

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Daiane Luiza Schwarz

**Risco associado às emissões veiculares e industriais no município de Jaraguá do Sul/SC**

Florianópolis

2022

Daiane Luiza Schwarz

**Risco associado às emissões veiculares e industriais no município de Jaraguá do Sul/SC**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.  
Orientador: Prof. Leonardo Hoinaski, Dr.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Schwarz, Daiane

Risco associado às emissões veiculares e industriais no  
município de Jaraguá do Sul/SC / Daiane Schwarz ;  
orientador, Leonardo Hoinaski, 2022.

75 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental,  
Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Poluição  
atmosférica. 3. Avaliação de risco. 4. Doenças  
cardiorrespiratórias. 5. AERMOD. I. Hoinaski, Leonardo .  
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Daiane Luiza Schwarz

**Risco associado às emissões veiculares e industriais no município de Jaraguá do Sul/SC**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Florianópolis, 09 de setembro de 2022.

---

Prof<sup>a</sup>. Maria Elisa Magri, Dr<sup>a</sup>.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Leonardo Hoinaski, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

---

Prof.(a) Maria Elisa Magri, Dr.(a)  
Avaliador(a)  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

---

Prof. Pedro Borges Chaffe, Dr.  
Avaliador(a)  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Dedico este trabalho a minha família e amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho foi concluído graças a cada pessoa que tive a felicidade de cruzar o caminho ao longo destes seis anos.

Agradeço a minha mãe, Jussara, que desde sempre se dedicou para que eu pudesse ter tudo que estivesse ao meu alcance. Agradeço ao meu tio, Jackson, por sempre investir em mim e nos meus estudos, me incentivando a sempre aumentar meus conhecimentos e vivências.

Agradeço a minhas amigas a Evelin e Lidiane que por uma graça do destino estão comigo nesta jornada desde 2012. Ter vocês diariamente na UFSC me traziam o conforto de casa, serei sempre grata pela companhia, pelas palavras de afeto e obviamente, pelas inúmeras risadas.

Agradeço também as amigas que a UFSC me proporcionou, em especial Clarice e Natalia, não poderia pedir pessoas melhores para dividir o caos, os pânico e os desesperos. O nosso clube das winxs trazia cor e alegria para os meus dias. Ainda, agradeço a todos aqueles que tive a oportunidade de conhecer, estudar junto, fazer trabalhos, cada um que teve participação na conclusão do curso.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina e a todos que diariamente trazem vida a universidade e contribuem para que ela seja uma das melhores do país. Agradeço a cada professor que se preocupou em passar seus conhecimentos, com toda sua dedicação e cuidado para bom aprendizado. Em especial aos professores do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e do Centro Tecnológico.

Agradeço ao professor Leonardo Hoinaski pela orientação e pela paciência durante este período. Cada reunião e cada comentário contribuíram para o resultado deste trabalho. Muito obrigada pelo direcionamento e incentivo no meu TCC.

Agradeço aos membros da banca examinadora, professora Maria Elisa Magri e professor Pedro Borges Chaffe; obrigada pelas contribuições ao meu trabalho e por terem aceitado o convite de participar da minha avaliação.

## RESUMO

Atualmente, cerca de 91% da população mundial vive em locais onde a qualidade do ar encontra-se fora dos limites definidos pela OMS, o qual está vinculado à incidência de inúmeras doenças cardiovasculares e respiratórias. Emissões industriais e veiculares são duas fontes responsáveis pela alteração da qualidade do ar. A cidade de Jaraguá do Sul conta com 14 indústrias de alto potencial poluidor, tendo como principais poluentes emitidos  $MP_{10}$  e  $NO_2$ , poluentes estes que também são emitidos por fontes veiculares, influenciando nas concentrações da região. O monitoramento da qualidade do ar no município é inexistente, sendo assim, pouco se sabe sobre os efeitos da poluição atmosférica na saúde da população Jaraguense. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o impacto na saúde de crianças menores de 5 anos e idosos acima de 60 anos devido às emissões industriais e veiculares de dióxido de nitrogênio e material particulado no município de Jaraguá do Sul entre os anos de 2018 e 2019. A estimativa do impacto das emissões na qualidade do ar foi realizada através do modelo AERMOD. O risco à saúde foi analisado para dois grupos de doenças, doenças do aparelho respiratório, e doenças do aparelho circulatório, visto que ambas possuem relação com a inalação de  $MP_{10}$  e  $NO_2$ . O número de internações hospitalares para cada capítulo foi retirado da base de dados do Sistema Nacional de Saúde (DataSUS). A partir da aplicação do método de Regressão de Poisson sobre ambas as variáveis, concentração dos poluentes e número de internações hospitalares, foi possível determinar o Risco Relativo (RR) referente a cada grupo avaliado. Os resultados mostraram que o valor máximo das concentrações de  $MP_{10}$  para o tempo médio de 24h foi de  $319,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e para o  $NO_2$  para o tempo de média de 1h  $5,048 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ambos superando o valor máximo estabelecido pela legislação. Dentre os pontos avaliados para  $NO_2$ , 3 apresentam um risco para população exposta às concentrações médias do poluente. O grupo que apresentou o maior risco foram pessoas com idade acima de 60 anos para doenças cardiovasculares, que indica que com o aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  da concentração de  $NO_2$ , as chances de internação aumentam entre 2,07% e 4,56%. O estudo apontou que as piores localidades em relação à qualidade do ar estão próximas às fontes industriais, dentro de um raio de até 500 metros. O estudo demonstrou que a qualidade do ar do município é afetada principalmente pelas indústrias e consequências são observadas na saúde de populações vulneráveis. Sendo assim, levantam-se questionamentos que podem guiar futuros investimentos no controle da qualidade do ar do município, para melhor auxiliar na compreensão dos impactos gerados.

**Palavras-chave:** Poluição atmosférica. Doenças cardiorrespiratórias. AERMOD. Avaliação de risco.

## ABSTRACT

Currently, about 91% of the world's population lives in places where the air quality is outside the limits defined by the WHO, which is linked to the incidence of numerous cardiovascular and respiratory diseases. Industrial and vehicular emissions are two sources responsible for changing air quality. The city of Jaraguá do Sul has 14 industries with high polluting potential, with the main pollutants emitted PM10 and NO<sub>2</sub>, pollutants that are also emitted by vehicular sources, influencing the concentrations in the region. The monitoring of air quality in the city is non-existent, therefore, little is known about the effects of air pollution on the health of the population of Jaragua. In this way, the present work aims to evaluate the impact on the health of children under 5 years old and elderly people over 60 years old due to industrial and vehicular emissions of nitrogen dioxide and particulate matter in the municipality of Jaraguá do Sul between the years 2018 and 2019. The estimation of the impact of emissions on air quality was performed using the AERMOD model. The health risk was analyzed for two groups of diseases, diseases of the respiratory system, and diseases of the circulatory system, since both are related to the inhalation of PM10 and NO<sub>2</sub>. The number of hospital admissions for each chapter was taken from the National Health System (DataSUS) database. From the application of the Poisson Regression method on both variables, concentration of pollutants and number of hospital admissions, it was possible to determine the Relative Risk (RR) for each evaluated group. The results showed that the maximum value of PM10 concentrations for the average time of 24h was 319.90 µg/m<sup>3</sup> and for NO<sub>2</sub> for the average time of 1h 5,048 µg/m<sup>3</sup>, both exceeding the maximum value established by legislation. Among the points evaluated for NO<sub>2</sub>, 3 present a risk for the population exposed to the average concentrations of the pollutant. The group that presented the highest risk were people over 60 years of age for cardiovascular diseases, which indicates that with an increase of 10 µg/m<sup>3</sup> in the concentration of NO<sub>2</sub>, the chances of hospitalization increase between 2.07% and 4.56% . The study pointed out that the worst locations in terms of air quality are close to industrial sources, within a radius of up to 500 meters. The study showed that the city's air quality is mainly affected by industries and consequences are observed in the health of vulnerable populations. Therefore, questions arise that can guide future investments in the control of the city's air quality, to better assist in the understanding of the impacts generated.

**Keywords:** Air pollution. Cardiorespiratory diseases. AERMOD. Risk assessment.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do município. ....	33
Figura 2 - Tipos de poluentes emitidos pelas indústrias de Jaraguá do Sul. ....	35
Figura 3 - Disposição das vias urbanas e sua representação como fontes pontuais de emissão de poluentes. ....	36
Figura 4 - Fluxo de dados para modelização com AERMOD.....	38
Figura 5 - Gráfico de barras comparando as emissões das indústrias e veiculares. ....	44
Figura 6 - Distribuição das emissões industriais de Jaraguá do Sul por setor.....	45
Figura 7 - Pluma de dispersão do poluente NO <sub>2</sub> para o (A) cenário 1 com altura de chaminé de 10m (B) cenário 2 com altura de chaminé de 20m e (C) cenário 3 com chaminé de 50m, para o padrão final de 1 hora e para o poluente MP10 com padrão final de 24 horas para o (D) cenário 1, (E) cenário 2 e (F) cenário 3. ....	48
Figura 8 - Pluma de dispersão do poluente NO <sub>2</sub> para o (a) cenário 1 para o padrão final anual e para o poluente MP10 para o (b) cenário 1 para o padrão final anual. ....	50
Figura 9 - Número de violações do padrão final para o poluente NO <sub>2</sub> . ....	54
Figura 10 - Médias anuais das concentrações nos pontos críticos 1 a 4 referentes ao poluente NO <sub>2</sub> . ....	56
Figura 11 - Médias anuais das concentrações no ponto crítico 5 referentes ao poluente MP <sub>10</sub> . ....	57
Figura 12 - Valores de beta, erro padrão e risco relativo para os três grupos de risco avaliados. ....	58
Figura 13 - Valores de Risco Relativo e N° de famílias beneficiadas pelo programa Bolsa Família /1.000 hab. ....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de referência de concentração permitidos pela CONAMA nº 491/2018...	31
Tabela 2 - Níveis de atenção, alerta e emergência para NO <sub>2</sub> e MP <sub>10</sub> de acordo com a resolução CONAMA 491. ....	31
Tabela 3 - Classificação das indústrias de Jaraguá do Sul de acordo com a resolução CONSEMA 98/2017. ....	34
Tabela 4 - Número de fontes veiculares e respectiva taxa de emissão. <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Tabela 5 - Porcentagem de cada tipo de uso do solo por quartil da área de estudo. ....	39
Tabela 6 - Comparação das três alturas de chaminés e seus impactos sobre o número de pontos e quantidade de violações. ....	49
Tabela 7 - Informação dos pontos com maior concentração registrada no domínio de estudo para o poluente NO <sub>x</sub> e MP <sub>10</sub> .....	52
Tabela 8 - Localização dos pontos críticos para ambos os poluentes MP <sub>10</sub> e NO <sub>2</sub> . ....	53
Tabela 9 - Dados de população, número de violações e número de internações por grupo de risco, para cada bairro que contém um ponto crítico.....	55
Tabela 10 - Valores de beta, risco e erro padrão para o grupo de risco R60.....	75
Tabela 11 - Valores de beta, risco e erro padrão para o grupo de risco C60.....	75
Tabela 12 - Valores de beta, risco e erro padrão para o grupo de risco R5.....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- C60 Doenças cardiovasculares em pessoas de idade > 60 anos
- CO Monóxido de Carbono
- CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CPTEC Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
- EP Erro Padrão
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- LCQAR Laboratório de Controle da Qualidade do Ar
- MMA Ministério do Meio Ambiente
- MP Material Particulado
- MP<sub>10</sub> Material Particulado com diâmetro entre 2.5µm e 10µm
- MP<sub>2,5</sub> Material Particulado com diâmetro menor que 2.5 µm
- NO<sub>2</sub> Dióxido de Nitrogênio
- NOAA/ESRL National Oceanic and Atmospheric Administration - Earth System Research Laboratory
- NO<sub>x</sub> Óxidos de Nitrogênio
- OMS Organização Mundial da Saúde
- R05 Doenças respiratórias em crianças de idade < 5 anos
- R60 Doenças respiratórias em pessoas de idade < 60 anos
- RR Risco Relativo
- SO<sub>2</sub> Dióxido de Enxofre
- USEPA United States Environmental Protection Agency
- USGS Serviço Geológico dos Estados Unidos
- UTM Universal Transversa de Mercator

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	OBJETIVOS .....	16
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>16</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRAFICA .....</b>	<b>17</b>
2.1	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA .....	17
<b>2.1.1</b>	<b>Emissões industriais .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Emissões veiculares.....</b>	<b>20</b>
2.2	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E SAÚDE .....	22
2.3	LEGISLAÇÃO .....	29
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
3.1	LOCAL DE ESTUDO .....	33
3.2	FONTES EMISSORAS .....	34
<b>3.2.1</b>	<b>Fontes industriais.....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Fontes veiculares.....</b>	<b>36</b>
3.3	MODELAGEM COM AERMOD .....	37
<b>3.3.1</b>	<b>Meteorologia de superfície e sondagens atmosféricas. ....</b>	<b>38</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Topografia e grade de receptores.....</b>	<b>40</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Cenários de modelagem .....</b>	<b>41</b>
3.4	DADOS DE SAÚDE DO DATASUS.....	42
3.5	ESTIMATIVA DO RISCO RELATIVO .....	42
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>44</b>
4.1	PRINCIPAIS EMISSORES DE POLUENTES .....	44
4.2	AVALIAÇÃO O IMPACTO NA QUALIDADE DO AR CAUSADO PELAS EMISSÕES INDUSTRIAIS E VEICULARES .....	46
<b>4.2.1</b>	<b>Plumas de dispersão .....</b>	<b>46</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Identificação dos pontos críticos .....</b>	<b>52</b>

4.3	AVALIAÇÃO O RISCO ASSOCIADO ÀS INTERNAÇÕES HOSPITALARES EM FUNÇÃO DA EXPOSIÇÃO AOS POLUENTES MP10 E NO2.....	57
5	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>62</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>64</b>
	<b>ANEXO A – FONTES DE EMISSÃO .....</b>	<b>70</b>
	<b>ANEXO B – MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO. ....</b>	<b>72</b>
	<b>ANEXO C - VALORES DE ALBEDO, RAZÃO DE BOWEN E RUGOSIDADE, DETERMINADOS PARA A ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>73</b>
	<b>ANEXO D – MAPA HIPSOMÉTRICO DO MUNICÍPIO DE JARAGUÁ DO SUL E LOCALIZAÇÃO DAS INDÚSTRIAS ABORDADAS NO ESTUDO.</b>	<b>74</b>
	<b>ANEXO E – VALORES DE BETA, ERRO PADRÃO E RISCO RELATIVO PARA OS TRÊS GRUPOS DE RISCO AVALIADOS. ....</b>	<b>75</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, cerca de 91% da população mundial vive em locais onde os padrões de qualidade do ar ultrapassam os limites definidos pela Organização Mundial da Saúde, sendo os países de baixa e média renda os que mais sofrem com essas exposições (WHO, 2021a). Com o crescimento populacional, as altas densidades em áreas urbanas predisõem um maior número de pessoas ao risco de desenvolvimento de sintomas relacionados a doenças cardiopulmonares (WHO, 2006).

Os efeitos da má qualidade do ar são mais observados nas populações vulneráveis, crianças, idosos e pessoas que já possuem doenças respiratórias (BRASIL, 2016). Zonas industriais possuem influência direta na qualidade do ar do seu entorno, podendo afetar a saúde e bem-estar da população vizinha com o aumento das concentrações de poluentes atmosféricos (Gomes, 2020)

Os óxidos de nitrogênio são emitidos durante a combustão de combustível de instalações industriais e do setor de transporte rodoviário, e o material particulado é emitido por muitas fontes antropogênicas, incluindo fontes de combustão e não combustão. (EEA, 2021). Ambos os poluentes quando inalados geram problemas no sistema respiratório, sendo o MP relacionado à morte prematura em pessoas com problemas cardíacos e/ou pulmonares (ARBEX et al., 2012).

Poluentes atmosféricos geralmente são quantificados por meio de monitoramento realizado por órgãos estaduais de controle ambiental, no entanto, esse monitoramento não se encontra disponível na totalidade do território brasileiro. Assim, com a estimativa de dados por meio de modelagem matemática, como através do modelo AERMOD *Modeling System*, esse problema pode ser contornado.

Segundo a *United States Environmental Protection Agency* (2021), o modelo AERMOD é definido como um modelo estacionário de análise de dispersão, e pode ser utilizado como ferramenta para estimativa de concentração de poluentes. Seus dados de saída possibilitam a identificação de regiões críticas em relação à qualidade do ar, através da comparação destes com os valores máximos permitidos pela legislação vigente.

Jaraguá do Sul, município localizado no estado de Santa Catarina, no ano de 2021, contava com uma população de 184.579 habitantes e uma densidade demográfica de 270 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2021). Dentre as principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos, indústrias e veículos automotores, destaca-se que a cidade possui a

quinta maior concentração de indústrias do estado, contando com 14 indústrias de grande potencial poluidor (HOINASKI, 2019). Já em relação a sua frota de veículos, a cidade possui 5 carros a cada 7 habitantes (IBGE, 2020).

A rotina da população da cidade de Jaraguá do Sul é diretamente afetada pelas indústrias da região e os motivos são variados. Um deles é a grande parte da população ativa empregada no setor, pelos horários de maior fluxo de automóveis durante os horários de entrada e saída de fábrica, ou ainda pelos odores gerados por elas. Poder identificar quais outras possíveis consequências de ser o sexto município mais industrial do estado foi o que motivou a presente pesquisa.

Sendo assim, este trabalho visa avaliar o risco em relação à saúde da população de crianças e idosos devido às emissões industriais e veiculares na cidade de Jaraguá do Sul, através da análise da influência das emissões atmosféricas nas internações por doenças cardiorrespiratórias em função da exposição aos poluentes  $MP_{10}$  e  $NO_2$ .

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o risco em relação à saúde da população devido às emissões industriais e veiculares na cidade de Jaraguá do Sul.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a. Identificar os principais emissores de poluentes em Jaraguá do Sul.
- b. Avaliar o impacto na qualidade do ar causado pelas emissões industriais e veiculares.
- c. Avaliar o risco associado às internações hospitalares por doenças cardiorrespiratórias em função da exposição ao poluente  $MP_{10}$  e  $NO_2$ .



## 2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

### 2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A determinação da qualidade do ar é realizada através da quantificação de substâncias tóxicas presentes na atmosfera e a comparação de suas concentrações aos padrões estabelecidos pela legislação. Tais substâncias, chamadas de poluentes atmosféricos, são definidas na Resolução CONAMA 491/2018 como:

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.

A poluição atmosférica é derivada de três elementos: a fonte, o transporte e dispersão, e o receptor do poluente. Sendo assim, para determinar qual o impacto causado pela poluição, os três elementos devem ser analisados (CETESB, 2021). Diversas são as fontes de emissão conhecidas, e estas podem ser distinguidas de acordo com sua origem, sendo ela natural, como queimadas, erupções vulcânicas e decomposição de matéria orgânica; ou antropogênica, como indústrias, transportes e geração de energia, sendo as antropogênicas que levantam maiores preocupações sobre seus impactos sobre a saúde humana (INCA, 2022).

O impacto das emissões ocorre por uma baixa eficiência no transporte e dispersão dos poluentes emitidos por uma ou mais fontes, sendo assim, as concentrações não são suficientemente reduzidas antes de encontrar o receptor (LCQAr, 2020a). Segundo a OMS, 99% da população mundial respira um ar que não atende aos parâmetros básicos estabelecidos por suas diretrizes, sendo os países de baixa e média renda os que mais sofrem com essas exposições.

