

DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DO AR: ESTUDO DE CASO DE UMA EMPRESA DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS

AIR QUALITY ASSESSMENT: A CASE STUDY OF AN URBAN PUBLIC TRANSPORTATION COMPANY IN THE MUNICIPALITY OF PARAGOMINAS

DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE: ESTUDIO DE CASO DE UNA EMPRESA DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO EN EL MUNICIPIO DE PARAGOMINAS

Tereza Lopes Farias¹, Seidel Ferreira dos Santos², Claudio Maciel de Souza Coutinho³, Josyane Brasil da Silva⁴, Elen Vanessa Costa da Silva⁵, Luiza Santos Bentes⁶, Rodolfo Pereira Brito⁷, Flávia Cristina Araújo Lucas⁸, Antonio Bentes da Silva Filho⁹, Ana Julia Soares da Silva Barbosa¹⁰, Lucy Anne Cardoso Lobão Gutierrez¹¹, Eliane de Castro Coutinho¹²

DOI: 10.54899/dcs.v23i94.6776

Recibido: 24/07/2026 | Aceptado: 18/08/2026 | Publicación en línea: 25/08/2026.

RESUMO

O elevado número de veículos nas cidades torna as emissões veiculares responsáveis por uma considerável parte das emissões atmosféricas. Atrrelada a isso, a utilização significativa de combustíveis fósseis no setor de transportes promove as emissões atmosféricas de poluentes, tais como: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx) e material particulado (MP). Em

¹ Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade do Estado do Pará, Paragominas, Pará, Brasil.
E-mail: tereza.lopesfarias@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0799-9374>

² Pós-doutor em Biodiversidade e Biotecnologia pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil.
E-mail: seidelsantos@uepa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6049-1188>

³ Doutorando em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado do Pará, Castanhal, Pará, Brasil.
E-mail: claudio.coutinho@uepa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9623-8897>

⁴ Pós-doutora em Saúde Animal na Amazônia pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil.
E-mail: josybrasil@uepa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2382-2552>

⁵ Pós-doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil.
E-mail: elen.vanessa@uepa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4754-0915>

⁶ MBA em Gestão de Escritórios de Arquitetura e Design de Interiores, Belém, Pará, Brasil.
E-mail: luizabentes2000@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-3266-1636>

⁷ Doutor em Engenharia do Ambiente pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil.
E-mail: rodolfo.brito@uepa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0393-5181>

⁸ Doutora em Ciências Biológicas pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil.
E-mail: flavia.lucas@uepa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0752-7206>

⁹ Doutorando em Ciências Ambientais pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil.
E-mail: bentesbm@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-4179-1622>

¹⁰ Doutora em Engenharia dos Recursos Naturais pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil.
E-mail: anajulia.barbosa@uepa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8701-9868>

¹¹ Doutora em Geociências pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil.
E-mail: lucyannegutierrez@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4199-1977>

¹² Pós-doutora em Ciências Ambientais pela Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil.
E-mail: elianecoutinho@uepa.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3152-7828>

vista disso, a elaboração de um inventário de emissões atmosféricas propicia meios para auxiliar o poder público e a própria sociedade na avaliação e acompanhamento da poluição do ar local. Portanto, esta pesquisa se justifica pela necessidade de monitorar, controlar e mitigar os impactos relacionados às emissões atmosféricas provenientes dos ônibus que atuam no município de Paragominas, especificamente da empresa de transporte público urbano coletivo Caliman LTDA. O método de cálculo "Bottom-up" adotado para esta pesquisa tem como objetivo estimar e quantificar as emissões dos poluentes atmosféricos por meio de dados de entrada referentes aos veículos estudados. O método ainda considera a distância anual percorrida para cada tipo de veículo, a quantidade de veículos, o fator de emissão, a autonomia e o volume de combustível consumido. Para realizar a estimativa, foi necessário saber a quilometragem anual percorrida pelos ônibus, a idade média da frota e os fatores de emissão dos poluentes considerados para o combustível diesel e o tipo de veículo ônibus urbano; com isso, estimou-se que a frota de ônibus de transporte coletivo urbano do presente trabalho é responsável pela emissão de 0,473 t/ano de CO, 2,26 t/ano de NOx e 0,0215 t/ano de MP.

Palavras chaves: Estimativa de Poluentes. Transporte Público Urbano. Método "Bottom Up".

