

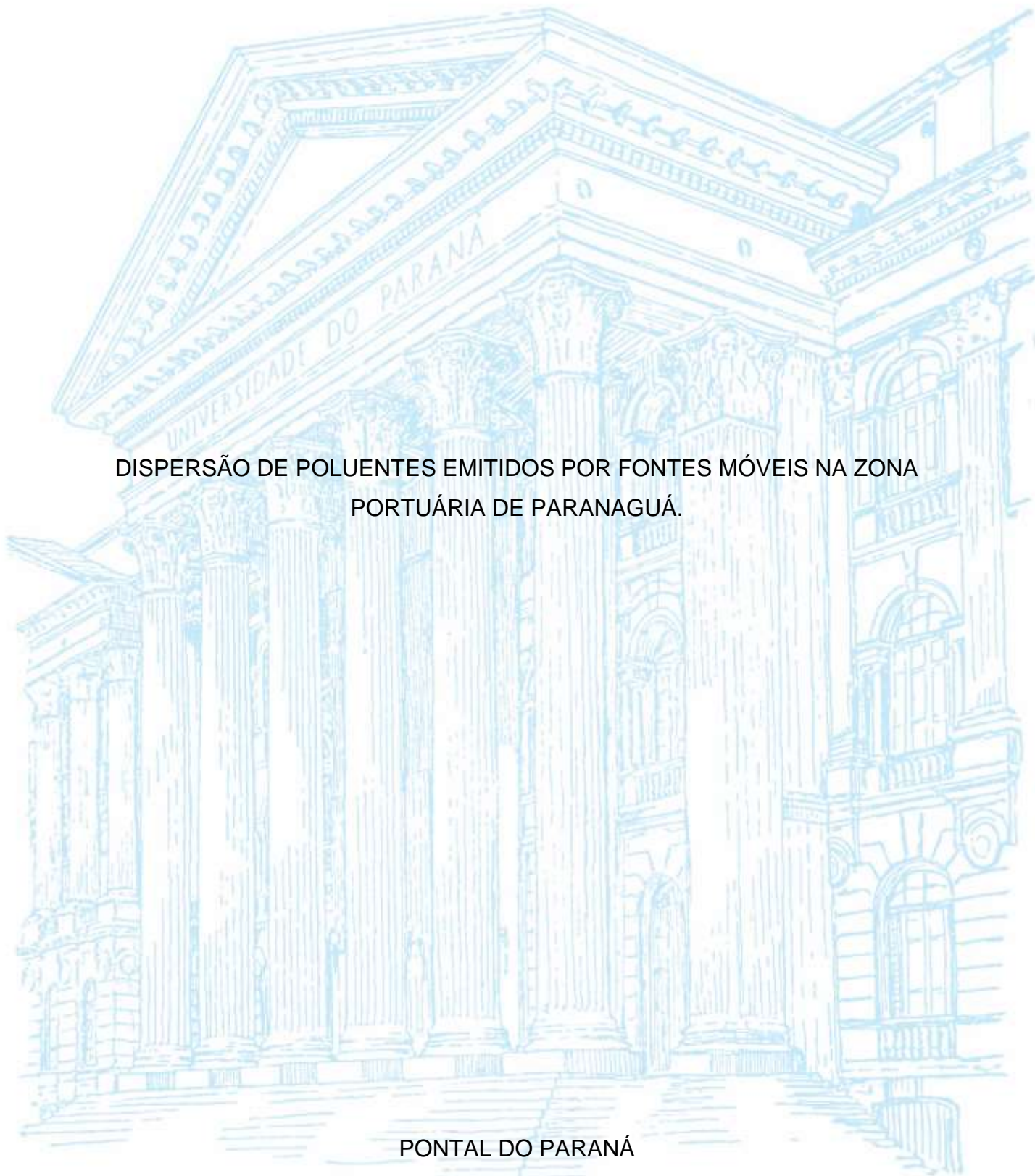
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

WESLEY NOGUEIRA RIBEIRO

DISPERSÃO DE POLUENTES EMITIDOS POR FONTES MÓVEIS NA ZONA
PORTUÁRIA DE PARANAGUÁ.

PONTAL DO PARANÁ

2019



WESLEY NOGUEIRA RIBEIRO

DISPERSÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS EMITIDOS POR FONTES
MÓVEIS NA ZONA PORTUÁRIA DE PARANAGUÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de graduação no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Campus Pontal do Paraná, Centro dos Estudos do Mar, da Universidade Federal do Paraná.

Orientação: Dr. Fernando Augusto Silveira Armani

PONTAL DO PARANÁ

2019

CATALOGAÇÃO NA FONTE:
UFPR / SiBi - Biblioteca do Centro de Estudos do Mar
Fernanda Pigozzi – CRB 9/1151

R484d Ribeiro, Wesley Nogueira
Dispersão de poluentes atmosféricos emitidos por fontes móveis na zona portuária de Paranaguá. / Wesley Nogueira Ribeiro. – Pontal do Paraná, 2019.
42 f.: il., 29 cm.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silveira Armani.

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

1. Poluentes ambientais. 2. Ar – Poluição. 3. Cidade portuária. I. Título. II. Armani, Fernando Augusto Silveira. III. Universidade Federal do Paraná.


CDD 628.53

TERMO DE APROVAÇÃO


Wesley Nogueira Ribeiro

“Dispersão de poluentes atmosféricos emitidos por fontes móveis na zona portuária de Paranaguá”


Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para a Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária (Disciplina de TCC II - CEM237), da Universidade Federal do Paraná (UFPR), pela Banca Avaliadora formada pelos membros:



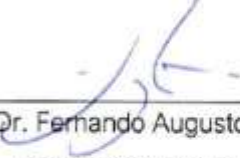
João Carlos de Oliveira - IAP/PR




Dirlene Cavalcanti e Silva - IAP/PR



Prof. Dr. Virnei Silva Moreira - CEM/UFPR



Prof. Dr. Fernando Augusto Silveira Armani - CEM/UFPR
Orientador(a) e Presidente (ou suplente)



Profa. Dra. Sílvia Pedroso Melegari
Coordenadora do Curso

Pontal do Paraná, 10 de dezembro de 2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela saúde e por todo suporte que permitiu realizar esse trabalho.

Ao meu Pai, minha Mãe e meu irmão, pelo amor incondicional e também da minha vó, tias e até meu cachorro, pelo apoio, disposição e confiança, que estiveram me ajudando sempre que possível.

Ao meu orientador, o professor Fernando Armani pela paciência, pelo aprendizado compartilhado, empenho e dedicação à elaboração deste trabalho.

Aos outros professores da UFPR/CEM que contribuíram de alguma forma no desenvolvimento desse trabalho.

Ao Instituto Ambiental do Paraná, pela disponibilização dos dados da estação de monitoramento da qualidade do ar da cidade de Paranaguá, que contribuíram na realização deste estudo.

Aos meus amigos e colegas de classe e todos que puderam contribuir na elaboração desse trabalho.

“Persistência é o caminho do êxito”
Charles Chaplin

RESUMO

Neste trabalho apresenta-se uma simulação da concentração de NO₂ no ar em uma região da zona portuária de Paranaguá-PR com o modelo CALINE-4. As concentrações de NO₂ consideradas neste trabalho foram emitidas por fontes móveis em cinco ruas da cidade de Paranaguá. O cenário atmosférico definido para a simulação foi o mais recorrente do mês fevereiro de 2017 e junho de 2017, utilizando os dados da estação do monitoramento da qualidade do ar do Instituto Ambiental do Paraná (IAP). A maior concentração de NO₂ obtida no verão foi de 235 µg.m⁻³, enquanto no inverno foi de 1646 µg.m⁻³. Ambas concentrações estão situadas sobre a rua com maior circulação de veículos na cidade: Avenida Ayrton Senna. Tanto no verão como no inverno as concentrações foram maiores do que a concentração preconizada pela Organização Mundial da Saúde. Sendo que no inverno a concentração chegou no nível de atenção de classificação da Resolução CONAMA nº 491 de 2018.

Palavra-chave: CALINE-4. Dispersão de poluentes. Fontes móveis.

ABSTRACT

This work presents a simulation of NO₂ gas concentration in the air in the port region of Paranaguá, Brazil, using the CALINE-4 model. The NO₂ concentrations considered in this work were emitted by vehicles in five streets of the city of Paranaguá. The atmospheric scenario defined for the simulation was the most recurrent of February 2017 and June 2017, using data from the air quality monitoring station of the Instituto Ambiental do Paraná (IAP). The highest NO₂ concentration obtained on summer (February 2017) was the 235 µg.m⁻³ and winter (June 2017) was 1646 µg.m⁻³. The two concentrations is around on the street with highest the circulation of vehicule on the city: on the street Ayrton Senna. Both concentration on Summer and Winter were higher than the concentration recommended by the World Health Organization. In this winter scenario, the concentration reached the level of attention in the CONAMA Resolution No. 491 of 2018.

Keywords: CALINE-4. Dispersion of pollutant. Vehicles emissions.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS GERAIS	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.3 JUSTIFICATIVA	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3 METODOLOGIA	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	33
REFERÊNCIAS	35
APÊNDICE 1 – CONTABILIZAÇÃO DE VEÍCULOS NAS RUAS	39

1 INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é oriunda de fontes naturais e antrópicas. Entre as fontes antrópicas, as veiculares se destacam no Brasil, também denominadas fontes móveis, devido à atual grande quantidade de veículos movidos a combustíveis fósseis (TAVARES *et al.*, 2010).