Os poluentes de maior preocupação para saúde pública incluem os materiais particulados, monóxido de carbono, ozônio, dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre (WHO, 2021). Dentre estes, a EPA (2021) define os poluentes material particulado, monóxido de carbono e dióxido de nitrogênio como os poluentes que caracterizam um cenário crítico para a qualidade do ar.

A principal problemática associada à poluição atmosférica é o fato de que, após a emissão dos poluentes, a probabilidade de que a população consiga evitar a exposição é baixa.

Sendo assim, quanto maiores as concentrações registradas de um poluente na atmosfera, maior será a porcentagem da população afetada (EEA, 2020).

Os efeitos da má qualidade do ar são mais observados nas populações vulneráveis, crianças, idosos e pessoas que já possuem doenças respiratórias. Além disso, os efeitos não restam apenas na esfera individual, mas interferem diretamente no estado, visto que com a diminuição da qualidade de vida da população, aumentam-se os atendimentos e internações hospitalares, gerando maiores custos no setor da saúde (BRASIL, 2016).

### **2.1.1 Emissões industriais**

Segundo Silva *et al.* (2014), nos países desenvolvidos a urbanização ocorreu associada as transformações da cidade através da industrialização. Sendo este um processo que ocorreu de forma gradual, de forma a planejar o acolhimento das migrações para os centros industrializados. Com o aumento dos processos produtivos, o desenvolvimento econômico mundial acarretou um aumento de indústrias de diversas categorias (KAMPA, 2007).

Porém, o processo de urbanização nos países subdesenvolvidos, como o Brasil, teve seu desenvolvimento de forma mais desordenada, sem grandes planejamentos infra estruturais. Diversas cidades tiveram um grande avanço no processo de industrialização, o que influenciou a uma grande migração para os novos centros urbanos, visto que o desenvolvimento tecnológico não teve os mesmos avanços na área rural. Sendo assim, a procura por empregos nas grandes cidades gerou um rápido crescimento populacional nessas regiões (SILVA *et al.*, 2014).

A qualidade do ar nesses locais possui, portanto, influências da distribuição e intensidade das emissões de poluentes atmosféricos, sendo as emissões industriais uma das responsáveis em alterar a qualidade do ar em regiões pontuais (CETESB, 2018). Por conta de características como a ocupação de áreas relativamente limitadas, e permitirem uma avaliação de forma direta na fonte, as indústrias são classificadas como fontes fixas ou estacionárias (MMA, 2011).

Em Santa Catarina, o controle de emissões dessas fontes é realizado através da Resolução CONSEMA nº 190/2022, que “estabelece as diretrizes para os limites máximos de emissões de poluentes atmosféricos de fontes fixas e critérios para o controle da Qualidade do Ar nas áreas de influência direta da atividade”. O estado de Santa Catarina é o terceiro estado com maior número de estabelecimentos industriais, com 44.731 indústrias, seguindo Minas

Gerais e São Paulo. Além disso, quando comparada ao cenário nacional, Santa Catarina possui 9,6% do total de indústrias no país, e conta com aproximadamente 61 indústrias a cada 10.000 habitantes (CNI, 2020).

Ainda, o estado tem o quarto maior número de indústrias de transformação do país, ou seja, indústrias que transformam um material primário em um produto final, ou intermediário destinado a outra indústria. Na região norte do estado, as principais indústrias são do setor da metalurgia, máquinas e equipamentos, material elétrico, autopeças, plástico, confecções e mobiliário (FIESC, 2022).

Ao que diz respeito à cidade de Jaraguá do Sul, dentre as 14 indústrias catalogadas no Inventário de Emissões Industriais de Santa Catarina, a maioria enquadra-se no setor metalúrgico. Os principais poluentes emitidos por tal setor são material particulado (MP), óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, óxidos de carbono, metais pesados, compostos orgânicos voláteis, entre outros (ALMEIDA, 1999).

Dentro do escopo do trabalho, os principais poluentes abordados são o material particulado e os óxidos de nitrogênio. Dentro da categoria de materiais particulados, encontram-se a fumaça, partículas inaláveis, partículas em suspensão e material particulado total (SANTOS; CÂMARA, 2002; CETESB, 2004). Devido à grande abrangência deste grupo, e as características diversas dos que o compõem, influenciadas pelo tipo de fonte emissora, estes podem ser classificados de acordo com seu formato, tamanho, ou, ainda, composição química (CARVALHO JUNIOR; LACAVA, 2003).

Em relação ao seu tamanho, os materiais que possuem maior interesse em serem monitorados, devido a seus efeitos, são as partículas inaláveis grossas e as partículas respiráveis ou finas. O primeiro grupo possui um diâmetro aerodinâmico maior que 2,5  $\mu\text{m}$  e menor que 10  $\mu\text{m}$ . Já o segundo tem seu diâmetro aerodinâmico igual ou menor a 2,5  $\mu\text{m}$ . A classificação de acordo com seu tamanho tem devida importância, visto que essa característica indica se o material é passível de ser arrastado por um gás, permanecendo por mais tempo no ar, ou se terá maior probabilidade de se depositar no solo (CARVALHO JUNIOR.; LACAVA, 2003).

Visto que o material particulado não se trata de uma única espécie química, mas sim de um conjunto de partículas no estado sólido e líquido, seus efeitos são os mais diversos, podendo abranger a fauna, a flora, a saúde humana e o ambiente urbano através da diminuição da visibilidade (QUEIROZ, 2006).

Ao que se diz respeito aos óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), tal termo engloba os dois principais componentes de nitrogênio emitidos durante o processo de combustão, o monóxido e o dióxido de nitrogênio. Durante esse processo, o monóxido de carbono é formado em maiores quantidades, porém, assim que ele entra em contato com a atmosfera, é transformado em NO<sub>2</sub>. Sendo assim, as taxas de emissão, normalmente, referem-se a NO<sub>x</sub> (CARVALHO JUNIOR; LACAVA, 2003).

Segundo Carvalho (2016), um dos efeitos dos óxidos de nitrogênio em centros urbanos é a formação de poluentes secundários formado através da reação desses óxidos e compostos orgânicos voláteis na presença de luz solar. Além do ozônio, outros produtos são gerados, como o ácido nítrico e compostos orgânicos parcialmente oxidados, sendo estes responsáveis pelo efeito de “smog fotoquímico”, uma neblina de tonalidade amarelo-amarronzada que se deve à presença no ar de pequenas gotas de água contendo esses poluentes.

Sabendo as influências das emissões industriais, principalmente focadas em áreas pontuais próximas, salienta-se a necessidade de compreender as interações entre indústrias. Ou seja, em localidades bastante industrializadas, como parques industriais, o conjunto de emissões deve ser avaliado para compreender se as concentrações nessa região são aumentadas por conta dessas interações, aumentando, assim, os riscos ambientais e humanos.

### **2.1.2 Emissões veiculares**

Em muitos países, a principal causa de preocupação com poluição do ar está associada aos veículos urbanos. No Brasil, através dos programas PROCONVE e PROMOT, novas tecnologias têm sido aplicadas na fabricação de veículos e motocicletas, para restringir seus limites de emissão. Porém, além da carga poluente, outros fatores também são responsáveis pelo aumento da concentração do poluente na atmosfera, como o aumento da frota, as condições de manutenção dos veículos, o tipo de combustível e os congestionamentos (CETESB, 2021).

Nos últimos 10 anos, a frota veicular catarinense teve um aumento de 46%, sendo a sexta maior frota de veículos do país, contando com 5.786.199 automóveis (IBGE, 2022a). A população catarinense, no entanto, cresceu 14% nesse mesmo período. Sendo assim, a relação de veículos por habitante teve um grande salto, passando para quatro veículos a cada cinco habitantes (IBGE, 2022b).

Segundo a Resolução CONAMA nº 015/1995, os veículos são classificados em veículos leves de passageiros, leves comerciais, veículos com características especiais para uso fora da estrada e veículos pesados. De acordo com o exposto no Inventário de Emissões de Santa Catarina, os veículos leves são responsáveis por 47% das emissões de monóxido de carbono, 89% das emissões de hidrocarbonetos e 54% das emissões óxido nitroso. Já os veículos pesados, que equivalem a 4,8% da frota veicular, contribuem com 90% das emissões de óxidos de nitrogênio e 93% de material particulado (LCQAR, 2021).

Outro fator determinante sobre quais os poluentes emitidos pelos veículos, é o tipo de combustível utilizado. No Brasil, os principais combustíveis utilizados são a gasolina e o diesel, sendo estes consumidos majoritariamente em veículos de passeio e veículos pesados respectivamente (VIEIRA, 2009). Em Santa Catarina, o mesmo padrão é observado, sendo o maior consumo de gasolina (LCQAR, 2019).

Veículos com motores a gasolina produzem poluentes primários, sendo eles monóxido de carbono, óxido nítrico, benzeno, material particulado e chumbo, sendo o chumbo emitido na forma de partículas. Em comparação, devido à combustão incompleta do combustível, os motores a diesel produzem monóxido de carbono, hidrocarbonetos, materiais particulados e óxidos de nitrogênio (EEA, 2016a). Portanto, quando comparados, uma menor quantidade de monóxido de carbono é gerada nos motores a diesel, porém estes geram grandes quantidades de dióxido de carbono.

Além do processo de combustão realizado nos diferentes motores, outros fatores também estão associados à emissão de poluentes durante a utilização de veículos automotores. De acordo com Mendes (2004), além dos vapores emitidos pelo escapamento, o desgaste de pneus, freios e embreagem, e a ressuspensão de partículas de poeira do solo também contribuem para as emissões de material particulado.

Alguns fatores podem influenciar a proporção das taxas de emissão veiculares, sendo as principais o tipo de veículo, o combustível utilizado, as condições ambientais e a estrutura viária (ZHANG, 2013). Além disso, a magnitude da emissão está associada a periodicidade da manutenção dos veículos, sendo a relação idade do veículo e quantidade de emissão de poluentes diretamente proporcional (CARVALHO, 2011).

Outro fator a ser levado em consideração, quando analisados os poluentes veiculares, é a sua capacidade de reação com componentes da atmosfera. Os poluentes produzidos pelos automóveis podem ser do tipo primário ou secundário. Poluentes primários são aqueles que restam na atmosfera, da mesma maneira que foram emitidos pela sua fonte. Já os poluentes

secundários, por outro lado, são formados através de reações químicas entre o poluente primário e componentes da atmosfera (CETESB, 2022).

No ano de 2018, as taxas de emissões veiculares em Santa Catarina foram totalizadas em mais de 9 milhões de toneladas, tendo como principal poluente o dióxido de carbono, responsável por 98,9% do total emitido. As demais taxas de emissão podem ser observadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Taxas de emissões veiculares (ton./ano) em SC para o ano de 2018.

<b>Poluente</b>	<b>Taxa de emissão (ton/ano)</b>
CO	53.721,89
HC	8.020,19
CH4	1.736,62
NOX	32.338,35
RCHO	87,21
MP	936,58
CO2	9.224.623,32
N2O	664,63
NMHC	8.011,43

Fonte: LCQAR (2021)

Além disso, vale ressaltar que a Mesorregião Norte contribuiu em média com 20% das taxas de emissão, sendo as mais altas contribuições para os óxidos de nitrogênio (25%) e material particulado (25%) (LCQAR, 2021).

## 2.2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E SAÚDE

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (2018), “estima-se que cerca de 7 milhões de pessoas morrem diariamente devido a exposição a partículas finas presentes no ar”. Dentre as diversas problemáticas associadas, estão as doenças ditas silenciosas, como derrame cerebral, doenças cardíacas, câncer de pulmão, doenças respiratórias, entre outros.

Dentro dos casos mais dramáticos conhecidos, relacionando poluição atmosférica a seus efeitos na saúde humana, pode-se destacar o acontecimento em 1952, em Londres, quando as emissões de MP e SO<sub>2</sub> tiveram sua dispersão na atmosfera dificultada devido a uma inversão térmica. O aprisionamento desses poluentes na atmosfera levou à formação de uma neblina que perdurou por 5 dias, sendo responsável por cerca de 4 mil óbitos devido a causas respiratórias e cardiovasculares (POPE; DOCKERY; SCHWARTZ, 1995).

Eventos como esse foram observados em diversas localidades no mundo, em menores ou mesmas proporções, o que incentivou a maiores pesquisas sobre a relação entre a poluição atmosférica e suas consequências na saúde humana. Nos EUA, as primeiras publicações sobre o assunto são datadas dos anos 1980 (POPE; DOCKERY; SCHWARTZ, 1995).

Os efeitos causados pela inalação de poluentes atmosféricos podem ser classificados como agudos ou crônicos. Os efeitos agudos são aqueles derivados de curtas exposições, como horas ou dias, a concentrações acima do normal. Já os efeitos crônicos são observados após exposições prolongadas, geralmente superiores a 6 meses, a menores concentrações. As principais doenças relacionadas a cada tipo de poluente são exemplificadas na Quadro 2.

Quadro 2 - Principais poluentes atmosféricos, suas portas de entrada no sistema respiratório e seus efeitos sobre a saúde humana.

<b>Poluente</b>	<b>Entrada</b>	<b>Efeitos observados na saúde</b>
Monóxido de carbono (CO)	Alvéolos e corrente sanguínea.	Interfere no transporte de oxigênio ao se unir a células de hemoglobina; causa tonturas e vertigens, alterações no sistema nervoso central e pode ser fatal em doses elevadas. Está associado ao baixo peso em recém-nascidos e morte fetal.
Dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )	Vias aéreas superiores, traqueia, brônquios e bronquíolos.	Afeta a mucosa dos olhos; nariz, garganta e do trato respiratório, causando coriza, secreções nasais, até danos irreversíveis aos pulmões. Fatal em altas doses.
Óxidos de nitrogênio (NO, NO <sub>2</sub> )	Traqueia, brônquios, bronquíolos e alvéolos.	Gera desconforto respiratório, diminuição da resistência a afecções e alterações celulares. Quando inalados altos níveis em longos períodos, está associado a doenças crônicas de pulmão.
Material particulado (poeiras; fumaça; fuligem)	Traqueia, brônquios, bronquíolos.	Agrava quadros alérgicos de asma e bronquite. Pode ser cancerígeno. Pode causar morte prematura em pessoas com

		problemas cardíacos e/ou pulmonares.
--	--	--------------------------------------

Fonte: Macedo (2013); EEA (2022); ARBEX *et al.*, (2012)

Visto a grande área de contato do sistema respiratório e o ar inalado, a qualidade do ar influencia diretamente na saúde respiratório. Ainda, de acordo com o tamanho das partículas inaladas, estas podem adentrar ao sistema sanguíneo através dos pulmões e causar problemas a outros sistemas, como o cardíaco (ARBEX *et al.*, 2012).

Para determinar se um indivíduo terá ou não problemas de saúde, relacionados à poluição atmosférica, devem ser levados em consideração a intensidade, a extensão e a duração da exposição, além de características do indivíduo, como idade e susceptibilidade a doenças cardiorrespiratórias (EEA, 2016b). Os grupos mais susceptíveis à apresentarem efeitos devido à inalação desses poluentes são crianças, idosos, portadores de doenças crônicas pré existentes e indivíduos com susceptibilidade genética (ARBEX *et al.*, 2012).

De acordo com a Agência Ambiental Europeia (2016), um adulto chega a inalar cerca de 7 a 14 litros de ar por minuto, em condições normais. Quando comparado a uma criança de 3 anos, tendo como base o peso corporal, a quantidade de ar inalado por uma criança em repouso é duas vezes maior do que em adultos nas mesmas condições. Por esse motivo, e adicionado o fato de ser um sistema imunológico que ainda não foi totalmente desenvolvido, as crianças se tornam muito mais susceptíveis a terem problemas respiratórios. Já o grupo de idosos acabam susceptíveis devido ao seu sistema imunológico de menor eficiência e a pelas funções pulmonares diminuídas, devido à idade (SANTOS *et al.*, 2021).

A partir disto, estudos têm identificado que esses decorrentes discorrem sobre a relação doenças cardiorrespiratórias e a exposição poluição do ar, como mostra no Quadro 3. Os dados apresentados no quadro foram selecionados de modo a abordar os principais resultados em países de diferentes continentes, bem como sobre os poluentes mais criteriosos a saúde.

Arani *et al.* (2021) determinaram através do modelo AERMOD as plumas de dispersão de poluentes SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub> liberados por uma indústria de laminação do complexo Kavir Steel (SKS), e avaliaram o risco à saúde associado a estas concentrações. Os dados de caracterização das emissões foram coletados no complexo SKS em 10 pontos diferentes. O domínio de modelagem foi projetado para a área ao redor da fábrica, considerando um raio de 30 km. Verificou-se que as médias anuais das concentrações de ambos os poluentes são inferiores ao máximo permitido, quando utilizado o gás natural como combustível principal. Porém, para uma média de 1 h, o poluente SO<sub>2</sub> atingiu cerca de 324 µg/m<sup>3</sup>, que está acima do



valor padrão. Por fim, não foram verificados riscos à saúde dos trabalhadores do complexo devido a exposição das concentrações determinadas.

Li *et al.* (2022) realizaram um estudo que visou encontrar uma associação entre exposição a poluentes atmosféricos e o risco de hospitalização por embolia pulmonar (EP) em Pequim. Foram utilizados dados de admissões diárias de EP, dados meteorológicos e dados de poluição ambiental entre os anos de 2015 e 2018, analisados através de um modelo de regressão quasi-Poisson. As análises foram realizadas para multipoluentes, e os riscos foram categorizados de acordo com idade e sexo. Os resultados sugerem que a exposição a PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> e CO têm associação positiva com as internações por EP. Ainda, foi verificado que mulheres e pessoas com idade  $\geq 65$  anos foram mais sensíveis à exposição ao PM<sub>10</sub> e CO. Porém, a exposição ao PM<sub>2,5</sub> tem efeitos significativos em todos os subgrupos analisados (LI *et al.*, 2022).

Um estudo realizado por Shaikh *et al.* (2020) avaliou o risco à saúde devido à emissão de poluentes atmosféricos de olarias, avaliando os impactos de curto e longo prazo de cinco poluentes, sendo dois classificados como não cancerígenos (SO<sub>2</sub> e Hg) e três poluentes carcinogênicos (As, Cd e Cr). As concentrações destes poluentes foram determinadas com auxílio do modelo de dispersão AERMOD com um domínio de modelagem de raio de 10 km centrado nas olarias. Os resultados obtidos indicaram que os impactos dos poluentes não cancerígenos foram observados apenas no cenário a curto prazo. Os poluentes carcinogênicos também apresentaram impactos a curto prazo, sendo observados ainda impactos a longo prazo para as substâncias As e Cr.

Um estudo realizado por Perez *et al.* (2015) avaliou os efeitos do PM<sub>10</sub> e do NO<sub>2</sub> nas internações hospitalares diárias de emergência e na mortalidade durante um período de 10 anos na Suíça. Para isso, foram utilizados modelos de regressão de Poisson em um país para ambos os poluentes, utilizando dados de concentração de monitores centrais. Verificou-se que, para um aumento de 10 mg/m<sup>3</sup> na concentração de PM<sub>10</sub>, houve um aumento de 0,3% em mortes por doenças cardiovasculares e 1,7% para mortes por doenças respiratórias. Todos os resultados para os mesmos grupos foram superiores quando analisado o poluente NO<sub>2</sub>. Por fim, foram somente observados resultados estatisticamente significativos para internações devido a doenças respiratórias no grupo com idade acima de 75 anos (Perez *et al.*, 2015).