ABSTRACT

The high number of vehicles in cities makes vehicle emissions responsible for a considerable part of atmospheric emissions. Coupled with this, the significant use of fossil fuels in the transport sector promotes the emission of atmospheric pollutants such as carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NOx) and particulate matter (PM). In view of this, the preparation of an inventory of atmospheric emissions provides a means to assist the government and society itself in evaluating and monitoring local air pollution. Therefore, this research is justified by the need to monitor, control and mitigate the impacts related to air emissions from buses that operate in the city of Paragominas, specifically the collective urban public transport company Caliman LTDA. The "Bottom-up" calculation method adopted for this research aims to estimate and quantify the emissions of atmospheric pollutants through input data related to the vehicles studied. The method also considers the annual distance traveled for each type of vehicle, the number of vehicles, the emission factor, the autonomy and the volume of fuel consumed. To carry out the estimation, it was necessary to know the annual mileage traveled by the buses, the average age of the fleet and the emission factors of the pollutants considered for the diesel fuel and the type of urban bus vehicle. Thus, it was estimated that the urban public transportation bus fleet of this study is responsible for the emission of 0.473 t/year of CO, 2.26 t/year of NOx and 0.0215 t/year of PM.

Key words: Pollutants Estimation. Urban Public Transportation. Bottom Up Method.

RESUMEN

El elevado número de vehículos en las ciudades hace que las emisiones de los vehículos sean responsables de una parte considerable de las emisiones atmosféricas. A ello se suma que el uso significativo de combustibles fósiles en el sector del transporte favorece las emisiones atmosféricas de contaminantes, tales como: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas en suspensión (PS). En vista de ello, la elaboración de un inventario de emisiones atmosféricas proporciona los medios para ayudar a las autoridades públicas y a la propia sociedad a evaluar y realizar un seguimiento de la contaminación atmosférica local. Por lo

tanto, esta investigação se justifica por la necesidad de supervisar, controlar y mitigar los impactos relacionados con las emisiones atmosféricas procedentes de los autobuses que operan en el municipio de Paragominas, concretamente de la empresa de transporte público urbano colectivo Caliman LTDA. El método de cálculo «de abajo hacia arriba» adoptado para este estudio tiene como objetivo estimar y cuantificar las emisiones de contaminantes atmosféricos a partir de los datos de entrada relativos a los vehículos estudiados. El método tiene en cuenta además la distancia recorrida anualmente por cada tipo de vehículo, el número de vehículos, el factor de emisión, la autonomía y el volumen de combustible consumido. Para realizar la estimación, fue necesario conocer el kilometraje anual recorrido por los autobuses, la edad media de la flota y los factores de emisión de los contaminantes considerados para el combustible diésel y el tipo de vehículo (autobús urbano); con lo cual se estimó que la flota de autobuses de transporte público urbano del presente estudio es responsable de la emisión de 0,473 t/año de CO₂, 2,26 t/año de NO_x y 0,0215 t/año de MP.

Palabras clave: Estimación de Contaminantes. Transporte Público Urbano. Método «Bottom Up».



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

O sistema de transporte urbano, tanto de pessoas quanto de mercadorias, sempre esteve de alguma forma associado à geração de poluição, seja ela atmosférica, sonora ou visual. Esse fator é predominantemente associado ao transporte motorizado a combustão, que assumiu papel central no deslocamento cotidiano das populações e responde por grande parte das emissões de poluentes nos grandes centros urbanos, principalmente aqueles originários da queima de combustíveis fósseis, como a gasolina e o óleo diesel (Araújo *et al.*, 2021).

No âmbito nacional, o Brasil possui uma forte tendência ao uso do modal rodoviário, em particular o transporte público coletivo, como os ônibus, que são grandes responsáveis por acentuar as questões relacionadas à poluição atmosférica. Tal cenário está atrelado à utilização do diesel como combustível, que contribui para elevadas emissões de material particulado por escapamento e é o mais intensivo na emissão de CO₂, principal gás na categoria de gases de efeito estufa (GEE), dentre todos os outros combustíveis (Torres *et al.*, 2020).

