

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

IRIS BUOSI MARTINEZ

**EVOLUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS EM
CUBATÃO – SP**

PONTAL DO PARANÁ

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

IRIS BUOSI MARTINEZ

**EVOLUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS EM
CUBATÃO – SP**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção de título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro de Estudos do Mar, Campus Pontal do Paraná, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Virnei Silva Moreira.

PONTAL DO PARANÁ

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DO CENTRO DE ESTUDOS DO MAR

Martinez, Iris Buosi
M378e Evolução da concentração dos poluentes atmosféricos em Cubatão – SP / Iris Buosi
Martinez. – Pontal do Paraná, 2023.
1 arquivo [45 f.] : PDF.

Orientador: Prof. Dr. Virnei Silva Moreira

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Paraná, Campus Pontal do
Paraná, Centro de Estudos do Mar, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária.

1. Ar – Poluição – Aspectos ambientais. 2. Poluição. 3. Dióxido de enxofre.
I. Moreira, Virnei Silva. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD – 363.738



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Avenida Deputado Anibal Khury, 2033, - Bairro Balneário Pontal do Sul, Pontal do Paraná/PR, CEP 83255-976
Telefone: 4135118600 - <http://www.ufpr.br/>

TERMO

TERMO DE APROVAÇÃO

Iris Buosi Martinez

“EVOLUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS EM CUBATÃO - SP.”

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal do Paraná, pela Banca formada pelos membros:

Prof^a. Dra. Juliana Almansa Malagoli - CPP-CEM/UFPR

Prof^a. Dra. Simone Mendonça dos Santos - CPP-CEM/UFPR

Prof. Dr. Virnei Silva Moreira - CPP-CEM/UFPR
Presidente

PONTAL DO PARANÁ, 15 DE FEVEREIRO DE 2023.



Documento assinado eletronicamente por **VIRNEI SILVA MOREIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/02/2023, às 17:49, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **JULIANA ALMANSA MALAGOLI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/02/2023, às 17:51, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **SIMONE MENDONCA DOS SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/02/2023, às 17:53, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **5291456** e o código CRC **2C57603D**.

Rua XV de Novembro, 1299 – Centro – CEP: 80.060-000 – Curitiba-PR
Fone (41) 3360-5187 – E-mail: contratos@ufpr.br

Dedico esse trabalho a minha mãe Rosana Buosi
por me apoiar, acreditar em mim e em meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Rosana Buosi, a minha avó Alcinda Buosi e as minhas irmãs Carla Martinez e Lana Martinez por sempre me incentivarem a realizar a graduação e acreditarem na minha capacidade até quando eu mesma duvidava.

Aos docentes da universidade que me prepararam para atuar na minha jornada profissional com conhecimento, responsabilidade, ética e visão holística.

Ao Prof. Dr. Virnei Silva Moreira, meu orientador de Iniciação Científica e Trabalho de Conclusão de Curso do qual sempre foi paciente, compreensivo e didático.

Aos colegas de curso que me acompanharam nessa jornada, com quais pude compartilhar momentos de aprendizado, estudo e risadas.

A Pablo Maichak, o amigo que conheci no primeiro dia na universidade e vou levar para vida. Também a Flávia Rodrigues com quem sempre pude contar.

Ao Ministério da Educação que ofereceu todo suporte para minha graduação, da qual abriu oportunidades profissionais e de estudos multidisciplinares.

Aos servidores do campus que tornam a universidade um ambiente seguro, acolhedor e agradável.

A banca examinadora por ter aceito o convite de participar da avaliação deste trabalho.

As energias que sempre me guiaram, me tornaram forte para enfrentar os desafios e resiliente diante aos problemas.

LISTA DE SIGLAS

CETESB	– Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	– Conselho Nacional do Meio Ambiente
CO	– Monóxido de carbono
FMC	– Fumaça
Ibama	– Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
ICMBio	– Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
MP ₁₀	– Partículas inaláveis
MP _{2,5}	– Partículas inaláveis finas
NO ₂	– Dióxido de nitrogênio
NOx	– Óxidos de nitrogênio
O ₃	– Ozônio
OMS	– Organização Mundial da Saúde
PNMA	– Política Nacional do Meio Ambiente
PRONAR	– Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar
PTS	– Partículas Totais em Suspensão
SISNAMA	– Sistema Nacional do Meio Ambiente
SMA	– Secretaria do Meio Ambiente
SO ₂	– Dióxido de enxofre
WHO	– World Health Organization
µm	– Micrômetro (1 x 10 ⁻⁶ metros)

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO MUNICÍPIO DE CUBATÃO – SP.	24
FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DA CETESB EM CUBATÃO-SP.	25
FIGURA 3 – OCUPAÇÃO TERRITORIAL DE CUBATÃO-SP.	26
FIGURA 4 - MÉDIA ARITMÉTICA DA CONCENTRAÇÃO DE MP10, SO2 E NO2 EM CUBATÃO-SP.	31
FIGURA 5 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA ANUAL DE MP10, SO2 E NO2 POR ESTAÇÃO DA REDE DE MONITORAMENTO DE CUBATÃO-SP.	33
FIGURA 6 - QUANTIDADE DE ULTRAPASSAGENS MÉDIAS DIÁRIAS DE MP10 POR ANO EM CUBATÃO.	37

RESUMO

Na década de 1980, Cubatão-SP ganhou destaque global ao ser reconhecida como a cidade com a pior qualidade do ar do mundo, sendo também afamada pelos efeitos adversos que a poluição do ar vinha causando na saúde da população. Desse modo, iniciaram-se os planos de controle da poluição visando a melhoria da qualidade do ar. A fim de avaliar a eficácia das ações mitigadoras, atendimento às legislações, relação entre o território urbano e industrial e o comportamento dos poluentes atmosféricos, o presente estudo compilou os dados da rede de monitoramento do ar de Cubatão e analisou como se apresentou a evolução da qualidade do ar no período de 2014 a 2018 através do dióxido de nitrogênio (NO_2), dióxido de enxofre (SO_2) e partículas inaláveis (MP_{10}). Sendo assim, constatou-se que houve uma redução gradual na concentração das partículas inaláveis, assim como a diminuição da quantidade de eventos de ultrapassagem aos padrões de qualidade do ar legislados. Entretanto, a redução não foi gradual para o dióxido de enxofre e o dióxido de nitrogênio. Através da Correlação de Pearson, também mostrou que algumas estações de monitoramento possuem relação de forte até muito fraca entre si ao serem comparadas as concentrações horárias monitoradas.

Palavras-Chave: Poluição do ar. Partículas Inaláveis. Dióxido de enxofre.

ABSTRACT

In the 1980s, Cubatão-SP gained global prominence when it was recognized as the city with the worst air quality in the world, and was also famous for the adverse effects that air pollution was causing on the population's health. In this way, the pollution control plans were started with a view to improving air quality. In order to evaluate the effectiveness of mitigating actions, compliance with legislation, the relationship between urban and industrial territory and the behavior of atmospheric pollutants, this study compiled data from the air monitoring network in Cubatão and analyzed how the evolution of air pollution was presented. Air quality in the period from 2014 to 2018 through nitrogen dioxide (NO₂), sulfur dioxide (SO₂) and inhalable particles (PM₁₀). Thus, it was found that there was a gradual reduction in the concentration of inhalable particles, as well as a decrease in the number of events that exceeded the legislated air quality standards. However, the reduction was not gradual for sulfur dioxide and nitrogen dioxide. Through the Pearson Correlation, it also showed that some monitoring stations have a strong to very weak relationship with each other when comparing the monitored hourly concentrations.

Keywords: Air pollution. Inhalable Particles. Sulfur dioxide.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 OBJETIVO GERAL	15
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	16
2.1.1 Fontes de poluição atmosférica	17
2.2 QUALIDADE DO AR	17
2.2.1 Qualidade do Ar em Cubatão	18
2.2.2 Monitoramento da Qualidade do Ar	19
2.3 POLUENTES ATMOSFÉRICOS	20
2.3.1 Partículas Inaláveis (MP10)	20
2.3.2 Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	21
2.3.3 Dióxido de enxofre (SO ₂)	21
2.4 LEGISLAÇÃO	22
3 MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1 ÁREA DE ESTUDO	23
3.2 MATERIAIS	25
3.3 MÉTODOS	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 EVOLUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO ANUAL	30
4.2 EVOLUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO POR ESTAÇÃO	32
4.3 ATENDIMENTO A CONCENTRAÇÃO DIÁRIA	35
4.4 CORRELAÇÃO ENTRE AS ESTAÇÕES	38
5 CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

O clima é um fator de considerável influência sobre os seres vivos, sendo que a temperatura, precipitação, umidade relativa do ar, e outras variáveis meteorológicas apresentam relação intrínseca com os processos de sucessão da fauna e flora, assim como na saúde e bem-estar do ser homem. As mudanças climáticas e de composição atmosférica alteram-se naturalmente com o passar do tempo, contudo, a partir da revolução industrial tais processos foram sendo acelerados devido principalmente à queima de combustíveis fósseis, que geram gases do efeito estufa, interferindo assim nos ciclos biogeoquímicos indispensáveis para a manutenção da vida no planeta Terra (SIQUEIRA et al., 2011).

Os impactos ambientais vêm se intensificando no Brasil e no mundo, posto que o crescimento populacional e a busca pelo desenvolvimento econômico acarreta aumento das emissões devido à intensificação das atividades antrópicas essenciais para o atendimento das necessidades dos indivíduos e das comunidades como um todo. Desse modo, muitas destas geram emissões que modificam a composição química e térmica da atmosfera através de atividades industriais, queimadas, tráfego veicular intenso, áreas densamente povoadas, entre outros (DAPPER et al., 2016). As condições climáticas também podem interferir na qualidade do ar, uma vez que apresentam potencial para alterar a taxa de difusão e acúmulo de poluentes na atmosfera.

A perda da qualidade do ar em grandes centros urbanos vêm se apresentando como uma problemática, uma vez que impacta os ecossistemas, a economia e a qualidade de vida. Segundo a WHO (World Health Organization), a poluição do ar é responsável por cerca de sete milhões de óbitos por ano no mundo (WHO, 2016). A poluição atmosférica provoca graves danos à saúde pública, principalmente, quando se trata de receptores sensíveis como crianças, idosos e portadores de doenças do aparelho respiratório (RODOPOULOU et al., 2015).

O monitoramento da qualidade do ar é uma importante ferramenta para melhoria do planejamento territorial, controle do que é emitido, do comportamento das partículas na atmosfera, dos níveis de concentração que possam oferecer riscos aos seres vivos, dentre outros. Desse modo, o acompanhamento é fundamental tanto para empresas privadas, como para o poder público, sendo que no Brasil boa

parte deste é oriundo de condicionantes para obtenção de licenças ambientais de atividades econômicas potencialmente poluidoras (BITAR & ORTEGA, 1998).