Akbarzadeh *et al.* (2018) avaliou a associação entre a exposição a PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub>, e o risco relativo de desenvolver infarto do miocárdio com elevação do segmento ST (STEMI). O estudo foi realizado para a cidade de Teerão, sendo os dados avaliados pela metodologia de design *case-crossover*. Os resultados demonstraram que pacientes com idade igual ou superior a 60 anos, diabéticos, não hipertensos e pacientes com mais de um vaso sanguíneo doente podem ser mais vulneráveis ao efeito nocivo de determinadas matérias incluindo PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>. Além disso, foi verificado um aumento no número de STEMI nos dias em que houve um aumento nas concentrações de PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub> (AKBARZADEH *et al.*, 2018).

Costa *et al.* (2017) avaliaram a associação entre NO<sub>2</sub> e mortalidade diária em idosos com idade acima de 60 anos, e a relação com os poluentes PM<sub>10</sub>, CO e O<sub>3</sub> na cidade de São Paulo, Brasil, entre os anos 2000 e 2011. Foram levadas em consideração as estimativas de efeito e o índice de risco cumulativo (IRC) a partir de modelos multipoluentes. Os efeitos dos poluentes foram estimados em modelos aditivos generalizados de Poisson. As análises, portanto, mostraram que as mortes circulatórias estavam associadas principalmente ao NO<sub>2</sub>, e as mortes respiratórias principalmente ao CO e O<sub>3</sub> (COSTA *et al.*, 2017).

Um estudo realizado em Santiago, Chile, teve como objetivo analisar a relação entre a exposição de curto prazo ao PM<sub>2.5</sub> e a incidência de doenças respiratórias e cardiorrespiratórias. Como dados para o estudo, foram utilizadas as concentrações do poluente coletados de estações de monitoramento de concentrações de material particulado fino, e a distribuição anual da idade da população, além de dados de morbidade e mortalidade e a distribuição da previsão de saúde por zonas geográficas. Os resultados obtidos mostraram que o nível de risco da exposição à poluição do ar não depende apenas do nível de exposição ao poluente, e fatores como idade e qualidade de vida tem um fator de influência na suscetibilidade ao adoecimento e óbito. O estudo demonstrou que a população idosa foi a mais afetada ao risco relativo de morbidade respiratórias (PINO-CORTÉS *et al.*, 2020).

Um estudo realizado por Priyankara *et al.* (2021) averiguou os potenciais impactos do material particulado (MP) ambiental nas hospitalizações por doenças respiratórias na cidade de Kandy, Sri Lanka. Para análise dos dados, foi aplicado o Modelo Aditivo Generalizado (GAM) com intuito de estimar o efeito de curto prazo poluente. Foi observado o aumento de 1,95% e 1,63% na quantidade de internações, esse aumento foi associado ao aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> para o PM<sub>2.5</sub> e PM<sub>10</sub> respectivamente. A população com maior

susceptibilidade a internações devido a doenças respiratórias foi de idosos com mais de 65 anos (PRIYANKARA *et al.*, 2021).

Stolfi *et al.* (2021) utilizaram do modelo de dispersão AERMOD para estimar os níveis de manganês (Mn) no ar ambiente perto de refinarias em Marietta, Ohio, Estados Unidos para os anos de 2008-2013. O trabalho utilizou de dados populacionais para estimar o tamanho da população exposta a concentrações médias anuais maiores do que o recomendado pela diretriz da EPA dos EUA para exposição crônica. Os valores modelados foram comparados com concentrações verificadas em estações de medição físicas. As concentrações determinadas tiveram valores entre 6,3 e 43 ng/m<sup>3</sup> ao longo dos anos. Verificou-se que entre 12.000 e 56.000 indivíduos foram expostos 50 ng/m<sup>3</sup> em 83% do período de estudo. Por fim, verificou-se que todas as concentrações modeladas mensais em comparação com as concentrações medidas estavam dentro dos limites aceitáveis.

Quadro 3 - Estudos sobre os efeitos de poluentes atmosféricos nas doenças respiratórias.

<b>Localidade</b>	<b>Referência</b>	<b>Poluentes</b>	<b>Principais Conclusões</b>
Isfahan, Iran	(ARANI <i>et al.</i> , 2021)	SO <sub>2</sub> e NO <sub>2</sub>	Para ambos os poluentes as concentrações medias anuais tiveram seus valores dentro dos propostos pela legislação. Ainda, não foi verificado risco à saúde dos trabalhadores do complexo devido a exposição as concentrações modeladas.
Pequim, China	(LI <i>et al.</i> , 2022)	PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> e CO	Os resultados relatam que mulheres e pessoas com idade acima de 65 anos foram mais sensíveis à exposição a PM <sub>10</sub> e CO. Além disso, verificou-se que o efeito da exposição a PM <sub>2.5</sub> foi significativo em todas as idades e ambos os sexos.
Tando Hyder, Paquistão	(SHAIKH <i>et al.</i> , 2020)	SO <sub>2</sub> , Hg, As, Cr e Cd	O estudo verificou impactos a curto prazo para todos os

			poluentes analisados, sendo verificado impacto a longo prazo apenas para As e Cr, ambos categorizados como carcinogênicos.
Suíça	(PEREZ <i>et al.</i> , 2015)	PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub>	O estudo mostra um aumento do número de internações ao longo dos anos para ambos os poluentes, sendo superior para o NO <sub>2</sub> . Porém, os valores de RR foram inferiores a 1 para todos os cenários associados ao NO <sub>2</sub> .
Teerão, Irã	(AKBARZADEH <i>et al.</i> , 2018)	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , O <sub>3</sub> , CO, SO <sub>2</sub> e NO <sub>2</sub>	Os resultados demonstraram que idade avançada, diabetes e mais de um vaso sanguíneo doente aumentam a vulnerabilidade aos efeitos nocivo de poluentes, principalmente PM <sub>10</sub> e PM <sub>2.5</sub> . Além disso, foi verificado uma associação entre as concentrações de PM <sub>10</sub> e PM <sub>2.5</sub> e o aumento de STEMI no mesmo período.
São Paulo, Brasil	(COSTA; HOEK; BRUNEKREEF; LEON, 2017)	NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , CO e O <sub>3</sub>	Os resultados trouxeram uma associação entre mortes por doenças circulatórias e NO <sub>2</sub> , e as mortes respiratórias aos poluentes CO e O <sub>3</sub> .
Santiago, Chile	(PINO-CORTÉS <i>et al.</i> , 2020)	PM <sub>2.5</sub>	O nível de risco da exposição à poluição do ar é definido por fatores além da exposição ao poluente. A idade ou qualidade

			de vida da população podem aumentar o risco de adoecer ou ir a óbito devido a exposição à poluição do ar.
Kandy, Sri Lanka	(PRIYANKARA <i>et al.</i> , 2021)	PM <sub>2.5</sub> e PM <sub>10</sub>	Observou-se uma relação entre o aumento da concentração dos poluentes PM <sub>2.5</sub> e PM <sub>10</sub> com o aumento no número de internações. Ainda, concluiu-se que os mais susceptíveis a internações são idosos com mais de 65 anos.
Marietta, Estados Unidos	(STOLFI <i>et al.</i> , 2021)	Mn	Verificou-se que as concentrações modeladas pelo AERMOD tiveram seus valores próximos aos verificados em campo, tendo diferenças dentro dos limites aceitáveis. Além disso, foi constatado que mais de 2.000 crianças foram expostas a valores de concentração acima dos recomendados pela EPA.

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

### 2.3 LEGISLAÇÃO

A primeira relação feita entre a poluição do ar e as consequências para um indivíduo em um documento legal brasileiro foi realizada na Lei das Contravenções Penais, de 1941 (Brasil, 1941). Em seu art. 38 é dito que a “emissão de fumaça, vapor ou gás que possa ofender ou molestar alguém” (BRASIL, 1941) é uma infração passível de punição. Porém, a

poluição do ar ainda não era caracterizada como um problema coletivo e ambiental (DE SIMONI, 2021).

No Brasil, a conscientização relativa à poluição atmosférica teve início na década de 70, influenciada pelo crescimento econômico e industrial do país. A primeira legislação efetiva de controle da poluição atmosférica é datada de 1976 e tinha como objetivo definir padrões nacionais de qualidade do ar para material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e oxidantes fotoquímicos (AMBIENTE BRASIL, 2022).

Na década seguinte, a definição de padrões de qualidade do ar e seu monitoramento, além do controle de fontes de emissão, foram definidas pela Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) como as principais medidas de gestão da qualidade do ar. E, para se dar início a uma política nacional de proteção da qualidade do ar, foi estabelecido, através da Resolução do Conama nº 005/1989, o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR) (BRASIL, 1989).

A criação do PRONAR teve suas considerações voltadas para o acelerado crescimento urbano, industrial e da frota de veículos automotores, o aumento progressivo da poluição atmosférica e suas consequências sobre a sociedade e o meio ambiente. Sua estratégia era de “limitar, à nível nacional, as emissões por tipologia de fontes e poluentes prioritários, reservando o uso dos padrões de qualidade do ar como ação complementar de controle” (BRASIL, 1989).

No ano de 1990, foi lançada a Resolução CONAMA nº 03/1990, o primeiro dispositivo legal promovido pelo PRONAR. Nessa resolução, foram estabelecidos novos padrões de qualidade do ar, definidos os padrões primários e secundários, os métodos de amostragem e análise dos poluentes atmosféricos, e os Níveis de Qualidade do Ar para elaboração do Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar, além de suas definições.

Em 2018, após sua revisão, a Resolução CONAMA nº 03/1990 foi revogada e substituída pela Resolução 491/2018; esta, define o Padrão de Qualidade do Ar Intermediários (PI), como “padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas” (CONAMA, 2018), e o Padrão de qualidade do ar final (PF) como “valores guia definidos pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2005” (CONAMA, 2018).

Logo após a publicação da resolução, o objetivo inicial era atender aos valores estabelecidos para PI-1, e através da evolução dos Planos de Controle de Emissões Atmosféricas e dos Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar fossem sendo adotados em

sequência os valores de PI-2, PI-3 e PF. Os padrões estabelecidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Padrões de referência de concentração permitidos pela CONAMA nº 491/2018.

Poluente atmosférico	Período de referência	PI -1	PI -2	PI-3	PF	
		µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	ppm
Material Particulado – MP10	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual	40	35	30	20	-
Material Particulado – MP 2,5	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual <sup>1</sup>	20	17	15	10	-
Óxido de Enxofre – SO <sub>2</sub>	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual <sup>1</sup>	40	30	20	-	-
Óxido de Nitrogênio – NO <sub>2</sub>	1 hora <sup>2</sup>	260	240	220	200	-
	Anual <sup>1</sup>	60	50	45	40	-
Ozônio – O <sub>3</sub>	8 horas <sup>3</sup>	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual <sup>1</sup>	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono – CO	8 horas <sup>3</sup>	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão – PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual <sup>4</sup>	-	-	-	80	-
Chumbo – Pb <sup>5</sup>	Anual <sup>1</sup>	-	-	-	0,5	

1 – Média aritmética anual; 2- Média horária; 3- Média móvel obtida no dia; 4- Média geométrica anual; 5 – Medido nas partículas totais em suspensão.

Fonte: Resolução CONAMA 491 (2018).

Outros valores definidos pela mesma resolução são as concentrações que identificam os níveis de atenção, alerta e emergência relativos à concentração dos poluentes. Os valores são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Níveis de atenção, alerta e emergência para NO<sub>2</sub> e MP10 de acordo com a resolução CONAMA 491.

Níveis	NO <sub>2</sub> <sup>*</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	MP <sub>10</sub> <sup>**</sup> (µg/m <sup>3</sup> )
Atenção	1130	250
Alerta	2260	420
Emergência	3000	500

\* Para média de 1 hora;

\*\* Para média de 24 horas

Fonte: Adaptada da resolução CONAMA no 491 (2018).

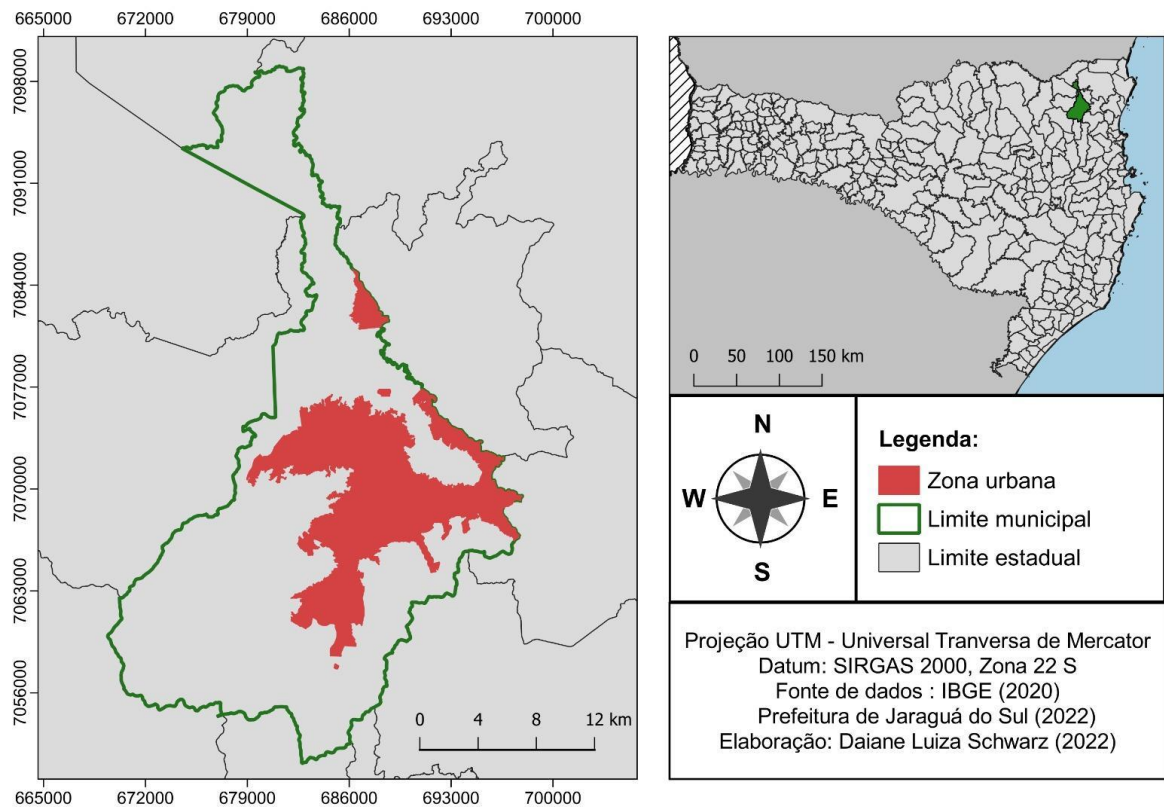


### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido no município de Jaraguá do Sul, localizado na Região Sul do Brasil e pertencente à mesorregião do Norte Catarinense (Figura 1). De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021), o município conta com uma área territorial de 530.894 km<sup>2</sup> e uma população de 184.579 habitantes, sendo a 9ª cidade mais populosa do estado.

Figura 1 - Mapa de localização do município.



Fonte: Elaborado pela autora.

## 3.2 FONTES EMISSORAS

### 3.2.1 Fontes industriais

Jaraguá do Sul se destaca como o sexto município com maior concentração de indústrias de grande porte com potencial de emissão de Santa Catarina, contando com 14 indústrias de grande potencial poluidor (HOINASKI, 2019), contando com metade do número de indústrias de Criciúma, a qual ocupa o primeiro lugar dentre a lista dos municípios catarinenses.

O levantamento destas indústrias associado aos seus poluentes emitidos foi realizado pelo Laboratório de Controle de Qualidade do Ar (LCQAR) e disponibilizado através do Inventário de Emissões industriais de Santa Catarina – Ano Base 2019. Os dados disponibilizados pelo inventário têm como fonte o Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA) e a Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SDE).

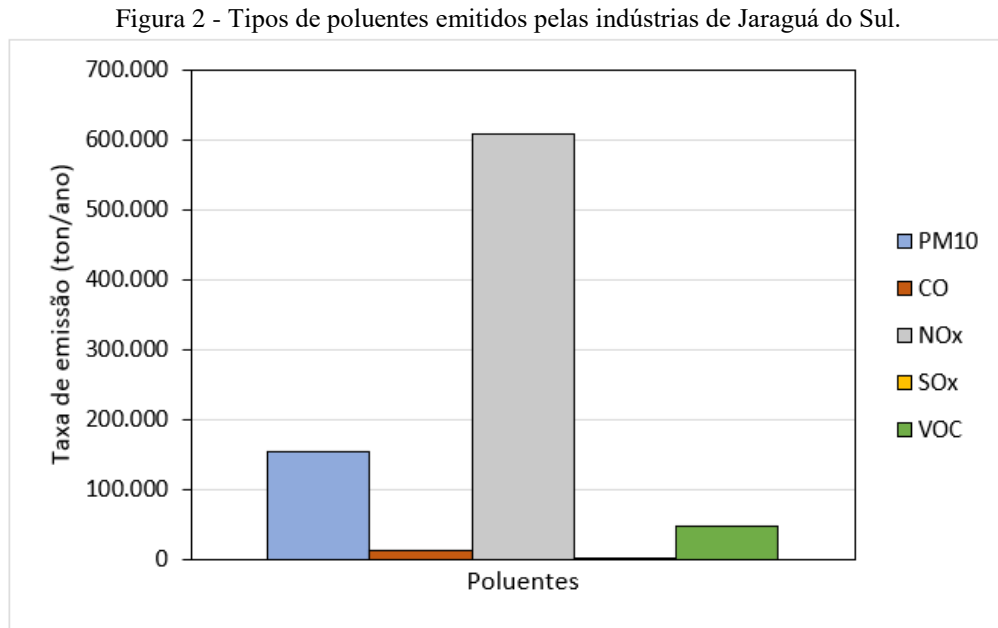
Das 14 indústrias apontadas pelo inventário de emissões industriais do estado, apenas 7 foram utilizadas durante a análise do presente trabalho, pois as demais não tinham informações sobre suas emissões registradas. Estas foram agrupadas segundo classificação da atividade do CONSEMA 98/2017 em indústria mecânica, de vestuário e de produtos alimentares, como ilustrado na Tabela 1.

Tabela 3 - Classificação das indústrias de Jaraguá do Sul de acordo com a resolução CONSEMA 98/2017.

<b>Indústria</b>	<b>Código CONSEMA</b>	<b>Classificação da atividade CONSEMA</b>
Rações Catarinense	26.94.00	Indústria de produtos alimentares
Menegotti metalmecânica	12.11.00	Indústria mecânica
WEG I e II	12.11.00	Indústria mecânica
Forlin malhas	25.20.00	Indústria de vestuário e artefatos têxteis
Urbano	26.00.00	Indústria de produtos alimentares
KS Embalagens	12.11.00	Indústria mecânica

Fonte: Elaborado pela autora.

Para obter uma análise mais representativa das indústrias da região, foram escolhidos os dois poluentes com maiores taxas de emissão. Os tipos de poluentes emitidos e suas respectivas contribuições para o cenário estão dispostos na Figura 2.



Fonte: Elaborado pela autora.