As consequências da queima do diesel estão diretamente atreladas à emissão de materiais tóxicos, que provocam doenças graves nas populações de meios urbanos, como problemas respiratórios e câncer de pulmão (Da Silva, 2016). Silva *et al.* (2017) explanam que a queima do

diesel no motor, em meio a altas temperaturas, promove o processo de pirólise (decomposição térmica) localizado do combustível, dando origem ao material particulado (MP) carbonoso, que inclui fuligem, poeira, fumaça e todo material suspenso no ar.

Em Paragominas-PA, os veículos automotores são os principais meios de transporte no município, seja para uso particular ou para escoamento da produção com o transporte de cargas, principalmente para as atividades como a agricultura e a mineração. Esta crescente frota de veículos nos centros urbanos do município alerta para a importância da contribuição dessas fontes para emissão de poluentes tóxicos e prejudiciais à saúde e nocivos ao meio ambiente (Porto; Jesus e Pereira Júnior, 2017).

Neste ínterim, o elevado número de veículos nas cidades torna as emissões veiculares responsáveis por uma considerável parte das emissões atmosféricas (CETESB, 2016). Atrelada a isso, a utilização significativa de combustíveis fósseis no setor de transportes promove as emissões atmosféricas de poluentes, tais como: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), dióxido de enxofre (SO₂), material particulado (MP) e hidrocarbonetos (HC). Esses poluentes causam efeitos adversos à saúde humana e estão relacionados a doenças respiratórias, doenças cardiovasculares, problemas neurológicos e de reprodução (Dapper *et al.*, 2016).

Desta forma, os impactos que as emissões de poluentes provocam apontam para a necessidade de implantação de instrumentos de gestão que controlem e monitorem adequadamente as fontes poluidoras, buscando alternativas que minimizem os impactos causados por estas. Para que estas ferramentas de gestão possam ser aplicadas efetivamente, é necessária a caracterização das emissões, bem como a identificação da participação de cada categoria na emissão de cada poluente (Ribas *et al.*, 2016).

Em vista disso, a elaboração de um inventário de emissões atmosféricas, provenientes das categorias de veículos automotores, propicia meios para auxiliar o poder público e a própria sociedade na avaliação e acompanhamento da poluição do ar local. Um inventário é uma ferramenta que direciona o planejamento e a implantação de diretrizes voltadas à melhoria da qualidade ambiental e à mitigação dos impactos das emissões sobre a saúde humana (Leite; Debone e Miraglia, 2020).

Por fim, esta pesquisa se justifica pela necessidade de ações preventivas orientadas para o monitoramento, controle e mitigação de impactos relacionados à emissão de material particulado e das emissões atmosféricas provenientes dos veículos pesados que atuam no

município de Paragominas, em específico da empresa de transportes público urbano coletivo Caliman LTDA.

Sendo assim, o objetivo geral desse trabalho é realizar o diagnóstico da qualidade do ar em uma empresa de transporte público urbano no município de Paragominas, e os objetivos específicos se dividem em: (a) quantificar o percurso realizado pela frota de veículos de uma empresa de transporte público do município de Paragominas; (b) caracterizar os veículos utilizados na frota de uma empresa de transporte público do município de Paragominas; (c) inventariar a estimativa das emissões atmosféricas da frota veicular de uma empresa de transporte público do município de Paragominas.

MATERIAL E MÉTODOS

Emissões Atmosféricas: Breve Histórico

Poluição Atmosférica

Poluição atmosférica é toda e qualquer substância presente no ar e que, dependendo da sua concentração, possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, promovendo desconforto ao bem-estar público, danos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (Filipe; Naran; Uthui, 2018).

Segundo Torres et al. (2020), os níveis de poluição atmosférica influenciam diretamente na qualidade do ar de uma região, sendo através da magnitude da emissão desses poluentes, seu transporte e diluição na atmosfera, que irão determinar o estado atual da qualidade do ar. As substâncias poluentes estão vinculadas a fontes emissoras estacionárias (indústrias, queima de lixo, emissões naturais, entre outras) e móveis (veículos automotores, aviões, trens).

A variedade das substâncias que podem ser encontradas na atmosfera é muito grande, o que torna difícil a tarefa de estabelecer uma classificação. Para facilitar essa classificação, os poluentes são divididos em duas categorias: poluentes primários e secundários (De Almeida; De Souza; Dos Anjos, 2020).

