concentrações diárias de poluentes atmosféricos (MP₁₀, SO₂, NO₂, O₃ e CO), na Região da Grande Vitória - ES, de janeiro de 2005 a dezembro de 2010. Após o estudo, concluíram que há uma relação significativa entre os níveis de concentração dos poluentes e o número de atendimentos hospitalares em crianças menores de 6 anos, mesmo em um ambiente com níveis abaixo dos padrões recomendados pelo CONAMA e OMS.

Brunetto, Loss e Busato (2021) fizeram um estudo para identificar os índices de morbidade e mortalidade de doenças cardiorrespiratórias associadas à poluição do ar em Santa Catarina no período de 2008 a 2019. Foram analisados todos os casos de internações e óbitos de crianças menores de 5 anos de idade, adultos maiores de 40 anos de idade e idosos com 60 anos ou mais, acometidos por doenças cardiorrespiratórias como asma, DPOC, pneumonia e infarto agudo do miocárdio durante o período de estudo. Como resultado, concluíram que os idosos foram os mais afetados por doenças cardiorrespiratórias, sendo que pneumonia foi a patologia com maior prevalência de óbitos a cada 1000 internados, tanto em crianças abaixo de 5 anos, quanto em maior que 65 anos. Além disso, considerando o infarto agudo do miocárdio, a região Sul esteve em destaque, enquanto que para as doenças respiratórias, as regiões do Meio Oeste e Serra Catarinense, Grande Oeste e Planalto Norte e Nordeste foram as mais acometidas. Sendo assim, eles concluíram que houve relação de maiores índices de morbimortalidade das doenças com as regiões que possuem forte envolvimento com atividades poluentes.

3.4 Coronavírus

Em dezembro de 2019, casos de pneumonia de causas desconhecidas foram detectados na cidade de Wuhan, na China. Os pacientes apresentaram sintomas virais como febre, dificuldade respiratória e infiltração inflamatória pulmonar bilateral

em casos mais graves. Após testes realizados em materiais coletados dos pacientes, foi detectado por meio do teste RT-PCR, o resultado positivo para o pan-Beta coronavírus (HIDALGO, RODRÍGUES-VEGA e PÉREZ-FERNÁNDEZ, 2021).

Os coronavírus (CoV), são vírus de RNA de fita simples, comuns em aves e mamíferos, como cães, gatos, ratos e morcegos. Dentre os tipos coronavírus patogênicos para os seres humanos, a maioria causa sintomas, entretanto, alguns causam síndrome respiratória aguda grave, abreviada com a sigla SARS, do inglês “*severe acute respiratory syndrome*”. Casos de contaminações humanas por coronavírus ocorreram também no passado. Em 2002 na província de Guangdong – China, surgiu o SARS-CoV que infectou mais de 8000 pessoas e causou 774 mortes em vários países. No Oriente Médio em 2012, outro coronavírus, o MERS-CoV (Middle East Respiratory Syndrome) surgiu infectando 2494 pessoas, levando a morte de 858 (LU *et al.*, 2020). O novo coronavírus (SARS-CoV-2), é mais infeccioso que o MERS-CoV e o SARS-CoV, possuindo grande patogenicidade e transmissibilidade.

Segundo o Ministério da Saúde (2021), os sintomas mais comuns da COVID-19 são: febre, tosse seca, cansaço, dores pelo corpo, dor de garganta, coriza, diarreia, perda de paladar ou olfato. Entretanto, a doença pode progredir, levando os pacientes a quadros com hiporexia (redução do apetite), adinamia (fraqueza muscular) e pneumonia. Em casos graves da doença, ocorre a síndrome respiratória aguda grave, que causa pressão persistente no tórax, queda da saturação de oxigênio no sangue do paciente, lesão miocárdica, pneumonia grave, sepse (infecção generalizada), falência múltipla dos órgãos, etc.

Cerca de 40% dos pacientes acometidos pela COVID-19 desenvolvem sintomas leves. Outros 40% desenvolvem sintomas moderados, aproximadamente 15% podem desenvolver sintomas graves a ponto de necessitar de suporte de oxigênio, e cerca de 5% atingem a forma crítica da doença (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021).

Segundo dados da OMS (2021), até o dia 16 de julho de 2021, no mundo registrou-se um total de 188.655.968 casos confirmados da doença, levando à óbito um total de 4.067.517 pessoas. A taxa de mortalidade foi de 2,16%. No dia 17 de julho de 2021, segundo o Ministério da Saúde (2021), o Brasil acumulava 19.342.448 casos

confirmados de COVID-19, e um total de óbitos de 541.266, com uma taxa de letalidade de 2,80%.

Ao ser observada uma taxa de mortalidade de 2,16%, é necessário entender mais sobre a gravidade dos casos e como ela é influenciada pelos fatores de risco preexistentes.

3.4.1 Gravidade dos Casos de COVID-19 e Comorbidades Preexistentes

Segundo documento disponibilizado pelo Ministério Da Saúde (2021), pessoas com determinadas doenças crônicas não transmissíveis são consideradas dentro do grupo de risco para o desenvolvimento da forma grave da COVID-19. Entre estas doenças, podemos citar: hipertensão arterial, doenças cardíacas congênitas, miocardiopatias, diabetes mellitus, obesidade (IMC maior que 30); doenças renais crônicas, doenças pulmonares graves ou descompensadas (asma, DPOC), tuberculose, transtornos neurológicos e do desenvolvimento, indivíduos imunocomprometidos (tratamento contra o câncer, deficiências imunológicas, AIDS), entre outras.

Estudos feitos por Wu *et al.*, (2020) demonstraram que a longa exposição à MP_{2,5} causa doenças cardiorrespiratórias como hipertensão, asma, DPOC entre outros problemas respiratórios, diabetes, além de debilitar o sistema imunológico, aumentar a ocorrência das inflamações pulmonares e do trato respiratório. Essas comorbidades aumentam o risco de infecção pelo SARS-CoV2, e também o desenvolvimento de formas graves da doença.

Cui *et al.* (2003) concluíram em seus estudos durante a epidemia de SARS na China, que a taxa de letalidade da doença era duas vezes maior em locais mais poluídos, quando comparado a locais com melhor qualidade do ar. Nos estudos, eles atribuíram essa taxa de letalidade à hipótese de que a exposição de longo prazo à poluição atmosférica pode comprometer as funções pulmonares, causando inflamações respiratórias agudas, asma e DPOC.

Entre sintomas e gravidade dos casos da COVID-19, se faz necessário entender como ocorre os processos de transmissão do coronavírus, e como a poluição

atmosférica interfere nesses processos e como se dá a entrada do vírus nas células humanas.

3.4.2 Transmissão do Coronavírus

A principal forma de contágio do SARS-CoV-2 é dada por meio de gotículas emitidas pelo trato respiratório da pessoa infectada. Essas partículas carregadas com o vírus são disseminadas no ar por espirros, tosse e gotículas salivares, e também pelo contato direto com o infectado, contato esse que pode ocorrer pelas mãos (HIDALGO, RODRÍGUES-VEGA e PÉREZ-FERNÁNDEZ, 2021).

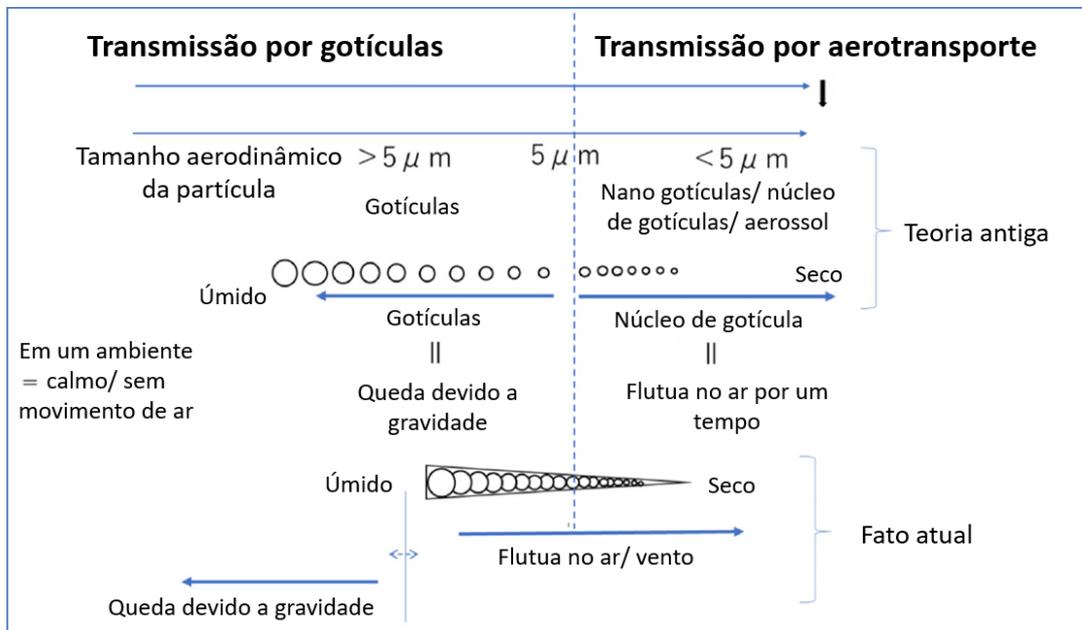
Estudos feitos por Hidalgo, Rodríguez-Vega e Pérez-Fernández (2021) indicam que a transmissão ocorre em grande parte dentro de ambientes fechados e sem proteção, tais como ambientes familiares, escritórios, casas noturnas, entre outros.

Segundo Ram *et al.* (2021), a transmissão da COVID-19 em ambientes abertos é alvo de estudos e umas das barreiras encontradas é quanto a diferença na nomenclatura de gotículas e aerossóis. As gotículas são geradas durante a respiração, espirros, tosse e fala, carregadas com o coronavírus, podem variar de 0,6 µm a 1000 µm, ou até maiores. Entretanto, gotículas de todos os tamanhos, contendo o vírus, são amplamente chamadas de aerossóis.

Gotículas respiratórias maiores, carregadas com o vírus, espalham-se apenas em curtas distâncias antes de se depositarem, devido a força gravitacional. Partículas menores, podem “viajar” por longas distâncias, por meio de aerossóis, acordo com a dinâmica do ar (PANI, LIN e RAVINDRABABU, 2020). O diâmetro das gotículas pode ser reduzido devido a evaporação da água presente, resultando nos chamados núcleos de gotículas (RAM *et al.*, 2021).

A figura 4 exemplifica a definição de gotículas e aerossóis, de acordo com o diâmetro.