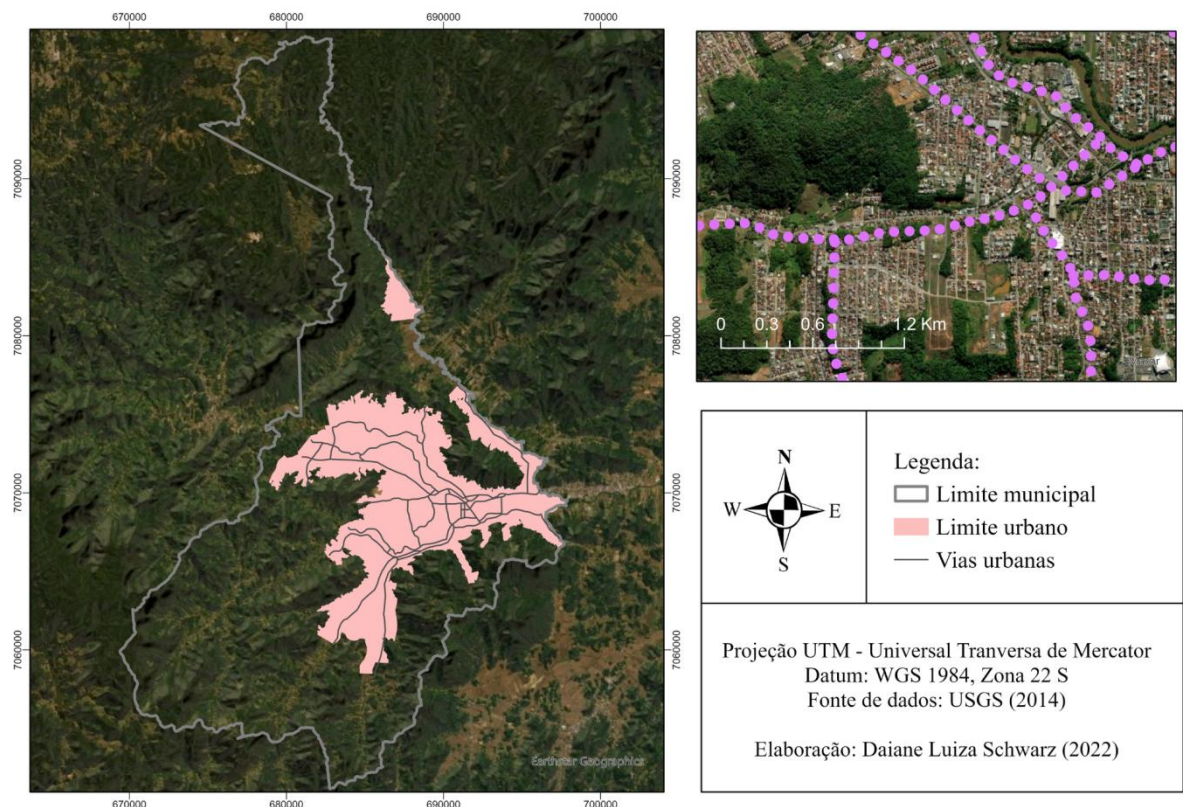
Sendo assim, prosseguiu-se com a análise para o material particulado ( $MP_{10}$ ) e os óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ). As características das fontes emissoras utilizadas para elaboração do AERMOD.INP podem ser consultadas no Anexo A. As informações contidas neste arquivo são as condições mínimas necessárias para a modelagem. Para algumas indústrias alguns valores não eram explicitados no Inventário de Emissões industriais, assim alguns parâmetros foram fixados em caso de falta de dados, sendo eles:

- Temperatura de saída: 30 °C;
- Altura de chaminé: 20m;
- Diâmetro: 0,40m;
- Velocidades de saída: 3 m/s.

### 3.2.2 Fontes veiculares

Em relação a sua frota veicular, Jaraguá do Sul conta com 129.299 veículos, sendo a parcela de automóveis responsável por 60% do total. De acordo com o Plano Diretor da cidade, o sistema viário básico do município é composto de vias arteriais, coletoras e estruturais. Para o presente trabalho foram selecionadas as vias classificadas como estruturais e arteriais, e através das informações de localização das vias, foram criadas fontes pontuais espaçadas a cada 100 metros para modelizar as influências dos poluentes emitidos pela frota veicular do município. Ambas as informações são ilustradas na Figura 3.

Figura 3 - Disposição das vias urbanas e sua representação como fontes pontuais de emissão de poluentes.



Fonte: Elaborado pela autora.

O número de pontos de emissão consideradas para a modelagem das emissões veiculares e a taxa de emissão utilizada para ambos os poluentes de interesse podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 - Número de fontes veiculares e respectiva taxa de emissão.

<b>Poluente</b>	<b>Nº de pontos</b>	<b>Taxa de emissão total (ton/ano)</b>
MP <sub>10</sub>	1.316	153,4
NO <sub>2</sub>	1.316	608,5

Fonte: Elaborado pela autora.

A estimativa das emissões veiculares para o município foi obtida através do software Brazilian vehicular emission inventory software (BRAVES), o qual fornece o valor total de emissão em toneladas por ano. O cálculo feito pelo software determina as emissões veiculares leva em conta as características da frota, consumo de combustível, deterioração do veículo e intensidade de uso. Para as emissões de material particulado foi considerada a soma de emissões pelo desgaste de pneus e freios, pelo desgaste da estrada e pela ressuspensão da pista.

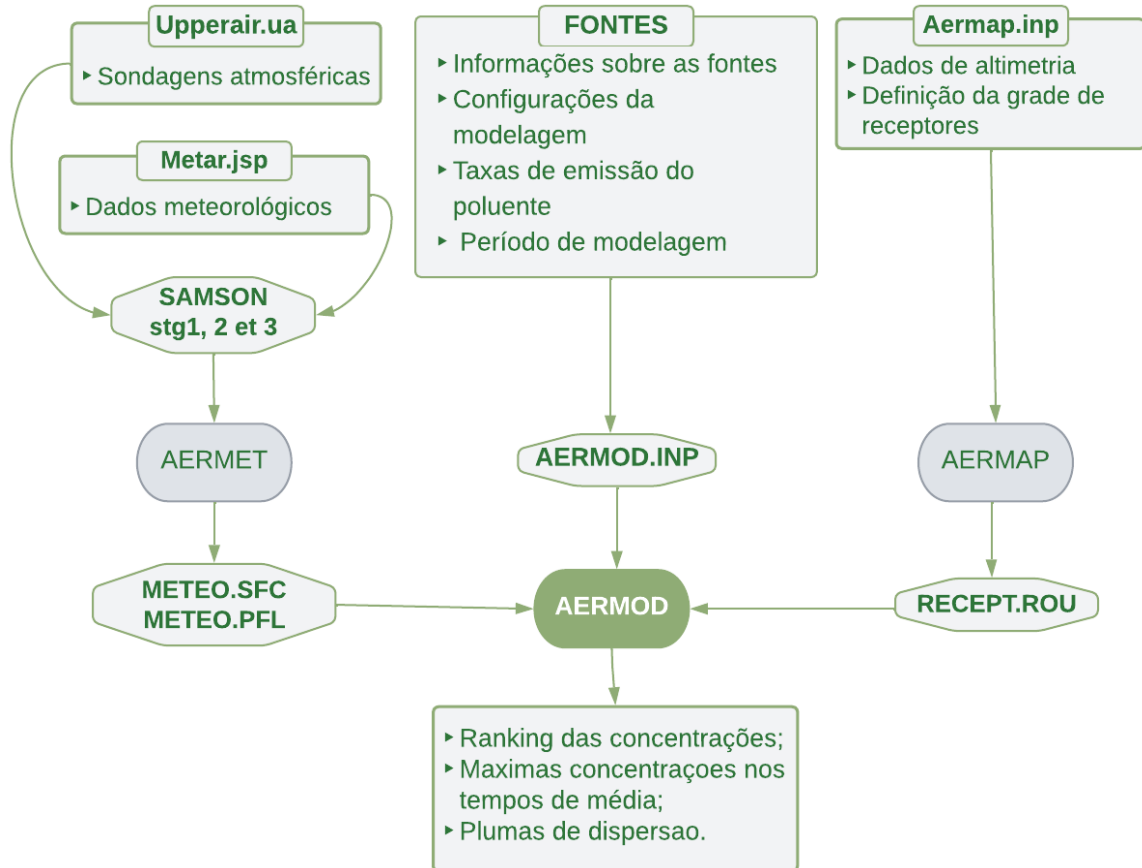
### 3.3 MODELAGEM COM *AERMOD*

Para a modelagem da dispersão dos poluentes da atmosfera, o software *AERMOD* necessita de três arquivos de entrada, dos quais dois são gerados através de pré-processadores.

O primeiro arquivo é o *AERMOD.INP*, o qual não utiliza de pré-processadores. Neste arquivo constam as principais informações sobre as fontes de emissão dos poluentes. O segundo arquivo, é gerado através do pré-processador *AERMET*. Este utiliza como dados de entrada dados de sondagens atmosféricas e dados meteorológicos da região de estudo. Por fim, o terceiro arquivo é gerado pelo pré-processador *AERMAP*, o qual recebe como informação as características do terreno através do Modelo Digital de Elevação da área.

Os dados listados correspondem às informações mínimas necessárias para realização da modelagem. Um esquema do fluxo dos dados de entrada do modelo pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 - Fluxo de dados para modelização com AERMOD.



Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.3.1 Meteorologia de superfície e sondagens atmosféricas.

Este pré-processador tem como base dados meteorológicos de superfície, sondagens atmosféricas e características da superfície. O resultado deste processamento é a determinação de parâmetros como a camada limite da atmosfera, a velocidade de fricção, o comprimento de Monin-Obukhov, escala de velocidade convectiva, escala de temperatura, altura de mistura e fluxo de calor de superfície.

Os dados de sondagens atmosféricas foram obtidos através do Banco de Dados de Rádio Sondagem da National Oceanic and Atmospheric Administration - Earth System Research Laboratory (NOAA/ESRL). A estação escolhida foi a localizada no aeroporto de Florianópolis, código SBFL, para os anos de 2018 e 2019.

Para os dados meteorológicos de superfície, estes foram obtidos no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) na qual a estação utilizada também está localizada

no aeroporto de Florianópolis. Os dados fornecidos pelo contêm informações de direção (graus) e velocidade do vento (m/s), altura da base das nuvens (m), cobertura de nuvens (%), pressão (hPa), temperatura do ar (°C), temperatura do ponto de orvalho (°C) e visibilidade horizontal (m). O período dos dados escolhido foi entre 01/jan/2018 e 31/dez/2019.

Por fim, as características da superfície foram determinadas, para as quatro estações do ano, através da média dos fatores disponibilizados no Manual do Usuário AERMOD, sendo estas ponderadas de acordo com o uso e ocupação do solo da região. Dentre as opções dentro do domínio de modelagem disponibilizadas para a razão de Bowen, foi utilizada a configuração de condições de umidade média.

O mapa de uso e ocupação do solo (Anexo B) foi obtido através do Land Use/Cover Timeseries Downloader disponibilizado pela ESRI, o qual fornece dados no formato GeoTIFF com resolução de 10 metros baseado em imagens do satélite Sentinel-2 para os anos de 2017 a 2021. Como entre os anos de 2018 e 2019 não houve mudanças drásticas na composição dos usos, foram utilizados os dados referentes ao ano de 2019.

A ponderação dos fatores foi feita a partir de uma setorização da área. Assim, foi feita uma circunferência de 9 km de raio a partir do centro do domínio da modelagem, foram delimitadas áreas de água, floresta, grama, plantação, solo exposto e urbanização presentes dentro de cada área definida pela circunferência. O mapa detalhado de uso e ocupação do solo é apresentado na Figura 3.

Para os cálculos, foram utilizados os valores correspondentes às quatro estações do ano, para os dois anos da modelagem, os resultados são apresentados no Anexo C.

Como a análise foi feita com centro na região urbana e a composição da região consta com maior área ocupada por árvores e área urbanizada, isto influencia diretamente no aumento dos valores das características da superfície. As porcentagens de cada uso do solo para cada quartil podem ser observadas na Tabela 4.

Tabela 5 - Porcentagem de cada tipo de uso do solo por quartil da área de estudo.

<b>Usos do solo</b>	<b>Quartil 1</b>	<b>Quartil 2</b>	<b>Quartil 3</b>	<b>Quartil 4</b>
<b>Água</b>	1,0%	1,0%	0,3%	0,6%
<b>Árvores</b>	54,9%	68,7%	67,3%	63,8%
<b>Grama</b>	0,2%	0,2%	0,0%	0,2%
<b>Plantações</b>	6,1%	6,1%	4,3%	0,3%

<b>Área urbanizada</b>	33,6%	16,5%	20,1%	31,9%
<b>Solo exposto</b>	4,2%	7,5%	8,0%	3,2%

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dos dados meteorológicos de 2017 a 2019, estes foram inseridos na plataforma E-Z AERMOD, onde foram processados para obtenção dos três arquivos dos estágios de processamento do AERMET, e o arquivo em formato SAMSON.

O arquivo de primeiro estágio possui a verificação da qualidade dos dados de entradas, e fornece um relatório sobre a porcentagem de dados faltantes e anomalias. O segundo estágio, une os dados de sondagens e de superfície em um único arquivo. Por fim, no último estágio onde são implementados os dados de uso do solo.

Assim, através do processamento dos três estágios pelo AERMET, realiza-se a interpolação das informações e gera as características da superfície, tendo como arquivos de saída o METEO.PFL e METEO.SFC.

### 3.3.2 Topografia e grade de receptores

O pré-processador AERMAP tem como base as informações características do terreno através e a definição da grade de receptores. Neste estudo a grade de receptores teve a dimensão definida de 100 x 50 km. Para esta definição de domínio o espaçamento entre cada receptor foi de 500 metros, com uma total de 10.000 receptores e centrado nas coordenadas 690334 e 7069115 (UTM). A altura dos receptores foi definida de 1,5 metros sendo baseada na altura média em que o nariz humano se encontra.

Os dados de elevação digital do terreno foram obtidos com resolução espacial de 1- arco segundo, aproximadamente 30 metros, através da plataforma da United States Geological Survey (USGS), correspondente ao modelo digital de elevação SRTM. A partir do modelo digital de elevação, o AERMAP determina a altura crítica dos obstáculos no relevo nos quais a pluma de dispersão pode colidir no terreno ou alterar seu fluxo.

Através do Modelo Digital de Elevação utilizado no processamento (Anexo D), nota-se que a área central do município tem baixas altitudes, com elevações máximas de 150 m. Verifica-se que todas as fontes industriais, encontram-se em áreas com elevação menor que



50 m. Ainda, mais ao norte do município os valores de elevação aumentam, chegando a 1500 metros, o que pode ser associado à influência da serra de São Bento.

Os arquivos MDE, do tipo .tiff, assim como a definição dos receptores foram inseridos na plataforma E-Z aermod, o qual gerou o arquivo aermap.inp. Sendo assim, executou-se o pré-processador AERMAP, gerando o arquivo RECEPT.ROU, o qual possui informações de localização e elevação de cada fonte e receptor.

### **3.3.3 Cenários de modelagem**

O processamento do AERMOD foi então realizado a partir dos resultados obtidos nas etapas do AERMAP e AERMET e do arquivo AERMOD.INP, que possuem a compilação das fontes industriais e veiculares, sendo realizados três cenários de modelagem:

- Cenário 1: altura de chaminé de 10 metros;
- Cenário 2: altura de chaminé de 20 metros;
- Cenário 3: altura de chaminé de 50 metros.

Os principais arquivos de saída da modelagem utilizados para elaborar os resultados foram os arquivos em formato RANKFILE, PLOTFILE e MAXFILE.

Os arquivos RANKFILE contém a hierarquização das maiores concentrações calculadas no domínio da modelagem. Assim, tais dados foram utilizados para a avaliação da magnitude dos impactos causados pelas emissões.

Os arquivos PLOTFILE contém as concentrações calculadas dos poluentes para toda a grade de receptores. Estes arquivos são gerados com extensão que possibilita sua leitura em softwares de sistema de informação geográfica (SIG) e a visualização da dispersão da pluma de contaminantes.

Por fim, os arquivos MAXFILE, contém as concentrações registradas acima do padrão final estabelecido e as associa às coordenadas do ponto onde as mesmas foram verificadas. Assim, com auxílio do PYTHON é possível identificar a frequência de ocorrência de eventos críticos no mesmo par de coordenadas e período em que eles ocorrem.

### 3.4 DADOS DE SAÚDE DO DATASUS

Os grupos de doenças analisadas foram selecionados de acordo com o exposto por Ostro et al. (2004), das quais possuem maiores evidências de relação com a poluição do ar. Portanto, foram avaliados os grupos de doenças cardiovasculares e respiratórias, os quais representam o capítulo IX e X na Classificação Internacional de Doenças (CID). Sendo assim, avaliou-se:

- Crianças de até 5 anos, para doenças respiratórias (R5);
- Idosos com mais de 60 anos de idade, para as doenças cardiovasculares (C60) e respiratórias (R60).

Foram levados em consideração os dados de internações hospitalares e óbitos, porém, os dados de óbitos de crianças para doenças respiratórias não foram significativos e, portanto, não abordados no presente estudo. Os dados foram obtidos através do sistema informatizado do SUS (TABNET/DataSUS), selecionando os registros de todo o município.

### 3.5 ESTIMATIVA DO RISCO RELATIVO

O Risco Relativo (RR) é definido como a probabilidade que um indivíduo de um grupo exposto desenvolver uma doença em relação a probabilidade de um indivíduo de um grupo não-exposto desenvolver a mesma doença. No presente estudo, serão avaliadas a probabilidade de um indivíduo ser internado ou ir a óbito devido a doenças cardiovasculares ou respiratórias, devido a exposição a diferentes níveis de poluição atmosférica. Uma das formas de determinação do risco relativo, segundo Ostro et al. (2004), é através da Equação 1.

$$RR = \left[ \frac{x_0+1}{x+1} \right]^\beta \quad (1)$$

Onde  $X_0$  é a concentração média de poluente medida no período de estudo, sendo utilizada a concentração média entre os anos de 2018 e 2019 para cada ponto crítico analisado;  $X$  é uma concentração padrão, neste caso adotada como  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; e  $\beta$  representa o coeficiente regressão de Poisson.

O modelo de regressão de Poisson é utilizado quando “a variável resposta de interesse se refere a uma contagem de eventos que ocorrem em um determinado período de tempo ou espaço” (VELASQUE, 2011) e pode ser descrito pela Equação 2.

$$\ln(\square) = \beta \cdot x \quad T \quad (2)$$

Onde  $\beta$  é o coeficiente de regressão;  $xT$  representa as variáveis explicativas, ou seja, variáveis secundárias que afetam diretamente a variável resposta, neste caso, os dados de Concentração do poluente; e  $\mu$  é a variável resposta, representada pelos dados de internações hospitalares.

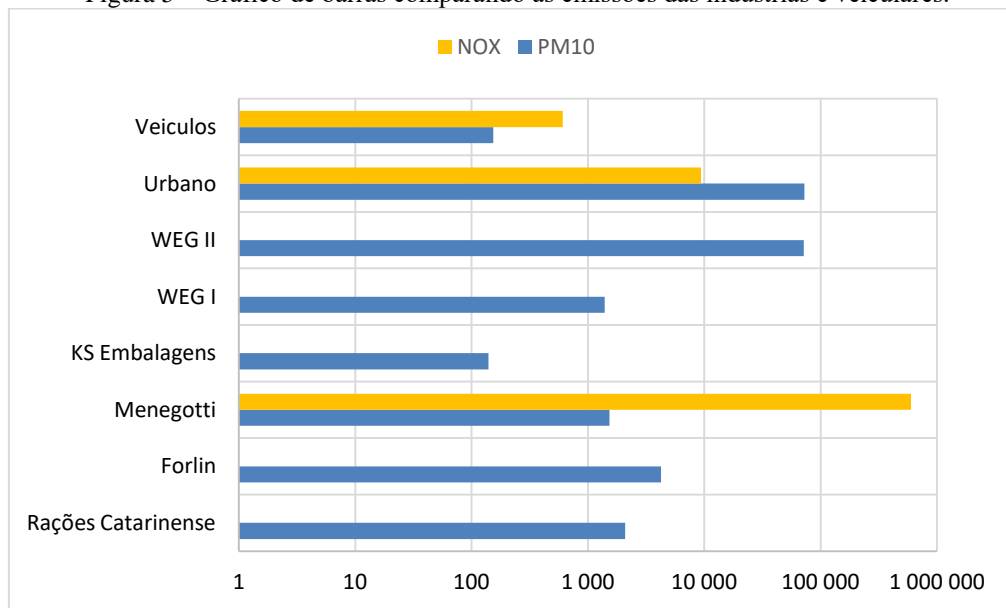
Ainda, os valores de risco encontrado serão avaliados com intuito de verificar sua associação a fatores de vulnerabilidade social. O fator de renda será avaliado de acordo com o número de famílias inscritas no programa Bolsa Família, tendo como hipótese que quanto menor o número de famílias cadastradas por Centro de Referência de Assistência Social (CRAS), menor a vulnerabilidade econômica.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 PRINCIPAIS EMISSORES DE POLUENTES

Para caracterizar o principal emissor dos poluentes estudados, primeiramente, foram comparadas as taxas de emissão de cada indústria. O resultado pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Gráfico de barras comparando as emissões das indústrias e veiculares.