No processo de queima de combustível no motor ocorre a emissão de gases poluentes, tal como os óxidos de nitrogênio (NO_x), que são os NO e NO₂. Os NO_x estão entre os poluentes atmosféricos mais emitidos por fontes veiculares, principalmente por veículos movidos à diesel (DRUM *et al.*, 2014). Segundo Guarieiro *et al.* (2011), caminhões, ônibus e caminhonetes a diesel podem emitir cerca de cinco vezes mais óxidos de nitrogênio (NO_x) do que os veículos à gasolina. Logo, em locais onde o tráfego de veículos de grande porte é mais intenso, tal como na zona portuária de Paranaguá, a concentração de óxidos de nitrogênio é maior.

A cidade de Paranaguá está localizada no litoral do Estado do Paraná e tem um dos maiores portos graneleiros do Brasil. Devido ao porto, há um intenso tráfego de veículos na cidade, tanto rodoviários quanto aquaviários. Logo, a qualidade do ar dessa cidade é bastante influenciada pelas fontes móveis de poluentes atmosféricos.

Os gases NO_x podem provocar doenças respiratórias (Cançado *et al.*, 2006), gerar chuva ácida (Drumm *et al.*, 2014) e são precursores de outros poluentes atmosféricos, tal como do ozônio troposférico (ALVES e ALVES, 2019). As concentrações desses gases na atmosfera estão regulamentadas pela Resolução CONAMA nº 491 de 2018.

As concentrações dos gases NO_x podem ser avaliadas através do monitoramento ambiental ou estimadas com modelagem matemática. Atualmente há diversos modelos recomendados pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) para fontes móveis, tal como o modelo *California Line Source - 4* (CALINE-4). O CALINE-4 é um modelo de pluma gaussiana, e pode ser utilizado para simular concentrações de poluentes de fontes móveis.

As concentrações de NO₂ emitidas por fontes móveis na zona portuária de Paranaguá foram simuladas neste trabalho com o modelo CALINE-4 para o

cenário atmosférico mais recorrente do mês de fevereiro e junho de 2017, representando as estações do verão e inverno, respectivamente.

Na Seção 2 apresenta-se a revisão bibliográfica do trabalho, onde se abordou as fontes de poluição do ar, os poluentes atmosféricos, os processos envolvidos na dispersão de poluentes na atmosfera e uma breve descrição dos modelos de dispersão de poluentes na atmosfera e dos padrões de legislação no Brasil. Na Seção 3 há uma descrição da região de Paranaguá avaliada neste trabalho, um detalhamento da metodologia de modelagem e do modelo CALINE-4. Na Seção 4 estão os resultados do trabalho, exibindo plumas de concentração de NO₂ para os cenários propostos. Por fim, na Seção 5, estão as conclusões e recomendações.

1.1 OBJETIVOS GERAIS

Simular a dispersão do dióxido de nitrogênio emitido por fontes móveis na região portuária de Paranaguá, nos cenários mais recorrentes de um mês do verão e de um mês do inverno de 2017.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir as condições meteorológicas mais recorrentes do mês de fevereiro e de junho de 2017;
- Quantificar o tráfego veicular de vias da região portuária de Paranaguá;
- Elaborar a simulação da dispersão de poluentes atmosféricos oriunda de fontes móveis com o Modelo CALINE-4;
- Avaliar as plumas de poluentes atmosféricos nas condições atmosféricas dos cenários encontrados para o mês de fevereiro de 2017 (verão) e de junho de 2017 (inverno) e compará-las com os padrões legislados.

1.3 JUSTIFICATIVA

O Instituto Ambiental do Paraná instalou na cidade de Paranaguá no ano de 2016 uma estação de monitoramento de qualidade do ar (IAP). Com isso é

possível avaliar várias concentrações de poluentes em diversos cenários. Apesar de Paranaguá ser a maior cidade do litoral do Paraná e nela conter um dos maiores portos graneleiros do país, até o presente há poucos estudos sobre a qualidade do ar nesta cidade.

A zona portuária de Paranaguá tem indústrias com emissões pontuais de poluentes atmosféricos e um tráfego veicular intenso com emissões móveis desses poluentes. Os veículos que frequentam a região são de diversas localidades do país, que acessam o porto para transportar produtos.

Neste contexto este trabalho apresenta uma avaliação da concentração do Dióxido de Nitrogênio na atmosfera da região portuária de Paranaguá, que foi emitido por fontes móveis.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os veículos automotores têm grande participação na deterioração da qualidade do ar no Brasil devido ao combustível fóssil utilizado pela maioria dos veículos nesse país (TEIXEIRA *et al.*, 2008; TAVARES *et al.*, 2010). Além disso, a quantidade de veículos produzidos e em circulação aumentou significativamente nos últimos anos: atualmente há cerca de 207.837 veículos a mais em circulação no país do que no ano de 2017 no Estado do Paraná (DETRAN, 2018). O ritmo do trânsito também agrava a poluição do ar: o ritmo lento dos veículos em vias congestionadas, por exemplo, consome mais combustível, conseqüentemente, há maior emissão de poluentes no ar (TEIXEIRA *et al.*, 2008).

Wiese (2018) simulou a concentração de poluentes atmosféricos emitidos por veículos automotores em uma via de tráfego da cidade de Curitiba-PR com 4 faixas de circulação de veículos. Duas dessas faixas são linhas de transporte urbano de uso exclusivo de ônibus. Wiese (2018) constatou que os veículos do transporte urbano são responsáveis por 77% das concentrações de óxidos de nitrogênio (NO_x) na atmosfera sobre essa via. De fato, os veículos movidos a diesel como ônibus e caminhões emitem 20% mais NO_x do que os carros (GUARIEIRO *et al.*, 2011).

Um dos combustíveis que mais emite gases poluentes é o diesel. Isso ocorre devido ao aquecimento intenso dos motores dos veículos à diesel. Em motores à diesel o processo de combustão ocorre a temperaturas mais altas em comparação com a gasolina. Esse aquecimento promove a reação do gás nitrogênio (N_2) com o oxigênio (O_2), formando o NO_x (DRUMM *et al.*, 2014).

Os poluentes têm um tempo de vida na atmosfera. De acordo com Araújo (2016), o metano (CH_4) pode durar dezenas de anos até ser oxidado em CO_2 , enquanto o NO_x dura apenas alguns dias. Na atmosfera o NO é oxidado a NO_2 , e posteriormente retorna ao NO através da fotólise do NO_2 . O Oxigênio emitido nesse processo é um reagente da produção do O_3 troposférico (DALLAROSA, 2005), que por sua vez, pode reagir com o NO formando NO_2 novamente e O_2 conforme as reações (ALVES e ALVES, 2019):

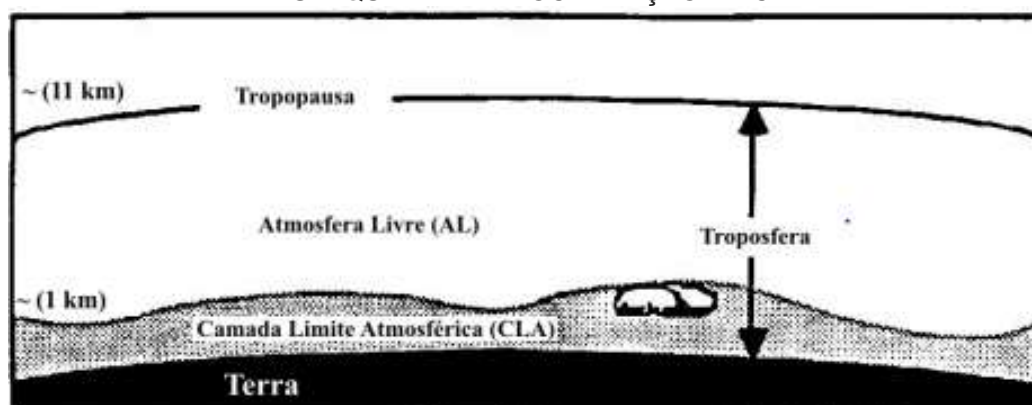


em que $h\nu$ representa a energia da radiação solar. O ozônio é rapidamente oxidado na atmosfera seguindo a reação (3) acima, tendo um tempo de vida na atmosfera bem curto (RODRIGUES, 2016).

Em grandes centros urbanos, as concentrações do ozônio troposférico têm gerado problemas na saúde da população (DALLAROSA, 2005). Esses gases são acumulados em ambientes que também estão contaminados com Compostos Orgânicos Voláteis (COVs), pois os COVs interferem na reação (3) (DALLAROSA, 2005).