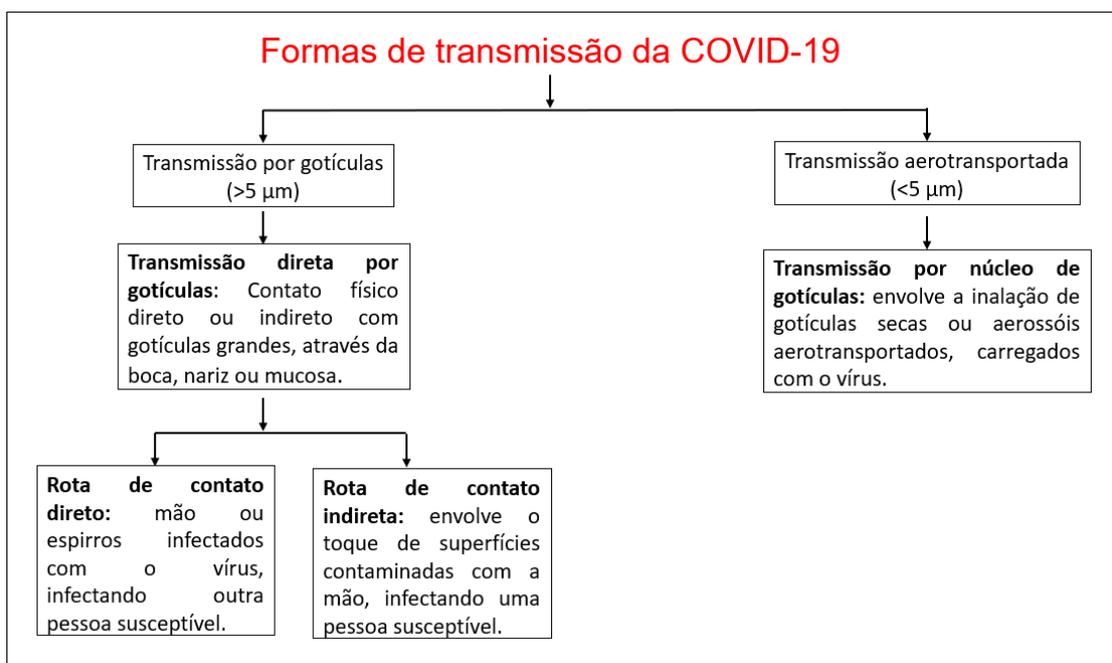
Figura 4: Ilustração conceitual da definição de gotículas, núcleos de gotículas e nano-gotículas



Fonte: Ram *et al.* (2021), adaptado pelo autor (2021).

Ainda segundo Ram *et al.* (2021), a transmissão do SARS-CoV-2, pode ocorrer nas duas formas apresentadas na figura 5.

Figura 5: Classificação dos diferentes modos de transmissão da COVID-19



Fonte: Ram *et al.* (2021), adaptado pelo autor (2021).

Prather, Wang e Schooley (2020), dizem que tosses e espirros produzem gotículas de 100 μm , que se sedimentam em 4,8 segundos, e aerossóis de 1 μm que podem levar até 12 horas para sedimentarem, em ambientes sem movimentos de ar. Tosses e espirros intensos podem impulsionar as gotículas maiores a cerca de 6 metros e também criar milhares de gotículas menores e aerossóis, que percorrem distâncias ainda maiores, permanecendo no ar por horas. Essas informações indicam que a transmissão do novo coronavírus pode ocorrer por meio de aerotransporte.

Ao entrarem em contato com a atmosfera, gotículas evaporam, reduzindo o diâmetro e aumentando a capacidade de permanecer no ar por mais tempo. Gotículas com diâmetro de 100 μm levarão cerca de 100 segundos para alcançar 32 μm de diâmetro em um ambiente com 95% de umidade relativa, mas menos de 2 segundos em um ambiente com 35% de umidade (GABORY *et al.*, 2020).

SHAO *et al.* (2021), realizaram um estudo em que foi medido a geração de gotículas durante a respiração normal de um indivíduo, e o formato dessas gotículas, que podem influenciar no transporte e sobrevivência do vírus no ambiente. O formato das partículas (podem ser arredondadas ou facetadas), e a composição das mesmas (contendo solutos não voláteis como cálcio e potássio, além de lipídios e proteínas hidrofóbicas), podem manter o vírus protegido e aumentar a sua sobrevivência.

Durante simulações de CFD, SHAO *et al.* (2021) observaram como se dá a dispersão dessas gotículas em um determinado ambiente fechado e concluíram que embora a ventilação permita a remoção de gotículas contendo o vírus, ela pode ajudar a espalhá-las em um maior espaço, para além da proximidade do indivíduo emissor. Isso mostra que um indivíduo assintomático, mas contaminado com o SARS-CoV-2, pode aumentar significativamente a transmissão da doença.

Quanto ao tempo de sobrevivência de vírus no ambiente, Morris *et al.* (2021) descobriram que o novo coronavírus pode sobreviver mais de 24 horas a uma temperatura de 10 $^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de 40%. Doremalen *et al.* (2020), analisaram a estabilidade do SARS-CoV-2 em aerossóis infectados e em várias superfícies com temperatura de 21 $^{\circ}\text{C}$ a 23 $^{\circ}\text{C}$ e 40% de umidade, onde o vírus foi detectado em aerossóis depois de 3 horas, em até 4 horas em cobre, 24 horas em papelão, 48 horas em aço inoxidável e cerca de 72 horas em plástico.

O material particulado atmosférico pode funcionar como um vetor de transporte para os vírus, que se anexam em partículas atmosféricas, sendo elas sólidas ou líquidas, tornando-os capazes de sobreviverem por horas e se espalharem por grandes áreas (SETTI *et al.*, 2020).

O estudo feito por Zhu *et al.* (2020), indica uma relação entre a infecção por COVID-19 e a poluição atmosférica, principalmente pela exposição a concentrações mais altas de MP_{2,5}, MP₁₀, NO₂, O₃ e CO, fortalecendo a teoria do transporte de cargas virulentas por materiais particulados em suspensão.

A probabilidade de infecção do SARS-CoV-2 depende da carga viral emitida pela pessoa infectada. Pessoas com poucos sintomas tendem a emitir gotículas com cargas virais menores, quando comparadas com casos de sintomas mais graves (CHEN *et al.*, 2021).

Fears *et al.* (2020) após analisarem aerossóis infectados com o novo coronavírus em condições ambientais que apresentaram temperatura entre 21°C e 25°C, umidade relativa do ar entre 42% e 64% e nenhuma fonte de luz ultravioleta, concluíram que o coronavírus manteve sua morfologia e capacidade de replicação por mais de 12 horas, sugerindo que o vírus é consideravelmente resiliente na forma de aerossol.

O receptor ACE-2 (*angiotensin-converting enzyme 2*), responsável pela regulação do sistema renina-angiotensina-aldosterona (SRAA), sendo este responsável pela regulação da pressão arterial, balanço hídrico celular e balanço de sódio do organismo (DURÃES, 2020), é a forma de entrada do SARS-CoV-2 no organismo humano, atuando como um receptor celular para o vírus (ZHOU *et al.*, 2020). A proteína *spike* (S) dos coronavírus auxilia a entrada do vírus nas células, envolvendo os receptores ACE-2, que são encontrados principalmente nos alvéolos pulmonares, o que explica a “ligação” viral pelas vias aéreas inferiores (FRONTERA *et al.*, 2020).

Pacientes expostos por longos períodos a altos níveis de MP_{2,5}, tem a quantidade de ACE-2 aumentada, favorecendo a penetração do vírus. No momento em que a célula é infectada, os níveis da proteína diminuem levando a uma ação anti-

inflamatória deficiente e conseqüentemente à uma lesão pulmonar (FRONTERA *et al.*, 2020).

A inalação de NO₂ em altas concentrações está associada a um maior risco de desenvolvimento de formas graves da COVID-19 por ser um potente oxidante, afetando o mecanismo de defesa pulmonar (principalmente a atividade de fagocitose), aumentando a resposta inflamatória e causando dano celular (FRONTERA *et al.*, 2020).

O sistema renina-angiotensina-aldosterona é um mecanismo do corpo para conseguir um ajuste da pressão arterial sistêmica em médio e longo prazo, envolvendo o sistema renal, adrenal, o fígado, a hipófise posterior e o endotélio dos vasos (CONSTANZO, 2014).

A ACE-2, que regula o sistema renina-angiotensina, foi identificada como receptor SARS-CoV-2 o que leva a compreender a alta taxa de mortalidade dos pacientes. A alta afinidade SARS-CoV-2 com a ACE-2 leva a entrada viral nas células e também ao desenvolvimento de doenças do sistema pulmonar, intestinal, renal, sistema nervoso central e cardiovascular (OUDIT e PFEFFER, 2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A poluição atmosférica pode ocorrer devido a fatores naturais como erupções vulcânicas, queimadas, reações biológicas e o efeito dos ventos sobre áreas sem vegetação, onde há transporte de material particulado, porém a contribuição antrópica é muito mais significativa, como processos de combustão, reações químicas em processos industriais, desmatamentos e queimadas criminosas. A concentração de poluentes em grandes centros urbanos é maior que em outras áreas por haver a junção dessas emissões.

No Brasil, a legislação que regula os parâmetros de qualidade do ar é a CONAMA 491 de 2018, indicando os limites de emissão de poluentes como o MP₁₀, MP_{2,5}, SO₂, NO₂, O₃, fumaça, CO, PTS e chumbo (Pb₅). Ela foi elaborada para que ocorra uma mudança gradual nas emissões industriais, saindo da CONAMA 03 de 1990, até atingir os padrões propostos pela OMS em 2005. Entretanto, a OMS em setembro de 2021, atualizou suas diretrizes de emissões de poluentes, tornando-as mais restritivas após diversos estudos e evidências analisados. Na Tabela 5 pode-se verificar os valores das legislações brasileiras e da OMS.

Tabela 5: Padrões de qualidade do ar estabelecidos pelo Brasil e OMS

Poluente	CONAMA 03/90	OMS 2005	CONAMA 491/18	OMS 2021
MP _{2,5} µg/m ³	-	Anual: 10	Anual: 10	Anual: 5
	-	24h: 25	24h: 25	24h: 15
MP ₁₀ µg/m ³	Anual: 50	Anual: 20	Anual: 20	Anual: 15
	24h: 150	24h :50	24h: 50	24h: 45
O ₃ µg/m ³	1h: 160	-	-	Semestral: 60
	-	8h: 100	8h:100	8h: 100
NO ₂ µg/m ³	Anual: 100	Anual: 40	Anual: 40	Anual: 10
	24h: 190	-	1h: 200	24h: 25
SO ₂ µg/m ³	Anual: 40	-	-	-
	24h: 100	24h: 20	24h: 20	24h: 40
CO	Anual: 10	-	-	-
	24h: 40	-	8h: 9 ppm	24h: 4 mg/m ³

Fonte: BRASIL (1990), OMS (2005), Brasil (2018), OMS (2021), adaptado.