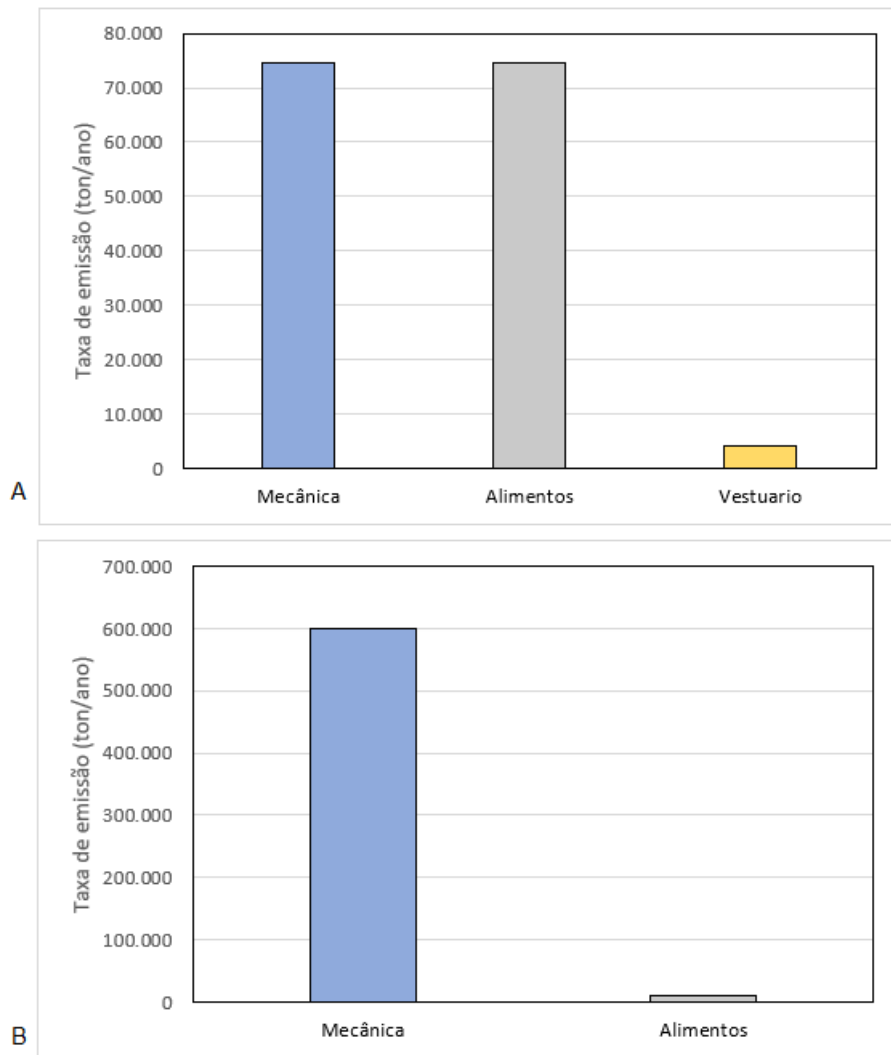
Fonte: Elaborada pela autora.

Dentro da grade de indústrias analisadas, destacando as emissões de  $MP_{10}$ , verifica-se que, dentre as 7 indústrias emissoras deste poluente, as indústrias Urbano e WEG II são as maiores contribuintes, representando com 72.459 ton/ano e 71.485 ton/ano, respectivamente. Já as emissões veiculares, mesmo que presentes, têm seu valor bastante baixo, contribuindo com 153 ton/ano, o que corresponde a apenas 0,2% das emissões da maior indústria da região.

Ainda, mesmo os óxidos de nitrogênio sendo os mais presentes em quantidade de emissão, estes possuem uma quantidade de indústrias emissores menos numerosas. Apenas duas indústrias são responsáveis por essas emissões, sendo a maior contribuinte a indústria Menegotti Metalúrgica, que possui uma emissão de 599.015 ton/ano. Para os veículos, a emissão de NOx é mais significativa do que para o  $MP_{10}$ , porém, é muito inferior às emissões industriais.

As emissões industriais foram caracterizadas de acordo com o setor industrial, como ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Distribuição das emissões industriais de Jaraguá do Sul por setor para o poluente (A)  $MP_{10}$  e (B)  $NO_x$ .



Fonte: Elaborado pela autora.

Identifica-se em uma análise preliminar da Figura 6 que as atividades que apresentam maior contribuição do poluente dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ) são do segmento da indústria mecânica. Por outro lado, as emissões de material particulado ( $MP_{10}$ ) têm quantidades iguais para os setores mecânico e de alimentos.

Após a modelagem separada das concentrações provenientes das emissões veiculares e industriais, a concentração máxima verificada para o cenário veicular é de  $0,22 \mu g/m^3$  para  $NO_2$  e muito menor que zero para  $MP_{10}$ . Em contrapartida, a máxima concentração no cenário industrial é de 319,90 para  $MP_{10}$  e 5.048,82 para  $NO_2$ .

Vale ressaltar que o total das taxas de emissões veiculares foram dispersas por todas as ruas do município e as médias foram realizadas sem considerar as flutuações dos horários de pico no tráfego de veículos. Sendo assim, a concentração calculada é subestimada para os

horários de pico onde há um grande fluxo de veículos, e superestimada para os horários e ruas de baixo tráfego.

Sendo assim, para os parâmetros avaliados neste trabalho, conclui-se que as emissões veiculares não possuem grande influência nas concentrações de ambos os poluentes no município.

## 4.2 AVALIAÇÃO O IMPACTO NA QUALIDADE DO AR CAUSADO PELAS EMISSÕES INDUSTRIAIS E VEICULARES

### 4.2.1 Plumas de dispersão

Para estimar a abrangência dos impactos das emissões de dióxido de nitrogênio e material particulado provenientes de emissões veiculares e industriais, deve-se avaliar a magnitude da dispersão do poluente. Através da modelagem com AERMOD, é obtido como um dos arquivos de saída as concentrações médias de cada poluente para todo o período de estudo em cada receptor da grade utilizada. Através dessas informações pontuais, é possível realizar a interpolação das concentrações com o objetivo de criar uma pluma de dispersão do poluente.

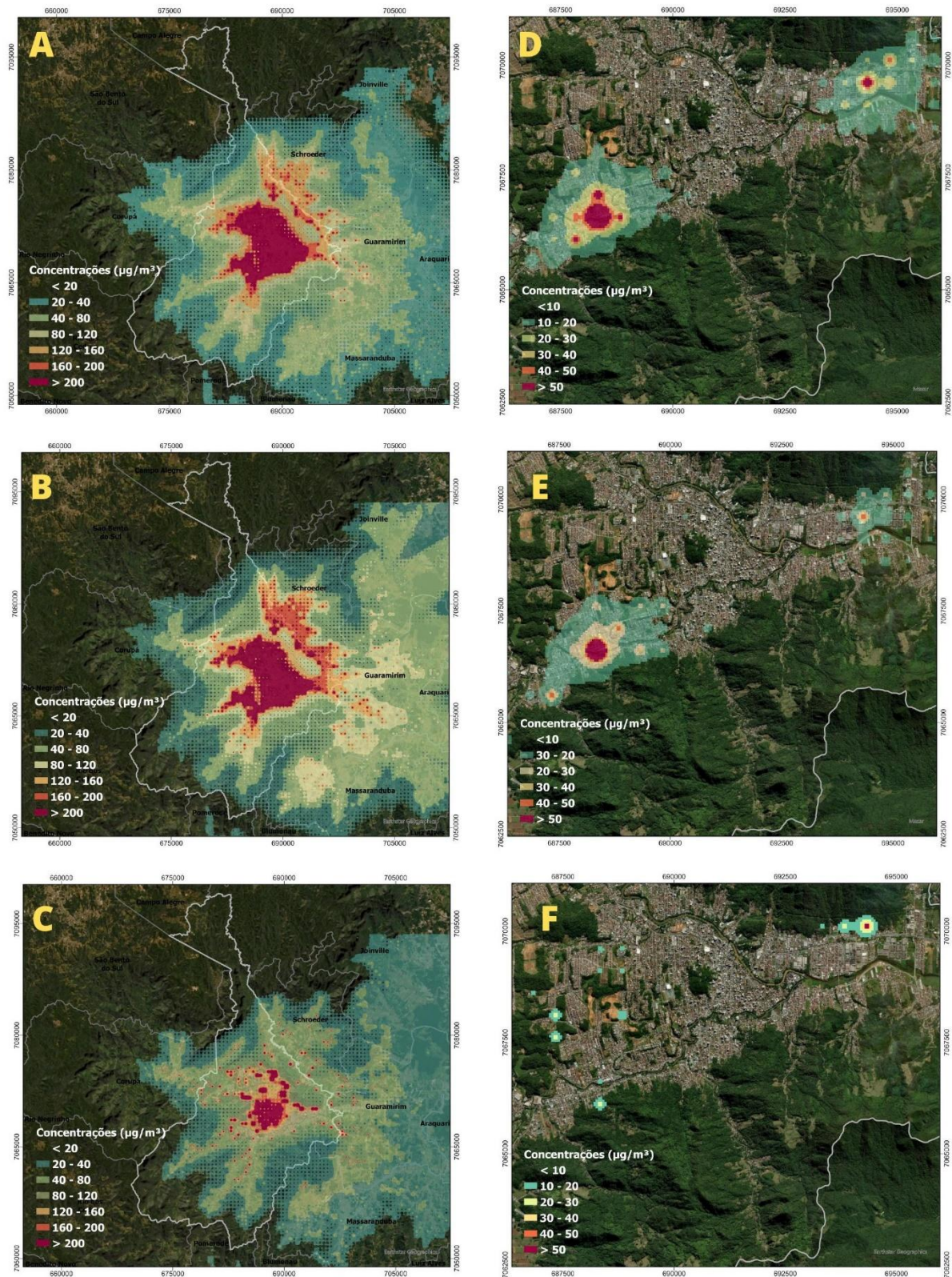
A visualização espacial da pluma de dispersão gerada para o padrão final de 1 hora para o NO<sub>2</sub> e para o padrão final de 24h para o MP<sub>10</sub>, para os 3 cenários, consta na Figura 7. Para o poluente NO<sub>2</sub>, observa-se que as plumas abrangem a quase totalidade do município de Jaraguá do Sul, alcançando ainda os municípios vizinhos Schroeder, Guaramirim, Massaranduba, Araquari e Corupá com concentrações de até 80 µg/m<sup>3</sup>.

O valor máximo aceito pela legislação CONAMA nº 491 para o tempo de média de 1 hora é de 200 µg/m<sup>3</sup>, portanto, constata-se que parte da área central do município, onde encontram-se as plumas vermelhas, houve o registro de valores de concentrações médias superiores ao limite. Destaca-se ainda que, dentre as fontes poluidoras, foram consideradas as emissões veiculares e apenas 2 indústrias.

Comparando os três cenários, é possível verificar a influência da altura da chaminé na capacidade de dispersão do poluente, sendo que quanto menor a altura da chaminé, menor o espalhamento da pluma. Entre as alturas de 10 e 20 metros não se percebe uma grande diferença na mancha vermelha central, mas é visível o maior espalhamento a leste para a chaminé mais alta. Ainda, quando a altura chega a 50 metros, a área abrangida pela pluma de concentrações acima de 200 µg/m<sup>3</sup> diminui consideravelmente. Para os três cenários, tem-se

como valores máximos registrados de concentração média horária de 18.519, 5.048 e 4.901  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Figura 7 - Pluma de dispersão do poluente NO<sub>2</sub> para o (A) cenário 1 com altura de chaminé de 10m (B) cenário 2 com altura de chaminé de 20m e (C) cenário 3 com chaminé de 50m, para o padrão final de 1 hora e para o poluente MP10 com padrão final de 24 horas para o (D) cenário 1, (E) cenário 2 e (F) cenário 3.



Fonte: Elaborada pela autora.



Para o poluente  $MP_{10}$ , pode-se notar que, para valores acima de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , são estimadas plumas em duas áreas distintas do mapa, onde a pluma à esquerda possui em seu centro a indústria Urbano, a qual possui a maior taxa de emissão dentre todas as indústrias analisadas, e a pluma à esquerda está centrada na indústria WEG II.

Percebe-se que, para os três cenários e para ambas as plumas, a área de abrangência de concentrações acima do padrão limite de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  são pequenas, tendo um raio máximo de 300 metros. Para a pluma centrada na indústria WEG II, pode-se comprovar que uma altura de chaminé de 20m é a mais eficiente para a dispersão do poluente, visto que quando se eleva a altura a 50 metros, novamente é observado pontos de violação do padrão final. Já para a indústria Urbano, verifica-se que o aumento da altura da chaminé faz com que a dispersão seja cada vez mais eficiente, sendo que a 50 metros poucos são os efeitos notados na região.

No âmbito de dispersão de gases, variáveis como velocidade do vento, estabilidade atmosférica, obstruções presentes no meio onde ocorre a dispersão, e a altura da chaminé interferem diretamente na dispersão. Uma das explicações para uma maior abrangência das plumas, conforme o aumento da chaminé, é a diminuição dos obstáculos, o que gera menores turbulências nas áreas próximas a fonte e possibilita alcances mais longos pela pluma (CROWL, 2011).

Ainda, verifica-se uma diminuição das concentrações de acordo com o aumento das chaminés. Crowl (2011) destaca que pontos de emissões mais altos diminuem as concentrações observadas no nível do solo, visto que estas indicam uma maior dispersão da concentração no sentido vertical da pluma.

Os três cenários foram, portanto, avaliados de acordo com os valores máximos de concentração permitido para cada poluente. A Tabela 6 traz o número de violações ocorridas em cada cenário.

Tabela 6 - Comparação das três alturas de chaminés e seus impactos sobre o número de pontos e quantidade de violações.

<b>Poluente</b>	<b>Cenário</b>	<b>Nº de pares coordenados</b>	<b>Nº máximo de violações</b>
NO <sub>2</sub>	10 m	395	4839
	20 m	495	4102
	50 m	209	174
MP <sub>10</sub>	10 m	7	457
	20 m	1	382

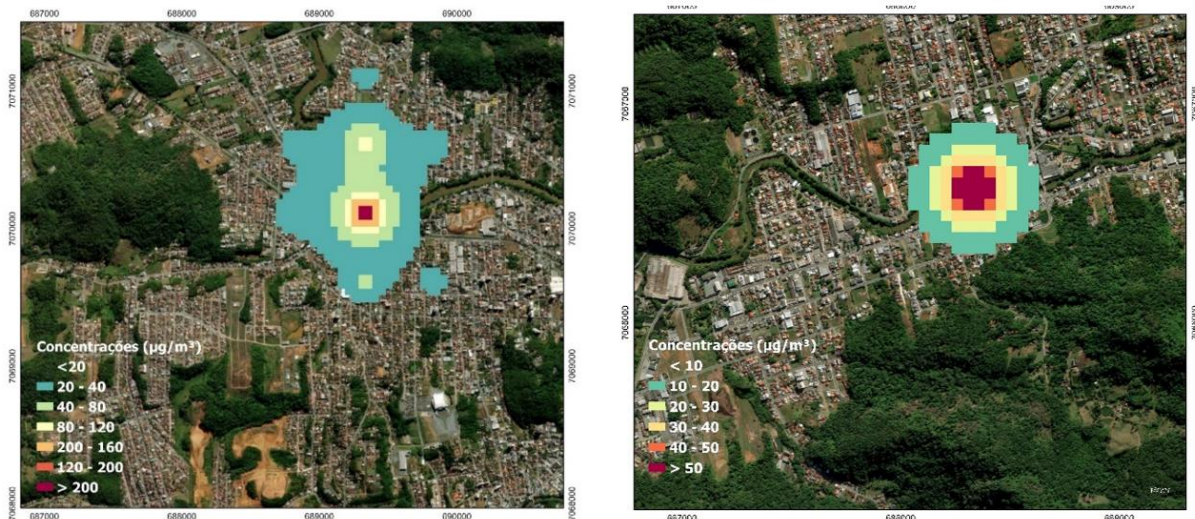
	50 m	1	1
--	------	---	---

Fonte: Elaborado pela autora.

Para ambos os poluentes, os dois primeiros cenários não possuem grandes diferenças. Ambos possuem quantidades próximas de número de violações. Para o poluente  $\text{NO}_2$ , a chaminé a 50 metros tem seu resultado 28 e 23 vezes menor que os outros cenários, o que se leva a conclusão de que esta possui a melhor eficiência de dispersão dos três cenários. Já para o poluente  $\text{MP}_{10}$ , o ponto positivo é a baixa quantidade de pontos de violação, e que o resultado do aumento da altura da chaminé impacta em resultados muito satisfatórios no âmbito de dispersão.

Quando analisadas as modelagens para os padrões anuais, contrário ao resultado obtido para o padrão de uma hora do poluente  $\text{NO}_2$ , o padrão anual teve apenas um cenário em que os valores de concentração excederam o valor máximo permitido de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Figura 8), o cenário 1. O centro da pluma está localizado na indústria Menegotti Metalmecânica, a maior emissora do poluente dentro do domínio de estudo. A distância máxima entre o centro da pluma e o local mais afastado que a pluma abrange é de 1 km, sendo que os valores acima do permitido alcançam uma distância máxima de 650 metros. A concentração média calculada foi de  $229,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Figura 8 - Pluma de dispersão do poluente  $\text{NO}_2$  para o (a) cenário 1 para o padrão final anual e para o poluente  $\text{MP}_{10}$  para o (b) cenário 1 para o padrão final anual.



Fonte: Elaborada pela autora.

Assim como para o NO<sub>x</sub>, para o poluente MP10 foi observada concentrações médias anuais acima do valor máximo permitido de 40 µg/m<sup>3</sup> somente para o cenário 1. O centro da pluma está localizado na indústria Urbano e o raio máximo para os valores acima do padrão final é de 300 metros, tendo uma média máxima de 89,7 µg/m<sup>3</sup>.

Para verificar a magnitude dessas extrapolações dos limites de concentração, utilizou-se o arquivo gerado durante a modelagem de ranqueamento das maiores concentrações calculadas durante todo o período de modelagem, o qual traz como informação o valor da concentração, a localização do receptor onde a concentração foi registrada, e a data do evento, sendo o arquivo limitado a 50. A maior concentração registrada para cada um dos três cenários pode ser observada na Tabela 7.

Para o NO<sub>x</sub>, a data dos eventos para todos os cenários foram as mesmas, sendo observadas em locais próximos. Para os dois primeiros cenários, verifica-se uma mesma magnitude de concentração, o que indica que a dispersão não ocorre de forma eficiente para chaminés com altura menor de 20 metros na região. Ainda, verifica-se que o valor de ambas as concentrações se encontra no nível de atenção de acordo com a CONAMA 491. Por fim, quando observada a concentração máxima para o cenário 3, esta possui um valor 4 vezes menor que os outros dois cenários e está 46,7% acima do padrão final para 1 hora.