Os poluentes são emitidos numa camada da atmosfera denominada camada limite atmosférica (CLA), cuja altura pode chegar a 2 km. A CLA está localizada na troposfera, conforme exemplificado na FIGURA 1 (VALLE; NASCIMENTO, 2005). Os poluentes atmosféricos são dispersos na CLA devido à advecção (deslocamento do fluido) e à difusão turbulenta (MOREIRA, 2007; TIRABASSI; MORAES, 2008). A difusão turbulenta ocorre devido ao movimento turbulento da atmosfera promovido pelo vento e pela variação da densidade do ar. Por exemplo, quando a massa de ar é aquecida pela irradiação terrestre, ela tende a subir e ocupar o espaço de massas de ar mais frias. Além disso, o cisalhamento do vento na superfície promove a mistura turbulenta do ar atmosférico, aumentando a difusão turbulenta e, conseqüentemente, dispersando os poluentes (MOREIRA, 2007; TIRABASSI; MORAES, 2008).

FIGURA 1 - A FIGURA MOSTRA A ESTRUTURA DA TROPOSFERA, COM DESTAQUE PARA A LOCALIZAÇÃO DA CLA.



Fonte: Stull (1998).

Através da velocidade do vento na CLA e da radiação solar pode-se estimar a estabilidade atmosférica (NÉRIS *et al.*, 2016). A estabilidade atmosférica pode ser classificada conforme estabelecido por Pasquill (1961). A TABELA 1 resume as classes de estabilidade atmosférica, onde A é extremamente instável, B é moderadamente instável, C pouco instável, D neutra, E fracamente estável e F é moderadamente estável.

TABELA 1 – APRESENTAÇÃO DAS 6 CLASSES DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA.

Velocidade do vento a 10 m do solo (m/s)	Radiação Solar (I) (W/m ²) (I > 700)	Radiação		Cobertura noturna de nuvens (cn) cn ≥ 4/8	Cobertura noturna de nuvens (cn) cn ≥ 3/8
		Solar (I) (W/m ²) (350 ≤ I ≤ 700)	Solar (I) (W/m ²) (I < 350)		
< 2	A	A-B	B	--	--
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Fonte: Adaptada de Pasquill (1961).

A estabilidade atmosférica varia ao longo do dia, e algumas classes ocorrem com mais frequência em determinadas estações do ano. Dependendo de como a atmosfera está classificada, os poluentes se dispersam mais. Por

exemplo, Silveira (2019) verificou maior concentração de poluentes atmosféricos na cidade do Rio de Janeiro-RJ no inverno do que no verão. Nérís *et al.* (2016) também constataram altas concentrações de poluentes no período do inverno e menores concentrações de poluentes no período do verão na cidade de Porto Alegre-RS. No verão a atmosfera é com mais frequência classificada em instável do que no inverno.

Em dias mais quentes, a superfície aquecida pela radiação solar aquece as camadas de ar em contato com ela, gerando um gradiente de temperatura na atmosfera, que favorece a circulação vertical do ar. Isso ocorre devido à menor densidade do ar aquecido em relação ao ar mais frio, que está mais distante da superfície. Nesse caso a atmosfera está em condições instáveis (TORRES; MARTINS, 2005).

Já em períodos mais frios, como no inverno ou à noite, a camada de ar em contato com a superfície é resfriada; logo, a densidade do ar mais próximo da superfície é maior, impedindo a circulação vertical do ar na atmosfera. Esse cenário é classificado em estável ou neutro. Logo, dependendo das condições de estabilidade da atmosfera o forçante térmico da turbulência atmosférica é maior ou menor, dispersando mais ou menos os poluentes (GALVANI; LIMA; FALCÃO, 2010).

A dispersão dos poluentes na atmosfera é comumente avaliada fazendo uso de modelos matemáticos. Com esses modelos é possível simular as concentrações de poluentes emitidos por fontes fixas ou móveis (TAVARES *et al.*, 2010; MELO; LIMA; GIMENES, 2016); logo, são instrumentos fundamentais para o planejamento urbano e o licenciamento ambiental, auxiliando as agências reguladoras no controle da qualidade do ar.

Os modelos matemáticos mais utilizados são os de dispersão gaussiana. Eles estimam concentrações de poluentes com base nos cenários atmosféricos, onde as concentrações na pluma de poluentes se distribui conforme uma função de distribuição de probabilidades gaussiana em todas as direções do escoamento (MARTINS *et al.*, 2015; RODRIGUES, 2016). O modelo de pluma gaussiana mais simples é o da equação (1):

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi.n_y.n_z.u} \exp\left(-\frac{y^2}{2n_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2n_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2n_z^2}\right) \right] \quad (1)$$

em que C é a concentração; Q é a taxa de emissão linear (g/s); u é a velocidade do vento (m/s); n_y e n_z são os coeficientes de dispersão horizontal e vertical (m); x indica a distância do receptor na direção do vento (m); y a distância do receptor na direção perpendicular; z altura a partir do solo ; y distâncias horizontais; H a altura das chaminés.

Entre os modelos de pluma gaussiana há o *California Line Source for Queuing & Hot Spot Calculations – Refined* (CAL3QHC-R). Esse modelo pode ser aplicado em vias de tráfego para monitorar o monóxido de carbono (CO) e material particulado (MP), e também pode ser aplicado em estudos que avaliam a emissão de veículos parados, como em semáforos e congestionamentos (TAVARES *et al.*, 2010; MARTINS *et al.*, 2015).

O modelo mais utilizado atualmente também é um modelo de pluma gaussiana: o AERMOD. Esse modelo é recomendado pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) e pode ser utilizado para simular a dispersão de poluentes emitidos por fontes fixas e móveis (RODRIGUES, 2016).

Também há modelos exclusivos para a simulação da dispersão de poluentes emitidos por fontes móveis, tal como o modelo *California Line Source – 3* (CALINE-3). Esse modelo é de pluma gaussiana e pode simular poluentes como CO, MP e gases inertes emitidos por fontes móveis em um alcance de até 150 m (TAVARES *et al.*, 2010).

O Modelo adotado neste trabalho é uma evolução do modelo CALINE-3, o modelo *California Line Source – 4* (CALINE-4). O CALINE-4 foi desenvolvido pelo Departamento de Transporte da Califórnia, e pode ser utilizado para simular concentrações de poluentes como NO₂, CO e MP em um alcance de até 500 metros da fonte emissora (BENSON, 1989; 1992; TAVARES *et al.*, 2010).

Como o CALINE-4 é um modelo de pluma de gaussiana, o cálculo das concentrações de poluentes é baseado na equação (1), desenvolvida para estimar a concentração de poluentes emitidos por fontes fixas (RODRIGUES,

2016). Benson (1989) adaptou a equação (1) para modelagem de poluentes emitidos por fontes móveis conforme a equação (2):

$$C(x, y) = \frac{Q}{\pi \cdot n_z \cdot u} \int_{y_1-y}^{y_2-y} \exp\left(-\frac{y^2}{2n_y^2}\right) dy \quad (2)$$

em que Q é a taxa de emissão linear (g/m.s); u é a velocidade do vento (m/s); n_y e n_z são os coeficientes de dispersão horizontal e vertical (m); x indica a distância do receptor na direção do vento (m); y a distância do receptor na direção perpendicular (m); y₁ e y₂ são distâncias laterais (BENSON, 1992).

Toledo e Nardocci (2013) utilizaram o modelo CALINE-4 para estimar as concentrações de NO_x emitidas por veículos na cidade de São Paulo. Eles identificaram variação nictemeral e sazonal das concentrações de NO_x: ao longo do dia havia picos de concentração no início da manhã e no início da noite devido aos horários de maior tráfego de veículos, e no inverno a concentração desses poluentes era maior do que no verão.

No entanto, esses modelos de dispersão têm suas limitações. De acordo com Martins et al. (2015) o modelo CALINE-4 pode apresentar resultados superestimados e pode não considerar os oxidantes fotoquímicos na formação do NO_x e O₃. Já Marmur e Mamane (2003) constataram que o modelo CALINE-4 apresentou melhor performance na simulação de picos de concentração em comparação com os modelos *Mobile Emission Model* (Mobile5b) e *Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport* (COPERT3).

No Brasil, as concentrações de NO₂ na atmosfera estão regulamentadas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Atualmente, a lei que estabelece a concentração padrão de óxidos de nitrogênio na atmosfera é a Resolução CONAMA nº 491 de 2018. Os padrões atuais de NO₂ é de 200 µg.m⁻³. No caso em que as concentrações de NO₂ extrapolam o padrão legislado, a Resolução CONAMA nº 491 de 2018 estabelece os seguintes níveis de concentração: o nível de atenção (acima de 1130 µg.m⁻³ até 2260), alerta (acima de 2260 até 3000 µg.m⁻³) e emergência (acima de 3000 µg.m⁻³) (BRASIL, 2018). Esses níveis foram estabelecidos para evitar risco à saúde das pessoas com

doenças respiratórias, que devem evitar esforço físico ao ar livre para não agravar os problemas pulmonares (CETESB, 2018).

Com os padrões e os níveis de concentração estabelecidos, foi desenvolvido um Índice da qualidade do ar (IQAR), que classifica a qualidade do ar como boa, moderada, ruim, muito ruim e péssima, visando informar à população a qualidade do ar na região (BRASIL, 2018).