Observa-se que a legislação brasileira se tornou obsoleta, comparada às novas diretrizes recomendadas pela OMS. A atualização da legislação vigente esbarra na

complexidade do entendimento das novas diretrizes e também da capacidade nacional de conseguir atingir os novos limites propostos, uma vez que seriam necessárias diversas alterações e investimentos nos sistemas de tratamento de efluentes gasosos. A eficiência de fiscalização em um país de dimensões continentais como o Brasil, se torna complexa devido também à heterogeneidade de suas regiões, dificultando o controle efetivo das emissões.

O IQAr monitorado pela CETESB, indicado na Tabela 2, também deverá se adequar aos padrões da OMS de 2021, uma vez que os valores foram estabelecidos de acordo com as diretrizes de 2005.

A exposição por longo prazo à poluentes ambientais como o MP, SO₂, NO₂, O₃ podem causar doenças cardiorrespiratórias em toda a população. A concentração em grandes centros urbanos, principalmente no inverno, onde é comum o fenômeno de inversão térmica, aumenta a exposição da população a esses poluentes. A Tabela 3 e a Figura 2 mostram respectivamente os efeitos da qualidade do ar na saúde humana e a incidência dos efeitos na saúde. Esses poluentes também podem causar danos no sistema nervoso central, irritação nos olhos, nariz, garganta, inflamação dos pulmões, infecções, asma, redução da função pulmonar, DPOC, câncer de pulmão, impactos no fígado, baço, sangue e também no aparelho reprodutor.

O potencial que um poluente tem de afetar a saúde humana é definido tanto pelo grau de exposição, quanto por sua toxicidade. Os estudos realizados por Schwartz (1994), indicam que a exposição à PTS aumenta o risco de desenvolver doenças cardiovasculares, pulmonares na população, aumentando o risco de morte por essas morbidades, em um nível maior para os idosos. Colombini (2008), identificou que altos níveis de MP₁₀ e MP_{2,5} causam maiores admissões hospitalares devido a causas cardiovasculares, mas também para a DPOC.

Podemos observar a gravidade da poluição ambiental em casos históricos como o “*smog*” ocorrido em Londres em 1952. O sistema energético da cidade era predominantemente movido a combustíveis fósseis como os derivados de petróleo e carvão mineral. A cidade que estava exposta a toneladas de fuligem diariamente, se viu cercada por um grande nevoeiro ocasionado pelo fenômeno de inversão térmica, que dificulta a dispersão dos poluentes. Em um período de cinco dias, estima-se que

ocorreram pelo menos 8000 mortes causadas pelos efeitos da poluição. Idosos, crianças pequenas e pessoas com problemas respiratórios foram as principais vítimas. Para reduzir a emissão de fuligens, foi adotada a redução da queima de carvão para aquecimento nas casas, sendo este substituído por gás natural e outros combustíveis (KLEIN, 2018).

No Brasil, mais precisamente em Cubatão no estado de São Paulo, a poluição já foi um grande problema. A cidade está situada aos pés da Serra do Mar e nas décadas de 1970 e 1980 possuía indústrias de petróleo, fertilizantes e metais, que emitiam mais de mil toneladas de gases tóxicos diariamente. Entre os principais poluentes emitidos estão compostos como o CO, benzeno, SO₂, NO₂, hidrocarbonetos e MP. A poluição causava problemas cardiorrespiratórios na população, mas também malformações fetais e mortes de recém nascidos (COSTA, 2017). Neste caso, além da alta emissão de poluentes, a dispersão era prejudicada por fatores geográficos, uma vez que a Serra do Mar “barra” as correntes atmosféricas, concentrando os poluentes na região. Alterações no sistema produtivo como a implementação de filtros nas chaminés e fiscalização das empresas, ocasionaram uma melhora na qualidade do ar na região.

Segundo a OPAS (2018) a poluição do ar é responsável por mais mortes que o trânsito no Brasil. Essas mortes, muitas vezes prematuras, podem refletir em danos econômicos caso ocorra a morte de população economicamente ativa, e também eleva os gastos referentes a internações na rede pública. André *et al.* (2019) mostraram que as mortes precoces poderão representar de 2018 até 2025, um custo de R\$51,5 bilhões em perda de produtividade e ainda um custo de R\$129,9 milhões para o SUS, referentes a internações públicas.

O vírus SARS-CoV-2, produz uma infecção, nos casos leves, com sintomas como febre, tosse seca, cansaço, dores pelo corpo, dor de garganta, coriza, diarreia, perda de paladar e olfato. Entretanto, em casos graves ocorre a síndrome respiratória aguda grave, ocasionando queda na saturação de oxigênio no sangue, lesões miocárdicas, pneumonia grave, infecção generalizada, falência múltipla de órgão e morte.

O Ministério da Saúde (2021) indicou que pessoas com hipertensão, doenças pulmonares como asma, DPOC, transtornos neurológicos, doenças renais e imunocomprometidos estão enquadrados como grupo de risco para o desenvolvimento da forma grave da COVID-19. Essas morbidades muitas vezes aparecem de forma silenciosa e sem causas conhecidas, e podem estar relacionadas à exposição de longo prazo à poluição atmosférica.

O poluente atmosférico considerado o mais influente no agravamento dos casos de COVID-19 foi o NO_2 , que aumenta os riscos de doenças respiratórias, como asma, bronquite, além de enfraquecer o sistema imunológico contra infecções respiratórias por ser considerado um poderoso oxidante.

A longa exposição ao $\text{MP}_{2,5}$, é um dos principais fatores que levam ao desenvolvimento da DPOC, sendo esta, responsável por muitas internações em grandes centros urbanos. Ela é muitas vezes silenciosa, passando despercebida no dia a dia dos cidadãos. Ao analisarmos os estudos, confirmamos a influência da poluição do ar em casos de internação por DPOC, fazendo desta uma comorbidade grave quando relacionada à gravidade e óbitos de pessoas infectadas pelo SARS-CoV-2.

A DPOC tem origem não só na poluição atmosférica, mas também pode ser consequência do tabagismo e de poeiras ocupacionais, como trabalhos em minas de extração mineral e na construção civil, o que aumenta os focos de atenção para o desenvolvimento da doença.

A crise econômica ocasionada pela pandemia, obrigou que diversos brasileiros buscassem novas formas para cozinhar. A utilização de lenha e carvão vegetal para atividades básicas como cozinhar e aquecimento, expõe pessoas, sobretudo as de baixa renda à fumaça e fuligem, deixando-as expostas e propícias ao desenvolvimento de doenças cardiorrespiratórias.

A transmissão do coronavírus pode ser de duas formas, conforme mostrado na Figura 5. Uma, pelo contato direto ou indireto com gotículas expelidas por uma pessoa infectada, explicada pela epidemiologia pura e simples, do mesmo modo em que ocorre a transmissão da gripe comum. A outra, correlaciona a qualidade do ar com a transmissão aerotransportada. O tempo e a distância em que gotículas e aerossóis

expelidos durante tosses e espirros e o tempo de sobrevivência do vírus no ambiente são agravantes.

Estudos mostraram que as gotículas e aerossóis produzidos durante tosses e espirros podem permanecer suspensos por até 12 horas, em ambientes sem movimentos de ar. Conforme a Figura 4, as gotículas podem evaporar, reduzindo seu diâmetro e peso, facilitando a permanência na atmosfera por um período maior, podendo ser transportado por grandes distâncias devido aos movimentos de ar. Além das condições ambientais, tais como temperatura e umidade relativa do ar, a composição das gotículas que podem conter nutrientes não voláteis como cálcio e potássio, bem como lipídios e proteínas hidrofóbicas, podem favorecer a sobrevivência do vírus.

O MP atmosférico pode atuar como um vetor de transporte viral, uma vez que podem se anexar nas partículas tanto sólidas quanto líquidas, tornando-os capazes de sobreviverem por horas. Zhu *et al.* (2020) confirma a relação de infecção por COVID-19 a má qualidade do ar, fortalecendo a teoria da transmissão aerotransportada. Essa infecção também depende da carga viral expelida pelo infectado.

Um ponto relevante a ser discutido é que locais com má qualidade do ar, geralmente são grandes centros urbanos e industrializados. Nesses locais, a grande concentração de pessoas, principalmente em locais fechados, como transporte público e também em empresas, pode ser um fator que eleva os índices de transmissão, não sendo apenas atribuído ao IQAr.

Um dos pontos principais para a infecção pelo coronavírus é sua porta de entrada no organismo. A proteína S do vírus utiliza o receptor ACE-2 para se ligar às células humanas. A ACE-2 é uma enzima que faz parte do sistema de regulação da pressão arterial do organismo, que envolve órgãos como o pulmão, sistema renal, adrenal, fígado, hipófise e o endotélio dos vasos sanguíneos. Pessoas com hipertensão arterial possuem uma maior expressão de ACE-2 nas células do trato respiratório, o que aumenta a probabilidade de infecção. As doenças advindas da longa exposição à poluição atmosférica se mostram um fator importante quando analisamos a presença da ACE-2. Conforme discutido anteriormente, essas

comorbidades também enfraquecem o organismo humano, tornando o infectado susceptível ao desenvolvimento de casos graves, e também ao aparecimento de sequelas.

O presente trabalho possibilitou a produção de um artigo científico de mesmo tema, com o título “INFLUÊNCIAS DA QUALIDADE DO AR NA PANDEMIA DO COVID-19”, disponível no Apêndice A, que foi apresentado no CINASAMA - Congresso Internacional de Saúde e Meio Ambiente II, Edição on-line.

5 CONCLUSÃO

O trabalho bibliográfico permitiu um maior conhecimento sobre atmosfera e suas definições, qualidade do ar, poluentes atmosféricos e seus efeitos à saúde humana.

A legislação brasileira de qualidade do ar (CONAMA 491/2018) necessita de revisão, uma vez que as diretrizes para qualidade do ar divulgadas pela Organização Mundial da Saúde em setembro de 2021 sugerem padrões de emissão ainda mais restritivos, quando comparados aos sugeridos pela própria OMS em 2005.

Os poluentes que foram adotados como indicadores da qualidade do ar pela legislação brasileira são PTS, MP_{2,5}, MP₁₀, SO₂, NO₂, CO e O₃. Estes poluentes foram definidos devido à alta emissão em processos industriais, e estão associados ao desenvolvimento de morbidades em pessoas expostas aos mesmos. Destes, o O₃ é considerado um poluente secundário, que é originado pela oxidação de outros poluentes, o que o torna um indicador de poluição, principalmente em grandes centros urbanos.

Os estudos apresentados apontaram que a má qualidade do ar influencia diretamente na gravidade dos casos de COVID-19. A exposição por longos períodos a um baixo índice de qualidade do ar, causa efeitos danosos à saúde humana.