As partículas inaláveis, também denominadas de material particulado inferior a dez micrômetros (MP_{10}), são consideradas poluentes atmosféricos, uma vez que derivadas de fontes antrópicas e naturais, apresentam grande potencialidade de ocasionar prejuízos a fauna, flora e a saúde pública, sendo assim, comumente controladas e monitoradas. Já o dióxido de enxofre e o dióxido de nitrogênio, também classificados como poluentes, além de serem gases tóxicos aos seres humanos, ainda são precursores da chuva ácida.

Desse modo, buscando entender o comportamento de alguns poluentes atmosféricos no decorrer dos anos no município de Cubatão – SP, foram analisados dados de 2014 a 2018 da rede de monitoramento da qualidade do ar da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) que se encontra operante na cidade. Sendo assim avaliou-se através do material particulado $10\ \mu\text{m}$ (MP_{10}), o dióxido de nitrogênio (NO_2) e dióxido de enxofre (SO_2) os resultados oriundos das medidas de controle, assim como a correlação entre as estações e, ainda, o atendimento aos padrões de qualidade do ar.

1.1 JUSTIFICATIVA

No Brasil ainda são escassas as redes públicas de monitoramento da qualidade do ar devido ao alto custo de implantação e operação. É comum que empreendimentos privados potencialmente poluidores realizem o automonitoramento como forma de atender as exigências impostas pelos órgãos ambientais licenciadores. Por conseguinte, também são poucos os estudos na área de poluição atmosférica, sendo este um subsistema ainda pouco investigado no país (SANTANA et al., 2020).

Diante dos potenciais impactos dos poluentes atmosféricos na saúde humana e no meio ambiente, os órgãos reguladores nos diversos níveis tendem à definir padrões de qualidade do ar que determinam o limite máximo da concentração de um poluente (LISBOA, 2007), em nível nacional podemos citar a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA de nº 491/2018 e em caráter estadual o Decreto Estadual nº 59113 de 2013.

Para Meincke (2018), conhecer os poluentes presentes na atmosfera de uma determinada região e monitorá-los é de suma importância, uma vez que essas atividades podem auxiliar no zoneamento dos municípios, na identificação de possíveis geradores e fontes poluidoras, na detecção de eventos atípicos e áreas de risco para a saúde pública e também na avaliação da eficácia dos planos de controle e medidas mitigadoras implementadas.

Na década de 1980, o município de Cubatão foi considerado pela Organização das Nações Unidas (ONU) como a cidade com a pior qualidade do ar do mundo devido aos altos níveis de poluição atmosférica que vinha expressando. Desse modo, afluíram ações da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo junto às iniciativas privadas para aprimorar o controle do lançamento de poluentes no ar. Com a sua economia fortemente voltada às indústrias, é comum que algumas regiões apresentem com frequência, índices ruins de qualidade do ar, destacando-se assim a necessidade de estudos para verificar a eficácia dos planos de ação e das medidas adotadas (ALONSO & GODINHO, 1992).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a evolução da qualidade do ar no Município de Cubatão-SP no período de 2014-2018, considerando-se a concentração de material particulado, dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre, de modo a verificar se as medidas mitigadoras implantadas vem sendo efetivas para controle da poluição do ar.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar, consolidar e tratar os dados de monitoramento das três estações da rede de monitoramento;
- Analisar se houve melhoria na qualidade do ar em Cubatão entre 2014 e 2018 em relação a concentração de material particulado 10 μm (MP_{10}), dióxido de nitrogênio (NO_2) e dióxido de enxofre (SO_2);
- Correlacionar a concentração de poluentes da estação operante na área urbana com as estações do distrito industrial;

- Analisar a frequência de eventos com descumprimento dos padrões estabelecidos pelas legislações ambientais correlatas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Segundo a Lei Federal nº 6.938/1981 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, a atmosfera é um recurso ambiental, onde considera-se poluição a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que diretamente ou indiretamente perturbem a saúde e bem-estar da comunidade, emitam energia ou materiais incompatíveis com os padrões estabelecidos e afetem negativamente as condições de equilíbrio do meio ambiente e da biota.

A literatura define a poluição do ar como quaisquer mudanças quantitativas e/ou qualitativas de sua composição, sendo estas geralmente decorrentes das atividades antrópicas (PHILIPPI JR. et al., 2004). Desse modo, são denominados de poluentes atmosféricos as substâncias que em determinadas concentrações tornam o ar impróprio ou prejudicial ao ser humano e meio ambiente (RÉQUIA et al., 2016). Segundo Santana et al. (2020), a poluição do ar é mundialmente reconhecida como um problema de saúde pública, visto que acarreta aumento nas ocorrências de doenças do sistema respiratório e circulatório, especialmente em crianças e idosos.

A emissão de poluentes atmosféricos sempre ocorreu através de fenômenos naturais, como é o caso de erupções vulcânicas, entretanto, a partir da revolução industrial, tais poluentes passaram a ser lançados em volumes ainda maiores. Desse modo, tornou-se insustentável o desenvolvimento econômico sem o manejo adequado das partículas e gases que serão expelidos à atmosfera (DAPPER et al., 2016).

Como exemplo de consequência indireta do desenvolvimento econômico temos aumento da frota veicular movida a diesel para o transporte de cargas, já que o modal ferroviário ainda é pouco explorado no país, o que eleva o volume de gases poluentes emitidos no ar dos grandes centros industriais e exportadores do território nacional. Já como resultado direto podemos citar principalmente a emissão de material particulado provindo das operações fabris e da manipulação e transporte de commodities agrícolas (BRANCO; MURGEL, 2010).

2.1.1 Fontes de poluição atmosférica

Segundo Cançado et al. (2006), podemos citar como exemplo de fontes de poluição atmosférica o tubo de escape de um caminhão ou a chaminé de uma indústria, sendo ambos capazes de emitir uma gama de partículas e gases. As fontes de poluição podem ser antropogênicas, resultantes da queima de combustíveis fósseis e de atividades industriais ou ainda provenientes de fenômenos da natureza, como é o caso de erupções vulcânicas (TORRES; MARTINS, 2005). Para Braga et al. (2005), as fontes de poluição antropogênicas podem ser divididas em dois tipos, as móveis e estacionárias, se caracterizando como fontes móveis os veículos, e estacionárias as indústrias, usinas termelétricas, entre outras.

Para Mendonça e Danni-Oliveira (2007), a poluição atmosférica apresenta múltiplos níveis nas áreas urbanas, onde vincula-se a uma gama de fatores. Não obstante, cita a industrialização, urbanização, cobertura de áreas verdes, condições climáticas, o uso do solo e tráfego veicular, como alguns dos agentes com potencial de ocasionar piora da qualidade do ar.

2.2 QUALIDADE DO AR

Segundo a CONAMA nº 491/2018, os padrões de qualidade do ar são ferramentas de gestão da qualidade do ar que dispõem a respeito da concentração máxima que um poluente deve se apresentar na atmosfera em um determinado período. Tal instrumento considera um intervalo de tempo de exposição visando não causar danos à preservação do meio ambiente e da saúde da população.

Denomina-se de episódio crítico de poluição do ar um evento que apresenta altas concentrações de poluentes no ar em um breve espaço de tempo, podendo este ser oriundo de condições desfavoráveis de dispersão ou ainda de situações atípicas de lançamento demasiado (CETESB, 2019). Para Gomes (2010), o vento é um fenômeno que atua no transporte de poluentes a longas distâncias da fonte de emissão, onde é notável que em sua ausência há piora da qualidade do ar próximo aos geradores.

2.2.1 Qualidade do Ar em Cubatão

Devido ao alto índice de poluição atmosférica da década de 1970, o município de Cubatão ficou conhecido como “Vale da morte”. Historicamente houve diferentes episódios decorrentes da forte expansão das atividades econômicas devido a sua localização estratégica entre o Planalto e a Baixada Santista. Começando com melhorias no transporte de mercadorias a fim de exportação, seu crescimento se estendeu a um complexo fabril onde atualmente são encontradas indústrias petroquímicas, siderúrgicas, químicas e de fertilizantes (GUTBERLET, 1996).

A partir da década de 80 verificou-se o aumento nos casos de nascidos anencefálicos em Cubatão. O evento foi precursor ao estudo do biomédico Paulo César Naoum que em 1982 analisou o sangue de 496 habitantes no município visando investigar possíveis alterações causadas pela poluição industrial. Desse modo, constatou que as consequências patológicas tinham correlação direta com a proximidade dos polos de emissão, onde 33,3% apresentavam enzimas antioxidantes no sangue, levando aos casos de recém-nascidos anencefálicos, já que as mulheres grávidas apresentavam menor capacidade de enviar a quantidade de oxigênio suficiente para desenvolvimento do bebê (NAOUM, 1984).

Devido ao exponencial crescimento industrial expresso em Cubatão entre 1970 e 1980, a falta de planejamento urbano e ambiental acarretou no lançamento de grandes volumes de poluentes na atmosfera. Uma vez que o município vinha apresentando episódios agudos de poluição, os planos de controle da poluição iniciaram-se nas fontes de emissões industriais. O primeiro plano implantado objetivou diminuir a poluição em cinco anos, onde focado nas fontes fixas foi dividido em duas fases: levantamento minucioso das fontes industriais; imposição de padrões legislativos junto a obrigatoriedade do uso de equipamentos de controle baseado nas melhores tecnologias existentes. Desse modo, foi parte da segunda etapa a exigência de planos individuais de controle de emissão das fontes industriais, que mediante o envio passariam por análise e autorização da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 1986).

Em 1976, foram efetuadas duas medidas de controle para redução de PTS e SO₂, uma corretiva através da exigência de atendimento aos padrões de qualidade do ar e outra preventiva com a implementação de um sistema de licenciamento. Enquanto as fontes de emissão de PTS industriais tiveram que buscar as melhores

tecnologias para controle destas partículas, as indústrias que executavam processos de combustão precisaram substituir os óleos com altos teores de enxofre para controle do para o SO_2 . Contudo, só no ano de 1984 foram apresentados 62 cronogramas de indústrias e da CETESB com medidas para redução desses valores (CETESB, 2011). Apesar da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo declarar em 1990 que a poluição do ar de Cubatão estava sob controle, outros planos foram sendo implementados visando a melhoria da qualidade do ar atmosférico.