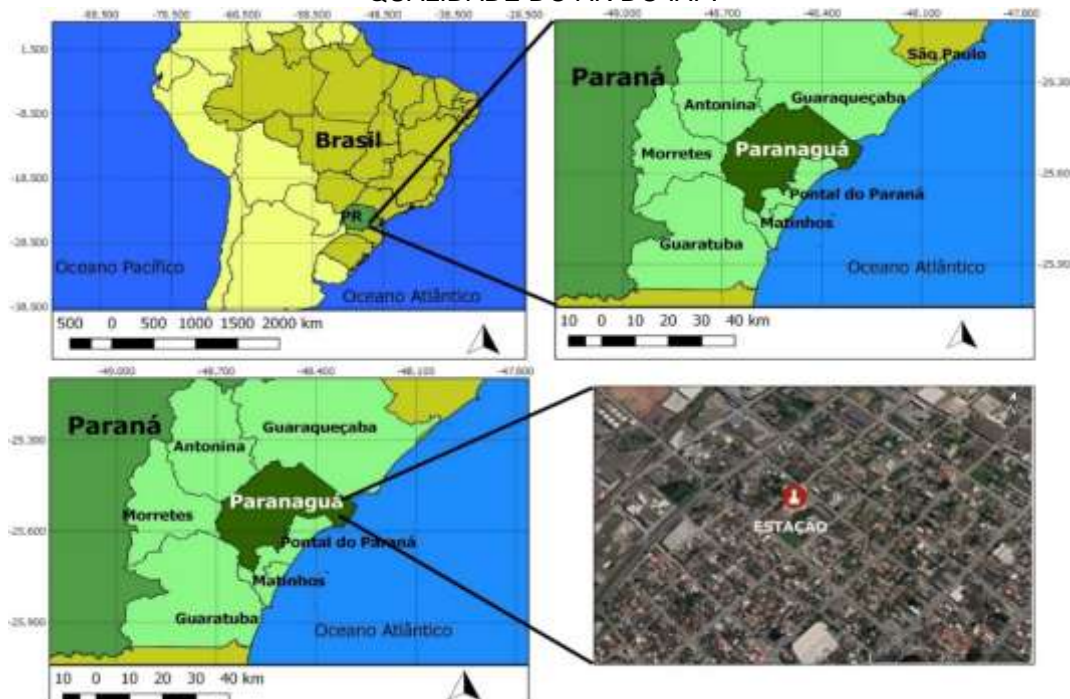
3 METODOLOGIA

O local avaliado neste trabalho é uma área da zona portuária da cidade de Paranaguá-PR. Esse município está no litoral do Paraná e tem uma população residente de 153.666 habitantes (IBGE, 2018).

Na cidade de Paranaguá foi constatado um crescimento da frota de veículos. De acordo com o Detran-PR (2019), um total de 70.447 veículos estão atualmente cadastrados em Paranaguá. Isso corresponde a 46 veículos por 100 habitantes. Em relação ao ano de 2018, no ano de 2019 teve um aumento de 5,30% na frota de veículos de Paranaguá. No entanto, esses números não contabilizam o fluxo de carros e caminhões de outras cidades que se deslocam em direção ao porto.

Nas proximidades da zona portuária de Paranaguá está instalada uma estação da qualidade do ar operada pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), nas coordenadas 25°30'55.6"S e 48°31'13.9"O. Na FIGURA 2 exibe-se um mapa do local de estudo, destacando a estação do IAP cujas medições estão sendo utilizadas neste trabalho.

FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DA ESTAÇÃO DE QUALIDADE DO AR DO IAP.



FONTE: Autor (2019)

A fim de avaliar a dispersão dos poluentes emitidos por fontes móveis, fez-se uso de um modelo desenvolvido no Departamento de Transportes da Califórnia, o *California Line Source - 4* (CALINE-4).

O modelo CALINE-4 requer alguns dados de entrada que são: dados meteorológicos (velocidade e direção do vento, temperatura e altura da camada de mistura), dados de volume tráfego de veículos e as coordenadas dos receptores e pontos de emissão. Esses pontos são transformados no modelo por segmentos que possuem altura, distância, emissão e volume de tráfego. As concentrações são simuladas nos pontos receptores com a equação (2):

$$C(x, y) = \frac{Q}{\pi \cdot n_z \cdot u} \int_{y_1-y}^{y_2-y} \exp\left(-\frac{y^2}{2n_y^2}\right) dy \quad (2)$$

em que Q é a taxa de emissão linear ($\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$); u é a velocidade do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); n_y e n_z são os coeficientes de dispersão horizontal e vertical (m); x indica a distância do receptor na direção do vento (m); y a distância do receptor na direção perpendicular (m); y_1 e y_2 são distâncias laterais (BENSON, 1992).

O modelo CALINE-4 foi utilizado neste trabalho para simular concentrações de NO_2 . De acordo com Teixeira et al. (2008), entre 80 e 90% das emissões de óxidos de nitrogênio NO_x são de origem veicular. O NO_2 pode ser altamente tóxico ao ser humano e possui um odor forte e irritante (DRUMM et al., 2014).

A modelagem foi realizada utilizando os dados meteorológicos da estação de monitoramento da qualidade do ar do (IAP), exibida na FIGURA 2. Esta estação monitora variáveis meteorológicas, como a umidade relativa do ar, chuva, intensidade e direção do vento, pressão atmosférica, temperatura e a radiação solar. Além disso, também mede os seguintes poluentes: ozônio (O_3), materiais particulados totais suspensos (PTS), partículas inaláveis (Mp_{10}), monóxido de carbono (CO), monóxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO_2), Metano (CH_4) e hidrocarbonetos não metano (NMHC). Todas as medições são obtidas com frequência horária. Na FIGURA 3 exibe-se a parte interna da estação e os sensores e analisadores.

FIGURA 3 - PARTE INTERNA DA ESTAÇÃO DE QUALIDADE DO AR. NO PAINEL 1 ESTÃO OS ANALISADORES, NO PAINEL 2 O ABRIGO DO TERMOHIGRÔMETRO, NO PAINEL 3 O ANEMÔMETRO E NO PAINEL 4 O PIRANÔMETRO.



Fonte: Adaptada do IAP (2016)

Entre as variáveis ambientais monitoradas pela estação, foram utilizadas a temperatura, a velocidade e a direção do vento. Com essas variáveis definiu-se o cenário atmosférico mais recorrente no mês de fevereiro de 2017 (verão) e junho de 2017 (inverno). Esses cenários foram identificados através de histogramas da velocidade e direção do vento e da temperatura do ar, apresentados na Seção 4.

O modelo CALINE-4 requer a altura da camada de mistura (ACM) para simulação. Para isso, considerou-se que essa altura é igual à altura do Nível de Convecção Livre (NCL), que foi estimado com a equação (3), que é o mesmo modelo empregado por Tavares et al. (2010):

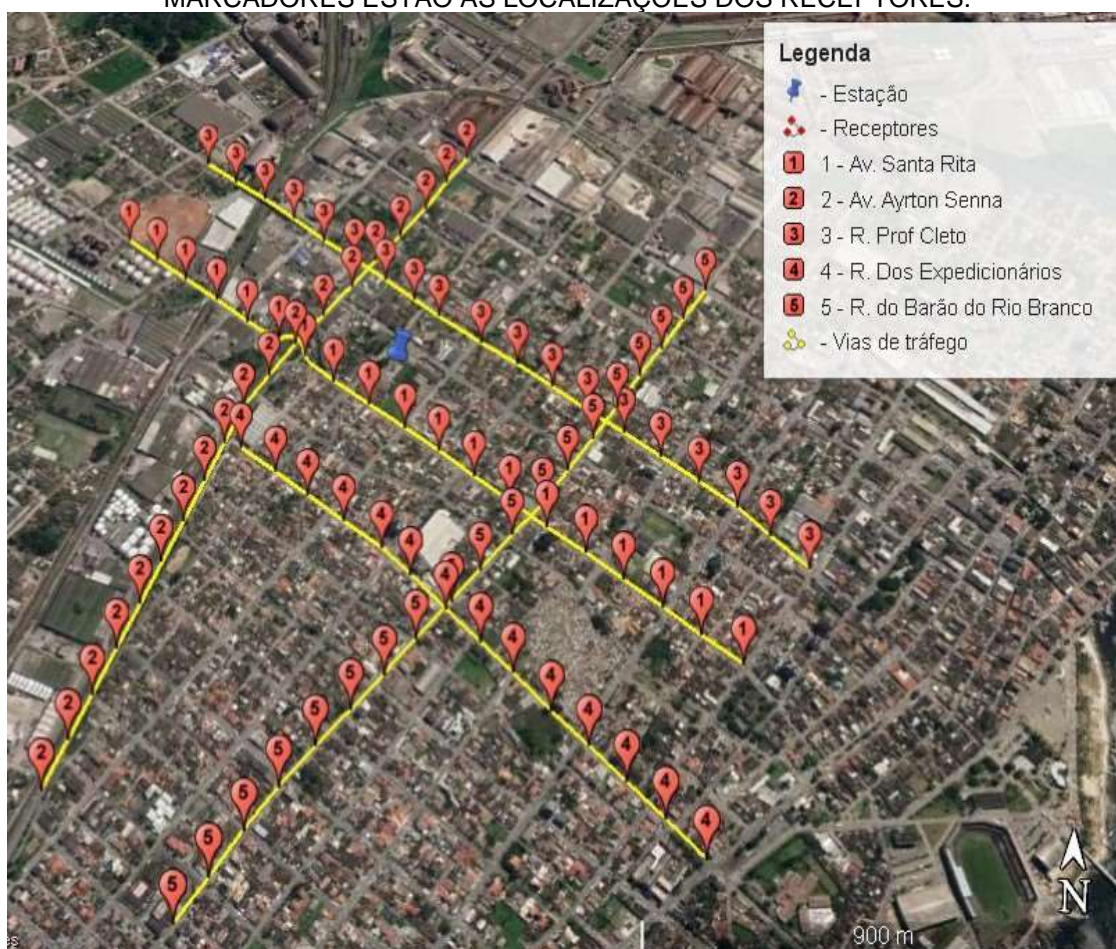
$$NCL = 110(t - t_d) \quad (3)$$

onde NCL é o nível de convecção livre, t_d é a temperatura do ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$) e t a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$).