Os poluentes primários são aqueles que são emitidos diretamente pelas fontes para a atmosfera, por exemplo os gases que provêm do tubo de escape de um automóvel ou de uma

chaminé de uma fábrica. Já os poluentes secundários são os que resultam de reações químicas que ocorrem na atmosfera entre poluentes primários, por exemplo o ozônio troposférico (O_3), que resulta de reações fotoquímicas que se estabelecem entre os óxidos de nitrogênio (NO_x) e os Compostos Orgânicos Voláteis (COV) (Silva; Arbilla, 2019).

Dentre os poluentes, o mais abundante na atmosfera é o dióxido de carbono (CO_2), lançado na atmosfera através de plantas, animais e também pela utilização de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão). Também são lançadas na atmosfera quantidades enormes de monóxido de carbono (CO) proveniente, essencialmente, de motores de combustão interna (Braz; Longo, 2021).

Ainda sobre a formação dos poluentes secundários, tais como o ozônio, costumam ocorrer à medida que as massas de ar se deslocam, sendo normal que concentrações mais elevadas alcancem áreas mais afastadas das fontes de emissão que os poluentes primários (Pereira; Limongi, 2015).

Já o óxido nítrico e o dióxido de nitrogênio são poluentes frequentemente designados por óxidos de nitrogênio (NO_x), podendo ter uma origem natural como, por exemplo, emissão direta pela ação microbiana do solo, ou uma origem antropogênica tal como a combustão do carvão e gasolina, transportes terrestres e aéreos, indústrias e centrais termoeletricas (Da Silva; Vieira, 2017).

É válido ressaltar que estes poluentes, depois de emitidos para a atmosfera, estão submetidos a processos complexos de transporte, mistura e transformação química, sendo responsáveis por fenômenos como o smog (fumaça e neblina), nevoeiro, chuvas ácidas e outros, produzindo efeitos negativos na saúde, no ambiente e nos materiais. E só podem ser controlados através da diminuição das emissões dos poluentes primários (De Araujo; Do Rosário, 2020).

Principais Poluentes Emitidos Por Veículos Automotores

Os veículos automotores são considerados a principal fonte de poluição do ar, respondendo por cerca de 90% da emissão de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio, e por cerca de 60% das emissões de óxidos de enxofre e 50% das emissões de partículas (Cardoso; Gobbo; Ribeiro, 2017).

A poluição que eles causam decorre da emissão de gases e partículas sólidas e líquidas, subprodutos da queima do combustível no motor, bem como de material particulado decorrente

da abrasão do asbesto dos freios e das embreagens e do desgaste dos pneus pelo atrito com o solo (Pinheiro; Da Rocha; Dos Santos, 2017).

Os escapamentos dos veículos automotores emitem, principalmente, os seguintes gases: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂), aldeídos e hidrocarbonetos, entre eles os policíclicos aromáticos, potencialmente carcinogênicos (Filipe; Naran; Uthui, 2018).

Monóxido de Carbono (CO)

É um gás inodoro, incolor, insípido produzido por queima incompleta de combustíveis que contêm átomos de carbono, muito presentes em veículos automotores. Devido a isso, a poluição por monóxido de carbono possui altos níveis de concentração em áreas urbanas, principalmente nos centros, onde a circulação de veículos é intensa (De Lima et al., 2016).

O monóxido de carbono (CO) é emitido diariamente em centenas de milhões de toneladas à atmosfera, sendo oriundo de processos naturais e antropogênicos. Sua toxicidade foi uma das primeiras a ser intensamente investigada e, portanto, é muito bem conhecida. Essencialmente, trata-se de uma substância que prejudica a oxigenação dos tecidos e, por isso, é classificada como um asfixiante sistêmico (Ferreira; Oliveira, 2016).

Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

Os óxidos de nitrogênio (NO_x) são formados quando o nitrogênio reage com o oxigênio em razão da alta temperatura na câmara de combustão. O NO_x está presente na formação do “smog” fotoquímico, cujo principal poluente é o ozônio. Participa também na formação de chuvas ácidas e do material particulado. Constitui-se em um dos poluentes de maior preocupação na atualidade e requer tecnologias atualizadas de controle, já que sua formação tende a aumentar com a eficiência dos motores, principalmente nos veículos movidos a óleo diesel (Marques; Brasileiro, 2015).