Para a CETESB (2019), Cubatão manifesta uma atmosfera mais degradada na área industrial da cidade, onde na região urbana apresenta índices de qualidade do ar semelhantes a diferentes bairros da região metropolitana de São Paulo. Em seu complexo industrial, localizado na Vila Parisi é comum encontrar elevadas concentrações de partículas inaláveis (MP_{10}). A companhia relata que a qualidade do ar de Cubatão é consequência das atividades industriais, onde altas concentrações de poluentes são observadas principalmente nessas regiões. Sendo assim, verifica-se alta demanda por estudos que visem verificar se as medidas implantadas vem sendo efetivas para controle da poluição do ar.

2.2.2 Monitoramento da Qualidade do Ar

O monitoramento e controle da emissão destes poluentes são ferramentas capazes de melhorar a qualidade do ar, identificar as possíveis fontes emissoras, o comportamento dos gases no meio e ainda prover informações para melhor gestão da qualidade do ar (MARTINS et al., 2014). Este pode ser realizado de forma automática com equipamentos contínuos ou ainda de modo manual. Não obstante, apesar de mais custoso e exigente em mão de obra, o monitoramento automático fornece medições horárias ou diárias, o que viabiliza que sejam feitos estudos mais minuciosos a respeito do comportamento dos gases e partículas na atmosfera (ÁLVARES et al. , 2002).

Para a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2018), monitora-se a qualidade do ar para ativar as ações emergenciais em eventos agudos de poluição que possam ocasionar risco à saúde pública, verificar se a concentração dos poluentes na atmosfera encontram-se dentro dos padrões legislados, e acompanhar possíveis mudanças na qualidade do ar oriundas das modificações nas emissões dos poluentes.

A CONAMA nº 491 de 2018 dispõe que o plano de controle de emissões atmosféricas é um documento que deve seguir as estratégias de controle da poluição estabelecidas no Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR). Sendo assim, deve discorrer a respeito da abrangência do plano, apresentar o inventário das fontes emissoras, as diretrizes e ações decorrentes destes, assim como os objetos, metas e prazos.

2.3 POLUENTES ATMOSFÉRICOS

2.3.1 Partículas Inaláveis (MP_{10})

Denomina-se material particulado os fluidos atmosféricos oriundos de diferentes origens, tais como: da ressuspensão de poeira do solo a partir do intenso tráfego de veículos em vias sem pavimentação, de partículas emitidas pela queima de biomassa, do manuseio de insumos agrícolas, dentre outros (BRANCO; MURGEL, 2010). Para Arbex et al. (2012), esse material é um conjunto de partículas sólidas e líquidas que se encontram em suspensão no ar, onde difere no formato, composição química, concentração na atmosfera e área da superfície que ocupa. Bailey e Solomon (2004) destacam que pode ser formado de elementos orgânicos e/ou inorgânicos, onde a queima do óleo diesel pode ser citado como um exemplo de fonte primária.

Os poluentes primários são aqueles que provêm diretamente da fonte de emissão, onde podemos citar: o dióxido de enxofre, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, metano e a amônia. Não obstante, os secundários são os formados na própria atmosfera por meio de reação química entre poluentes primários e os compostos naturais presentes neste meio, sendo o peróxido de hidrogênio, o ácido sulfúrico, os sulfatos, os nitratos e o ozônio, alguns exemplos de poluentes secundários (CETESB, 2019).

Para Lora (2002), as partículas inaláveis estão entre os principais poluentes atmosféricos, onde qualquer elemento líquido ou sólido suspenso no ar pode ser denominado de material particulado, exceto a água pura. Estes por sua vez são classificados conforme o seu tamanho, onde são Partículas Totais em Suspensão (PTS) os menores que 50 μm ; Partículas Inaláveis (PI) os inferiores a 10 μm ;

Material Particulado MP_{10} os que apresentam diâmetro aerodinâmico equivalente a $10\ \mu\text{m}$ e Material Particulado $MP_{2,5}$ os com diâmetro equivalente de corte $2,5\ \mu\text{m}$.

O MP_{10} é o conjunto de material particulado com diâmetro menor que $10\ \mu\text{m}$, ou seja, a parcela inalável de partículas presentes no material particulado. Desse modo, são capazes de atingir as vias respiratórias inferiores, podendo causar danos à saúde e bem-estar da população (CERATTI et al., 2018). Segundo Cançado et al., (2006), podem transportar gases adsorvidos até onde ocorrem as trocas gasosas no pulmão. Enquanto a dispersão do material varia com as condições climáticas e topografia local, sua correlação com diferentes doenças é dependente das propriedades físicas e químicas de suas partículas (LYRA, 2011).

2.3.2 Dióxido de nitrogênio (NO_2)

Os óxidos de nitrogênio (NO_x) são poluentes primários, isto é, são emitidos pela fonte. Tais óxidos são lançados como óxido nítrico (NO) e após interação com radicais ou ozônio se transformam os dióxidos de nitrogênio (NO_2) na atmosfera. Comumente são expelidos através dos veículos automotores, em indústrias e ainda em usinas de energias (KAMPA; CASTANAS, 2008). Entre os NO_x , ganha destaque o óxido nítrico (NO), o dióxido de nitrogênio (NO_2) e o óxido nitroso (N_2O), sendo estes bastante reativos quando há presença de oxigênio (BRAGA et al., 2001).

Na perspectiva da saúde humana, o dióxido de nitrogênio (NO_2) é o de maior interesse de monitoramento em relação aos outros óxidos de nitrogênio (WHO, 2000). O dióxido de nitrogênio é um agente que aumenta a susceptibilidade às infecções respiratórias e por ser solúvel em água, quando inalado chega a porções periféricas do pulmão. Uma vez que reage com o vapor de água encontrado na atmosfera produzindo os ácidos nitroso e nítrico, é um agente causador de chuva ácida, além de atuar como fotocatalisador na formação do ozônio (SOUZA et al., 2017).

2.3.3 Dióxido de enxofre (SO_2)

De origem natural e antropogênica, o dióxido de enxofre (SO_2) é um composto sulfuroso liberado por vulcões, atividades industriais, termelétricas, queima de combustíveis fósseis, na produção do papel, etc. Na atmosfera pode ocasionar

chuva ácida assim como o dióxido de nitrogênio (BRANCO; MURGEL, 2010). Não obstante, também participa como agente nas partículas inaláveis (MP_{10}) uma vez que forma sulfatos (ÁVILA, 2006; SAN MARTIN, 2020). Todavia, o composto pode agravar doenças do coração e do trato respiratório.

Para Braga et al., (2001), esse dióxido se mantém no ar por um longo período de tempo, apresentando assim a capacidade de ser transportado a uma longa distância da fonte de emissão. Maiores concentrações podem ser encontradas em regiões onde há maior tráfego de veículos movidos a diesel, já que sua emissão é maior em relação aos movidos a gasolina e etanol.

2.4 LEGISLAÇÃO

A Lei Federal N° 6938/81 surge dispondo regras que possibilitem o desenvolvimento sustentável através de instrumentos e mecanismos que confirmam maior proteção ao meio ambiente, onde institui o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA). O SISNAMA se estrutura com: o Conselho do Governo; o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA); o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA); o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Instituto Chico Mendes (ICMBio) e ainda órgãos seccionais. Como desdobramento da Lei, entra em vigor a Resolução CONAMA n° 05/1989, que se apresentou como uma importante ferramenta para gestão da qualidade do ar no Brasil, sendo a responsável pela criação do Programa Nacional de Controle de Qualidade ao Ar (PRONAR).

Os padrões de qualidade do ar estabelecem uma concentração máxima de cada poluente atmosférico de modo que não acarretem danos à saúde pública, fauna e flora (BRANCO; MURGEL, 2010). Sendo assim, foi através da Resolução CONAMA N° 03/1990 que o PRONAR apresentou novos padrões de qualidade do ar a serem seguidos no território nacional, assim como os critérios para episódios agudos de poluição.

Uma vez revogada a CONAMA n° 03/1990, foi instituída a CONAMA n° 491/2018 que estabelece novos padrões de qualidade do ar no território nacional, os dividindo em etapas a serem alcançadas e classificando as concentrações em episódios críticos de acordo com os concentrações estabelecidas pela Organização mundial da saúde (BRASIL, 2018). Contudo, ambas normativas brasileiras dispõe a

respeito dos poluentes: dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂), fumaça (FMC), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃), partículas totais em suspensão (PTS) e ainda partículas inaláveis (MP₁₀).

A Resolução CONAMA n° 491/2018 é a norma que atualmente estabelece os padrões de qualidade do ar no Brasil, determinando os parâmetros de qualidade do ar e os níveis críticos de poluição do mesmo. Entretanto, Braga et al. (2001) indica que há necessidade de maior controle das emissões atmosféricas a fim de evitar episódios críticos que venham interferir na saúde da população.

Todavia, o estado de São Paulo conta com o Decreto Estadual n° 59.113/2013, que dispõe a respeito dos padrões de qualidade do ar que devem ser seguidos em seu território de acordo com as Metas Intermediárias (I, II e III) e padrões finais. São quatro etapas de implementação que exigem diferentes padrões de concentração máxima que diminuem gradativamente em busca de melhora da qualidade do ar (SÃO PAULO, 2013). Não obstante, também legisla a respeito de inventários de fontes fixas e móveis, dos planos para melhoria da qualidade do ar, a respeito de licenciamentos para ampliação ou de novos empreendimentos potencialmente poluidores, sistemas de controle, dentre outros.