Para a modelagem da pluma de NO_2 , foram definidas 5 ruas de circulação de veículos nas proximidades da estação de monitoramento da qualidade do ar, enumeradas como: 1 - Av. Santa Rita, 2 - Av. Ayrton Senna, 3 - R. Prof Cleto, 4 - R. dos Expedicionários e 5 - R. Barão do Rio Branco.

Entre as ruas supracitadas se destaca a Av. Ayrton Senna, que é uma das principais vias de acesso ao Porto de Paranaguá. Na FIGURA 4 exibe-se um mapa com as 5 vias de tráfego. Nessa figura também estão os pontos de emissão/receptores utilizados para avaliação da pluma de poluentes de NO_2 no ar (marcadores de cor vermelha). Nota-se que um dos receptores foi alocado no ponto de medição da estação de qualidade do ar do IAP e os outros receptores foram distribuídos nas 5 ruas selecionadas.

FIGURA 4 - VIAS DE TRÁFEGO CONSIDERADAS NO ESTUDO DE DISPERSÃO DE POLUENTES NO ENTORNO DA ESTAÇÃO DE QUALIDADE DO AR DO IAP. NOS MARCADORES ESTÃO AS LOCALIZAÇÕES DOS RECEPTORES.



FONTE: O Autor, gerado com o Google Earth (2019)

O modelo CALINE-4 requer o fluxo de veículos em cada uma das ruas avaliadas e o fator de emissão dos veículos. Para isso, os veículos que trafegam pelas ruas foram contabilizados nos 5 dias da semana conforme o cronograma da TABELA 2. Os números da tabela referem às ruas indicadas na FIGURA 4.

TABELA - 2 CRONOGRAMA DE CONTABILIZAÇÃO DOS VEÍCULOS NAS VIAS DE TRÁFEGO NOS DIAS DA SEMANA. OS NÚMEROS INDICAM AS RUAS.

Hora	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
8h	1	5	4	3	2
9h	2	1	5	4	3
10h	3	2	1	5	4
11h	4	3	2	1	5
12h	5	4	3	2	1

Fonte: Autor (2019)

A metodologia utilizada para a contagem de veículos é a mesma empregada em estudos de mapeamento da poluição sonora veicular (Lee et al., 2008; Romeu et al., 2011; Zannin et al., 2013; Fiedler & Zannin, 2015). Durante 10 minutos em cada um dos horários da TABELA 2, contabilizou-se os seguintes tipos de veículos: carros, motos, caminhões e ônibus. Com isso, os números obtidos foram extrapolados para 1h de medição, multiplicando as quantidades de veículos por 6. Na FIGURA 5 exibe-se um instante da contagem dos veículos por estudantes do curso de Eng. Ambiental e Sanitária da UFPR e o trânsito em uma das vias de tráfego.

FIGURA 5 - AS FIGURAS DA PARTE SUPERIOR MOSTRAM O TRÂNSITO NA AV. AYRTON SENNA E ABAIXO OS INTEGRANTES DA EQUIPE CONTANDO OS VEÍCULOS.



FONTE: Autor (2019)

Os veículos contabilizados emitem quantidades de poluentes atmosféricos que variam com o tipo de veículo e o seu combustível, conforme apresentado na TABELA 3.

TABELA 3 – FATORES DE EMISSÕES VEICULARES UTILIZADOS NO ESTUDO.

Tipo de Veículo	Tipo de Combustível	NO_x (g/km)
Carros	Gasolina	0,020
Motocicletas	Gasolina	0,10
Caminhões	Diesel	0,20
Ônibus	Diesel	0,28

Fonte: Inventário Nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários do MMA (2011)

As concentrações simuladas pelo modelo CALINE-4 foram comparadas com os índices de qualidade do ar que classificam a qualidade do ar como: Boa, Moderada, Ruim, Muito ruim e Péssima, de acordo com os níveis de

concentração de cada poluente. Além de apresentar os efeitos à saúde em cada um dos níveis de concentração, conforme descrito na TABELA 4.

TABELA - 4 - CONCENTRAÇÕES DE NO₂ E SEUS EFEITOS NA SAÚDE.

Qualidade	NO ₂ (µg.m ⁻³)	Significado	Efeitos à saúde
Boa	[NO ₂] < 200	Praticamente não há riscos à saúde.	-
Moderada	200 < [NO ₂] < 240	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.	Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço.
Ruim	240 < [NO ₂] < 320	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.	População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço. Pessoas com doenças respiratórias ou cardíacas, idosos e crianças têm os sintomas agravados.
Muito ruim	320 < [NO ₂] < 1130	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com problemas cardiovasculares).	Aumento dos sintomas em crianças e pessoas com doenças pulmonares e cardiovasculares. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral.
Péssima	[NO ₂] > 1130	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis	Agravamento dos sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma e doença pulmonar obstrutiva crônica

Fonte: Adaptado da CETESB (2018)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Assim como já foi mencionado, foram definidos dois cenários para avaliação da pluma de poluentes emitidos por veículos automotores: o cenário atmosférico mais recorrente do mês de fevereiro e junho de 2017. Esses

cenários foram identificados através da análise de histogramas da velocidade do vento e da temperatura do ar conforme detalhado a seguir.

Observa-se na FIGURA 6 a rosa dos ventos do mês de fevereiro de 2017. Nota-se nessa figura que os ventos são oriundos das direções leste, oeste e sul, com uma certa predominância na direção leste e velocidade mais frequente de 5 m.s^{-1} . Já na FIGURA 7 está a rosa dos ventos do mês de junho de 2017. Em junho, o vento mais frequente é proveniente da direção nordeste e a velocidade mais frequente é de $2,5 \text{ m.s}^{-1}$.

FIGURA 6 - ROSA DOS VENTOS DO ANEMÔMETRO DA ESTAÇÃO, REFERENTE AO MÊS DE FEVEREIRO DE 2017.