Material Particulado (MP)

O material particulado é um complexo de elementos que se agregam em partículas, constituído de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que permanece suspenso na atmosfera devido ao tamanho reduzido. A maior parte das partículas é constituída por carvão, ao qual se aderem outras substâncias, tornando-se, em sua maioria, irritantes, tóxicas e cancerígenas (Fiorese et al., 2019).

As fontes destes poluentes são diversas, desde as incômodas fuligens emitidas pelos veículos até as fumaças expelidas pelas chaminés industriais, passando pelas poeiras que se encontram nas ruas e são movimentadas pelos veículos. Já os veículos do ciclo Diesel lançam ao ar gases e material particulado, que constitui aproximadamente 80% da massa da exaustão de seus motores, a fuligem, vista como a fumaça escura dos canos de escape (Martins; Fortes; De Araujo Lessa, 2015).

Dióxido de Enxofre (SO₂)

A transformação do dióxido de enxofre (SO₂) ocorre após a queima de combustíveis que contenham enxofre em sua composição, como o óleo diesel, óleo combustível industrial e gasolina. O SO₂ é um dos principais formadores da chuva ácida, além de ser prejudicial à saúde humana por ser muito solúvel. Ao chegar na mucosa respiratória, sabidamente úmida, encontra água e transforma-se em ácido sulfuroso e/ou sulfúrico, que mesmo em quantidades muito pequenas, ao longo do tempo, lesam o aparelho muco-ciliar (Fontenele Dias et al., 2015).

Padrões Nacionais da Qualidade do Ar Para Emissão de Poluentes Automotivos

No Brasil, as primeiras resoluções legais voltadas às regulamentações da poluição do ar tiveram suas iniciativas a partir da regulamentação da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, quando foi estabelecida a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA). Esta lei concede ao Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), entre outras atribuições, “estabelecer, privativamente, normas e padrões nacionais de controle da poluição por veículos automotores, aeronaves e embarcações, mediante audiência dos Ministérios Competentes” (Brasil, 1981).

Neste ínterim, o CONAMA, com o intuito de mitigar e monitorar as emissões atmosféricas oriundas das fontes móveis, criou o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) em 1986. Esse programa determina limites de emissões dos poluentes que, ao decorrer dos anos, tornam-se cada vez mais restritos, promovendo uma redução significativa dessas emissões (Da Silva; Angeoletto, 2017).

O PROCONVE, estabelecido em 6 de maio de 1986 pela Resolução nº 18 do CONAMA, considera as tecnologias dos motores de veículos do ciclo Otto e Diesel, a qualidade do combustível e os principais fatores de emissão (Brasil, 1986).

A Resolução CONAMA nº 403, de 11 de novembro de 2008, estabelece limites máximos de emissão de poluentes para motores do ciclo Diesel destinados a veículos automotores pesados que atendem à Fase P-7 do PROCONVE (Brasil, 2008).

Atualmente, na legislação brasileira, os poluentes regulamentados são monóxido de carbono, hidrocarbonetos totais, hidrocarbonetos não metano, óxidos de nitrogênio, aldeídos e material particulado. A cada nova fase do PROCONVE, menor é o limite de emissão permitido, de modo que veículos mais novos emitem quantidades significativamente menores de poluentes (De Araújo; Abe; Miraglia, 2017).

Os padrões nacionais de qualidade do ar ambiente eram estabelecidos pelo CONAMA. A Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018, atualizada pela Resolução nº 506, de 05 de julho de 2024, define padrões intermediários e finais de qualidade do ar (Brasil, 2024), conforme mostrado na Tabela 1.

Conforme a Tabela 1, são apresentados os padrões intermediários de cada poluente atmosférico e, a partir disso, a empresa começa a se adequar a cada fase até atingir o padrão final, que é o padrão desejado para a boa qualidade do ar (Loriato, 2018).

É válido destacar que esta resolução revoga a Resolução CONAMA nº 03, estabelecida em 1990, para atender aos padrões nacionais de qualidade do ar recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Essas recomendações levam em consideração as diferentes regiões do país em termos econômicos, sociais e políticos, para que haja a definição de novos padrões nacionais (Ferreira; Oliveira, 2016).