O Decreto N° 8.468 de 1976 surge em São Paulo como ferramenta pioneira no controle e monitoramento da poluição do ar no estado. Desse modo, em seu Capítulo III determina os padrões de qualidade do ar a serem seguidos e ainda os dispositivos para fiscalização e controle da poluição atmosférica. A normativa provém da necessidade de preservar, controlar e recuperar a qualidade do ar atmosférico em um cenário crescente de aumento da poluição oriunda das atividades antrópicas (SÃO PAULO, 1976).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

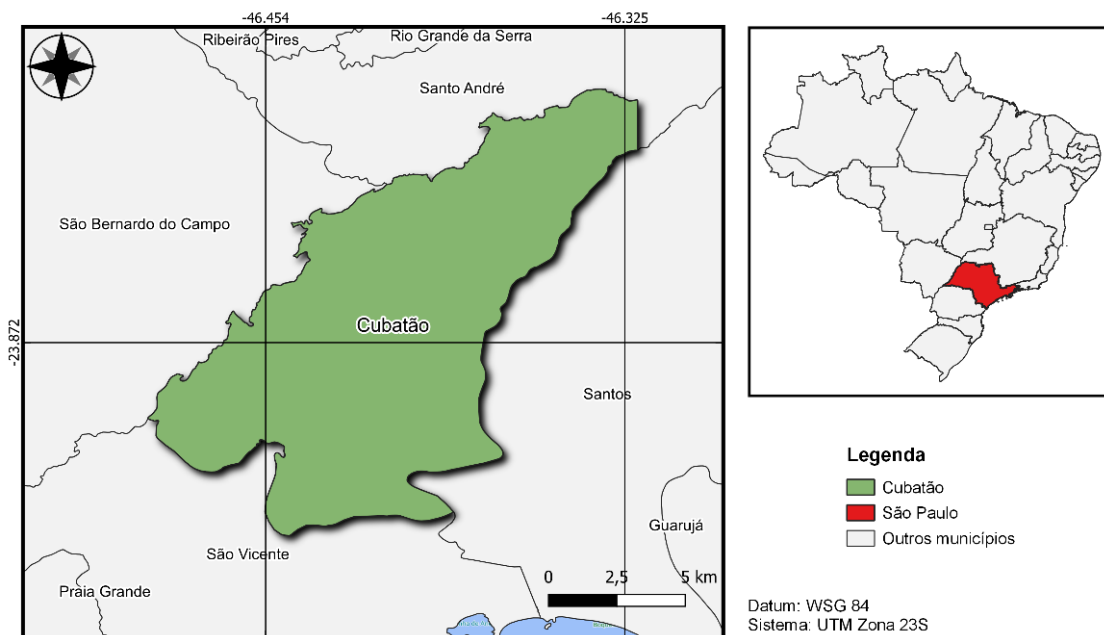
3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no município de Cubatão, que ocupa cerca de 142 km² e está localizado na planície litorânea do estado de São Paulo, na Baixada Santista, entre as latitudes 23°48' S e 23°55' S e na longitude 46°21' W e 46°28' W (FIGURA 1). A população estimada é de 132.521 habitantes (IBGE, 2021) e grande parte de sua economia é voltada ao seu complexo industrial. No norte faz divisa com o

município de Santo André, no sul com a Baía de Santos, ao sudoeste com a cidade de São Vicente, ao leste com Santos e ao noroeste com São Bernardo do Campo (FIGURA 1).

Segundo Godinho e Alonso (1992), é rodeada por montanhas e colinas que ficam entre 700 e 1000 metros de altitude. Os autores destacam que a direção e intensidade dos ventos apresentam forte relação com topografia local, onde também recebe influência da incidência solar, do horário e ainda do ângulo de declividade. A cidade se encontra no bioma Mata Atlântica que vêm sofrendo diminuição da cobertura vegetal ao longo dos anos devido ao crescimento populacional e a extração de recursos naturais para suprir as necessidades das atividades antrópicas.

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO MUNICÍPIO DE CUBATÃO – SP.



Fonte: A autora (2022).

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, apresenta clima tropical úmido (Af), onde não há períodos de estiagem. As médias anuais de temperatura mínima e máxima ficam entre 18°C e 24,7°C, onde a média anual de precipitação é de 2.625,8 mm e umidade relativa do ar fica acima de 80% (CEPAGRI, 2018).

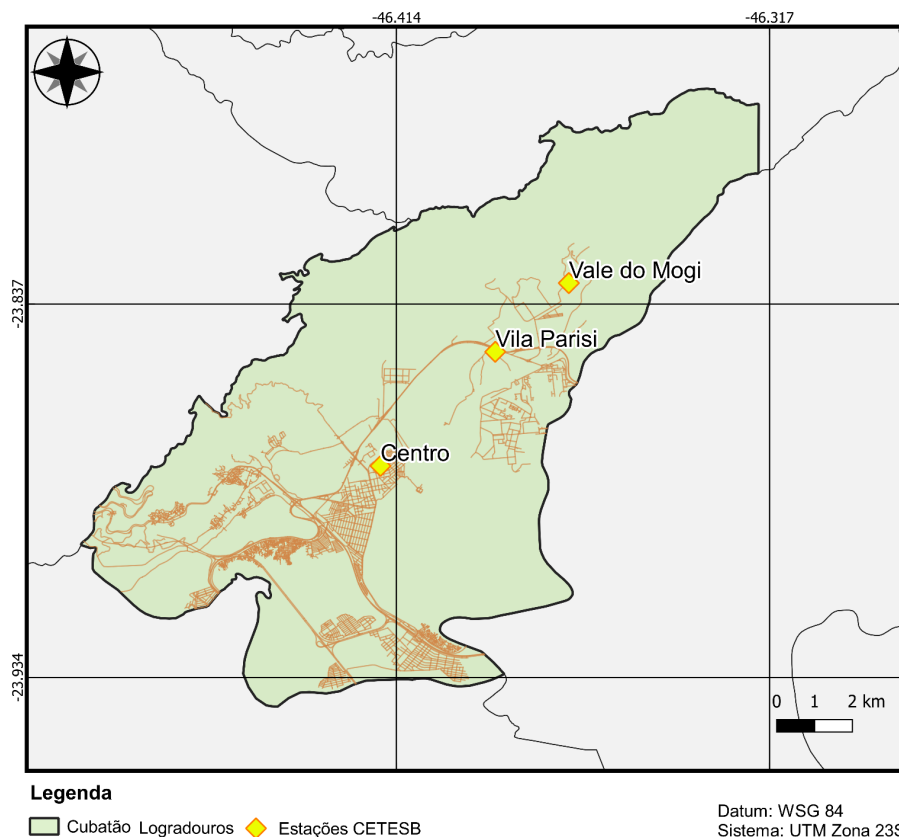
A economia do município é voltada ao seu polo industrial que apresenta empresas do setores siderúrgicos, fertilizantes, químicos, petroquímicos e de

logística. Não observante, seu Produto Interno Bruto estava em R\$120.940,49 no ano de 2020 (IBGE, 2021).

3.2 MATERIAIS

Atualmente, o município apresenta três estações automáticas em sua rede de monitoramento da qualidade do ar que são operadas pela CETESB. Estas executam medições horárias das concentrações de poluentes atmosféricos e ainda de algumas condições atmosféricas. Enquanto há uma estação instalada no Centro da cidade, tem-se outra no bairro Vale do Mogi e uma na área industrial, Vila Parisi (FIGURA 2). Para fim de simplificação, no presente estudo utilizou em alguns casos as seguintes nomenclaturas para designar as estações: C - Centro, VP - Vila Parisi e VM - Vale do Mogi.

FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DA CETESB EM CUBATÃO-SP.



Fonte: A autora (2022).

A TABELA 1 caracteriza a localização das estações automáticas da rede de monitoramento da qualidade do ar da CETESB do município. A estação do Centro se encontra a aproximadamente 7,25 km da presente no Vale do Mogi, estando cerca de 4,47 km da Vila Parisi. Já a estação do Vale do Mogi e da Vila Parisi possuem uma distância de 2,78 km, estando mais próximas entre si.

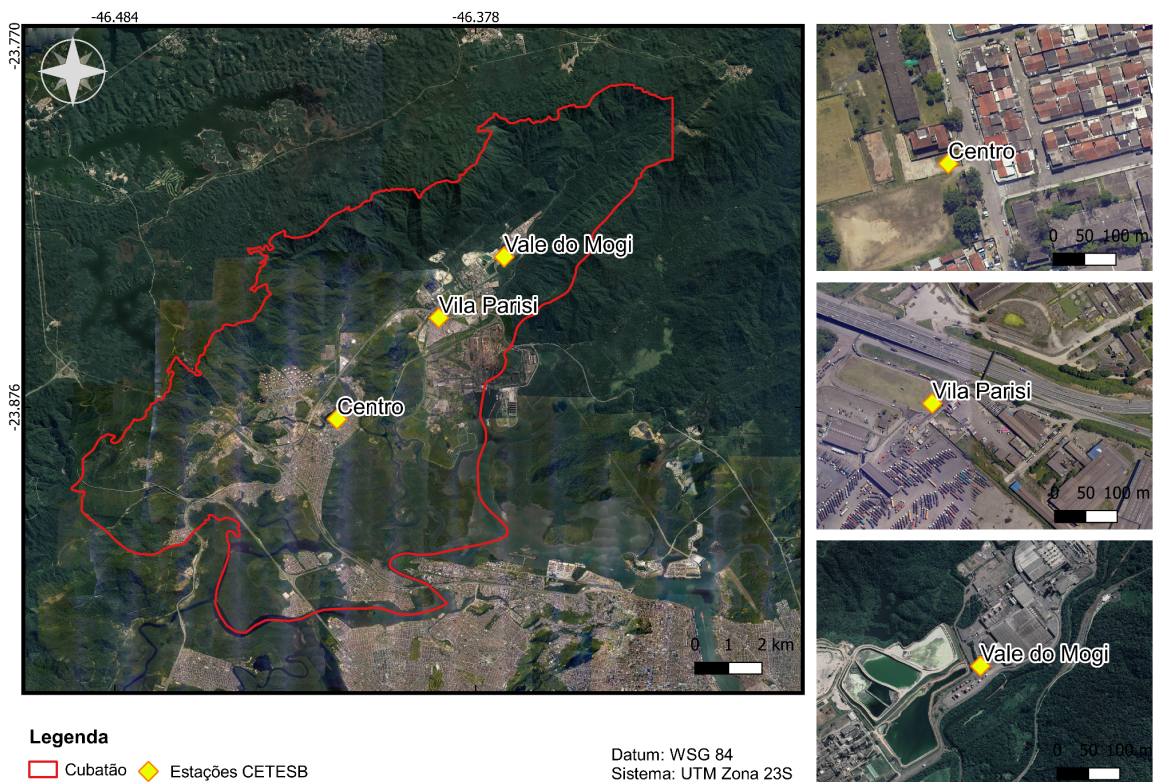
TABELA 1 - DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR.

Nome da estação	Tipo de Rede	Latitude	Longitude	Altitude	Bairro	Operante
Cubatão-Centro	Automática	7358443	355580	0	Prq Fernando Jorge	CETESB
Cubatão-Vale do Mogi	Automática	7363745	360510	5	Jd São Marcos	CETESB
Cubatão-V.Parisi	Automática	7361752	358583	0	Vila Parisi	CETESB

FONTE: Adaptado de CETESB (2022).

Todavia, através da FIGURA 3, tem-se um panorama da distribuição da área territorial urbana e industrial. Onde a estação Centro se encontra operante no centro urbano de Cubatão, a Vila Parisi no grande aglomerado industrial da cidade, e a Vale do Mogi na área industrial menos densa.

FIGURA 3 – OCUPAÇÃO TERRITORIAL DE CUBATÃO-SP.



Fonte: A autora (2022).