A enzima ACE-2 encontrada principalmente nos alvéolos pulmonares, é a porta de entrada do vírus nas células humanas. O aumento da expressão desta enzima, está diretamente relacionada com problemas cardiorrespiratórios, principalmente a hipertensão arterial, facilitando a infecção pelo vírus. Logo, o desenvolvimento de morbidades devido à má qualidade do ar, aumenta o risco de infecção e progressão à casos graves da doença.

O maior número de casos em locais com baixos níveis de IQAr, conforme os estudos analisados, indicam que a forma de transmissão descrita pela teoria do aerotransporte pode ser considerada, não apenas os meios de transmissão comuns, abordados amplamente na epidemiologia.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA Europeia do Ambiente. **Poluição Atmosférica**, 2020. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/pt/themes/air/intro>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

ANDRÉ, Paulo Afonso de; VORMITTAG, Evangelina; DELGADO, Juliana; SALDIVA, Paulo. Instituto Saúde e Sustentabilidade. **Avaliação dos impactos na saúde pública e sua valoração devido à implementação do gás natural veicular na matriz energética de transporte público – ônibus e veículos leves em seis regiões metropolitanas no Brasil**, 2019. Disponível em: <<https://www.saudeesustentabilidade.org.br/publicacao/avaliacao-dos-impactos-na-saude-publica-e-sua-valoracao-devido-a-implementacao-do-gas-natural-veicular-na-matriz-energetica-de-transporte-publico-onibus-e-veiculos-leves-em-seis-regioes-metr/>>. Acesso em: 24 Julho 2021.

ASSUNÇÃO, João V. de; PESQUERO, Célia R. Dioxinas e Furanos: origens e riscos. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 33, n. 5, p. 523-530, 1999. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rsp/a/FXYCDpBbW7PPfZ7DGz9V77K/?lang=pt&format=pdf>> . Acesso em: 01 Novembro 2021.

BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard. J. **Atmosfera, Tempo e Clima**. Porto Alegre: Bookman, 2012. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565837392/>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

BARSANO, Paulo Roberto; BARBOSA, Rildo Pereira; VIANA, Viviane Japiassú. **Poluição Ambiental e Saúde Pública**. 1ª edição. ed. São Paulo: Editora Érica, 2014. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536521695/>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Qualidade do Ar**, 2019. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar.html>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 003, de 28 de junho de 1990**, 1990. Disponível em:

<<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0003-280690.PDF>>.

Acesso em: 23 Novembro 2021.

BRUNETTO, Daniellen; LOSS, Vitória; BUSATO, Maria Assunta. **Morbidade e mortalidade de doenças cardiorrespiratórias associadas à poluição do ar em Santa Catarina**. Universidade Comunitária da Região de Chapecó. Chapecó. 2021.

CABRITA, I.; GULYURTLU, I.; PINTO, F.; BOAVIDA, D.; COSTA, P.; RACHA, L. Formação e Destrução de Dioxinas em Processos de Combustão e Co-combustão. **Revista Faculdade de Medicina de Lisboa**, Lisboa, v. 8, n. 4 (III), p. 225-235, 2003.

Disponível em:

<https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/51030304/Revista_Faculdade_de_Medicina20161223-8713-1pclswt-with-cover-page-

[v2.pdf?Expires=1635806492&Signature=GMEgYlRnOQ4GfmORsoyrMCIheMaQzOpbguTDlaw9q50u2VpKeuOAIIDxFQYRmPHhdWz8M92IRml36NuefzYPYYS~0VmzvQjrohybifNGK](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/51030304/Revista_Faculdade_de_Medicina20161223-8713-1pclswt-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1635806492&Signature=GMEgYlRnOQ4GfmORsoyrMCIheMaQzOpbguTDlaw9q50u2VpKeuOAIIDxFQYRmPHhdWz8M92IRml36NuefzYPYYS~0VmzvQjrohybifNGK)>. Acesso em: 01 Novembro 2021.

CETESB. Cetesb - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Poluentes**, 2021. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Padrões de Qualidade do Ar**, 2021. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

CHEN, Paul C.; BOBROVITZ, Niklas; PREMJI, Zahra; KOOPMANS, Marion; FISMAN, David N.; GU, Frank X. Heterogeneity in transmissibility and shedding SARS-CoV-2 via droplets and aerosols. **eLife**, v. 10, Abril 2021. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8139838/>>. Acesso em: 04 Agosto 2021.

COLOMBINI, Marjorie Paris. Poluição atmosférica e seu impacto no sistema cardiovascular. **Einstein**, São Paulo, v. 6, p. 221-226, 2008. Disponível em: <<http://apps.einstein.br/revista/arquivos/PDF/910-Einstein%20v6n2%20p221-6.pdf>>.

Acesso em: 24 Julho 2021.

CONSTANZO, Linda S. **Fisiologia**. 5ª Edição. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Inc., 2014.

COSTA, Camila. BBC News. **Mais de 3 décadas após 'Vale da Morte', Cubatão volta a lutar contra alta na poluição**, 2017. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-39204054>>. Acesso em: 07 Dezembro 2021.

CUI, Yan; ZHANG, Zuo-Feng; FROINES, John; ZHAO, Jinkou; WANG, Hua; YU, Shub-Zhang, DETELS, Roger. Air pollution and case fatality of SARS in the People's Republic of China: an ecologic study. **Environmental Health**, v. 2, n. 15, Novembro 2003. Acesso em: 30 Novembro 2021.

DOREMALEN, Neeltje Van; BUSHMAKER, Trenton; MORRIS, Dylan H.; HOLBROOK, Myndi G.; GAMBLE, Amandine; WILLIAMSON, Brandi N.; TAMIN, Azaibi; HARCOURT, Jennifer L.; THORNBURG, Natalie J.; GERBER, Susan I.; LLOYD-SMITH, James O.; WIT, Emmie de; MUNSTER, Vincent J. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. **The New England Journal of Medicine**, v. 382, n. 16, p. 1564-1567, abril 2020. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1056%2FNEJMc2004973>>. Acesso em: 31 Julho 2021.

DURÃES, André Rodrigues. PEBMED. **O sistema renina-angiotensina-aldosterona versus a infecção pelo coronavírus 2019**, 2020. Disponível em: <<https://pebmed.com.br/o-sistema-renina-angiotensina-aldosterona-versus-a-infeccao-pelo-coronavirus-2019/>>. Acesso em: 31 Julho 2021.

FEAM. Fundação Estadual Do Meio Ambiente. **Qualidade do Ar**, 2013. Disponível em: <<http://www.feam.br/qualidade-do-ar/qualidade-do-ar>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

FEARS, A. C.; KLIMSTRA, W. B.; DUPREX, P.; HARTMAN, A.; WEAVER, S. C.; PLANTE, K. C.; MIRCHANDANI, D.; PLANTE, J. A.; AGUILAR, P. V.; FERNÁNDEZ, D.; NALCA, A.; TORTURA, A.; DYER, D.; KEARNEY, B.; LACKEMEYER, M.; BOHANNON, J. K.; JOHNSON, R.; GARRY, R. F.; REED, D. S.; ROY, C. J. Comparative dynamic aerosol efficiencies of three emergent coronaviruses and the unusual persistence of SARS-CoV-2 in aerosol suspensions. **medRxiv**, v. 13, Abril 2020. Disponível em:

<<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.13.20063784v1.full-text>>. Acesso em: 04 Agosto 2021.

FELIN, Bruno. World Resources Institute. **Qual o impacto da poluição do ar na saúde?**, 2018. Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/blog/2018/07/qual-o-impacto-da-poluicao-do-ar-na-saude>>. Acesso em: 24 Julho 2021.

FLINKER, Raquel; REIS, Agnes Caroline dos; STEIN, Ronei Tiago; CAMARGO, Roger Santos. **Fundamentos da Engenharia Ambiental**. Porto Alegre: SAGAH, 2018. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595024632/>>. Acesso em: 14 Julho 2021.

FREITAS, Clarice; BREMNER, Stephen A.; GOUVEIA, Nelson; PEREIRA, Luiz A. A.; SALDIVA, Paulo H. N. Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 38, n. 6, 10 Dezembro 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0034-89102004000600001>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

FRONTERA, Antonio; CIANFANELLI, Lorenzo; VLACHOS, Konstantinos; LANDONI, Giovanni; CREMONA, George. Severe air pollution links to higher mortality in COVID-19 patients: The “double-hit” hypothesis. **Journal of Infection**, v. 81, p. 255-259, 2020. Disponível em: <[https://www.journalofinfection.com/article/S0163-4453\(20\)30285-1/fulltext](https://www.journalofinfection.com/article/S0163-4453(20)30285-1/fulltext)>. Acesso em: 31 Julho 2021.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ RESSLER - RS. FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Ressler - RS. **Qualidade Ambiental**, 2016. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/poluentes.asp>>. Acesso em: 24 Julho 2021.

GABORY, Ludovic de; ALHARBI, Ahmed; KÉRIMIAN, Mélodie; LAFON, Marie-Edith. Le virus influenza, le SARS-CoV2 et les voies aériennes : mise au point pour l'Otorhinolaryngologiste. **Annales françaises d'Oto-rhino-laryngologie et de Pathologie Cervico-faciale**, v. 137, p. 291-296, Setembro 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1879726120301522>>. Acesso em: 04 Agosto 2021.

HEERDT, Mauri Luiz; LEONEL, Vilson. **Metodologia Científica e da Pesquisa**. 5ª Edição. ed. Palhoça: UnisulVirtual, 2007. p. 63 p. Disponível em: <http://www.fatecead.com.br/mpc/aula01_ebook_unisulvirtual.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2021.

HIDALGO, Jorge; RODRÍGUES-VEGA, Gloria; PÉREZ-FERNÁNDEZ, Javier. **COVID-19 Pandemic: Lessons from the Frontline**. [S.I.]: Elsevier, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-82860-4.00004-5>>. Acesso em: 24 Junho 2021.

JASINSKI, Renata; PEREIRA, Luiz Alberto Amador; BRAGA, Alfésio Luís Ferreira. Poluição atmosférica e internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes em Cubatão, São Paulo, Brasil, entre 1997 e 2004. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 11, 25 Novembro 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-311X2011001100017>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

KLEIN, Christopher. History. **The Great Smog of 1952**, 2018. Disponível em: <<https://www.history.com/news/the-killer-fog-that-blanketed-london-60-years-ago>>. Acesso em: 07 Dezembro 2021.