Já para o MP10, nos dois primeiros cenários as concentrações máximas são observadas no mesmo dia e local, ultrapassando 2,06 e 1,57 vezes o limite máximo disposto pela legislação. Destaca-se que, para o terceiro cenário, o valor de concentração está 27,6% acima do permitido, porém, essa foi a única máxima verificada em todo o domínio da modelagem.

A altura da camada limite indica a camada em que ocorre o processo de dispersão dos poluentes. A altura da camada limite não é fixa e possui diversos fatores que a influenciam. Durante o período noturno, sua espessura é menor do que durante o dia, devido ao resfriamento do solo durante a noite (PUC-RIO, 2022).

Quando comparados, os cenários 1 e 2 se destacam devido sua maior altura da camada limite, mesmos estes sendo cerca de 5,6 vezes inferior aos maiores valores observados dentro do domínio de estudo. Porém, destaca-se que em todos os cenários os valores de concentração ocorrem durante o período da noite, o que justifica a menor espessura da camada de mistura.

Avaliando a estabilidade da camada, destacam-se o comprimento de Monin-Obukhov e a velocidade do vento. De acordo com os valores de Monin-Obukhov, comprimentos entre 10 e 10<sup>5</sup> metros configuram uma camada estável. Já os valores de velocidade do vento, de

acordo com o sistema de classificação de Pasquill, para dias com insolação leve, menores do que 350 W/m<sup>2</sup>, ventos de velocidade inferior a 2m/s caracterizam uma camada moderadamente instável, e ventos maiores de 3 m/s, são relacionados a camadas levemente instáveis (PUC-RIO, 2022).

Tabela 7 - Informação dos pontos com maior concentração registrada no domínio de estudo para o poluente NO<sub>x</sub> e MP<sub>10</sub>.

Poluente	Cenário	Data	Localização (UTM)	Monin-Obukhov	Altura camada limite	Velocidade e direção do vento	Concentração (µg/m <sup>3</sup> )
NO <sub>x</sub>	1	01/01/2018	688334, 7070115	52 m	13,0 m	1 m/s – 81°	1.224,05
	2	01/01/2018	688334, 7070115				1.176,02
	3	01/01/2018	687834, 7071115	20 m	7,1	0,5 m/s – 123°	293,51
MP10	1	01/01/2018	688334, 7066615	869 m	266,9 m	3,60 m/s - 30°	102,95
	2	01/01/2018	688334, 7066615	685 m	187,7 m	3,1 m/s – 198°	78,52
	3	28/03/2018	694334, 707011	52 m	12,9 m	1 m/s - 12°	63,80

Fonte: Elaborada pela autora.

Mesmo com condições moderadamente e levemente instáveis, de acordo com o sistema de classificação de Pasquill, a altura da camada limite para o NO<sub>2</sub> é muito pequena, não beneficiando uma boa dispersão do poluente. Condições estáveis como apresentadas pelo comprimento de Monin-Obukhov significam que há uma baixa turbulência na camada; sendo assim, a dispersão do poluente é afetada, causando maiores níveis de concentrações do poluente. Tais fatores justificam as concentrações verificadas acima, dos valores permitidos pela legislação vigente.

#### 4.2.2 Identificação dos pontos críticos

Para validar a associação entre as indústrias com altas taxas de emissão e a qualidade do ar da região, foram identificados os pontos críticos do domínio de modelagem. Para isso, foi utilizado o arquivo *maxfile*, gerado durante a simulação, o qual possui o compilado de

todas as concentrações registradas acima do padrão final de referência. A partir desse arquivo, é possível determinar quantas violações do padrão ocorreram em cada ponto da grade de receptores.

Esses pontos são, então, utilizados em uma nova simulação como receptores discretos para o determinar a concentração dos poluentes. Dessa forma, para esses receptores, foram estimadas as concentrações horárias ao longo dos anos de 2018 e 2019 para ambos os poluentes. Portanto, foram selecionados 5 pontos a para o NO<sub>2</sub> e 1 ponto para o MP<sub>10</sub>, sendo eles respectivamente, Ponto 1 (689446, 7069008 UTM), Ponto 2 (691158, 7068980 UTM), Ponto 3 (689253, 7072017 UTM), Ponto 4 (688646, 7070444 UTM), e Ponto 5 (687949, 7067276 UTM).

Visto que o valor de padrão final de concentração determinado pela legislação CONAMA 491/2018 não permite que o valor de referência seja ultrapassado, avaliar o número de eventos excedentes é de extrema importância para ressaltar quais regiões apresentam a pior condição de qualidade do ar no município. O número de violações observados para ambos os poluentes constam na Tabela 8.

Tabela 8 - Localização dos pontos críticos para ambos os poluentes MP10 e NO2.

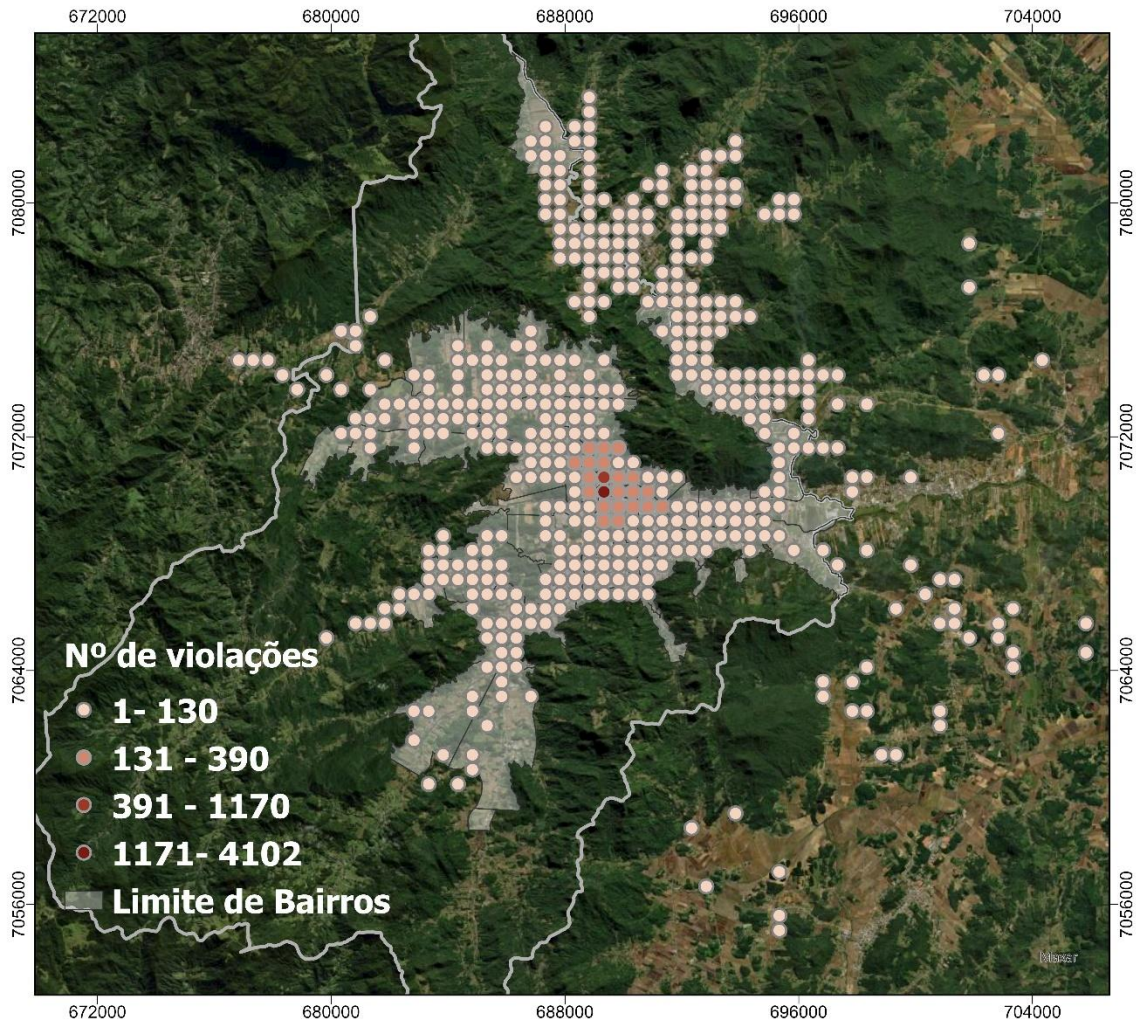
<b>Poluente</b>	<b>Nº de pontos</b>	<b>Nº de violações (min-máx)</b>
NO <sub>2</sub>	495	1 – 4.218
MP <sub>10</sub>	1	382

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A European Commission (2008) define o número total de casos excedentes permitidos ao longo de 1 ano, de 35 ocorrências para o material particulado em um tempo de média de 24h, e 18 ocorrências para o dióxido de nitrogênio em um tempo de média de hora, sendo que no Brasil estes valores ainda não foram definidos. Sendo assim, comparando com a base europeia, o valor máximo de violações para o dióxido de nitrogênio é 234 vezes maior que o valor permitido, já para o material particulado é cerca de 11 vezes maior.

Sendo assim, para melhor avaliar os impactos da qualidade do ar no município, o número de violações foi agrupado por bairros e o resultado pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 - Número de violações do padrão final para o poluente NO<sub>2</sub>.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os bairros onde foram registradas as maiores incidências de violações, em ordem crescente, são Amizade, Vila Lenzi, Centro, Água Verde e Chico de Paula. Como pontos críticos, foram utilizadas as coordenadas centrais de cada bairro do domínio de modelagem, foram definidos a partir dessas violações, sendo utilizadas as coordenadas centrais de cada bairro para as modelagens posteriores. Esses bairros estão localizados nas proximidades da fonte emissora, Menegotti Metalúrgica localizada no bairro Chico de Paula.

Considerando a densidade populacional de cada um dos cinco bairros, e o número de interações para os três grupos analisados e o número de violações do valor máximo de concentração permitido pela legislação, seus valores podem ser observados na Tabela 9.

Tabela 9 - Dados de população, número de violações e número de internações por grupo de risco, para cada bairro que contém um ponto crítico.

<b>Bairro</b>	<b>População (hab.)</b>	<b>Densidade (hab./km<sup>2</sup>)</b>	<b>Nº de violações</b>	<b>Nº de int. C60</b>	<b>Nº de int. R60</b>	<b>Nº de int. R5</b>
Centro	12.272	3.871	1.652	110	109	50
Vila Lenzi	8.252	5.223	1.163	64	48	30
Amizade	6.495	1.718	1.137	21	28	12
Água Verde	3.464	2.771	1.823	77	65	58

Fonte: Elaborada pela autora.

Quando analisadas todas as variáveis, percebe-se que não há um padrão lógico entre o número de violações e o número de internações. A única associação verificada é que o bairro que possui o menor número de violações do padrão final é o que possui o menor número de internações para os três grupos de risco, mesmo tendo o terceiro maior número de habitantes.

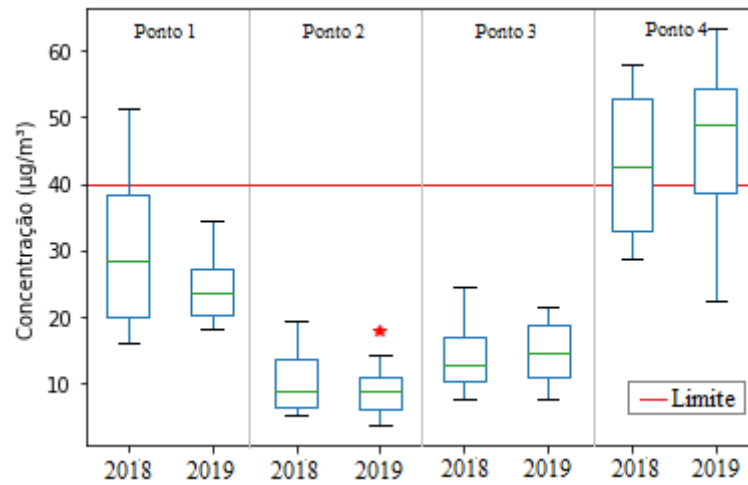
Outro bairro a ser destacado é o Água Verde, que possui a menor população entre os cinco analisados, porém possui o segundo maior número de internações para os três grupos de risco avaliados e o segundo maior número de violações. Ainda, o bairro com maior número de internações é o mesmo que possui o maior número de habitantes.

Por fim, destaca-se que o número de internações para doenças respiratórias e cardiovasculares possuem valores próximos quando analisadas pessoas com idade acima de 60 anos, sendo as doenças cardiovasculares majoritariamente mais altas. Quando comparadas as internações para doenças respiratórias entre os grupos R60 e R5, percebe-se que os valores são sempre maiores para o grupo R60.

Para o poluente MP<sub>10</sub>, o ponto crítico selecionado foi a coordenada central do bairro onde a única coordenada que apresentou violações do valor limite da legislação se localizava, o bairro São Luís. Sendo assim, através desses cinco pontos, uma nova modelagem foi feita, utilizando como pontos discretos.

As médias horárias da concentração de cada poluente para cada novo par de coordenadas foi gerado, possibilitando, assim, analisar a variabilidade dos dados de concentração os quais estão dispostos na Figura 10 e 11.

Figura 10 - Médias anuais das concentrações nos pontos críticos 1 a 4 referentes ao poluente NO<sub>2</sub>.



Fonte: Elaborada pela autora.

Quando analisados os 4 pontos referentes ao poluente NO<sub>2</sub> e comparados aos números de violações, o Ponto 1 que apresentava um maior número de violações não teve a maior concentração. O mesmo acontece para o Ponto 2, que possuía o menor número de violações, mas não possui as menores concentrações dentre os analisados.

Em consideração às diferenças nos valores de concentração entre os anos, verifica-se para os Pontos 2, 3 e 4 um leve aumento na mediana para o ano de 2019. Ainda, para o mesmo ano, nos pontos 1, 2 e 3 há uma diminuição nas concentrações máximas calculadas.

Ressalta-se que a distribuição das concentrações é diretamente influenciada por fatores climáticos, como umidade, temperatura e pressão, fatores dos quais não foram abordados na análise dos resultados obtidos. Porém, durante a modelagem da pluma de dispersão estes dados são utilizados são fundamentais para o pré processador AERMET.

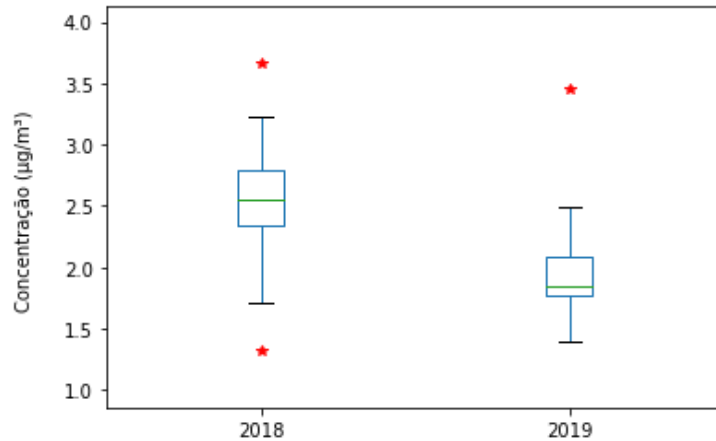
O Ponto 4 é o que possui as maiores concentrações verificadas. Para o ano de 2019, os dados estão muito mais distribuídos, possuem uma grande amplitude, chegando a valores máximos acima de 60 µg/m<sup>3</sup>. Já no ano de 2018, os dados são mais concisos e simétricos. As menores concentrações no domínio de estudo foram calculadas no Ponto 2, bairro Centro. Este também foi o único ponto onde se observou valores de concentração discrepantes.

As medianas das concentrações estimadas não superam os limites de 40 µg/m<sup>3</sup> recomendados pela OMS para o poluente NO<sub>2</sub> nos pontos 1, 2 e 3. Ainda, suas medianas apresentam valores diversos, os quais variam entre 8 e 28 µg/m<sup>3</sup>. Sendo assim, visto que o par de coordenadas selecionado é equivalente ao ponto com maior número de violações do padrão em cada bairro, pode-se concluir que a qualidade do ar dessas regiões permanece dentro dos



padrões esperados. O ponto 4, entretanto, apresenta concentrações de 42 e 48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , para os anos de 2018 e 2019 respectivamente.

Figura 11 - Médias anuais das concentrações no ponto crítico 5 referentes ao poluente  $\text{MP}_{10}$ .



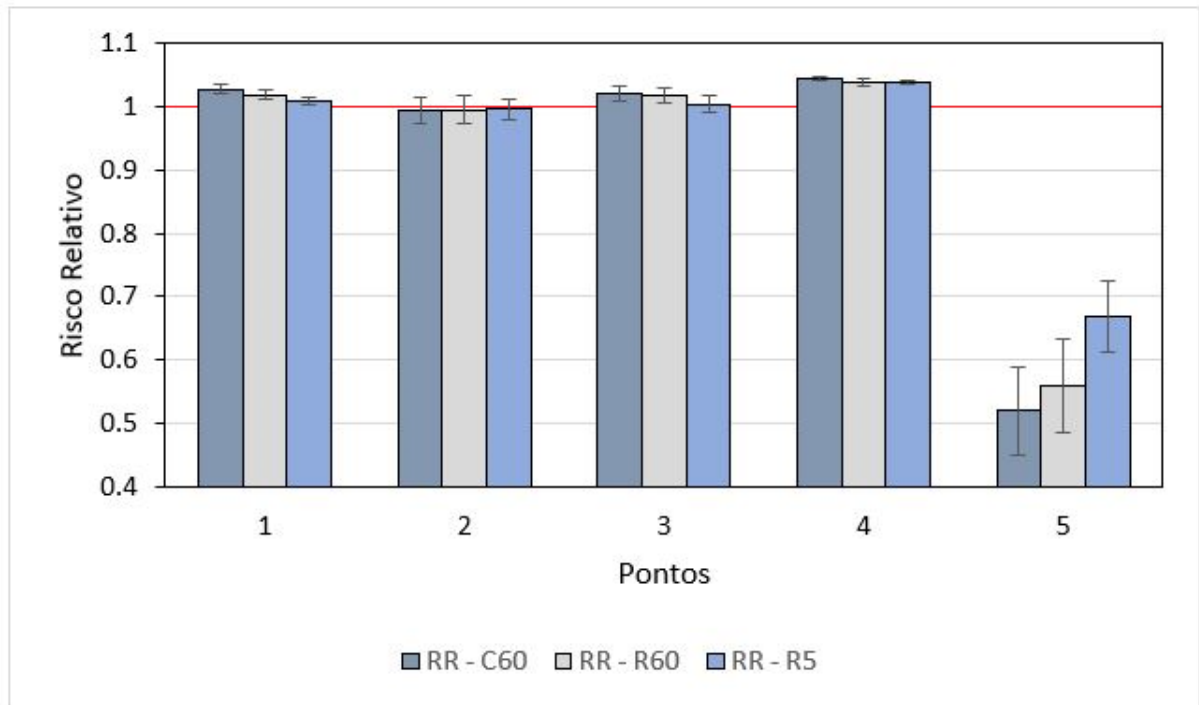
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para o Ponto 5, foram calculadas as concentrações de  $\text{MP}_{10}$ . Avaliando o *boxplot* gerado, nota-se uma disparidade entre a dispersão das concentrações entre ambos os anos. No ano de 2019, os dados se mostram uma menor dispersão dos dados e uma menor amplitude, diferença entre os valores máximo e mínimo observados. Quando compara a mediana das concentrações com o valor máximo estabelecido pela legislação, de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , conclui-se que em nenhum dos anos esse valor foi ultrapassado.