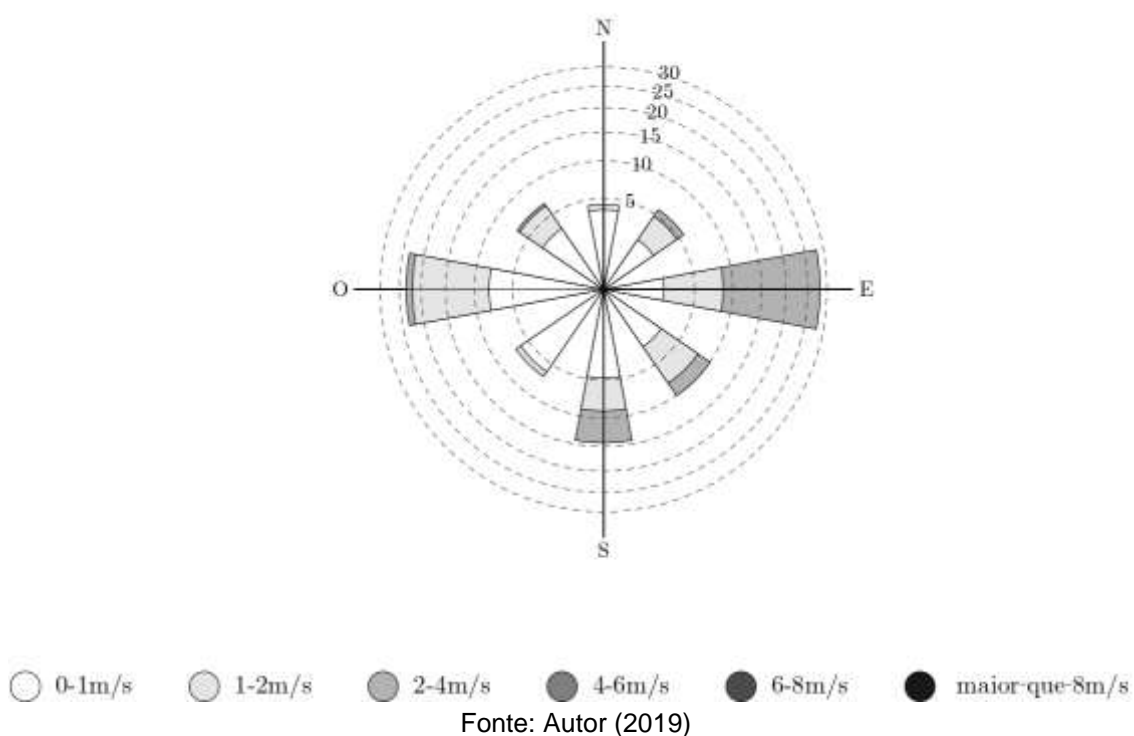
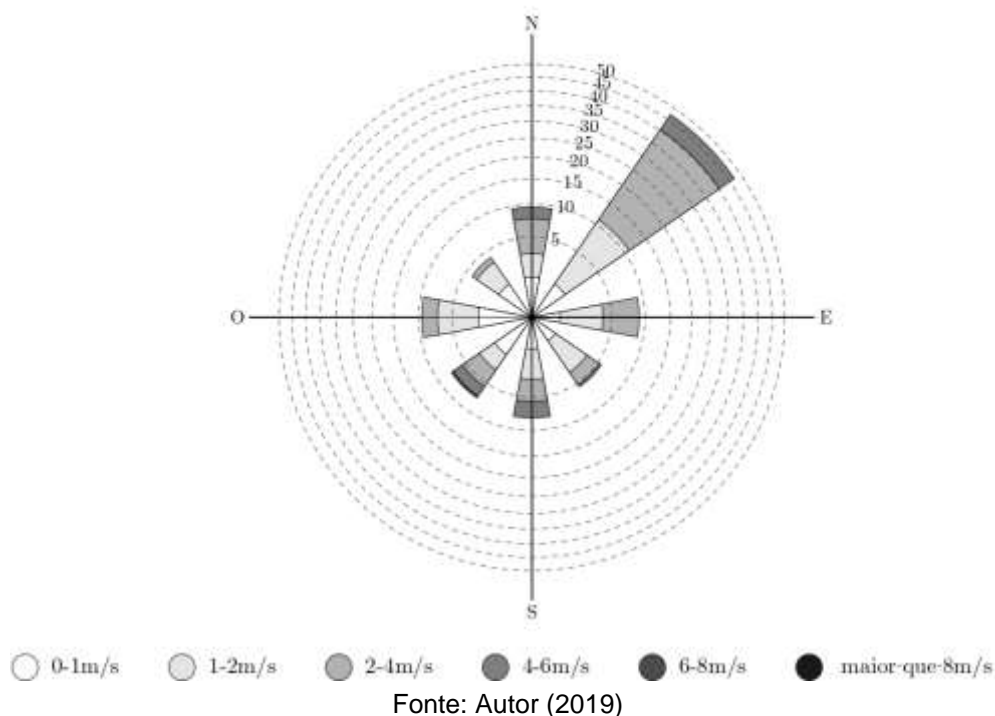
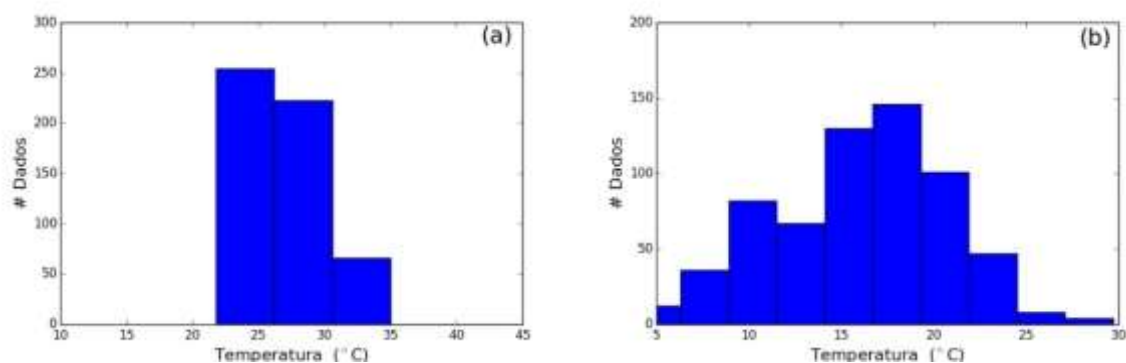


FIGURA 7- ROSA DOS VENTOS DO ANEMÔMETRO DA ESTAÇÃO, EM RELAÇÃO AO MÊS DE JUNHO DE 2017.



Na FIGURA 8 estão os histogramas da temperatura do ar para os meses de fevereiro e junho de 2017. Nota-se na FIGURA 8-a, que em fevereiro a temperatura mais frequente é de 25°C e na FIGURA 8-b que em junho é de 18°C. Já a umidade relativa do ar mais frequente é de 71% em fevereiro e de 83% em junho. Considerando esses cenários, a altura da camada mistura (ACM) estimada para o mês de fevereiro foi de 415 m e de 198,5 m para o mês de junho.

FIGURA 8 - HISTOGRAMA DE TEMPERATURA, NO LADO ESQUERDO (a) REFERENTE AO MÊS DE FEVEREIRO (VERÃO), ENQUANTO NO LADO DIREITO (b) O MÊS DE JUNHO (INVERNO).



A modelagem da pluma de NO₂ foi realizada com base nas condições mais recorrentes dos meses de fevereiro e junho de 2017 e também no horário com maior circulação de veículos, que foi às 12 h. A quantidade de veículos contabilizados em cada uma das ruas neste horário está na TABELA 5. Nota-se nesta tabela que a via de tráfego com maior circulação de carros e caminhões é a Av. Ayrton Senna. Portanto, essa é a maior fonte emissora de poluentes atmosféricos na região por fontes móveis. Na sequência, a maior quantidade de veículos ocorre na Av. Santa Rita. Nota-se que essa é a rua com maior tráfego de motocicletas, mas a quantidade de veículos movidos a diesel é significativamente menor em comparação com a Av. Ayrton Senna, tem cerca de 6% da quantidade de caminhões da Av. Ayrton Senna.

TABELA 5 – QUANTIFICAÇÃO DOS VEÍCULOS NO HORÁRIO REFERENTE AO TRÂNSITO NO HORÁRIO DAS 12 H.

Vias de tráfego	Veículos				Veículos total
	Carros	Motos	Caminhões	Ônibus	
1 – Av. Santa Rita	924	138	36	9	1107
2 – Av. Ayrton Senna	1038	78	624	18	1758
3 - R. Prof Cleto	408	108	12	6	534
4 R. dos Expedicionários	600	90	6	12	708
5 - R. do Barão do Rio Branco	738	126	0	6	870

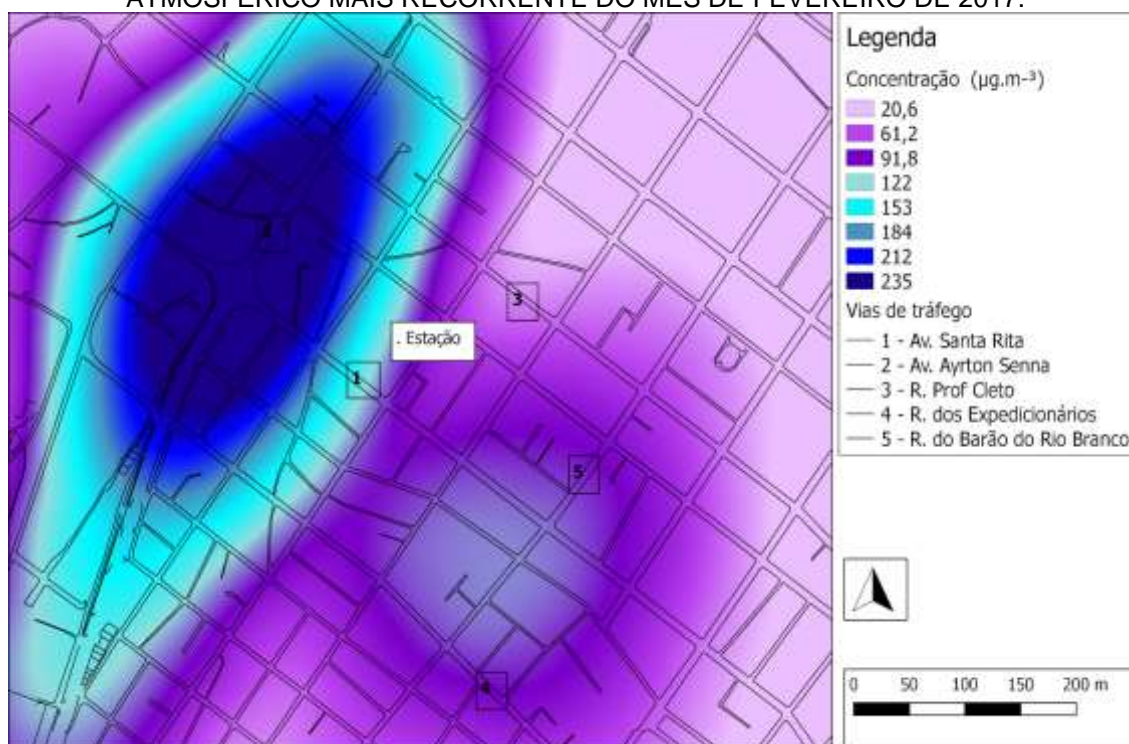
Fonte: Autor (2019)

É importante ressaltar que as plumas de NO₂ foram determinadas apenas nos receptores dispostos na FIGURA 4. Portanto, a estimativa das concentrações é exclusivamente para a região de abrangência das plumas exibidas nas FIGURAS 9 e 10.