LENZI, Ervim; FAVERO, Luzia Otilia Bortotti. **Introdução à Química da Atmosfera - Ciência, Vida e Sobrevivência**. 2ª edição. ed. Rio de Janeiro: LTC — Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2019. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636120/>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

LU, Roujian; ZHAO, Xiang; LI, Juan; NIU, Peihua; Yang, Bo; Wu, Honglong; WANG, Wenling; SONG, Hao; HUANG, Baoying; ZHU, Na; BI, Yuhai; MA, Xuejun; ZHAN, Faxian; WANG, Liang; HU, Tao; ZHOU, Hong; HU, Zhenhong; ZHOU, Weimin; ZHAO, Li; CHEN, Jing; MENG, Yao; WANG, Ji; LIN, Yang; YUAN, Jianying; XIE, Zhihao; MA, Jinmin; LIU, Willian; WANG, Dayan; XU, Wenbo; HOLMES, Edward; GAO, George; WU, Guizhen; CHEN, Weiju; SHI, Weifeng; TAN, Wenjie. Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding. **The Lancet**, v. 395, n. 10224, p. 565-574, 30 Janeiro 2020.

Disponível em: <[https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(20\)30251-8/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(20)30251-8/fulltext)>. Acesso em: 24 Junho 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Instituto Nacional de Câncer**, 2018. Disponível em: <<https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/poluente/poluicao-do-ar>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Guia Orientador para o enfrentamento da pandemia covid-19 na Rede de Atenção à Saúde**. 4. ed. Brasília: [s.n.], 2021. Disponível em: <https://www.conasems.org.br/wp-content/uploads/2021/04/Covid-19_guia_orientador_4ed.pdf>. Acesso em: 30 Novembro 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Sintomas**, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/coronavirus/sintomas>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Painel Coronavírus**, 2021. Disponível em: <<https://covid.saude.gov.br/>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO N. 491, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018**, 2018. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **RESOLUÇÃO N. 491, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018**, 19 Novembro 2018. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

MORRIS, Dylan H; YINDA, Kwe Claude; GAMBLE, Amandine; ROSSINE, Fernando W; HUANG, Qishen; BUSHMAKER, Trenton; FISCHER, Robert J; MATSON, M Jeremiah; DOREMALEN, Neeltje Van; VIKESLAND, Peter J; MARR, Linsey C; MUNSTER, Vincent J; LLOYD-SMITH, James O. Mechanistic theory predicts the effects of temperature and humidity on inactivation of SARS-CoV-2 and other enveloped viruses. **eLife Sciences Publications, Ltd**, v. 10, 13 Julho 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.7554/ELIFE.65902>>.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Organização das Nações Unidas. **Poluição do ar provoca 7 milhões de mortes prematuras todos os anos, alerta ONU.**, 2020. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/89801-poluicao-do-ar-provoca-7-milhoes-de-mortes-prematuras-todos-os-anos-alerta-onu>>. Acesso em: 07 Dezembro 2021.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. World Health Organization. **Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, 2005.** Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/107823>>. Acesso em: 23 Novembro 2021.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. World Health Organization. **Burden of disease from the joint effects of household and ambient Air pollution for 2016,** Genebra, 2018. Disponível em: <https://www.who.int/airpollution/data/AP_joint_effect_BoD_results_May2018.pdf>. Acesso em: 24 Julho 2021.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard,** 2021. Disponível em: <<https://covid19.who.int/>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. World Health Organization. **WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide,** 2021. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329?show=full>>. Acesso em: 23 Novembro 2021.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **Não polua o meu futuro! O impacto do ambiente na saúde das crianças.** Organização Pan-Americana da Saúde. Brasília. 2018.

OUDIT, Gavin Y; PFEFFER, Marc A. Plasma angiotensin-converting enzyme 2: novel biomarker in heart failure with implications for COVID-19. **European Heart Journal,** v. 41, n. 19, p. 1818-1820, Maio 2020. Acesso em: 30 Novembro 2021.

PANI, Shantanu Kumar; LIN, Neng-Huei; RAVINDRABABU, Saginela. Association of COVID-19 pandemic with meteorological parameters over Singapore. **Science of**

The Total Environment, v. 740, Outubro 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140112>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

Philippi JR, Arlindo; ROMÉRIO, Marcelo de Andrade; BRUNA, Gilda Collet. **Curso de Gestão Ambiental**. 2ª edição. ed. Barueri: Editora Manole, 2014. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520443200/>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

POPE III, C. Arden; BURNETT, Richard T; THUN, Michael J; CALLE, Eugenia E; KREWSKI, Daniel; ITO, Kazuhiko; THURSTON, George D. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. **JAMA**, v. 287, p. 1132-1141, Março 2002. Disponível em: <[doi:10.1001/jama.287.9.1132](https://doi.org/10.1001/jama.287.9.1132)>. Acesso em: 24 Julho 2021.

PRATHER, Kimberly A.; WANG, Chia C.; SCHOOLEY, Robert T. Reducing transmission of SARS-CoV-2. **Science**, v. 368, p. 1422-1424, 26 Junho 2020. Disponível em: <<https://science.sciencemag.org/content/368/6498/1422>>. Acesso em: 24 Julho 2021.

RAM, Kirpa; THAKUR, Roseline C.; SINGH, Dharmendra Kumar; KAWAMURA, Kimitaka; SHIMOUCHI, Akito; SEKINE, Yoshika; NISHIMURA, Hidezaku; SINGH, Sunit K.; PAVULURI, Chandra Mouli; SINGH, R.S.; TRIPATHI, S.N. Why airborne transmission hasn't been conclusive in case of COVID-19? An atmospheric science perspective. **Science of The Total Environment**, v. 773, 15 Junho 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145525>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

SANT'ANNA André; ALENCAR, Ana; PINHEIRO, Berta; ARAÚJO, Carmen; VORMITTAG, Evangelina; WICHER, Helio; BORGES, Kamyla; FARIA, Marcel; ANDRADE, Maria De Fátima; PORTO, Paulina; ARTAXO, Paulo; ROCHA, Rudi; ESTURBA, Talita; SIMONI, Walter Figueiredo De. **O Estado da Qualidade do Ar no Brasil**. World Resources Institute. [S.I.]. 2021.

SANTOS, Marco Aurélio dos; MONTEIRO, Alessandra Da Rocha Duailibe; Lessa, Ana Carolina da Rocha; PAREDES, Débora da Silva; SILVA, Marcelle de Fátima da. **Poluição do Meio Ambiente**. 1ª ed. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2017. p. 3 p. Disponível em:

<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521634140/>>. Acesso em: 01 novembro 2021.

SCHWARTZ, J. Total suspended particulate matter and daily mortality in Cincinnati, Ohio. **Environmental Health Perspectives**, v. 102, p. 186-189, Fevereiro 1994. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1567193/>>. Acesso em: 24 Julho 2021.

SETTI, Leonardo; PASSARINI, Fabrizio; GENNARO, Gianluigi de; GILIO, Alessia Di; PALMISANI, Jolanda; BUONO, Paolo; FORNARI, Gianna; PERRONE, Maria Grazia; PIAZZALUNGA, Andrea; BARBIERE, Pierluigi; RIZZO, Emanuele; MIANI, Alessandro. Relazione circa l'effetto dell'inquinamento da particolato atmosferico e la diffusione di virus nella popolazione. **Società Italiana di Medicina Ambientale**, 2020. Disponível em: <https://www.simaonlus.it/wpsima/wp-content/uploads/2020/03/COVID19_Position-Paper_Relazione-circa-l%E2%80%99effetto-dell%E2%80%99inquinamento-da-particolato-atmosferico-e-la-diffusione-di-virus-nella-popolazione.pdf>. Acesso em: 27 Julho 2021.

SHAO, Siyao; ZHOU, Dezhi; HE, Ruichen; LI, Jiaqi; ZOU, Shufan; MALLERY, Kevin; KUMAR, Santosh; YANG, Suo; HONG, Jiarong. Risk assessment of airborne transmission of COVID-19 by asymptomatic individuals under different practical settings. **Journal of Aerosol Science**, v. 151, Janeiro 2021. ISSN ISSN 0021-8502. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2020.105661>>. Acesso em: 24 Julho 2021.

SOUZA, Juliana Bottoni de; REISEN, Valdério Anselmo; SANTOS, Jane Méri; FRANCO, Glaura Conceição. Componentes principais e modelagem linear generealizada na associação entre atendimento hospitalar e poluição do ar. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 48, n. 3, Junho 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2014048005078>>. Acesso em: 17 Julho 2021.

WU, Xiao; NETHERY, Rachel C.; SABATH, M. Benjamin; BRAUN, Danielle; DOMINICI, Francesca. Air pollution and COVID-19 mortality in the United States: Strengths and limitations of an ecological regression analysis. **Science Advances**, v. 6, n. 45, Novembro 2020. Acesso em: 30 Novembro 2021.

ZHOU, Peng; YANG, Xing-Lou; WANG, Xian-Guang; HU, Ben; ZHANG, Lei; ZHANG, Wei; SI, Hao-Rui; ZHU, Yan; LI, Bei; HUANG, Chao-Lin; CHEN, Hui-Dong; CHEN, Jing; LUO, Yun; GUO, Hua; JIANG, Ren-Di; LIU, Mei-Qin; CHEN, Ying; SHEN, Xu-Rui; WANG, Xi; ZHENG, Xiao-Shuang; ZHAO, Kai; CHEN, Quan-Jiao; DENG, Fei; LIU, Lin-Lin; YAN, Bing; ZHAN, Fa-Xian; WANG, Yan-Yi; XIAO, Geng-Fu; SHI, Zheng-Li. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. **Nature**, v. 579, p. 270-273, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2012-7>>. Acesso em: 31 Julho 2021.

ZHU, Yongjian; XIE, Jingui; HUANG, Fengming; CAO, Liqing. Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China. **Science of The Total Environment**, v. 727, Julho 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138704>>. Acesso em: 28 Julho 2021.

APÊNDICE A

CAPÍTULO 1

INFLUÊNCIAS DA QUALIDADE DO AR NA PANDEMIA DO COVID-19

Matheus Vinícius MOTA ¹

Lia de Mendonça PORTO ²

¹ Graduando do curso de Engenharia Ambiental, UFOP; ² Orientadora/Professora do DEAMB/ UFOP;

motamatheus29@gmail.com

RESUMO: A pandemia de SARS-CoV-2, COVID-19, declarada pela OMS em março de 2020, é uma síndrome respiratória aguda, agravada por condições individuais preexistentes como doenças cardiorrespiratórias. A relação entre a qualidade do ar e a pandemia do COVID-19 passa a ser estudada para compreensão de como a poluição atmosférica pode influenciar no processo de transmissão e aumento da gravidade da doença. A legislação brasileira referente à qualidade do ar, mesmo tendo sido atualizada em 2018, está obsoleta, quando comparada à última diretriz recomendada pela OMS pós pandemia, renovada em 2021. A relação da qualidade do ar em que o indivíduo está submetido e a incidência de doenças crônicas

no aparelho cardiorrespiratório são comprovadas para diversos poluentes, entre eles, o material particulado inalável e respirável, dióxido de nitrogênio, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de enxofre. O vírus ainda tem um sistema de entrada no organismo humano pelo acesso a uma proteína específica, ACE-2, que é aumentada pela exposição prolongada a altos níveis de material particulado inalável, ozônio e dióxido de enxofre. Assim, a gravidade dos casos de COVID-19 em áreas que possuem uma má qualidade do ar por longos períodos está comprovada. A possibilidade de que o processo de transmissão do vírus esteja também associado à má qualidade do ar é abordada na teoria da aerotransmissão em que poluentes, material particulado e alguns gases, aumentam o tempo de permanência do vírus viável na atmosfera e conseqüentemente a distância em que ele pode percorrer para infectar um indivíduo.