#### 4.3 AVALIAÇÃO O RISCO ASSOCIADO ÀS INTERNAÇÕES HOSPITALARES EM FUNÇÃO DA EXPOSIÇÃO AOS POLUENTES $\text{MP}_{10}$ E $\text{NO}_2$

Os resultados indicam que existe um risco relativo devido à poluição do ar nos Pontos 1, 3 e 4, para os três grupos avaliados. Os valores de erro padrão (EP) e o valor do risco relativo associados a cada grupo de risco se encontram na Figura 12.

Figura 12 - Valores de risco relativo e erro padrão e para os três grupos de risco avaliados.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os resultados relacionados ao poluente  $\text{NO}_2$  mostram um Risco Relativo positivo e acima de 1 em 75% dos casos, o que indica que existe uma associação entre exposição e doença ou evento (BRANCO, 2020). Os Pontos 2 e 5 possuem concentrações bastante inferiores, quando comparados aos outros avaliados, o que justifica uma não relação entre exposição e doença. Porém, destaca-se que o Ponto 2 possui um valor muito mais próximo de 1 do que o Ponto 5.

Os maiores valores do RR estão associados às internações por doenças cardiovasculares em idosos, ou seja, idosos que morem a uma distância entre 500m (Ponto 1, 2 e 4) ou 1000 metros (Ponto 3) da empresa Urbano possuem uma maior probabilidade de serem internados por essas doenças, do que idosos que não moram na região e não estão expostos diariamente a essas concentrações.

Os menores valores de risco apresentados foram para as doenças respiratórias em crianças com menos de 5 anos, que demonstra um aumento máximo de 3,79% destas desenvolverem uma doença respiratória em comparação a outras crianças não expostas à concentração média diária de  $44,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Para entender se outros fatores possam estar associados ao número de internações, além do nível de exposição aos poluentes, de acordo com a Prefeitura Municipal de Jaraguá

do Sul (PMJS), as maiores vulnerabilidades elencadas na população da cidade são a insegurança alimentar, a ausência de renda e vulnerabilidades relacionadas à saúde.

Sendo assim, tendo como hipótese que os bairros de maior número de famílias com ausência de renda são aqueles que possuem um maior número de famílias beneficiárias do programa Bolsa Família, a associação entre n° de internações e renda pode ser avaliada.

A PMJS disponibilizou os dados de n° de beneficiários do Bolsa Família nas cidades para cada Centros de Referência de Assistência Social (CRAS). Atualmente, na cidade, existem 7 CRAS, que agrupam todos os bairros do município. Os dados do número de beneficiários por centro, e bairros associados podem ser consultados no Quadro 4.

Quadro 4 - Número de famílias beneficiadas pelo programa Bolsa Família por Centro Referência de Assistência Social (CRAS) e bairros associados.

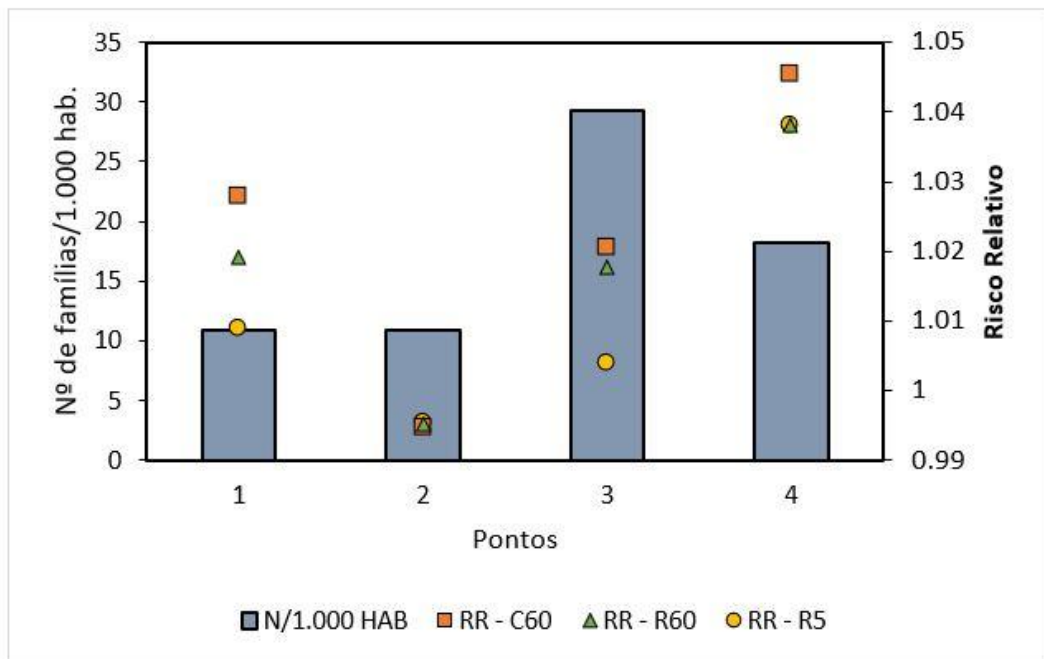
<b>Unidade CRAS</b>	<b>Bairros atendidos</b>	<b>N° de famílias beneficiadas pelo Bolsa Família</b>	<b>N° de auxílios/hab.</b>	<b>N° de famílias /1.000 hab.</b>
Baependi	Barra do Rio Molha, <b>Centro</b> , Czerniewicz, Rau, Rio Cerro I e II, Rio Molha e Três Rios do Sul	297	0,01	11
Santo Antônio	<b>Amizade</b> , Santo Antônio e Três Rios do Norte	351	0,03	29
Vila Lenzi	Chico de Paulo, Jaraguá Esquerdo, Nova Brasília, <b>São Luís</b> , Tifa Martins e <b>Vila Lenzi</b>	325	0,01	11
Jaraguá 84	Barra do Rio Cerro, Garibaldi, Jaraguá 84, Jaraguá 99, Parque Malwee e Rio da Luz	207	0,01	11
Ilha da Figueira	Águas Claras, Boa vista, Centenário, Ilha da Figueira, Vila Baependi e Vila Nova	198	0,01	10
João Pessoa	João Pessoa, Santa Luzia, Vieira e Vila Lalau	164	0,01	13
Ribeirão	<b>Água Verde</b> ,	261	0,02	18

Cavalo	Braço do Ribeirão Cavalo, Estrada Nova, Nereu Ramos, Ribeirão Cavalo e Tifa Monos			
--------	--	--	--	--

Fonte: PMJS (2020)

A comparação entre os valores de RR para cada ponto avaliado associados ao número de famílias associado a cada CRAS está ilustrado na Figura 13.

Figura 13 - Valores de Risco Relativo e N° de famílias beneficiadas pelo programa Bolsa Família /1.000 hab.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Em ordem crescente, os pontos com maiores risco para os três grupos avaliados são Ponto 4, Ponto 1, Ponto 3, localizados nos bairros Água Verde, Vila Lenzi e Amizade, respectivamente. Os centros responsáveis por esses bairros possuem 18, 11 e 29 famílias registradas no programa a cada 1.000 habitantes. Já o Ponto 2 e 5, que não apresentaram riscos, localizados no bairro Centro e São Luís, ambos possuem 11 famílias a cada 1.000 habitantes.

Rodrigues, Ignotti e Hacon (2019) através da análise dos efeitos do material particulado na mortalidade por doenças cardiovasculares de acordo com o nível socioeconômico concluíram que áreas com condições de vida precárias e alta exposição ao tráfego de veículos aumentaram o risco de doenças cardiovasculares mortalidade. Quando

comparados os valores de RR associados aos números de famílias beneficiadas pelo programa Bolsa família, não se verifica a mesma associação. Ainda, os resultados para os três grupos de risco avaliados apresentam o mesmo padrão.

O menor valor de RR está associado ao menor número de família cadastradas. Porém, neste mesmo ponto, observa-se uma menor concentração do poluente NO<sub>2</sub>. Sendo assim, conclui-se que o valor de RR está diretamente ligado à concentração média do poluente e efeitos de renda da população não demonstram afetar em grandes escalas os resultados.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi avaliado o impacto das emissões industriais e veiculares dos poluentes de NO<sub>2</sub> e MP<sub>10</sub> na qualidade do ar do município de Jaraguá do Sul/SC. As concentrações dos poluentes foram determinadas a partir do software AERMOD, e tiveram seus valores comparados com a Resolução CONAMA 491/2018. Foram identificados os pontos críticos dentro do domínio da modelagem, para posteriormente ser aplicada à metodologia de RR, proposta por Ostro (2004), a qual é baseada na regressão dos dados de concentração e internações.

Os resultados mostraram que há um impacto na qualidade do ar do município, e este está atrelado, principalmente, às emissões de NO<sub>2</sub>, provenientes das indústrias. O valor máximo de concentração registrado para o padrão de 1h foi de 5.048 µg/m<sup>3</sup> que supera o padrão final estabelecido pela legislação. Os bairros com maiores pontos críticos foram Centro, Amizade, Vila Lenzi e Água Verde, todos localizados aos arredores da indústria de maior emissão do poluente. Sendo assim, conclui-se que, para um raio de 500 m, uma chaminé com altura de 20 m não proporciona uma dispersão suficiente para cumprir os limites legais.

Para os três grupos de risco avaliados, em 3 dos 4 pontos foram verificados que, para o poluente NO<sub>2</sub>, apresentaram valores de RR acima de 1, afirmando uma associação entre exposição às concentrações do poluente e o número de internações hospitalares. Para os três pontos, os três grupos apresentaram valores acima de 1, sendo os maiores valores observados para a população acima de 60 anos. Para o poluente MP<sub>10</sub> não foi observado um fator de risco.

Em relação às emissões veiculares, pontua-se que o valor da taxa de emissão do município foi utilizado na totalidade das vias estruturais e arteriais do município, sem distinção de fluxo de veículos. Sendo assim, para as vias com grande tráfego em horários pontuais, a proporção dos resultados foi subestimada, e para vias de baixa circulação, seu impacto foi superestimado.

Os resultados observados mostram que há uma influência da qualidade do ar sobre a saúde da população, mesmo que apenas para regiões próximas as indústrias. Porém, visto que o município de Jaraguá do Sul não conta com um monitoramento da qualidade do ar, as concentrações e resultados obtidos possuem caráter especulativo. Dessa forma, tais variáveis necessitam ser estudadas de forma integrada a outros fatores, como ambientais e socioeconômicos, bem como instigar futuros estudos com emprego de métodos mais robustos e com maior série de dados.

Destacam-se, porém, as limitações presentes no trabalho. Menciona-se que dentre as 14 indústrias listadas para o município de Jaraguá do Sul, apenas metade delas possuíam valores de taxas de emissão de poluentes. Além disso, características das emissões como velocidade e temperatura de emissão, altura e diâmetro de chaminé foram adotadas com base nas médias dos valores apresentados em outras industriais, por serem dados faltantes na base de dados.

## REFERÊNCIAS

- AKBARZADEH, Mohammad Ali *et al.* The association between exposure to air pollutants including PM10, PM2.5, ozone, carbon monoxide, sulfur dioxide, and nitrogen dioxide concentration and the relative risk of developing STEMI: a case-crossover design. **Environmental Research**, [S.L.], v. 161, p. 299-303, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.020>.
- ALMEIDA, Ivo Torres de. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. 1999. 194 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia, Engenharia de Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-31012002-170628/publico/ita.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2022.
- AMBIENTE BRASIL. **PRONAR – Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar**. Disponível em: [https://ambientes.ambientebrasil.com.br/urbano/programas\\_e\\_projetos/pronar\\_programa\\_nacional\\_de\\_controle\\_de\\_qualidade\\_do\\_ar.html](https://ambientes.ambientebrasil.com.br/urbano/programas_e_projetos/pronar_programa_nacional_de_controle_de_qualidade_do_ar.html). Acesso em: 18 jul. 2022.
- ARANI, Mohsen Hesami *et al.* Dispersion of NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> pollutants in the rolling industry with AERMOD model: a case study to assess human health risk. **Journal Of Environmental Health Science and Engineering**, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 1287-1298, 3 jun. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40201-021-00686-x>.
- ARBEX, Marcos Abdo *et al.* A poluição do ar e o sistema respiratório. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, [S.L.], v. 38, n. 5, p. 643-655, out. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-37132012000500015>.
- BORGES, Raquel Rocha *et al.* Modelagem da dispersão atmosférica de material particulado (MP10) e os impactos da utilização de veículos de carga movidos a GNL em São Paulo. **Geography Department University Of Sao Paulo**, [S.L.], v. 41, p. 1-13, 12 dez. 2021. Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/eissn.2236-2878.rdg.2021.185828>.
- BRANCO, Socorro Castelo. **Epidemiologia e o conceito de risco**. São Luís: Una-Sus, 2020. Disponível em: <https://ares.unasus.gov.br/acervo/html/ARES/13754/1/Epidemiologia%20e%20Conceito%20de%20Risco.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2022.
- BRASIL. 1989. Institui o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR. **Resolução Conama Nº 005, de 15 de junho de 1989**. Brasília, 30 ago. 1989. n. 005, Seção 1, p. 15048.
- BRASIL - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Qualidade do Ar. 2016. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar.html>.
- CARVALHO JUNIOR, João Andrade de; LACAVA, Pedro Teixeira. **Emissões em processos de combustão**. São Paulo: Unesp, 2003. 135 p.



CARVALHO, Adriana Vidal França de. **Controle de Emissões Fugitivas de Compostos Orgânicos Voláteis em Componentes de Linhas de Processo de Refinarias de Petróleo**. 2016. 229 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Sistemas de Gestão, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/2800/Dissert%20Adriana%20Vidal%20Fran%C3%A7a%20de%20Carvalho.pdf?sequence=1>. Acesso em: 16 jul. 2022.

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea, 2011. 39 p. Disponível em: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1578/1/td\\_1606.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1578/1/td_1606.pdf). Acesso em: 19 jul. 2022.

CETESB (São Paulo). **Qualidade do ar no Estado de São Paulo 2020**. São Paulo: Cetesb, 2021. 228 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2021/05/Relatorio-de-Qualidade-do-Ar-no-Estado-de-Sao-Paulo-2020.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2022.

CETESB. **Qualidade do Ar: poluentes**. Poluentes. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em: 18 jul. 2022.

CONAMA. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. **Resolução N° 491, de 19 de novembro de 2018**. 223. ed., S.I., 21 nov. 2018. Seção 1, p. 155. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=21/11/2018&jornal=515&pagina=155>. Acesso em: 15 maio 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Perfil das indústrias nos Estados**. 2020. Disponível em: <https://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br>. Acesso em: 15 jul. 2022.

COSTA, Amine Farias; HOEK, Gerard; BRUNEKREEF, Bert; LEON, Antonio Carlos Monteiro Ponce de. Effects of NO<sub>2</sub> exposure on daily mortality in São Paulo, Brazil. **Environmental Research**, [S.L.], v. 159, p. 539-544, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.041>.

De Simoni, W. *et al.* 2021. **O Estado da Qualidade do Ar no Brasil**. Working Paper. São Paulo, Brasil: WRI Brasil.

EPA. **Air Quality Dispersion Modeling: preferred and recommended models**. Preferred and Recommended Models. 2021. Disponível em: <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-preferred-and-recommended-models>. Acesso em: 26 set. 2021.

EPA. United States Environmental Protection Agency. **Criteria Air Pollutants**. 2021. Disponível em: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants>. Acesso em: 15 jul. 2022.

European Commission. **Air Quality Standards**. Disponível em: <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>. Acesso em: 14 maio 2022.

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (União Europeia). **Air and Health**. 2016b. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/2599XXX/page003.html>. Acesso em: 15 jul. 2022.

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (União Europeia). **Air pollution**. 2020. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/intro>. Acesso em: 15 jul. 2022.

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (União Europeia). **Air pollution sources**. 2021. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-sources-1>. Acesso em: 8 ago. 2022.

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (União Europeia). **Sources of air pollution**. 2016a. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/2599XXX/page010.html>. Acesso em: 15 jul. 2022.

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (União Europeia). **Urbana air quality**. 2022. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/urban-air-quality>. Acesso em: 15 jul. 2022.

FIESC. **Santa Catarina Industrial**. Disponível em: [https://www2.fiescnet.com.br/web/pt/site\\_topo/pei/info/santa-catarina-industrial](https://www2.fiescnet.com.br/web/pt/site_topo/pei/info/santa-catarina-industrial). Acesso em: 15 jul. 2022.

GOMES, Lucas Abreu. **Qualidade do ar em zonas industriais: análise dos padrões temporais e espaciais de ozônio e de óxidos de nitrogênio na zona industrial urbana de Mirandela (Portugal)**. 2020. 93 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Tecnologia Ambiental, Escola Superior Agrária de Bragança, Bragança, 2020.

IBGE. **Frota de veículos: Jaraguá do Sul**. Jaraguá do Sul. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/jaragua-do-sul/pesquisa/22/28120>. Acesso em: 26 set. 2021.

IBGE. **Jaraguá do Sul**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/jaragua-do-sul/panorama>. Acesso em: 26 set. 2021.

IBGE. **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação**. 2022b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html>. Acesso em: 17 jul. 2022.

IBGE. **Santa Catarina**. 2022a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/panorama>. Acesso em: 16 jul. 2022a.

INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. **Poluição do ar: conheça as principais fontes de poluição do ar, os efeitos à saúde e as medidas de controle**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/causas-e-prevencao-do-cancer/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/poluentes/poluicao-do-ar>. Acesso em: 15 jul. 2022.

LCQAR. **Avaliação do impacto das emissões veiculares, queimadas, industriais e naturais na qualidade do ar em Santa Catarina: ano base 2020**. Florianópolis: LCQAR, 2021. Disponível em: [https://lcqar.ufsc.br/novo/wp-content/uploads/2021/06/Avalia%C3%A7%C3%A3o-do-impacto-das-emiss%C3%B5es\\_Santa-Catarina\\_2020.pdf](https://lcqar.ufsc.br/novo/wp-content/uploads/2021/06/Avalia%C3%A7%C3%A3o-do-impacto-das-emiss%C3%B5es_Santa-Catarina_2020.pdf). Acesso em: 17 jul. 2022.

LI, Zhaohui *et al.* Association between exposure to air pollutants and the risk of hospitalization for pulmonary embolism in Beijing, China: a case-crossover design using a

distributed lag nonlinear model. **Environmental Research**, [S.L.], v. 204, p. 112321, mar. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2021.112321>.

MACEDO, Laura S. V. Problemas Ambientais Urbanos Causados pelo Trânsito na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). **Chapter**, v. 8, p. 305-346, 2001.

MENDES, Francisco Eduardo. **Avaliação de programas de controle de poluição atmosférica por veículos leves no Brasil**. 2004. 179 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: [http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/Francisco\\_Eduardo\\_Mendes.pdf](http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/Francisco_Eduardo_Mendes.pdf). Acesso em: 18 jul. 2022.

MOREIRA, Davidson; TIRABASSI, Tiziano. Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera: um instrumento técnico para a gestão ambiental. **Ambiente & Sociedade**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 159-172, dez. 2004. Fap UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1414-753x2004000200010>.

PEREZ, Laura *et al.* Associations of daily levels of PM10 and NO2 with emergency hospital admissions and mortality in Switzerland: trends and missed prevention potential over the last decade. **Environmental Research**, [S.L.], v. 140, p. 554-561, jul. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2015.05.005>.

PINO-CORTÉS, Ernesto *et al.* Effect of socioeconomic status on the relationship between short-term exposure to PM2.5 and cardiorespiratory mortality and morbidity in a megacity: the case of Santiago de Chile. **Air Quality, Atmosphere & Health**, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 509-517, 2 abr. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11869-020-00818-6>.