A FIGURA 9 exibe a pluma gerada pelos veículos dispostos na TABELA 5 para o mês de fevereiro. Nota-se que a maior concentração simulada foi de 235 µg.m⁻³ e está centralizada no cruzamento entre a Av. Ayrton Senna e Av. Santa Rita. Essa concentração máxima é classificada pela TABELA 4 como moderada. Este nível de concentração pode causar cansaço e tosses secas em pessoas de grupos sensíveis, como crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas.

A Resolução CONAMA nº 491 de 2018 atualizou os padrões de qualidade do ar para concentrações mais restritivas do que a Resolução CONAMA 03 de 1990. Foram definidos 4 padrões intermediários à concentração desejada, que foi denominada Padrão Final, que tem concentração média horária do NO_2 o Padrão Final de $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Nota-se que a maior concentração simulada foi de $235 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, ou seja, superior ao Padrão Final.

FIGURA 9 - PLUMA DE NO_2 EMITIDA POR FONTES VEICULARES NO CENÁRIO ATMOSFÉRICO MAIS RECORRENTE DO MÊS DE FEVEREIRO DE 2017.



Fonte: Autor (2019)

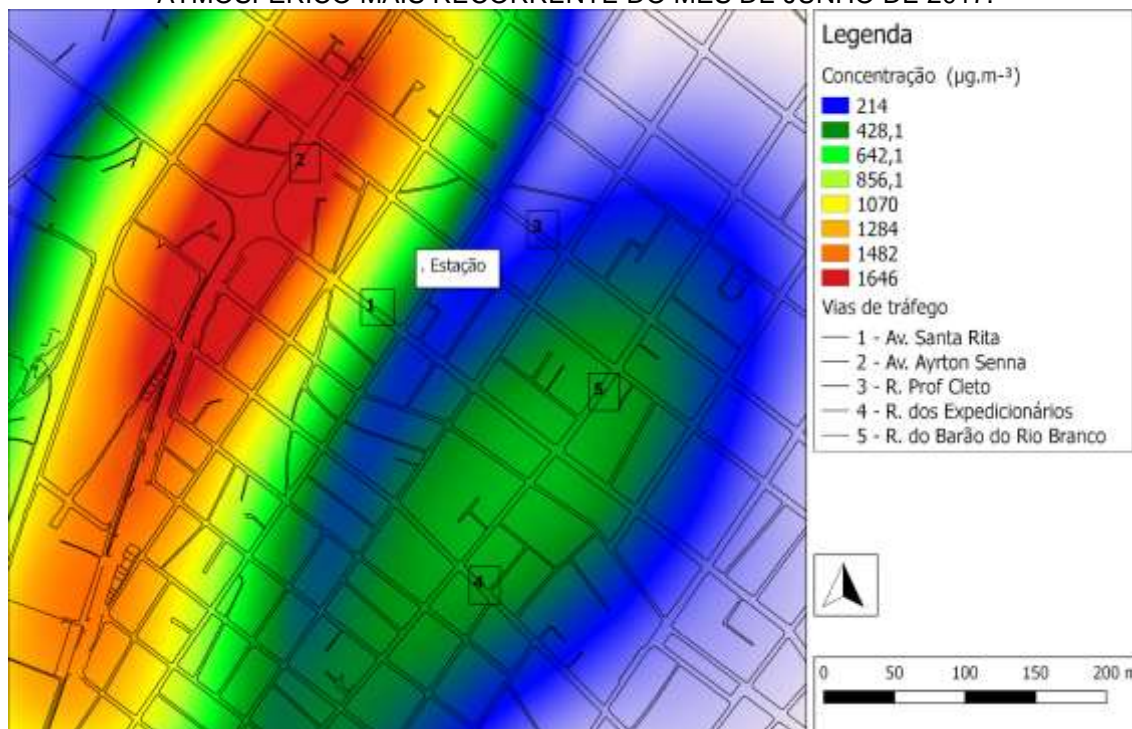
Com exceção do cruzamento da Av. Santa Rita e Av. Ayrton Senna, todas as outras concentrações foram menores do que padrão legislado, e não oferecem risco à saúde da população.

A pluma de NO_2 do cenário do mês de junho de 2017 está na FIGURA 10. A concentração máxima simulada no inverno foi de $1646 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ e como esperado, também foi no cruzamento entre a Av. Ayrton Senna e a Av. Santa Rita. Na Av. Ayrton Senna as concentrações variaram de $1281 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ até $1646 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Esses valores críticos de concentração ocorrem devido às condições atmosféricas desfavoráveis à dispersão de poluentes.

De acordo com a TABELA 4, a qualidade do ar neste pico de concentração é classificada como péssima. A qualidade do ar péssima indica

que “Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares e pode aumentar as mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis” (CETESB, 2018).

FIGURA 10 - PLUMA DE NO₂ EMITIDA POR FONTES VEICULARES NO CENÁRIO ATMOSFÉRICO MAIS RECORRENTE DO MÊS DE JUNHO DE 2017.



Fonte: Autor (2019)

Nota-se na FIGURA 10, que na maior parte do mapa as concentrações estavam acima da concentração de $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Somente nas ruas com coloração branca a concentração de NO₂ é inferior ao Padrão Final estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491 de 2018.

As maiores concentrações simuladas no local da estação do IAP foram comparadas às maiores concentrações medidas pela estação do IAP. Enquanto que no verão a estação mediu a maior concentração de $29,64 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a maior concentração simulada foi de $91,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Já no inverno, a maior concentração simulada na estação do IAP foi de $642,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ e a maior concentração medida pela estação do IAP foi de $44,79 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Portanto, as concentrações simuladas pelo modelo estão sempre superestimando as concentrações de NO₂ na atmosfera, mas com maior intensidade nas medições do inverno. A tendência do modelo superestimar as concentrações foram reportadas em diversos estudos (MARMUR; MAMANE, 2003; MARTINS et al., 2015).

Rodrigues (2016) também estimaram as concentrações de NO₂ com o modelo AERMOD na zona portuária de Paranaguá. Em sua modelagem, Rodrigues (2016) considerou tanto as fontes móveis quanto às fontes fixas de Paranaguá, inclusive as emissões dos navios. Com isso, obteve a concentração máxima de 5741 µg.m⁻³ na zona portuária. Já neste trabalho, a concentração máxima foi inferior, 1646 µg.m⁻³, mas foram considerados apenas as concentrações emitidas por fontes móveis veiculares.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

As concentrações de NO₂ emitidas por fontes móveis na zona portuária de Paranaguá foram simuladas neste trabalho com o modelo CALINE-4. O cenário atmosférico definido para a simulação foi do mais recorrente no mês de fevereiro de 2017 e junho de 2017, que foi determinado com dados meteorológicos medidos na Estação de Qualidade do Ar do Instituto Ambiental do Paraná situada em Paranaguá.

Simulou-se as concentrações de NO₂ em 5 ruas da zona portuária. Em uma delas, Av. Ayrton Senna, que é uma das vias de acesso ao Porto, contabilizou-se 624 caminhões e 1758 veículos no total. Essa é a rua com o maior tráfego de veículos em relação às outras ruas analisadas neste trabalho.

As maiores concentrações estão localizadas entre duas ruas: uma de maior tráfego de veículos (Av. Ayrton Senna) e a outra numa região com intenso tráfego de carros e motos (Av. Santa Rita), tanto no verão quanto no inverno.

A pluma de NO₂ gerada pelo modelo CALINE-4 apresentou uma concentração máxima no verão de 235 µg.m⁻³, que podem causar irritações e tosses secas em pessoas com doenças respiratórias. No inverno, a maior concentração simulada foi de 1646 µg.m⁻³. Esse nível de concentração é classificado como péssimo e pode agravar a saúde de pessoas com doenças respiratórias.

As concentrações simuladas pelo Modelo CALINE-4 demonstraram uma certa tendência em superestimar valores. Um dos fatores que pode ter contribuído para esses altos valores é a contabilização de veículos. Onde foi contabilizado durante 10 minutos os veículos e foi extrapolado para 60 minutos. Nessa metodologia pode estar contido alguns erros que podem ter influenciado esses altos valores de concentração. Entretanto, essa tendência da simulação superestimar valores já foi verificada em outros estudos. Por isso uma alternativa é calibrar o modelo CALINE-4 com os dados da estação do IAP, para uma avaliação das concentrações simulada pelo modelo.

As maiores concentrações simuladas no verão e no inverno pelo modelo ultrapassaram o padrão final da Resolução CONAMA nº 491 de 2018, que é o mesmo definido pela Organização Mundial da Saúde. Portanto, em ambos os cenários, a concentração de NO₂ foi superior à concentração que garante a

preservação do meio ambiente e da saúde da população em relação aos riscos de danos pela poluição atmosférica.

Para minimizar essas emissões atmosféricas é recomendado diminuir o intenso tráfego de veículos na cidade de Paranaguá. Uma das formas é melhorar a mobilidade urbana tornando a circulação de veículos mais ágil, como por exemplo: vias de tráfego de acesso ao porto preferenciais aos caminhões, para evitar que os veículos pesados interfiram no trânsito da cidade. Na cidade recomenda-se vias de tráfego exclusivas para carros, motos, caminhões leves e ônibus, com sinaleiros sincronizados, para promover um tráfego mais eficiente na cidade. Essas são algumas formas de aumentar a velocidade do tráfego e diminuir os congestionamentos, tanto dos caminhões em direção ao porto, como os outros veículos em circulação na cidade.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Ivan Roberto Santos. **Simulação da dispersão de poluentes atmosféricos e avaliação da qualidade do ar na área de abrangência do Distrito Industrial de Barcarena-PA**. 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará.