Palavras-chave: SARS-CoV-2, coronavírus, qualidade do ar, poluição atmosférica.

INTRODUÇÃO

A COVID-19 é uma síndrome respiratória aguda causada pelo vírus SARS-CoV-2. Os primeiros relatos de pessoas infectadas datam do final de 2019, na cidade de Wuhan, China. O vírus espalhou-se por todo o mundo e, em março de 2020, a Organização Mundial da Saúde - OMS declarou uma pandemia global (Li *et al.*, 2020). Segundo o Ministério da Saúde (2021), os sintomas mais comuns da doença são: febre, tosse seca, cansaço, dores pelo corpo, dor de garganta, coriza, diarreia, perda de paladar ou olfato. Entretanto, a doença pode progredir, causando quadros de fraqueza muscular, redução do apetite e pneumonia. Em casos graves, a infecção, ocorre a síndrome respiratória aguda grave, causando pressão persistente no tórax, queda de saturação de oxigênio no sangue, lesão miocárdica, pneumonia grave, infecção generalizada, falência múltipla dos órgãos e óbito.

“A história recente do debate e a pesquisa empírica sobre a COVID-19 gira em torno de duas principais "escolas de pensamentos". A primeira apoia uma explicação puramente epidemiológica, onde o único fator responsável pela heterogeneidade da transmissão é dado pela frequência de encontros físicos em proporção à carga viral de cada indivíduo. Uma abordagem não alternativa, mas mais articulada, argumenta que vários outros fatores além da dinâmica esperada padrão do contágio, podem nos ajudar a avaliar a heterogeneidade observada. A qualidade do ar representa um desses fatores” (BECCHETTI *et al.*, 2020, p.1).

A observação de Becchetti *et al.* (2020) abre caminho para nossa argumentação neste artigo e é referendada por pesquisas empíricas. Assim, de acordo Li *et al.* (2020), em estudo feito entre 26 de janeiro a 29 de fevereiro de 2020, havia relação entre a qualidade do ar e condições meteorológicas e a incidência ou mortalidade por COVID-19 nas cidades de Wuhan e XiaoGan, na China. O estudo levou em consideração o índice de qualidade do ar (IQA) e os poluentes: material particulado inalável, com diâmetro inferior a 10 μ m (MP₁₀), material particulado respirável, com diâmetro inferior a 2,5 μ m (MP_{2,5}), dióxido de nitrogênio (NO₂) e monóxido de carbono (CO).

A resolução Conama 491 de 2018 é a legislação brasileira que dispõe sobre padrões de qualidade do ar e define os componentes partículas totais em suspensão, materiais particulados com diâmetros de 10 μ m e 2,5 μ m, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, fumaça, ozônio, monóxido de carbono e chumbo como parâmetros para definição da qualidade do ar. Ela estabelece padrões intermediários de qualidade do ar a serem cumpridos gradativamente até atingir o padrão final determinado (BRASIL, 2018). A Conama 491, substituiu a Conama 03 de 1990 que também dispunha sobre os padrões de qualidade do ar adotados no Brasil, adequando os parâmetros seguindo os valores propostos pela OMS em 2005 (BRASIL 1990) (OMS, 2005) (BRASIL 2018).

Em 2021, a OMS atualizou as diretrizes recomendadas para a qualidade do ar, baseada em evidências ainda mais fortes de como a poluição atmosférica afeta a saúde humana em condições de concentração ainda mais baixas que os definidos previamente (OMS, 2021).

O estudo feito por Toledo e Nardocci (2011) encontrou resultados capazes de afirmar que a exposição à poluição atmosférica contribui para o aumento da mortalidade e morbidade, principalmente por doenças respiratórias e cardiovasculares.

A ligação entre a inalação de material particulado (MP) e doenças pulmonares é extremamente documentada. Um estudo de cerca de 200 artigos, enfocando os efeitos adversos à saúde da exposição à MP, concluíram que a exposição de longo prazo produz inflamação nos pulmões e estresse oxidativo, acelerando a progressão e exacerbação de DPOC e redução da função pulmonar (BECCHETTI *et al.*, 2020).

A DPOC é caracterizada pela limitação do fluxo de ar nos pulmões, sendo não totalmente reversível, associada a uma resposta inflamatória anormal dos pulmões relacionada à inalação de material particulado. Esse processo inflamatório pode causar bronquite crônica, enfisema pulmonar e redução da elasticidade pulmonar. Os principais fatores de risco são: fumaça de cigarro, poluição ambiental, materiais particulados diversos e infecções respiratórias na infância (SOUSA *et al.*, 2011).

A extensão em que o vírus COVID-19 induz estresse respiratório em indivíduos infectados também pode ser influenciada pela extensão em que o sistema respiratório de um indivíduo está comprometido. Os altos níveis de poluição e MP podem aumentar a suscetibilidade da população a sintomas mais graves e complicações respiratórias da doença. Além disso, poluentes oxidantes no ar podem prejudicar a função imunológica e atenuar a eficiência do pulmão para eliminar o vírus nos pulmões (QU *et al.*, 2020).

O monóxido de carbono, é um gás inodoro e incolor, formado pela combustão incompleta, ou em condições não ideais de combustíveis. O gás no organismo, se liga à hemoglobina no sangue, reduzindo a oferta de oxigênio que chega às células, durante a respiração. Em baixas concentrações, ele pode causar dor torácica e fadiga. Em altas concentrações pode causar asfixia e até morte (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2021).

O dióxido de enxofre é um gás incolor e tóxico e, o dióxido de nitrogênio é altamente oxidante, sendo ambos emitidos por fontes naturais e também antropogênicas. Causam asma, desconforto na respiração e agravamento de doenças cardiorrespiratórias preexistentes. O NO₂ também agrava a resposta imunológica de pessoas com alergias (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2021).

Um poluente secundário, que é formado a partir de outros poluentes atmosféricos, é o ozônio, que assim como os outros gases mencionados

anteriormente, causa problemas cardiorrespiratórios, como enfisemas, bronquites e arteriosclerose, e os efeitos maléficos aumentam de acordo com o tempo de exposição do indivíduo (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2021).

A hipótese de que a qualidade do ar pode influenciar em como se dão os contágios e mortes por COVID-19 encontra uma base teórica forte na literatura científica sobre a ligação entre a poluição do ar e várias doenças respiratórias e cardíacas. A qualidade do ar pode afetar os resultados adversos do COVID-19 de duas maneiras: exposição a material particulado (MP) e gases. Ambos, a longo prazo, podem enfraquecer de um modo geral a saúde do indivíduo e os pulmões em particular, mas ao mesmo tempo não se pode excluir que poluentes atmosféricos sirvam como “portadores” dos vírus (BECCHETTI *et al.*, 2020).

Segundo Li *et al.* (2020), o MP_{2,5} é vinculado à transmissão, pois devido ao seu tamanho, é facilmente inalado, alcançando maior profundidade no sistema respiratório, podendo também transportar o vírus.

Sabe-se que a transmissão do novo coronavírus ocorre em grande parte dentro de ambientes fechados e sem proteção, como em ambientes familiares, escritórios, casas noturnas, entre outros (HIDALGO, RODRÍGUES-VEGA e PÉREZ-FERNÁNDEZ, 2021).

Segundo Ram *et al.* (2021), a transmissão do COVID-19 se dá de duas formas, sendo a transmissão por gotículas com tamanho maior que 5 µm e a transmissão aerotransportada feita por núcleos de gotículas, que são as gotículas que tiveram seu tamanho reduzido pela perda de umidade, com tamanho menor que 5 µm. A transmissão por gotículas se dá pelo contato físico direto ou indireto com as gotículas grandes, através da boca, nariz ou mucosa. O contato físico direto ocorre quando um indivíduo infectado toca a mão de outro indivíduo ou espirra próximo do mesmo, infectando-o. O contato indireto envolve o toque de superfícies contaminadas com a mão, infectando uma pessoa susceptível. A transmissão aerotransportada ocorre envolvendo a inalação de gotículas secas (núcleo de gotículas), ou aerossóis aerotransportados, carregados com o vírus.

A transmissão aerotransportada esbarra, em parte, pela diferença na nomenclatura de aerossóis e gotículas (RAM *et al.*, 2021). A definição de gotículas e aerossóis é baseada de acordo com o diâmetro das partículas. As gotículas possuem um diâmetro maior que 5 µm, possuindo maior umidade, o que leva à uma queda devido a ação da gravidade. Os aerossóis, nano gotículas e núcleo de gotículas, possuem diâmetro menor que 5 µm, o que facilita a permanência na atmosfera por um maior período, facilitando a dispersão por longas distâncias e a interação com outros materiais suspensos no meio.

A hipótese de transmissão aerotransportada possui uma maior relação com a qualidade do ar. Esta rota de transmissão, considerando que os microrganismos

podem ser transportados pelo ar ou poeira, está ligada a doenças infecciosas (QU *et al.*, 2020).

A inalação de vírus carregado por partículas finas pode transportá-lo para os alvéolos mais profundos, o que pode aumentar a chance de contágio. A adsorção do vírus COVID-19 em poeira aerotransportada e material particulado (MP) também pode contribuir para o longo alcance do vírus (QU *et al.*, 2020).

Gotículas expelidas por tosses e espirros podem permanecer no ar por até 12 horas (PRATHER, WANG E SCHOOLEY, 2020). Morris *et al.* (2021) e Doremalen *et al.* (2020) concluíram que em uma gotícula infectada, o coronavírus pode sobreviver por mais de 24 horas em determinadas condições ambientais, e de 3 horas a 72 horas em alguns tipos de superfície. Estas evidências fortalecem a hipótese de transmissão aerotransportada por gotículas/aerossóis e MP.

Os estudos de Durães (2020) trazem a discussão relacionada às doenças crônicas como hipertensão, diabetes e outras doenças cardiovasculares que possuem uma carga de proteína ACE-2, angiotensin-converting enzyme 2, elevada. Esta é responsável pela regulação do sistema renina-angiotensina-aldosterona (SRAA), e este, por sua vez, responsável pela regulação da pressão arterial, balanço hídrico celular e balanço de sódio do organismo. A ACE-2 é meio de entrada do SARS-CoV-2 no organismo humano, agindo como um receptor celular para o vírus (ZHOU *et al.*, 2020). A proteína spike (S) dos coronavírus auxilia a entrada do vírus nas células, envolvendo os receptores ACE-2, que são encontrados principalmente nos alvéolos pulmonares, o que explica a “ligação” viral pelas vias aéreas inferiores (FRONTERA *et al.*, 2020).