PMJS - Prefeitura de Jaraguá do Sul. **Demanda ouvidoria - Dados de vulnerabilidade social por bairro do município**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <schwarz.daiane@gmail.com>. em: 26 jul. 2022.

PNUD. **Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**: objetivo 11. cidades e comunidades sustentáveis. Objetivo 11. Cidades e Comunidades Sustentáveis. Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/ods/11/>. Acesso em: 26 set. 2021.

POPE, C. Arden; DOCKERY, Douglas W.; SCHWARTZ, Joel. Review of Epidemiological Evidence of Health Effects of Particulate Air Pollution. **Inhalation Toxicology**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 1-18, jan. 1995. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.3109/08958379509014267>.

PRIYANKARA, Sajith *et al.* Ambient PM2.5 and PM10 Exposure and Respiratory Disease Hospitalization in Kandy, Sri Lanka. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [S.L.], v. 18, n. 18, p. 9617, 12 set. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph18189617>.

PUC-RIO. **Dispersão Atmosférica**. Disponível em: [https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/5174/5174\\_3.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/5174/5174_3.PDF). Acesso em: 9 ago. 2022.

- QUEIROZ, Paula Guimarães Moura **Estudos da poluição do ar do município de Sete Lagoas, MG utilizando técnicas nucleares**. 2006. 201f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, 2006.
- RODRIGUES, Poliany Cristiny de Oliveira; IGNOTTI, Eliane; HACON, Sandra de Souza. Fatores socioeconômicos aumentam os efeitos nocivos da poluição atmosférica e da temperatura na mortalidade. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, [S.L.], v. 22, p. 2-11, 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1980-549720190011>.
- ROVIRA, Joaquim; DOMINGO, José L.; SCHUHMACHER, Marta. Air quality, health impacts and burden of disease due to air pollution (PM10, PM2.5, NO2 and O3): application of airq+ model to the camp de Tarragona county (Catalonia, Spain). **Science of the Total Environment**, [S.L.], v. 703, p. 135538, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135538>.
- RZESZUTEK, M; A SZULECKA. Assessment of the AERMOD dispersion model in complex terrain with different types of digital elevation data. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S.L.], v. 642, n. 1, p. 012014, 1 jan. 2021. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/642/1/012014>.
- SANTA CATARINA (Estado). Aprova, nos termos do inciso XIII, do art. 12, da Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009, a listagem das atividades sujeitas ao licenciamento ambiental, define os estudos ambientais necessários e estabelece outras providências. **Resolução Consema nº 98, de 5 de maio de 2017**. Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://www.sde.sc.gov.br/index.php/biblioteca/consema/legislacao/resolucoes/654--56/file>. Acesso em: 18 maio 2022.
- SANTOS1, Ubiratan de Paula *et al.* Environmental air pollution: respiratory effects. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, [S.L.], p. 1-13, 28 fev. 2021. Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia. <http://dx.doi.org/10.36416/1806-3756/e20200267>. Disponível em: <http://www.jornaldepneumologia.com.br/details/3483/en-US/environmental-air-pollution--respiratory-effects>. Acesso em: 15 jul. 2022.
- SHAIKH, Kaleemullah *et al.* Health risk assessment of emissions from brick kilns in Tando Hyder, Sindh, Pakistan using the AERMOD dispersion model. **Sn Applied Sciences**, [S.L.], v. 2, n. 7, p. 1-11, 26 jun. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s42452-020-3089-1>.
- SILVA, José Adailton Barroso da *et al.* A URBANIZAÇÃO NO MUNDO CONTEMPORÂNEO E OS PROBLEMAS AMBIENTAIS. **Cadernos de Graduação**, Aracaju, v. 2, n. 2, p. 197-207, out. 2014. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernohumanas/article/view/1723/964>. Acesso em: 15 jul. 2022.
- STOLFI, Adrienne *et al.* AERMOD modeling of ambient manganese for residents living near a ferromanganese refinery in Marietta, OH, USA. **Environmental Monitoring and Assessment**, [S.L.], v. 193, n. 7, p. 419-435, 13 jun. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-021-09206-8>.
- US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Revision to the Guideline on Air Quality Models: Enhancements to the AERMOD Dispersion Modeling System and

Incorporation of Approaches to Address Ozone and Fine Particulate Matter. **Proposed Rule, 40 CFR Part 51**, 2017.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. User's guide for the AMS/EPA regulatory model—AERMOD. 2022.

VELASQUE, Luciane de Souza. **Aplicação dos modelos de Cox e Poisson para obter medidas de efeito em um estudo de coorte**. 2011. 69 f. Tese (Doutorado) – Curso de Ciências, Saúde Pública, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2011.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (a). **Air pollution**. Disponível em: [https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1). Acesso em: 26 set. 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (b). **Disability-adjusted life years (DALYs)**. Disponível em: <https://www.who.int/data/gho/indicator-metadata-registry/imr-details/158>. Acesso em: 26 set. 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air Quality Guidelines: global update 2005**. Denmark: Druckpartner Moser, 2006. 484 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000-2019 (Global Health Estimates Technical Paper WHO/DDI/DNA/GHE/2020.3). Disponível em: [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/gho-documents/global-health-estimates/ghe2019\\_daly-methods.pdf?sfvrsn=31b25009\\_7](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/gho-documents/global-health-estimates/ghe2019_daly-methods.pdf?sfvrsn=31b25009_7). Acesso em: 14 maio 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **9 out of 10 people worldwide breathe polluted air, but more countries are taking action**. 2018. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>. Acesso em: 16 jul. 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Ambient (outdoor) air pollution**. 2021. Disponível em: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). Acesso em: 15 jun. 2022.

## ANEXO A – FONTES DE EMISSÃO

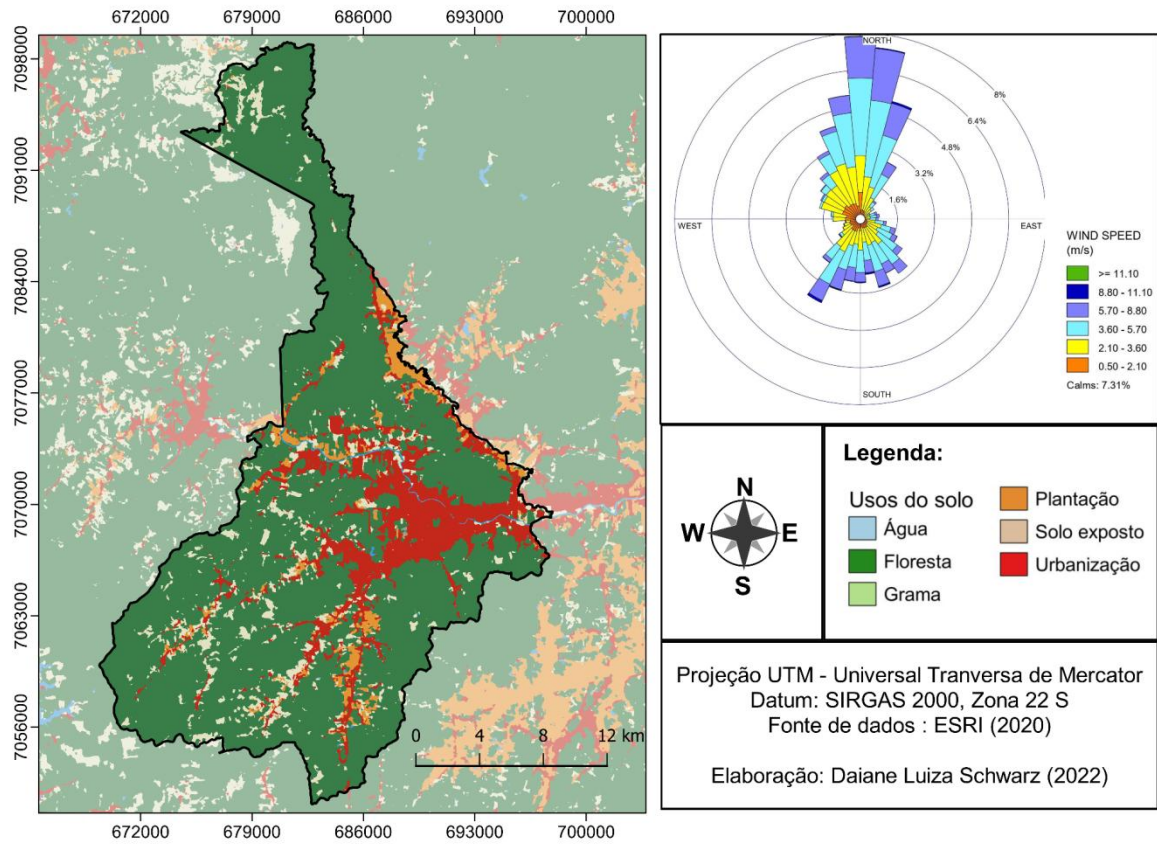
Fonte	Tipo	Long.	Latitude	Altitude	Altura da chaminé	Temp. de saída	Vel. de saída	Diâmetro	Taxa MP	Taxa NOx
BEL	POINT	692224	7074543	30	50	296.15	1.5	0.27	0	0
ART	POINT	690791	7070389	30	50	301.15	1.5	0.40	0	0
RAC	POINT	686581	7084096	30	50	435.45	1.5	0.40	0.060	0
LEI	POINT	680971	7072503	30	50	295	1.5	0.40	0	0
ORB	POINT	685819	7065809	30	50	295	1.5	0.40	0	0
FOR	POINT	695993	7069752	30	50	295	1.5	0.40	0.122	0
MEN1	POINT	689310	7070315	30	50	295	1.5	0.40	0.004	0
MEN2	POINT	689310	7070315	30	50	295	1.5	0.40	0.020	0
MEN3	POINT	689310	7070315	30	50	295	1.5	0.40	0.020	0
MEN4	POINT	689310	7070315	30	50	295	1.5	0.40	0	17.22
CSM	POINT	691745	7069261	30	50	295	1.5	0.40	0	0
KS	POINT	685040	7067661	30	50	325.15	1.5	0.40	0.004	0
MET1	POINT	695530	7068686	30	50	320.15	1.5	0.40	0	0
MET2	POINT	695530	7068686	30	50	305.15	1.5	0.40	0	0
WEG1	POINT	689982	7069815	30	50	305.83	1.5	0.55	0.014	0
WEG2	POINT	689982	7069815	30	50	308.19	1.5	0.60	0.008	0
WEG3	POINT	689982	7069815	30	50	304.46	1.5	0.38	0.006	0
WEG4	POINT	689982	7069815	30	50	311.67	1.5	0.35	0.003	0
WEG5	POINT	689982	7069815	30	50	299	1.5	0.60	0.003	0
WEG6	POINT	689982	7069815	30	50	293.79	1.5	0.64	0.003	0
WEG7	POINT	689982	7069815	30	50	293.74	1.5	0.50	0.003	0
WEG8	POINT	689982	7069815	30	50	297.48	1.5	0.32	0	0
WEG9	POINT	694373	7069834	30	50	305.83	1.5	0.82	0.031	0
WEG10	POINT	694373	7069834	30	50	325.88	1.5	0.90	0.094	0
WEG11	POINT	694373	7069834	30	50	327.67	1.5	0.55	0.044	0
WEG12	POINT	694373	7069834	30	50	314.13	1.5	0.85	0.031	0
WEG13	POINT	694373	7069834	30	50	306.31	1.5	0.58	0.003	0
WEG14	POINT	694373	7069834	30	50	314.91	1.5	0.80	0	0
WEG15	POINT	694373	7069834	30	50	311.76	1.5	1.50	0.586	0
WEG16	POINT	694373	7069834	30	50	301.52	1.5	1.70	0.614	0
WEG17	POINT	694373	7069834	30	50	312.63	1.5	0.95	0.114	0
WEG18	POINT	694373	7069834	30	50	314.74	1.5	0.90	0.119	0
WEG19	POINT	694373	7069834	30	50	312.44	1.5	1.42	0.217	0
WEG20	POINT	694373	7069834	30	50	310.14	1.5	1.15	0.122	0

WEG21	POINT	694373	7069834	30	50	306.29	1.5	0.60	0.006	0
WEG22	POINT	694373	7069834	30	50	306.29	1.5	0.60	0.003	0
WEG23	POINT	694373	7069834	30	50	303.05	1.5	0.52	0.019	0
WEG24	POINT	694373	7069834	30	50	298.06	1.5	0.52	0.003	0
WEG25	POINT	694373	7069834	30	50	305.32	1.5	0.60	0.003	0
WEG26	POINT	694373	7069834	30	50	333.5	1.5	0.20	0	0
WEG27	POINT	694373	7069834	30	50	308.04	1.5	0.60	0.006	0
WEG28	POINT	694373	7069834	30	50	297.47	1.5	0.40	0.006	0
WEG29	POINT	694373	7069834	30	50	297.6	1.5	0.40	0.003	0
WEG30	POINT	694373	7069834	30	50	297.6	1.5	0.62	0.003	0
WEG31	POINT	694373	7069834	30	50	308.47	1.5	1.00	0.008	0
WEG32	POINT	694373	7069834	30	50	300.33	1.5	0.55	0.006	0
WEG33	POINT	694373	7069834	30	50	321	1.5	0.95	0.014	0
URB	POINT	688347	7066670	30	50	295	1.5	0.40	2.083	0.27

Fonte: LCQAR (2020).

Latitude e longitude – m;  
 Altitude – m;  
 Altura – m;  
 Temperatura de saída – K;  
 Velocidade - m/s;  
 Diâmetro – m;  
 Taxa de MP10 e NOx – g/s.

## ANEXO B – MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.



Fonte: Elaborado pela autora.

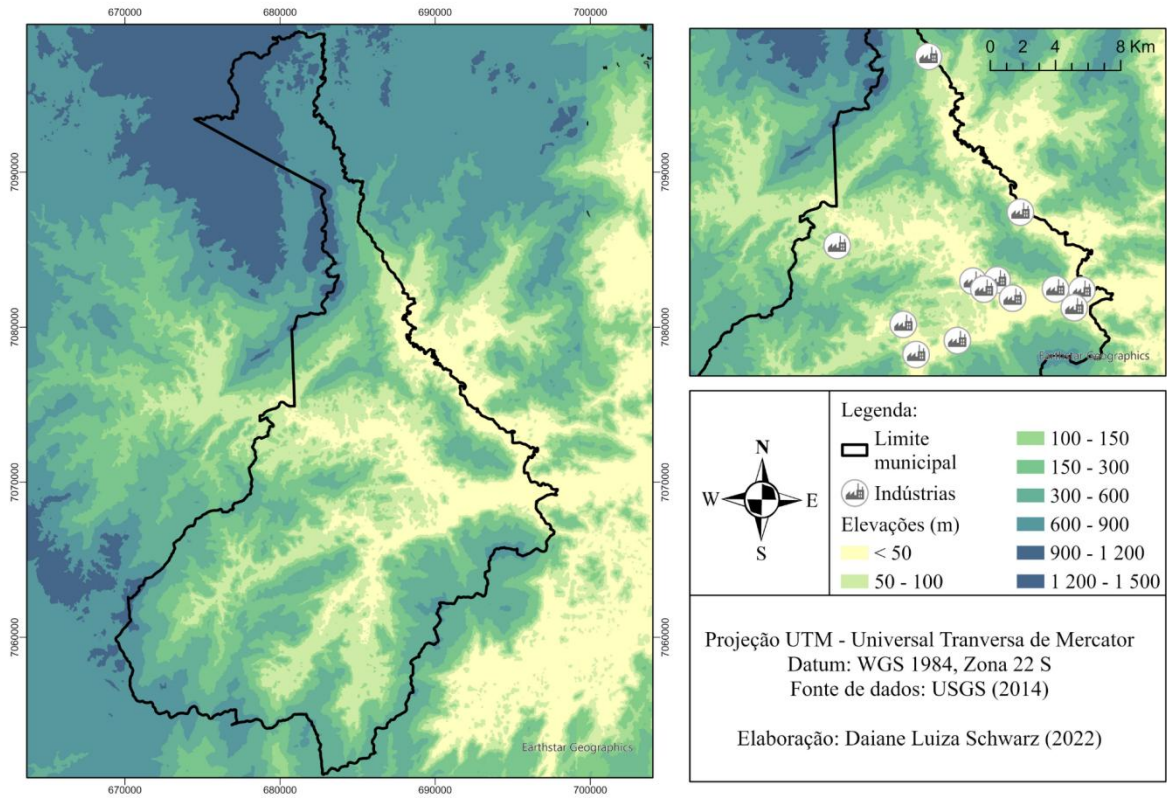


**ANEXO C - VALORES DE ALBEDO, RAZÃO DE BOWEN E RUGOSIDADE,  
DETERMINADOS PARA A ÁREA DE ESTUDO.**

Estação do ano	Quartil	Razão de		
		Albedo	Bowen	Rugosidade
<b>Primavera</b>	1	0,14	0,87	1,07
	2	0,16	0,90	1,24
	3	0,14	0,93	1,13
	4	0,13	0,86	1,11
<b>Verão</b>	1	0,14	0,93	1,07
	2	0,16	0,89	1,24
	3	0,15	0,96	1,13
	4	0,13	0,96	1,11
<b>Outono</b>	1	0,15	1,39	1,06
	2	0,15	0,96	1,13
	3	0,15	1,46	1,13
	4	0,14	1,35	1,11
<b>Inverno</b>	1	0,37	1,76	1,06
	2	0,42	1,84	1,22
	3	0,38	1,86	1,11
	4	0,34	1,64	1,11

Fonte: Elaborado pela autora.

**ANEXO D – MAPA HIPSOMÉTRICO DO MUNICÍPIO DE JARAGUÁ DO SUL E LOCALIZAÇÃO DAS INDÚSTRIAS ABORDADAS NO ESTUDO.**



Fonte: Elaborado pela autora.

**ANEXO E – VALORES DE BETA, ERRO PADRÃO E RISCO RELATIVO PARA OS TRÊS GRUPOS DE RISCO AVALIADOS.**

Tabela 10 - Valores de beta ( $\beta$ ), risco relativo (RR) e erro padrão (EP) para o grupo de risco R60 - Doenças respiratórias em idosos com mais de 60 anos.

<b>Doenças respiratórias em idosos com mais de 60 anos (R60)</b>					
<b>Ponto</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
$\beta$	0,0199	0,1056	0,0526	0,0264	0,4809
RR	1,0190	0,9953	1,0176	1,0381	0,5592
EP	0,0079	0,0210	0,0114	0,0048	0,0745
Conc. média	27,3457	9,5234	14,3239	44,3826	2,2848

Tabela 11 - Valores de beta ( $\beta$ ), risco relativo (RR) e erro padrão (EP) para o grupo de risco C60 - Doenças cardiovasculares em idosos com mais de 60 anos.

<b>Doenças cardiovasculares em idosos com mais de 60 anos (C60)</b>					
<b>Ponto</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
$\beta$	0,0290	0,1175	0,0618	0,0315	0,5413
RR	1,0278	0,9948	1,0207	1,0456	0,5198
EP	0,0065	0,0202	0,0119	0,0030	0,0696

Tabela 12 - Valores de beta ( $\beta$ ), risco relativo (RR) e erro padrão (EP) para o grupo de risco R5 - Doenças respiratórias em crianças até 5 anos.

<b>Doenças respiratórias em crianças até 5 anos (R5)</b>					
<b>Ponto</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
$\beta$	0,0092	0,0990	0,0121	0,0263	0,3336
RR	1,0088	0,9956	1,0040	1,0379	0,6682
EP	0,0067	0,0173	0,0133	0,0027	0,0561