Entre os gases monitorados pela companhia estão o dióxido de nitrogênio (NO_2), dióxido de enxofre (SO_2) e material particulado (MP_{10}), abordados nesta pesquisa. Esta escolha se justifica por serem os poluentes monitorados com mais frequência em regiões que possuem atividades potencialmente poluidoras e que quando presentes em altas concentrações acarretam efeitos nocivos ao meio ambiente e à saúde pública.

Para monitoramento do MP_{10} , a companhia conta com o Amostrador de Grandes Volumes (AGV) que consiste em um equipamento onde o ar é sugado e passa por uma vazão conhecida que faz a retenção de partículas em suspensão com diâmetros menores que $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para o monitoramento do SO_2 utiliza o método da pararosanilina, onde o poluente é absorvido em tetracloromercurato de potássio 48 (TCM), resultando em um composto resistente à oxidação do ar que quando reagido com pararosanilina e formaldeído forma um ácido intensamente colorido onde se mede absorvância por espectrofotometria. Já para o NO_2 aplica o método da quimioluminescência, onde o ar coletado junto ao etileno é submetido a uma câmara de reação que converte luz em corrente elétrica.

Analizou-se o período de cinco anos, compreendidos entre janeiro e dezembro de 2014 e 2018. O período foi estabelecido para que o estudo se apresentasse fidedigno com a realidade do dia-a-dia, com menor interferência de eventos atípicos, como o caso da pandemia de Covid-19, na qual interferiu nas atividades industriais e urbanas a partir do final do ano de 2019.

Os dados de concentração de MP_{10} , NO_2 e SO_2 foram extraídos da plataforma online de Qualidade do Ar (QUALAR), disponibilizada pela empresa operadora CETESB, tal ferramenta apresenta um banco de dados histórico de Cubatão com medições horárias de suas estações automáticas de monitoramento do ar. Quanto à consolidação e análise dos dados, utilizou-se a linguagem de programação Python de dados e o *software* Microsoft Excel 2019 para os gráficos. Já para a elaboração de mapas, o *software* Qgis 3.16.14.

3.3 MÉTODOS

Para análise da evolução da quantidade média de emissão de MP_{10} , SO_2 e NO_2 por ano, foi realizada uma média aritmética de todas as concentrações monitoradas de 2014 a 2018 para verificar como se apresentou a qualidade do ar do

município conforme o período proposto. Em seguida foram realizadas as médias anuais por estação para avaliar as concentrações de forma isolada a fim de esclarecer o comportamento dos poluentes de acordo com a região em que se encontram.

Contudo, para comparar o atendimento às legislações vigentes no período e ainda a posterior (CONAMA nº 491/2018), as medições horárias de MP₁₀ e SO₂ foram transformadas em médias diárias, enquanto para NO₂ foram utilizados os dados horários. Desse modo, com os dados já consolidados e selecionados, aplicou-se um algoritmo que contou a quantidade de ultrapassagens para cada poluente em relação às legislações. Por fim, também foram realizadas médias anuais para avaliar se as mesmas também se encontram dentro dos padrões estabelecidos em território nacional. A partir da TABELA 2 é possível verificar os padrões legislados que foram utilizados no respectivo trabalho.

TABELA 2 - PADRÕES NACIONAIS DE QUALIDADE DO AR.

Poluente	Período	CONAMA N° 03/1990 (µg/m³)	CONAMA N° 491/2018 (µg/m³)	Decreto Estadual N° 59113/2013 (µg/m³)
MP10	24 horas	150	120	120
	Anual ¹	50	40	40
SO2	24 horas	365	125	60
	Anual ¹	80	40	40
NO2	1 hora	320	240	260
	Anual ¹	100	50	60

¹ - Média aritmética anual

FONTE: A autora (2023).

Para a CONAMA nº 03/1990 foram utilizados os padrões primários, uma vez que se ultrapassados podem acarretar prejuízos ao meio ambiente, bem estar e saúde pública. Quanto aos valores estabelecidos para CONAMA nº 491/2018 e Decreto Estadual nº 59113/2013, utilizou-se os Padrões de Qualidade do Ar Intermediários PI-1 e Meta Intermediária Etapa 1 – (MI1), respectivamente. Tais concentrações foram estabelecidas a partir das publicações das resoluções, se apresentando como padrões superiores em relação às próximas etapas de controle que exigem valores mais restritos.

Segundo Figueiredo e Filho (2009), a correlação de Pearson consiste em uma análise linear e bivariada que compara a intensidade de relação entre duas

variáveis, tal é amplamente empregada em pesquisas científicas de diferentes áreas. Uma vez que o coeficiente de correlação se encontra entre -1 e 1, interpreta-se que quanto mais próximo de 1, independente do sinal, maior é a força de dependência entre as variantes. Sendo assim, quanto mais perto de zero, menor é esse grau. Para Shimakura (2006) é uma correlação muito fraca quando esta se encontra entre 0 e 0.19, fraca se de 0.2 a 0.39, moderada de 0.4 a 0.59, forte se entre 0.6 e 0.79 e ainda muito forte se entre 0.8 e 1.0.

No presente estudo foi aplicada a correlação de Pearson para indicar se há associação entre as estações de monitoramento do ar no município de Cubatão, ou seja, se a mudança da concentração do poluente em uma determinada área se apresenta coerente com a variabilidade da outra. Desse modo, foi analisada as mudanças da concentração de poluentes do território urbano (estação Centro) em relação ao industrial (Vila Parisi) e próximo ao industrial (Vale do Mogi). Para isso os dados horários foram transformados em médias diárias nas quais aplicou-se a correlação de Pearson, resultando por fim em um índice que representa a intensidade de relação entre as estações.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) foi calculado conforme a equação 1.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{cov(X,Y)}{\sqrt{var(X) \cdot var(Y)}} \quad (1)$$

Onde:

ρ : Coeficiente de correlação de Pearson;

x_i e y_i : Variáveis;

\bar{x} e \bar{y} : Média das variáveis.

Sendo:

- $\rho = 1$, correlação positiva perfeita e direta entre duas variáveis;
- $\rho = -1$, correlação negativa perfeita e inversa entre duas variáveis;
- $1 > \rho \geq 0.8$, correlação muito forte;
- $0.8 > \rho \geq 0.6$, correlação forte;
- $0.6 > \rho \geq 0.4$, correlação moderada;

- $0.4 > \rho \geq 0.2$, correlação fraca;
- $0.2 > \rho \geq 0$, correlação muito fraca.

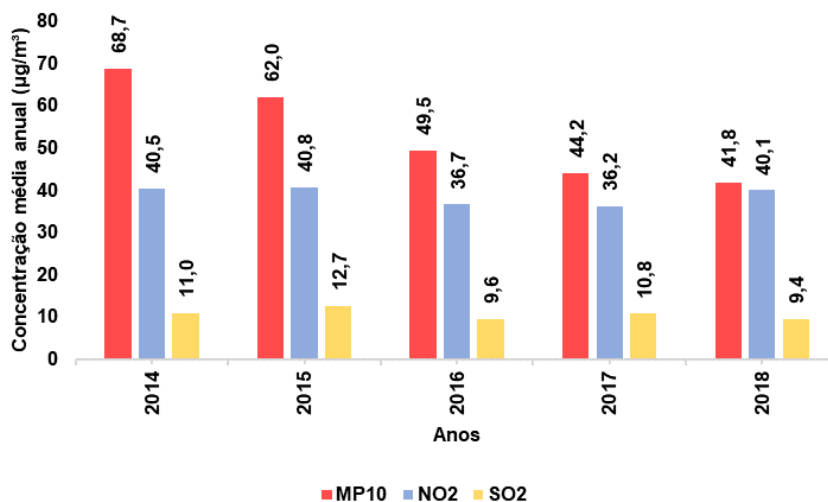
Ao decorrer do período estudado, algumas medições horárias não foram realizadas devido a eventos atípicos que afetaram as estações, tais como: quebra de equipamento, paradas para manutenção, eventos meteorológicos extremos, dentre outros. Sendo assim, para consolidação dos dados foi realizada a transferência dos dados brutos da plataforma QUALAR da CETESB, onde o algoritmo desenvolvido em *Python* selecionou os dados de interesse, descartando os não aplicáveis ao estudo. Na ausência de valores na lista (dados nulos) para a Correlação de Pearson, o algoritmo os desconsiderou para as três estações e atribuiu os valores a uma nova lista.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EVOLUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO ANUAL

Posto que as medidas mitigadoras oriundas dos planos de melhoria da qualidade do ar buscam a redução das emissões atmosféricas, é de suma importância que a concentração de poluentes na atmosfera venha sendo acompanhada para avaliar a eficácia dos planos e delinear projetos que visem melhoria contínua. Na FIGURA 4 pode-se verificar através da média aritmética anual da concentração de MP_{10} , SO_2 e NO_2 , como se apresentou em geral a qualidade do ar Cubatão entre 2014 e 2018.

Nota-se na FIGURA 4 que as partículas inaláveis (MP_{10}) vieram reduzindo gradativamente a sua concentração na atmosfera conforme os anos. Enquanto em 2014 a concentração média anual do poluente se encontrava fora dos padrões estabelecidos pela CONAMA n° 03/1990, CONAMA N° 491/2018 e ainda ao Decreto Estadual N° 59113/2013, em 2016 já se apresentou dentro do padrão da primeira normativa citada e a partir de 2018 próximo ao padrão de $40 \mu\text{m}^3$ estabelecidos nas demais. Não observante, entre 2014 e 2018 apresentou médias anuais de dióxido de enxofre e de dióxido de nitrogênio bem inferiores aos padrões legislados, revelando que apesar de serem encontrados na atmosfera estão sob controle.

FIGURA 4 - MÉDIA ARITMÉTICA DA CONCENTRAÇÃO DE MP₁₀, SO₂ E NO₂ EM CUBATÃO-SP.

Fonte: A autora (2022).

Quando comparadas as médias anuais em relação às legislações, verificou-se que entre os poluentes abordados o MP₁₀ é o mais preocupante em relação aos padrões definidos, no entanto, é o único que vem sendo moderado sucessivamente conforme o passar dos anos. Em vista disso, constatou-se que à medida que foram sendo implantados os planos de controle, ocorreram reduções na concentração das material particulado inferior a 10 micrômetros (MP₁₀).

Segundo Alonso e Godino (1992), o município se tornou um atrativo para indústrias químicas, de refinarias, fertilizantes e siderúrgicas onde seu perfil agrário-exportador passou para de linha industrial, exigindo que fossem implementadas medidas mitigadoras. Os autores ainda relataram que no ano de 1984 o material inalável emitido à atmosfera foi próximo a 144.416 toneladas.