O uso de medicamentos inibidores da enzima conversora de angiotensina (iECA) (inibidores da ACE2) e dos bloqueadores dos receptores de angiotensina (BRA), comumente usados por pacientes com diabetes e hipertensão, pode resultar em um aumento ainda maior da expressão de ACE2 devido a um mecanismo compensatório. Pacientes expostos por longos períodos a altos níveis de MP_{2,5} têm a quantidade de ACE-2 aumentada, favorecendo a penetração do vírus. No momento em que a célula é infectada, os níveis da proteína diminuem levando a uma ação anti-inflamatória deficiente e conseqüentemente a uma lesão pulmonar (FRONTERA *et al.*, 2020).

A inalação simultânea de poluentes químicos em MP juntamente com o vírus COVID-19 também pode exacerbar o nível de infecção por COVID-19. A inflamação, lesão e fibrose causada por MP inalado combinada com uma resposta imune ou tempestade de citocinas induzida por COVID-19 que pode aumentar a gravidade da infecção (QU *et al.*, 2020).

Becchetti *et al.* (2020), mostraram em seus estudos que a alta atividade econômica, a qualidade do ar (MP₁₀, MP_{2,5} e NO₂ elevados) e baixa densidade de

áreas verdes nas cidades estão correlacionadas com altas taxas de contágio e mortalidade por COVID-19. Esses fatores ambientais levam em consideração a exposição por longos períodos à poluição, e não aos níveis de qualidade do ar atuais.

A Itália possui cerca de 25% dos municípios dentro de áreas naturais protegidas. Ao comparar os dados de qualidade do ar dos últimos três anos até o final de maio de 2020, foi observado que esses municípios possuem em média, 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ e MP_{10} e cerca de um terço do NO_2 , em comparação com os municípios restantes. Isso indica que a qualidade do ar leva a uma taxa de mortalidade por COVID-19 cerca de 8% a 10% menor, e também uma menor incidência da doença em municípios com melhores qualidades de ar durante a primeira onda da pandemia no país (BECCHETTI *et al.*, 2020).

Estudos apresentados no norte da Itália, reafirmam essa relação entre $\text{MP}_{2,5}$ e casos de COVID-19. Assim como nos artigos citados anteriormente, foi destacada uma forte correlação entre a incidência de infecção respiratória viral com o material particulado fino e o aumento da suscetibilidade a COVID-19 e mortalidade causada por uma exposição a longo prazo (COKER *et al.*, 2020).

Cole, Ozgen e Strobl (2020) buscaram uma relação entre a baixa qualidade do ar e COVID-19. Analisaram informações entre fevereiro e junho de 2020, em 355 municípios, utilizando parâmetros de concentração de $\text{MP}_{2,5}$, NO_2 , SO_2 e admissões em hospitais e mortes por COVID-19. E observaram que há relação principalmente da concentração de $\text{MP}_{2,5}$ e SO_2 com as questões da COVID-19 enquanto o NO_2 influencia em menor grau.

Gonzaga & Freitas (2020) apontaram que o enxofre reduzido total presente na atmosfera possui correlação com os números de óbitos por COVID-19, bem como o material particulado grosso e fino e a pressão atmosférica que, quando aumentados, provocam um acréscimo na estabilidade atmosférica e a dispersão de poluentes diminui, fator que prejudica a qualidade do ar e favorece o número de mortes pela doença. A umidade relativa do ar, temperatura e velocidade dos ventos apresentam pouca relação com os números de óbitos pela doença, já que temperaturas baixas indicam menor dispersão de poluentes, bem como a velocidade média dos ventos.

Em um estudo realizado na China, utilizou-se a relação da média móvel de concentrações de poluentes com o número de casos confirmados de COVID-19. Foram observadas associações significativamente positivas de $\text{MP}_{2,5}$, MP_{10} , CO, NO_2 e O_3 . Para um aumento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração dos poluentes $\text{MP}_{2,5}$, MP_{10} , NO_2 e O_3 , houve um aumento no número de casos confirmados diários de COVID-19 de, respectivamente, 2,24%, 1,76%, 6,94%, 4,76%. Para o aumento de concentração de $1\text{mg}/\text{m}^3$ de CO, os casos aumentaram 15,11%. Contudo, o SO_2 foi associado negativamente. Essas descobertas podem fornecer evidências de que a poluição atmosférica é um fator relevante na infecção por COVID-19 (ZHU *et al.*, 2020).

Esse estudo também faz algumas indicações para o controle e prevenção de COVID-19. É dito que os governos e o público devem prestar mais atenção em regiões com altas concentrações de PM_{2,5}, PM₁₀, CO, NO₂ e O₃, uma vez que essas regiões podem sofrer epidemia de COVID-19 mais grave. Em outras palavras, reduzir os poluentes atmosféricos pode ser uma forma útil de controlar a infecção por COVID-19. Além disso, ressalta que SO₂ tem uma associação negativa com casos confirmados de COVID-19. É importante ressaltar que o estudo se mostra limitado, foi pesquisado a associação entre poluentes atmosféricos e casos confirmados de COVID-19 e não o efeito causal da poluição do ar na infecção por COVID-19. Além disso os dados não incluíram dados confirmados específicos por sexo ou idade, por isso não foi realizada uma análise de subgrupos. Os dados não são globalmente representativos, uma vez que cidades de outros países não foram incluídas neste estudo (ZHU *et al.*, 2020).

Esta pesquisa é uma revisão bibliográfica que busca estabelecer a relação do índice de qualidade do ar com a transmissão, gravidade dos casos e morte na pandemia do COVID-19.

MATERIAIS E MÉTODOS

Devido à contemporaneidade da temática e consequente produção recente sobre o tema, optou-se por buscar artigos em sites voltados para publicações científicas, tais como Scielo, Science Direct, Google Scholar, utilizando as palavras chaves “COVID-19” e “coronavírus” associadas a “qualidade do ar” e “transmissão aerotransportada”.

Os artigos levantados foram avaliados e selecionados de acordo com a pertinência para a reflexão proposta. Os selecionados, por sua vez, possibilitaram a reunião de novas referências. Nas pesquisas, foram encontrados em torno de 13900 artigos. A triagem foi feita inicialmente pela leitura dos títulos dos artigos das primeiras páginas de resultados, e quando havia sentido para a pesquisa, foi lida a introdução para entrar em revisão. Ao final foram obtidas 24 referências para a revisão. Fontes oficiais como a Organização Mundial da Saúde, Ministério da Saúde e Ministério do Meio Ambiente também foram consultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra a comparação entre as resoluções CONAMA 03/1990, CONAMA 491/2018 e as diretrizes globais de qualidade do ar da OMS publicadas em 2005 e 2021. Com a substituição da legislação de 1990 pela de 2018, o Brasil passou a atender os parâmetros recomendados pela OMS em 2005. Após dezesseis anos, a OMS divulgou depois de analisar várias evidências e estudos, novas diretrizes ainda mais restritivas quanto à emissão de poluentes atmosféricos. Com isso, a legislação brasileira se torna obsoleta novamente, necessitando de uma nova revisão.

É válido questionar o tempo necessário para a atualização da legislação brasileira, visto que ainda não foi atingido o padrão final de qualidade do ar previsto na CONAMA 491/2018, e o tempo necessário para que esta fosse publicada após as diretrizes da OMS de 2005. Claro que a complexidade para se estabelecer padrões de qualidade do ar ainda mais restritivo em um país com dimensões continentais e bastante diverso em suas regiões, conta como um empecilho para que esta atualização seja feita de forma rápida.

Tabela 1: Padrões de qualidade do ar estabelecidos pelo Brasil e OMS

Poluente	CONAMA 03/90	OMS 2005	CONAMA 491/18	OMS 2021
MP _{2,5} µg/m ³	-	Anual: 10	Anual: 10	Anual: 5
	-	24h: 25	24h: 25	24h: 15
MP ₁₀ µg/m ³	Anual: 50	Anual: 20	Anual: 20	Anual: 15
	24h: 150	24h :50	24h: 50	24h: 45
O ₃ µg/m ³	1h: 160	-	-	Semestral: 60
	-	8h: 100	8h:100	8h: 100
NO ₂ µg/m ³	Anual: 100	Anual: 40	Anual: 40	Anual: 10
	24h: 190	-	1h: 200	24h: 25
SO ₂ µg/m ³	Anual: 40	-	-	-
	24h: 100	24h: 20	24h: 20	24h: 40
CO	Anual: 10	-	-	-
	24h: 40	-	8h: 9 ppm	24h: 4 mg/m ³

Fonte: Brasil (1990), OMS (2005), Brasil (2018), OMS (2021), adaptado.

A relação da qualidade do ar pode ser analisada em dois contextos com relação à pandemia. A primeira, quando se observa o IQA ao longo do tempo, pessoas que foram submetidas à poluição atmosférica por muitos anos e a segunda a qualidade do ar durante a pandemia.

A longa exposição à poluição ambiental, principalmente ao MP_{2,5}, é um dos principais fatores que levam ao desenvolvimento da doença pulmonar obstrutiva crônica, sendo esta, a causa de muitas internações em grandes centros urbanos, principalmente em períodos onde a qualidade do ar piora. A DPOC muitas vezes é

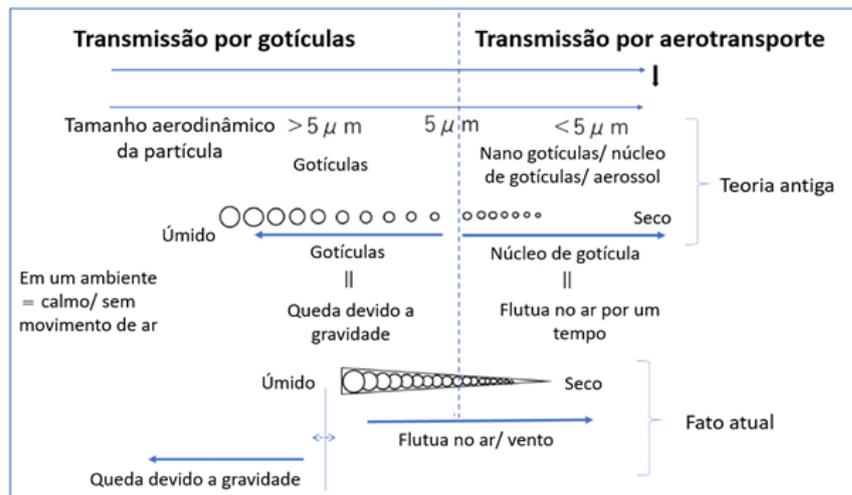
silenciosa, passando despercebida no dia a dia dos cidadãos. Ao analisarmos estudos feitos confirmamos que a influência da poluição do ar em casos de internação por DPOC, faz desta doença uma comorbidade grave quando relacionada à gravidade e óbitos de pessoas infectadas pela COVID-19.