Tabela 1 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar

Poluente atmosférico	Período de referência	PI - 1 (mg/m ³)	PI - 2 (mg/m ³)	PI - 3 (mg/m ³)	PF (mg/m ³)	ppm
Material particulado – MP10	24 horas	120	100	75	50	--
	Anual ⁽¹⁾	40	35	30	20	--

Material particulado – MP2,5	24 horas	60	50	37	25	
	Anual ⁽¹⁾	20	17	15	10	
Partículas totais em suspensão	24 horas	--	--	--		--
	Anual ⁽⁴⁾	--	--	--	240	--
Ozônio - O3	8 horas ⁽³⁾	140	130	120	100	--
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	--
Dióxido de enxofre	24 horas	125	50	30	20	--
	Anual ⁽¹⁾	40	30	20	--	--
Monóxido de carbono	8 horas ⁽³⁾	--	--	--	--	9
Dióxido de nitrogênio	1 horas ⁽²⁾	260	240	220	200	--
	Anual ⁽¹⁾	60	50	45	40	--

Legenda: (1) média aritmética anual. (2) média horária (3) máxima média móvel obtida no dia (4) máxima média móvel obtida no dia

Fonte: Brasil (2018).

Inventário de Emissões Atmosféricas

Os inventários de emissões atmosféricas são instrumentos estratégicos destinados a catalogar as emissões das fontes de poluição numa dada área geográfica e num dado período de tempo (ANAC, 2014; MMA, 2014; ANTT, 2012; CETESB, 2016). Sua elaboração pode fornecer subsídios entre as emissões e as concentrações ambientais de poluentes resultantes e, portanto, o sucesso da implantação pode:

- Identificar e hierarquizar as diferentes fontes contribuintes e as emissões totais;
- Identificar os principais poluentes em uma área de interesse;
- Avaliar os efeitos das medidas de controle sobre as taxas de emissão;
- Estimar, com auxílio da modelagem, os efeitos das emissões na qualidade do ar;
- Identificar medidas potenciais de redução;
- Restituir séries históricas e determinar tendências de emissões futuras.

Os inventários de emissões são primordiais quando se trata da compreensão a respeito da qualidade do ar e das alterações climáticas em escala local e global. Esta ferramenta tem por objetivo catalogar e quantificar todos os dados de forma precisa das emissões que alteram diretamente a qualidade do ar e as mudanças climáticas, ou que até mesmo podem provocar reações com outros gases na atmosfera (Da Silva; Alonso; De Oliveira, 2016).

Na realização de um inventário, utiliza-se dos fatores de emissão como principal ferramenta, devido ao baixo custo e à disponibilidade no acesso de dados. Desta forma, é uma alternativa que facilmente é empregada em diversas fontes de poluentes, fixas e móveis (Loriato et al., 2018). E, uma vez compreendida a variação espacial das emissões atmosféricas, esta pode

revelar os riscos na saúde e orientar políticas públicas mais eficazes para o planejamento, saúde ambiental e desenvolvimento econômico (Oscar Jr.; Rocha, 2020).

É válido ressaltar que os inventários de emissões são conhecidos frequentemente por apresentarem incerteza (De Oliveira Aguiar et al., 2015). Devido a isso, é necessário efetuar a caracterização e quantificação da incerteza e da variabilidade dos inventários de emissões a fim de impossibilitar interferências errôneas na modelagem da qualidade do ar e na avaliação da exposição, fatores que podem levar a grandes implicações nas políticas ambientais (Da Silva; Vieira, 2017).