BENSON, P. CALINE4 – A Dispersion Model for Predicting Air Pollutant Concentrations Near Roadways. Report No. FHWA/CA/TL-84/14. California Department of Transportation, CA, 1989. Disponível em :<<https://www.weblakes.com/products/calroads/resources/docs/CALINE4.pdf>> Acesso em: 10 mai. 2019

BENSON, Paul E. A review of the development and application of the CALINE3 and 4 models. **Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere**, v. 26, n. 3, p. 379-390, 1992.

BRASIL, IBGE. CENSO DEMOGRÁFICO, 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/paranagua/panorama>>. Acesso em: 05 abr. 2019

BRASIL. Resolução CONAMA 491, de 19 de novembro de 2018. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>>. Acesso em: 07 out. 2019.

CANÇADO, José Eduardo Delfini et al. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **J bras pneumol**, v. 32, n. Supl 1, p. S5-S11, 2006.

CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2019/07/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-do-Ar-2018.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2019.

DALLAROSA, Juliana Braga. Estudo da formação e dispersão de ozônio troposférico em áreas de atividade de processamento de carvão aplicando modelos numéricos. 2005. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DA SILVA ALVES, Luciano; DA SILVA ALVES, Lara Camila. Formação e concentração do Ozônio troposférico no município de Lamarão do Passé–Ba: estudo das transformações de NOx e os possíveis impactos à saúde humana. **Revista Geama**, v. 5, n. 1, p. 30-35, 2019.

DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO PARANÁ (DETRAN-PR). Frota de veículos cadastrados no estado do Paraná – Posição em abril de 2019.

Disponível em:

<http://www.detrان.pr.gov.br/sites/detrان/arquivos_restritos/files/documento/2019-05/frota_abril_19_0.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2019.

DRUMM, Fernanda Caroline et al. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 66-78, 2014.

FIEDLER, PEK e ZANNIN, PHT. Evaluation of Noise Pollution in Urban Traffic Hubs-Noise Maps and Measurements. **Environmental Impact Assessment Review**, 51, 1-9. 2015.

GALVANI, Emerson; LIMA, NGB; FALCÃO, Rita Monteiro. Ocorrência de inversão térmica no perfil topoclimático do Pico da Bandeira, Parque Nacional do Alto Caparaó, Brasil. **SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA**, v. 6, 2010.

GUARIEIRO, Lilian LN et al. Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: uma breve revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 5, p. 434-445, 2011.

LEE, S.-W., CHANG, SI e PARK, Y.-M. Utilizing Noise Mapping for Environmental Impact Assessment in a Downtown Redevelopment Area of Seoul, Korea. **Applied Acoustics**, 69, 704-714. 2008.

MARMUR, Amit; MAMANE, Yaacov. Comparison and evaluation of several mobile-source and line-source models in Israel. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 8, n. 4, p. 249-265, 2003.

MARTINS, Eduardo Monteiro et al. Modelagem de dispersão de poluentes atmosféricos: avaliação de modelos de dispersão de poluentes emitidos por veículos. **Revista Internacional de Ciências**, v. 5, n. 1, p. 2-19, 2015

MELO, Joelma Ribeiro de; LIMA, Ed Pinheiro; GIMENES, Marcelino Luiz. Estudo computacional das emissões e dispersões atmosféricas do processo Kraft de produção de celulose: avaliação da qualidade do ar. **Eng. sanit. ambient**, v. 21, n. 2, p. 233-240, 2016.

MOREIRA, Gilberto Augusto Amado. **Modelagem numérica da camada limite atmosférica com validação experimental. 2007**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2011). Primeiro inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários: relatório final. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/estruturas/163/publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf>. Acesso em: 01 set 2019.

MOREIRA, Davidson Martins; TIRABASSI, Tiziano; MORAES, Marcelo Romero de. Meteorologia e poluição atmosférica. **Ambiente & Sociedade**, v. 11, n. 1, p. 1-13, 2008.

NÉRIS, José Leandro Melgar et al. TÍTULO: AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA COMO INSTRUMENTO PARA A GESTÃO DA QUALIDADE DO AR. 2009.

PASQUILL, F. **The Estimation of the Dispersion of Windborne Material**. Meteorological Magazine, 1961.

RODRIGUES, Juliana Pilato et al. **Modelagem matemática da dispersão de poluentes atmosféricos como etapa de pré-seleção de locais para instalação de estações de monitoramento da qualidade do ar em Paranaguá-PR**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ROMEU, J., GENESCÀ, M., PÀMINES, T., & JIMMÉNEZ, S. Street Categorization for the Estimation of Day Levels Using Short-Term Measurements. *Applied Acoustics*, 72, 569-577. 2011.

SILVEIRA, Wilson Willian da. **Impacto da estabilidade atmosférica na concentração de poluentes na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá.

TAVARES, Fernanda Vasconcelos Fonseca et al. Estudo do processo de dispersão de emissões veiculares em uma microrregião de Belo Horizonte (MG) utilizando simulação numérica. **Eng Sanit Ambient**, v. 15, n. 4, p. 315-324, 2010.

TEIXEIRA, Elba Calessio; FELTES, Sabrina; SANTANA, E. R. R. Estudo das emissões de fontes móveis na região Metropolitana de Porto Alegre-RS. **Química Nova**, v. 31, n. 2, p. 244-248, 2008.

TOLEDO, Giovana Iara Ferreira Moser; NARDOCCI, Adelaide Cassia. Análise do uso de dados modelados de tráfego para avaliação da exposição à poluição veicular: um estudo de caso. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 2, p. 19-34, 2013.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira; MARTINS, Luiz Alberto. Fatores que influenciam na concentração do material particulado inalável na cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 4, n. 16, p. 23-39, 2005.

VALLE, R. M.; NASCIMENTO, CAM. et al. Introdução do estudo da camada limite da atmosfera em projetos de linhas aéreas de transmissão—XVIII—SNPTEE—Curitiba. **Pr-Brasil**, outubro, 2005.

WIESE, Luiz Felipe. **Modelagem da dispersão de poluentes atmosféricos na cidade de Curitiba-PR usando modelos semi-empíricos**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ZANNIN, PHT, ENGEL, MS, FIEDLER, PEK e BUNN, F. Characterization of Environmental Noise Based on Noise Measurements, Noise Mapping and Interviews: A Case Study at a University Campus in Brazil. **Cities**, 31, 317-327. 2013.

APÊNDICE 1 – CONTABILIZAÇÃO DE VEÍCULOS NAS RUAS

TABELA – 6 APRESENTA CONTABILIZAÇÃO DOS VEÍCULOS NA AV. SANTA RITA

1 - Hora (s)	Rua: Av. Santa Rita				
	Carros	Motos	Caminhões	Ônibus	Veículos total
8h	486	96	42	24	648
9h	462	79	36	12	589
10h	432	84	78	36	630
11h	720	258	36	12	1026
12h	924	138	36	9	1107

Fonte: Autor (2019)

TABELA - 7 APRESENTA CONTABILIZAÇÃO DOS VEÍCULOS NA AV. AYRTON SENNA

2 - Hora (s)	Rua: Av. Ayrton Senna				
	Carros	Motos	Caminhões	Ônibus	Veículos total
8h	522	102	762	18	1404
9h	510	60	744	24	1338
10h	594	78	786	12	1470
11h	858	180	690	24	1752
12h	1038	78	624	18	1758

Fonte: Autor (2019)

TABELA – 8 APRESENTA CONTABILIZAÇÃO DOS VEÍCULOS NAS R. PROF CLETO. .

3 - Hora (s)	Rua: R. Prof Cleto				
	Carros	Motos	Caminhões	Ônibus	Veículos total
8h	396	30	18	6	450
9h	492	78	24	0	594
10h	402	78	12	6	498
11h	348	66	0	0	414
12h	408	108	12	6	534

Fonte: Autor (2019)

TABELA - 9 APRESENTA CONTABILIZAÇÃO DOS VEÍCULOS NA R.DOS EXPEDICIONÁRIOS.

4 - Hora (s)	Rua: R. dos Expedicionários				
	Carros	Motos	Caminhões	Ônibus	Veículos total
8h	636	126	18	6	786
9h	600	60	30	12	702
10h	636	120	24	6	786
11h	474	72	6	6	558
12h	600	90	6	12	708

Fonte: Autor (2019)

TABELA - 10 APRESENTA CONTABILIZAÇÃO DOS VEÍCULOS NA R. DO BARÃO DO RIO BRANCO

5 - Hora (s)	R.do Barão do Rio Branco				
	Carros	Motos	Caminhão	Ônibus	Veículos total
8h	342	90	12	6	450
9h	456	60	18	6	540
10h	468	114	12	6	600
11h	420	132	42	6	600
12h	738	126	0	6	870

Fonte: Autor (2019)