O poluente atmosférico que foi mais citado como influente no agravamento dos casos de COVID-19 foi o dióxido de nitrogênio, NO₂, que segundo as recomendações da Organização Mundial da Saúde – OMS (2021) tem o nível de tolerância de 25µg/m³ em amostragens de 24 horas. O NO₂ aumenta os riscos de doenças respiratórias, como asma e bronquite, além de enfraquecer o sistema imunológico contra infecções respiratórias, apresentando influência nos agravamentos da COVID-19, uma síndrome respiratória aguda.

Os estudos de Li *et al.* (2020), Toledo e Nardocci (2011), Qu *et al.* (2020), Becchetti *et al.* (2020), Coker *et al.* (2020), Gonzaga e Freitas (2020), mostram que há influência da qualidade do ar na gravidade dos casos de COVID-19. Em regiões com menores índices de poluentes atmosféricos, o número de pessoas com doenças cardiorrespiratórias é menor e a porcentagem de casos graves e óbitos foi menor, quando comparado a locais com pior qualidade do ar, conforme estudos de Becchetti *et al.* (2020), Coker *et al.* (2020), Cole, Ozgen e Strob (2020) e Zhu *et al.* (2020).

A segunda abordagem do IQA em relação à pandemia parte das teorias de transmissão do vírus e correlaciona a qualidade do ar com a transmissão aerotransportada. O tempo e a distância percorrida por gotículas e aerossóis expelidos durante tosses e espirros e também o tempo de sobrevivência do coronavírus no ambiente são fatores agravantes na transmissão, conforme observado nos estudos de Doremalen *et al.* (2020), Morris *et al.* (2021), Prather, Wang e Schooley (2020) e Ram *et al.* (2021). A definição de gotículas e aerossóis de acordo com o diâmetro das partículas está ilustrada na Figura 1.

Figura 1. Definição de gotículas, núcleos de gotículas e nano-gotículas



Fonte: Ram *et al.* (2021), adaptado.

Gotículas tendem a permanecer na atmosfera por mais tempo. O efeito das condições ambientais sobre elas, como a temperatura e umidade relativa do ar, causa uma redução do diâmetro, influenciando na inalação das mesmas por um indivíduo. Esse tempo e distância em que o vírus pode ser transportado aumenta a probabilidade de interação com o MP suspenso na atmosfera e outros poluentes.

O MP, principalmente o $\text{MP}_{2,5}$, mostrou-se como o poluente mais influente na transmissão do novo coronavírus, por ser facilmente inalado e alcançar alvéolos mais profundos no sistema respiratório, segundo os estudos, além de contribuir para um maior grau de infecção da doença. Ele também pode contribuir na transmissão do vírus, que pode aderir no material particulado suspenso e sendo transportado pelo ar a grandes distâncias.

Quanto ao tempo de sobrevivência do vírus no ambiente, pode ser superior a 12 horas em suspensão. Entretanto, se faz necessário o desenvolvimento de estudos onde sejam considerados outros fatores para a sobrevivência do vírus, que não sejam apenas as condições ambientais. A composição da gotícula expelida por um indivíduo contaminado e a composição dos materiais particulados devem ser considerados. As gotículas expelidas podem conter sólidos não voláteis, como cálcio e potássio, além de lipídios e proteínas, que têm a capacidade de manter o vírus protegido, aumentando sua sobrevivência. A composição do MP também pode influenciar da mesma forma, protegendo o vírus das condições ambientais.

A transmissão da doença ocorre principalmente pelo contato direto com pessoas infectadas, a curtas distâncias e em ambientes fechados, onde um indivíduo infectado expela gotículas contaminadas, que são inaladas por outros.

O novo coronavírus, possui um diâmetro que pode atingir até 0,2µm (BARRETO-VIEIRA *et al.*, 2021). Com este diâmetro, ele é capaz de alcançar facilmente as vias aéreas inferiores, tendo em vista que partículas inaláveis (que são retidas nas vias aéreas superiores) possuem diâmetro inferior a 10µm, enquanto partículas respiráveis (que atingem as vias aéreas inferiores), possuem diâmetro inferior a 2,5µm. As gotículas expelidas pela respiração, tosses e espirros podem atingir diâmetros inferiores a 5µm.

A entrada do novo coronavírus na célula humana se dá pela interação da proteína S (do vírus), com a proteína ACE-2 presente nas células do trato respiratório (FRONTERA, *et al.*, 2020) Estudos mostraram que a exposição crônica à MP e outros poluentes, aumenta a quantidade de ACE-2, favorecendo a infecção. Este pode ser um fator que prova os dados obtidos por Zhu *et al.* (2020), que identificou um aumento do número de casos de COVID-19 quando houve a elevação da concentração de certos poluentes atmosféricos.

CONCLUSÕES

A influência da qualidade do ar na pandemia do COVID-19 é evidenciada em estudos que mostram uma relação entre a má qualidade do ar e a gravidade dos casos, comprovada pelo maior número de mortes em grandes centros urbanos. O aumento da quantidade da proteína ACE-2 em indivíduos submetidos à baixos IQA e interação desta com o vírus da COVID-19 no processo de infecção, evidencia a influência do IQA na gravidade dos casos. O maior número de casos em áreas com IQA baixo, nos estudos acessados, indicam que a forma de transmissão descrita pela teoria do aerotransporte, é mais abrangente que a discussão puramente epidemiológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRETO-VIEIRA, D. F. et al. Morphology and morphogenesis of SARS-CoV-2 in Vero-E6 cells. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Volume 116, 2021. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1590%2F0074-02760200443>. Acesso em: 15 de Agosto de 2021.
- BECCHETTI, L. et al. Air quality and COVID-19 adverse outcomes: Divergent views and experimental findings. **Environmental Research**, Volume 193, 2021, 110556, ISSN 0013-9351. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110556>. Acesso em: 11 de Abril de 2021.
- BECCHETTI, L. et al. Understanding the Heterogeneity of Adverse COVID-19 Outcomes: The Role of Poor Quality of Air and Lockdown Decisions. **SSRN**, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3572548>. Acesso em: 18 de Abril de 2021.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N. 03, de 28 de Junho de 1990**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0003-280690.PDF>. Acesso em: 23 de Novembro de 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N. 491, de 19 De Novembro De 2018**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>. Acesso em: 17 de Julho de 2021.

COKER, E. S. et al. The Effects of Air Pollution on COVID-19 Related Mortality in Northern Italy. **Environmental and Resource Economics**, [s. l.], v. 76, n. 4, p. 611–634, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10640-020-00486-1>. Acesso em: 12 de Novembro de 2020.

COLE, M. A.; OZGEN, C.; STROBL, E. Air Pollution Exposure and COVID-19. **Institute of Labour Economics**, [s. l.], n. 13367, 2020. Disponível em: <http://ftp.iza.org/dp13367.pdf>. |Acesso em 27 de Julho de 2021.

DOREMALEN, N. V. et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. **The New England Journal of Medicine**, v. 382, n. 16, p. 1564-1567, Abril 2020. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1056%2FNEJMc2004973>. Acesso em: 31 de Julho de 2021.

DURÃES, A. R. O sistema renina-angiotensina-aldosterona versus a infecção pelo coronavírus. **PEBMED** 2019, 2020. Disponível em: <https://pebmed.com.br/o-sistema-renina-angiotensina-aldosterona-versus-a-infeccao-pelo-coronavirus-2019/>. Acesso em: 31 de Julho de 2021.

FRONTERA, A. et al. Severe air pollution links to higher mortality in COVID-19 patients: The “double-hit” hypothesis. **Journal of Infection**, v. 81, p. 255-259, 2020. Disponível em: [https://www.journalofinfection.com/article/S0163-4453\(20\)30285-1/fulltext](https://www.journalofinfection.com/article/S0163-4453(20)30285-1/fulltext). Acesso em: 31 de Julho de 2021.

GONZAGA, A. C.; FREITAS, A. C. V. Análise da relação entre condições meteorológicas, poluição atmosférica e infecções respiratórias virais: o caso COVID-19. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e591985942-e591985942, 2020.

HIDALGO, J.; RODRÍGUEZ-VEGA, G.; PÉREZ-FERNÁNDEZ, J. **COVID-19 Pandemic: Lessons from the Frontline**. [S.l.]: Elsevier, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-82860-4.00004-5>. Acesso em: 24 de Junho de 2021.

LI, H. et al. Air pollution and temperature are associated with increased COVID-19 incidence: A time series study. **International Journal of Infectious Diseases**, [s. l.], v. 97, p. 278–282, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.05.076>. Acesso em 11 de Abril de 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Poluentes Atmosféricos. **Ministério do Meio Ambiente**, 2021. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos.html>. Acesso em 28 de Novembro de 2021.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. **World Health Organization**, 2021. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>. Acesso em: 23 de Novembro de 2021.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. **World Health Organization**, 2006. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107823>. Acesso em: 23 de Novembro de 2021.

QU, G.; et al. An Imperative Need for Research on the Role of Environmental Factors in Transmission of Novel Coronavirus (COVID-19). **Environ. Sci. Technol.** 2020, 54, 3730–3732. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c01102>. Acesso: 10 de Abril de 2021.

PRATHER, K. A.; WANG, C.C.; SCHOOLEY, R. T. Reducing transmission of SARS-CoV-2. **Science**, v. 368, p. 1422-1424, 26 Junho 2020. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/368/6498/1422>. Acesso em: 24 de Julho 2021.

RAM, K. et al. Why airborne transmission hasn't been conclusive in case of COVID-19? An atmospheric science perspective. **Science of The Total Environment**, v. 773, 15 Junho 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145525>. Acesso em: 17 de Julho de 2021.

SOUSA, C. A. de. et al. (2011). Doença pulmonar obstrutiva crônica e fatores associados em São Paulo, SP, 2008-2009. **Revista de Saúde Pública**, 45(5), 887-896. Epub 29 de julho de 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-89102011005000051>. Acesso em: 27 de Abril de 2021.

TOLEDO, G. I. F. M.; NARDOCCI, A. C. Poluição veicular e saúde da população: uma revisão sobre o município de São Paulo (SP), Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 14, p. 445-454, 2011. ISSN 1415-790X. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2011000300009>. Acesso em 3 de Novembro de 2021.

ZHOU, P. et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. **Nature**, v. 579, p. 270-273, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2012-7>. Acesso em: 31 de Julho de 2021.

ZHU, Y. et al. Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China. **Science of the Total Environment**, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138704>. Acesso: 10 de Abril de 2021.