Todavia, SO₂ e NO₂ não se apresentaram com a mesma evolução que o MP₁₀, sendo suas concentrações variáveis para mais ou menos conforme o passar do tempo. Desse modo, verificou-se que as medidas mitigadoras não foram eficazes na redução desses poluentes durante o período analisado. O dióxido de enxofre é um dos principais subprodutos da queima de combustíveis fósseis, adequar-se ao uso de novos combustíveis pode se apresentar como uma oportunidade para melhoria da qualidade do ar no município de Cubatão.

4.2 EVOLUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO POR ESTAÇÃO

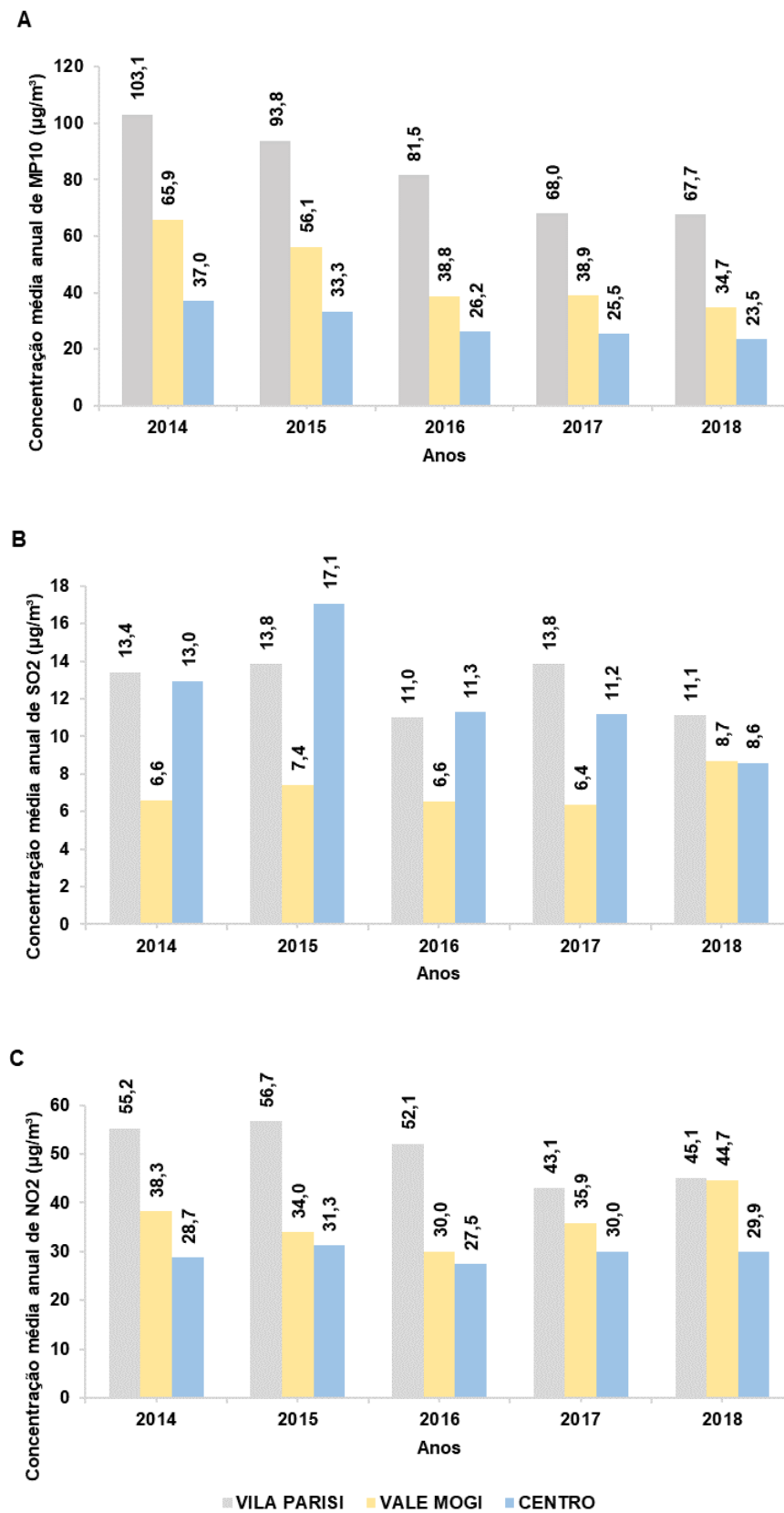
Uma vez que a FIGURA 5-A apresenta a concentração média anual de MP_{10} por estação, é visto que na Vila Parisi foram encontrados os maiores acúmulos de material particulado menor que dez micrômetros. O resultado da análise retratou o esperado, posto que esta estação está operante no polo industrial do município. Já na Vila do Mogi se manifestou como a região com a segunda maior média de MP_{10} , fenômeno que por ser explicado por sua localização na área industrial menos densa, situando-se também a menos a 2,8 km da estação Vila Parisi. Por fim, tem-se a estação Centro, que exibiu a menor concentração de MP_{10} , sendo que representa o território urbano da cidade, é de suma importância para a saúde e bem-estar da população o menor acúmulo de poluentes atmosféricos nesta região.

Para Santana et al. (2020), o MP_{10} é um poluente preocupante para a saúde, principalmente de idosos e crianças que são mais sensíveis ao material particulado 10 micrômetros. Segundo os autores que correlacionam os poluentes atmosféricos com doenças respiratórias em Paranaguá-PR, esse material pode estar associado à elevada quantidade de casos de doenças respiratórias reportadas no município portuário.

A partir das médias anuais verificou-se o decréscimo da quantidade de MP_{10} no ar em todos os pontos da rede de monitoramento, exceto no Vale do Mogi em 2017 que houve um aumento na média de $0,01\mu\text{g}/\text{m}^3$ em relação ao ano anterior. Comparada a concentração de 2014 em relação a 2018, o Vale do Mogi reduziu cerca de 52% de MP_{10} , o Centro de 63% e a Vila Parisi de 65%, essa evolução pode ser explicada pelas medidas de controle que foram sendo implementadas através de planos de ação e exigências legais. Segundo Costa e Sáfadi (2010), o MP_{10} é um dos principais indicadores utilizados para avaliação da qualidade do ar.

Entre 2014 e 2018 na estação Centro, não ocorreram ultrapassagens das médias anuais de MP_{10} comparadas aos padrões legislados. Quanto ao Vale do Mogi, apenas em 2014 e 2015 a concentração média anual se apresentou acima do limite padronizado pela CONAMA 03/1990, CONAMA 491/2018 e ainda pelo Decreto Estadual N° 59113/2013. Já na Vila Parisi, de 2014 a 2018 as médias anuais se encontram acima dos padrões determinados pelas três legislações referidas.

FIGURA 5 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA ANUAL DE MP10, SO2 E NO2 POR ESTAÇÃO DA REDE DE MONITORAMENTO DE CUBATÃO-SP.



FONTE: A autora (2022).

Entretanto, o comportamento entre as três estações foi diferenciado para o dióxido de enxofre (FIGURA 5-B) em relação ao MP_{10} . O gás se mostrou mais abundante na estação Centro e na Vila Parisi, sendo que em alguns casos a região central superou a média do território industrial.

Uma vez que SO_2 é um composto tóxico de origem predominantemente antropogénica, oriundo principalmente da queima de combustíveis, sua presença é mais acentuada em regiões que apresentam trânsito de veículos automotores e que contenham combustão em processos fabris. Sendo assim, a maior concentração de SO_2 nas estações Centro e Vila Parisi pode ser explicada pelo maior fluxo veicular desenvolvido nos locais, já que ao contrário do Vale do Mogi, são regiões que contam com diversas rotas comerciais e urbanas. Torres e Martins (2005), destacam que o efeito nocivo do dióxido de enxofre para a saúde humana é intensificado quando há presença de MP_{10} , havendo necessidade de maior controle em áreas que apresentam ambos poluentes.

O dióxido de enxofre se apresentou oscilante ao decorrer do período para as três estações, onde se faz necessário analisar o comportamento do gás em uma escala de tempo maior para compreender se os planos de controle para esse poluente estão sendo ou não eficazes. Apesar das médias mensais estarem dentro dos padrões estabelecidos pela CONAMA 03/1990, CONAMA 491/2018 e pelo Decreto Estadual N° 59113/2013, às medidas de controle visam melhorar a qualidade do ar e ainda o atendimento aos padrões legislados das fases posteriores do Decreto Estadual N° 59113/2013 e da CONAMA 491/2018. Ações de monitoramento e conscientização a respeito da fumaça de veículos a diesel, podem auxiliar na redução desse gás no perímetro urbano.

O dióxido de nitrogênio (NO_2) é um gás, frequentemente, monitorado devido a sua atuação catalisadora na formação do ozônio, potencialidade de ocasionar chuva ácida e ainda de atingir as regiões periféricas do pulmão uma vez que inalado. Na FIGURA 5-C verificou-se que a concentração média anual foi maior na Vila Parisi, seguido pelo Vale do Mogi e Centro. Todavia, o mesmo comportamento foi observado para MP_{10} , onde o fenômeno pode ser explicado pela proximidade das estações, assim como por estarem operantes na região industrial de Cubatão.

Ao verificar o atendimento às legislações, nota-se que apenas a Vila Parisi expressou concentração anual superior ao padrão de NO_2 de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da CONAMA N° 491/2018. Em suma, tal legislação não era a vigente no período compreendido

entre 2014 e 2016 que apresentou as ultrapassagens, desse modo, as médias anuais comparadas ao decreto estadual e a CONAMA N° 03/1990 se mostraram dentro das legislações vigentes na época. Não observante, assim como visto no gás SO_2 , inexistiu a melhora gradual da concentração média anual de NO_2 na atmosfera, enquanto em alguns anos consecutivos houveram reduções na média anual, outros posteriores apresentaram aumentos.

Posto que a concentração média anual de MP_{10} foi reduzida em todas as estações entre 2014 e 2018, o mesmo não pode ser observado para os gases NO_2 e SO_2 , mostrando que as medidas mitigadoras para redução desses gases, se implantadas, foram ineficazes.

4.3 ATENDIMENTO A CONCENTRAÇÃO DIÁRIA

Uma vez extraídas as concentrações médias diárias dos poluentes investigados, verificou-se a quantidade de ultrapassagens anuais em relação aos padrões da CONAMA N° 03/1990, CONAMA N° 491/2018 e Decreto Estadual N° 59113/2013. Verifica-se na TABELA 3 o número de eventos que excederam os padrões legislados, onde as partículas inaláveis ganharam destaque.

As partículas inaláveis (MP_{10}) acarretam danos à saúde quando inaladas, principalmente por receptores sensíveis (idosos e crianças) e quando combinadas com outros poluentes, como o SO_2 por exemplo. Através do estudo constatou-se que a Vila Parisi é a região que apresentou maior quantidade de ultrapassagens aos padrões legislados abordados, sendo este fenômeno associado às atividades industriais exercidas no território.

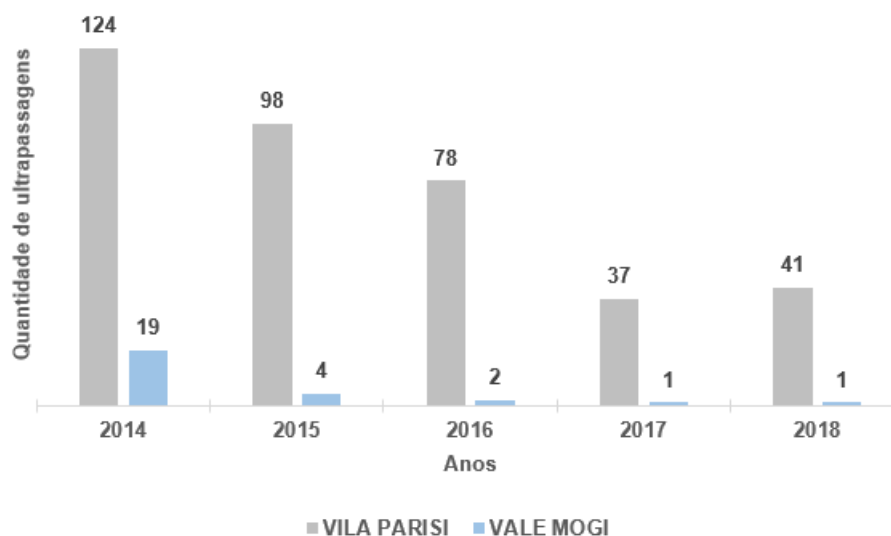
Todavia, foi observada redução na quantidade de extrapolações de 2014 a 2017 em relação ao Decreto Estadual N° 59113/2013, onde no ano de 2018 houve um aumento de aproximadamente 10% em relação ao ano anterior (FIGURA 6). Entretanto, quando comparado 2014 com 2018, nota-se uma diminuição de cerca de 33% na quantidade de ultrapassagem aos padrões diários, indicando que foi sendo limitado gradativamente a quantidade de dias que apresentaram maior concentração de MP_{10} no ar. Para entender o que levou ao aumento na média diária de concentrações limites excedidas em 2018, recomenda-se estudos que foquem nas possíveis causas e se foi um ano atípico em relação à evolução da melhoria da qualidade do ar que vinha sendo expressa.

TABELA 3 - QUANTIDADE DE ULTRAPASSAGENS ANUAIS AOS PADRÕES DIÁRIOS DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR.

Ano	Estação	Poluente	CONAMA N°	CONAMA N°	Decreto	Poluente	CONAMA N°	CONAMA N°	Decreto	Poluente	CONAMA N°	CONAMA N°	Decreto	
			03/1990	491/2018	Estadual N° 59113/2013		03/1990	491/2018	Estadual N° 59113/2013		03/1990	491/2018	Estadual N° 59113/2013	
			Quantidade de ultrapassagens				Quantidade de ultrapassagens				Quantidade de ultrapassagens			
2014	CENTRO	MP10	0	0	0	SO2	0	0	0	NO2	0	1	0	
2015			0	0	0		1	1	2		0	0	0	
2016			0	0	0		0	0	0		0	0	0	0
2017			0	0	0		0	0	0		1	0	0	0
2018			0	0	0		0	0	0		0	0	0	0
2014	VALE MOGI		7	19	19		0	0	0		0	0	1	1
2015			1	4	4		0	0	0		0	0	0	0
2016			0	2	2		0	0	0		0	0	0	0
2017			0	1	1		0	0	0		0	0	0	0
2018			0	1	1		0	0	0		0	0	0	0
2014	VILA PARISI		65	124	124		0	0	4		0	1	0	
2015			49	98	98		0	0	5		0	0	0	
2016			42	78	78		0	0	4		0	0	0	
2017			12	37	37		0	0	3		0	0	0	
2018			12	41	41		0	0	0		0	1	1	

FONTE: A autora (2022).

FIGURA 6 - QUANTIDADE DE ULTRAPASSAGENS MÉDIAS DIÁRIAS DE MP₁₀ POR ANO EM CUBATÃO.



FONTE: A autora (2022).

Além disso, verificou-se resultados positivos da ação oriundas dos planos de controle da poluição do ar em Cubatão através do Vale do Mogi. Uma vez que avaliada a quantidade de 2014 e 2018, se tem uma redução de aproximadamente 95% de ultrapassagens diárias em relação aos padrões estabelecidos pelo Decreto Estadual N° 59113/2013 já vigente na época. Tal evolução, assim como a da Vila Parisi, mostra quão essenciais são estes planos para melhoria da qualidade do ar, assim como a eficácia da implantação de tecnologias para redução das emissões em fontes fixas e móveis.

Em suma, a estação Centro não extrapolou os padrões legislados em relação à média diária máxima de MP₁₀ do período avaliado, comportamento de importante relevância visto que a exposição a esse poluente pode acarretar maior incidência de problemas respiratórios nos habitantes do município, uma vez que é justamente nesse território que encontra-se a maior concentração populacional do município.

Em relação ao dióxido de enxofre, foram constatadas 19 ultrapassagens de 2014 a 2018 em relação ao Decreto Estadual N° 59113/2013 que estabelece que a concentração média diária do poluente não ultrapasse 40 µg/m³. Contudo, só na Vila Parisi ocorreram 16 casos desse total, sendo os três resultantes do monitoramento da estação Centro. Tais excessos reafirmam o comportamento de maior acúmulo de SO₂ na atmosfera ao redor das estações VP e C que já foram discutidos em outras correlações. Todavia, ambas estações da rede de monitoramento diminuíram os

casos de ultrapassagens a partir do ano de 2015. Portanto, apesar da ausência de evolução gradual da concentração anual, a redução da quantidade de excedentes foi um avanço no que se diz respeito à potencialidade de ocorrerem episódios agudos de poluição que podem interferir na saúde da população.

Se considerada a CONAMA n° 491/2018 que estabelece como padrão concentrações horárias inferiores a $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para dióxido de nitrogênio, ao decorrer do período avaliado foram extrapolados quatro vezes o limite, sendo dois na Vila Parisi, um na Vila do Mogi e outro no Centro. Esse episódio de ultrapassagem aconteceu em 2014 para todas as estações, enquanto em 2018 a Vila Parisi apresentou mais uma. Contudo, a Conama referida não era a vigente à época, levando assim a apenas duas ultrapassagens em relação ao decreto estadual, sendo uma apresentada em 2014 no Vale do Mogi e outra em 2018 em Vila Parisi.

4.4 CORRELAÇÃO ENTRE AS ESTAÇÕES

Com o processamento das médias diárias foi aplicada a correlação de Pearson entre as três estações da rede de monitoramento do ar de Cubatão, onde os coeficientes ρ são apresentados na TABELA 4.

TABELA 4 - CORRELAÇÃO DE PEARSON POR POLUENTE E ESTAÇÃO DA REDE DE MONITORAMENTO DE CUBATÃO.

	ρ (MP10)	Correlação	ρ (SO2)	Correlação	ρ (NO2)	Correlação
VM X C	0,780	Forte	0,090	Muito fraca	0,573	Moderada
VM X VP	0,636	Forte	0,148	Muito fraca	0,427	Moderada
C X VP	0,719	Forte	0,325	Fraca	0,626	Forte

FONTE: A autora (2022).

Os coeficientes mostraram correlações que variam de fortes a muito fracas. As partículas inaláveis de 10 micrômetros resultaram em correlações fortes quando comparadas às estações, isto é, conforme o MP_{10} fosse alterado na região que se encontra alguma estação operante, outra região tinha forte chance de apresentar o mesmo comportamento. Em suma, apesar das três estações terem forte correlação entre elas, a do Vale do Mogi e Centro se mostraram ainda mais fortes ao serem comparadas com a de VM com VP e ainda C com VP. Esse fato pode ser explicado

pela dispersão do MP_{10} no ar, uma vez que após o lançamento o material pode permanecer próximo ao local de emissão, assim como pode ser carreado para outros locais através do vento e ainda de outros fenômenos meteorológicos.

As variações climáticas de uma dada localidade podem apropriar o acúmulo ou dispersão de gases e partículas poluentes (MONTEIRO, 1976). Segundo Luvsan (2012), a poluição atmosférica pode ser modificada por diferentes agentes, sendo que os principais são: as fontes, o grau da perturbação e ainda as condições climáticas. Em um trabalho realizado em Shangai, na China, Xue et al. (2015) detectaram a existência de uma relação entre o clima e o acúmulo de poluentes na atmosfera, onde foi observada maior concentração de poluentes em condições de baixas velocidades de vento.

Para o dióxido de enxofre, as correlações variaram de muito fracas a fraca, onde VM com C e ainda VM com CP foram classificadas como muito fracas, enquanto a estação Centro em relação a Vila Parisi, expressou uma associação fraca. Todavia, apesar das fracas correlações, a estação Centro e a da Vila Parisi mostraram maior relação entre si, onde o fenômeno pode estar associado às operações fabris e a intensa frota veicular ocasionada para atendimento da demanda industrial.

Uma vez que correlacionado o gás NO_2 , a classificação de Pearson se mostrou moderada ao comparar o VM com VP e o Centro com o Vale do Mogi. Contudo, o dióxido de nitrogênio expressou forte associação entre a estação Centro e Vila Parisi, apesar de diferente classificação, o comportamento de maior relação entre essas duas estações foi o mesmo apresentado anteriormente para o dióxido de enxofre, reforçando que a concentração dos gases nestas estações pode estar associadas às atividades antrópicas e de queima de combustíveis fósseis realizadas nas regiões.

Todavia, a partir das correlações entre as estações da rede de monitoramento da qualidade do ar da CETESB se verificou relações fortes ou moderadas em 66,7% dos casos. Ou seja, uma região ou tipo de atividade tem o potencial de piorar a qualidade nas demais, onde se faz necessário estudos de modelagem de dispersão dos poluentes para compreender melhor essa dinâmica.

O estudo de Nicodemos *et al.* (2009) feito em Uberlândia (Minas Gerais), demonstrou forte correlação entre as partículas inaláveis MP_{10} e umidade do ar, enquanto a relação das mesmas com a precipitação se apresentou fraca. Os autores

constatarem que no inverno foram encontradas maiores concentrações das partículas devido ao período de estiagem em que as condições de dispersão se encontram desvantajosas.

Em suma, durante todo o período avaliado foram encontradas as seguintes concentrações máximas: média diária de 342 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} em Julho de 2014 na Vila Parisi; média diária 1260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de SO_2 em Janeiro de 2015 na estação Centro; e concentração horária de 278, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 na Vila Parisi em Setembro de 2018.

5 CONCLUSÃO

Com o presente estudo foi possível verificar a melhoria da qualidade do ar em Cubatão para MP_{10} entre os anos 2014 e 2018. Tal conquista se deve à necessidade de atender às legislações pertinentes, assim como aos planos de controle estabelecidos para redução das concentrações. A diminuição da concentração das partículas inaláveis no ar é de suma importância para o meio ambiente, bem-estar e saúde da população (SALDIVA et al. 2002).

Entretanto, para SO_2 e NO_2 a evolução não se apresentou gradativa, levando a questionar a eficácia dos planos de controle da época. De fato o MP_{10} é o poluente mais alarmante no município, uma vez que apresenta diversas extrapolações às legislações e potencial para absorção do SO_2 e/ou NO_2 que podem acarretar efeitos ainda mais nocivos à saúde pública. Apesar da média anual de SO_2 não apresentar evolução constante, a redução da quantidade de ultrapassagens aos padrões de qualidade do ar pode ser vista como um progresso. Todavia, para atenuar as concentrações de ambos os gases, recomenda-se a implantação de planos de controle diretamente na fonte de emissão, isto é, em veículos automotores e alguns processos fabris.

Uma vez que comparado o território urbano ao industrial, observou-se que as partículas inaláveis se mostraram mais presentes no território industrial Vila Parisi e Vale do Mogi quando comparadas com o Centro, tal resultado é comumente apresentado em diferentes estudos a respeito da concentração de poluentes no ar em regiões com características econômicas similares.

Todavia, os resultados se apresentaram satisfatórios e com comportamentos similares a literatura. Para trabalhos futuros, recomenda-se a aplicação de técnicas de preenchimento dos dados faltantes para maior precisão nas análises, assim

como a correlação entre a concentração dos poluentes na atmosfera e as variáveis meteorológicas, sendo também interessante a aplicação modelos de dispersão dos poluentes atmosféricos para melhor entendimento desta dinâmica.

REFERÊNCIAS

ALONSO, C.D. & GODINHO, R. 1992. A evolução da qualidade do ar em Cubatão. **Química Nova** 15:126-136.

ARBEX, M. A. et al. A poluição do ar e o sistema respiratório. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**. p. 643-655, 2012.

ÁVILA, I.; CRNKOVIC, P. M.; MILIOLI, F. E. Estudo termogravimétrico do efeito da temperatura e da atmosfera na absorção de dióxido de enxofre por calcário. **Química Nova**, v. 29, n. 6, p. 1244-1249, 2006.

ÁLVARES JR., O.M.; LACAVA, C.I.V.; FERNANDES, P.S. 2002. Tecnologias e gestão ambiental – Emissões atmosféricas. Brasília, **Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial** (SENAI). 373 p, 2002.

BAILEY, D; SOLOMON, G. Pollution prevention at ports: clearing the air. **Environmental Impact Assessment Review**, p. 749-774, 2004.

BITAR, O.Y & ORTEGA, R.D. Gestão Ambiental. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo: **Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE)**, 1998. cap. 32, p.499-508.

BRAGA, A. et al. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, n. 51, p. 58-71, São Paulo, 2001.

BRAGA, B. et al. Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável. v. 1, n. 2, 2005.

BRANCO, S. M.; MURGEL, E. **Poluição do ar**. v. 1, n. 2, p. 23-30, 2010.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília: **Congresso Nacional**, 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 491 de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. **Diário oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 19 nov 2018.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº03, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. **Diário Oficial da União**, de 22 de ago de 1990.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº05 de 15 de junho de 1989. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar (PRONAR). **Diário Oficial da União**, Seção I, Pág. 15.048, 30 ago 1989.

CANÇADO, J. E. D., BRAGA, A., PEREIRA, L. A. A., ARBEX, M. A., SALDIVA, P. H. N., SANTOS, U. P. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 32, p. 5-11, 2006.

CERATTI, A. M., ALVES, D. D., MEINCKE, L., RABELO, F. L., & OSÓRIO, D. M. M. (2018). Relação do monitoramento atmosférico de NO₂, CO e O₃ obtidos pela estação de monitoramento automática da qualidade do ar da Universidade Feevale/RS com variáveis meteorológicas. **Revista Conhecimento Online**, 3, 57-78.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo Série de Relatórios: Qualidade do ar no estado de São Paulo. **São Paulo**, (2019). 19-20 p.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo 2010. Série Relatórios. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, **São Paulo**, 2011.

CETESB. Qualidade do ar no Estado de São Paulo 1985. São Paulo, 1986a. (Série Relatórios). Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/ar/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: 30 jul. 2022.

DA COSTA, Franciella Marques; SÁFADI, Thelma. Comparação Estatística De Duas Séries De Material Particulado (MP₁₀) Na Cidade de São Paulo. **Rev. Bras. Biom**, v. 28, n. 3, p. 23-38, 2010.

DAPPER, S.N.; SPOHR, C.; ZANINI, R.R. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v.30, n.86, p.83-97, 2016.

FIGUEIREDO DBF F., SILVA JA JR. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**. 2009;18(1):115-46.

GOMES, J. Poluição Atmosférica – Um manual Universitário. 2. ed. **Publindústria**, Edições Técnicas, Ltda. 2010.

GUTBERLET, J. Cubatão: Desenvolvimento, Exclusão Social e Degradação Ambiental. **Editora da Universidade de São Paulo**, Fapesp, 244p, 1996.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2022.

KAMPA, M.; CASTANAS, E. Human health effects of air pollution. **Science Direct**. v.151, p.362-367, 2008.

LYRA, G. B. Modelos lineares aplicados à estimativa da concentração do material particulado (PM10) na cidade do Rio de Janeiro, RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n. 3, v. 26, p.392 - 400, 2011.

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

LORA, E. E. S. Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte. 2. Ed. Rio de Janeiro: **Interciência**, 2002.

LUVSAN, M-E., SHIE, R-H., PUREVDORJ, T., BADARCH, L., BALDORJ, B., CHAN, C-C. The Influence of Emission Sources and Meteorological Conditions on SO₂ Pollution in Mongolia. **Atmospheric Environment**, v. 61, p. 542-549, 2012.

MARTINS, E. M.; FORTES, J. D. N.; RIBEIRO, G. P. ; PEREIRA, M. F.M. Utilização de Sistema de Informação Geográfica como ferramenta para gestão do monitoramento da qualidade do ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Engenharia Sanitária Ambiental**, ed. especial, 2014, p. 43-49. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v19nspe/1413-4152-esa-19-spe-0043.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2022.

MEINCKE, L. Avaliação Integrada da Qualidade do Ar utilizando biomonitoramento ativo (Loluim Multiflorum) e aerossóis atmosféricos para a determinação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e metais em áreas urbanas e semiurbanas da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS. 131p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental) - **Universidade Feevale**, Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, 2018.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2007. 35-37p.

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano. São Paulo: **Universidade de São Paulo (USP)**, 1976.

NAOUM, Paulo Cesar; MOURÃO, Celso Abbade; RUIZ, Milton Artur. Alterações hematológicas induzidas por poluição industrial em moradores e industriários de Cubatão, SP (Brasil). **Revista de saúde pública**, v. 18, p. 271-277, 1984.

NICODEMOS, R. M.; JESUS, A. R. DE; FOUTOURA, R. S.; BARROZO, M. A. S. (2009) Estudo da relação entre variáveis meteorológicas e concentração de MP10 no centro da cidade de Uberlândia - MG. In: VIII **Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**, 2009, Uberlândia. Anais. Uberlândia, 2009, 8 p.

PHILIPPI JÚNIOR, A.; ROMERO, M. A.; BRUNA, G. C. (Ed.). Curso de gestão ambiental. Barueri,: **Manole**, 2004.

RÉQUIA, W. J.; ROIG, H. L. Avaliação espacial entre poluição do ar e saúde em áreas com limitação de dados. BCG - Boletim de Ciências Geodésicas, Brasília, v. 22, n. 4, p. 807-812, out./dez. 2016. Brasília: **Universidade de Brasília**, Instituto de Geociências. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1590/S198221702016000400046>>.

RODOPOULOU, S., SAMOLI, E., CHALBOT, M-C. G., KAVOURAS, I. G. (2015) Air pollution and cardiovascular and respiratory emergency visits in Central Arkansas: A time-series analysis. **Science of the Total Environment**, 536, 872-879. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.056>

SALDIVA, P. H. N.; BRAGA, A. L. F.; PEREIRA, L. A. A. Health effects of ambient levels of air pollution. Population and environment in Brazil: Rio +10. Campinas: Comissão Nacional de População e Desenvolvimento/Associação Brasileira de estudos Populacionais/Núcleo de Estudos de População, **Universidade Estadual de Campinas**; p. 207224, 2002.

SAN MARTIN, M. C. Condições atuais das emissões dos poluentes atmosféricos durante a quarentena da Covid-19 e as perspectivas futuras. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, v. 2, n. 5, p. 85-96, 2020.

SANTANA, G. P., MOREIRA, V. S., & ARMANI, F. A. S. (2020). Poluição atmosférica e doenças respiratórias: um estudo de caso em Paranaguá, Paraná. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, 11(5), 352-361.

SÃO PAULO. Decreto no 8.468, de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei n.º 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. **Casa Civil**, São Paulo, SP, 1976.

SÃO PAULO. Decreto Estadual n.º 59.113 de 23 de abril de 2013, Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, v. 132.

SHIMAKURA, Sílvia E. Estatística II-regressão. Laboratório de Estatística e Geoinformação. **Departamento de Estatística da UFPR**, Curitiba, 2006.

SIQUEIRA NETO, Marcos et al. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 63-76, 2011.

SOUZA, P. A. F.; FRANCISCO, K. C. A.; CARDOSO, A. A. Desenvolvimento de amostrador passivo sensível para monitoramento de poluição atmosférica por dióxido de nitrogênio. **Química Nova**, v. 40, n. 10, p. 1233-1237, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170117>.

TORRES, F. T. P.; MARTINS, L. A. Fatores que influenciam na concentração do material particulado inalável na cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos da geografia**. p. 23 - 39, 2005.

XUE, D.; LI, C.; LIU, Q. Visibility characteristics and the impacts of air pollutants and meteorological conditions over Shanghai, China. **Environmental Monitoring and Assessment**, 187:363, p. 1-10, 2015.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. **World Health Organization**, 2016.

Disponível em: <<http://who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>>.
Acesso em: 20 mar. 2022.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for air quality. **Geneva**, 1999.