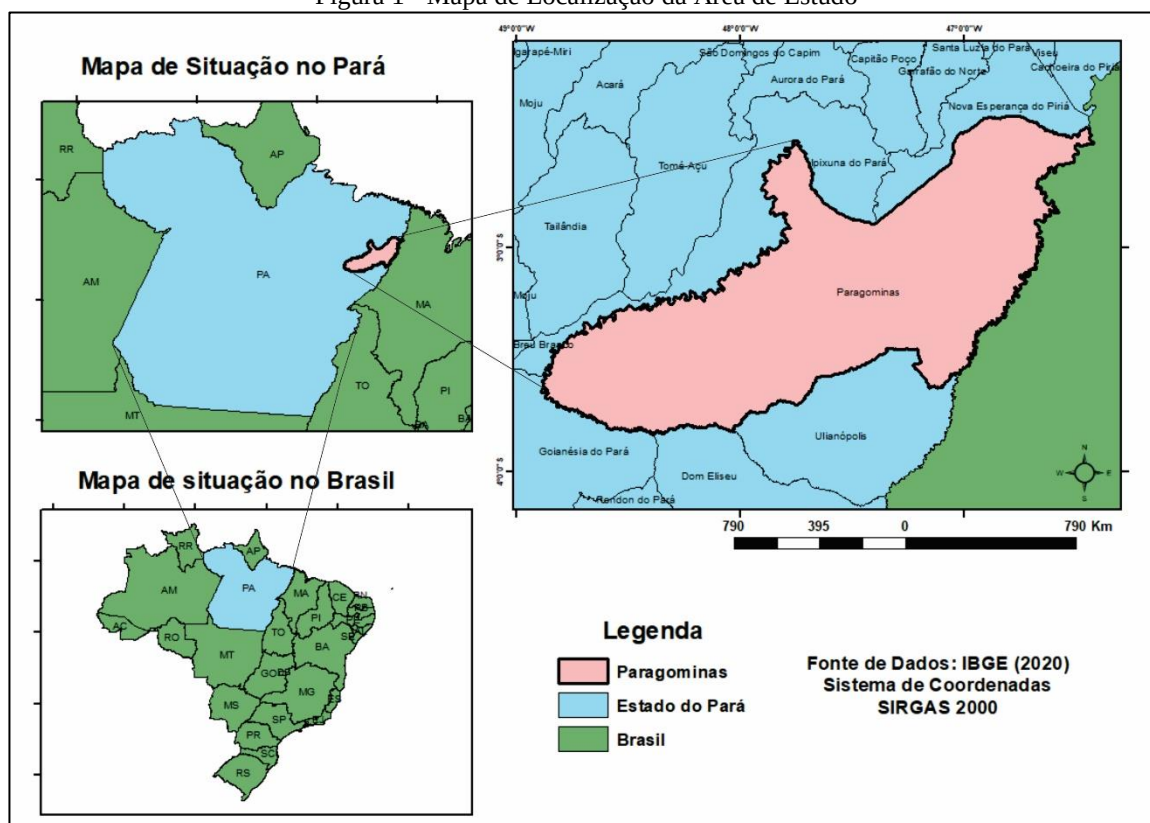
Em relação ao desenvolvimento de um inventário, este pode ser aplicado por meio de duas abordagens conhecidas e bem consolidadas. A primeira é através do método Top-Down, que faz a utilização de dados mais abrangentes, como o consumo de combustível a partir das vendas totais do mesmo (De Lima et al., 2016).

O segundo método é o Bottom-Up, que considera a intensidade de uso, a distância percorrida e os fatores de emissão por cada tipo de veículo (CETESB, 2016). Por fim, ao realizar o inventário, é de suma importância escolher a melhor estratégia que combine com as necessidades de qualidade de dados e os recursos disponíveis (Oliveira Musse; Lopes; Tavares, 2018).

Área de Estudo

O município de Paragominas está localizado no estado do Pará (Figura 1), cuja sede está na coordenada 3° 00' 00'' S, 47° 21' 30'' W, com uma área de cerca de 19 mil km². De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), em 2010 a população de Paragominas era de 97.819.

Figura 1 - Mapa de Localização da Área de Estudo



Fonte: Autora (2022).

O clima da região é do tipo Aw segundo a classificação de Köppen, caracterizado como quente e úmido com estações de chuva e seca bem definidas. A estação seca dura 7,0 meses, de 23 de maio a 24 de dezembro, e a estação de maior precipitação dura 5,0 meses, de 24 de dezembro a 23 de maio, sendo que os totais anuais de precipitação da região variam de 857,8 a 2.787 mm, com o período mais chuvoso de janeiro a maio. A temperatura média gira em torno de 26,7 °C (Giuliatti *et al.*, 2019).

Os solos predominantes do município são classificados como Latossolo Amarelo, Argissolo Amarelo, Plintossolo, Gleissolo e Neossolo, considerados de baixa fertilidade natural. Apresentam baixas concentrações de cálcio, magnésio, potássio, fósforo e nitrogênio, além da alta saturação de alumínio (Alves *et al.*, 2021).

Materiais Utilizados

A empresa de transporte público urbano Caliman LTDA foi selecionada como estudo de caso para avaliação de seus procedimentos, com o intuito de realizar o diagnóstico da qualidade do ar adequado às normas e legislações vigentes.

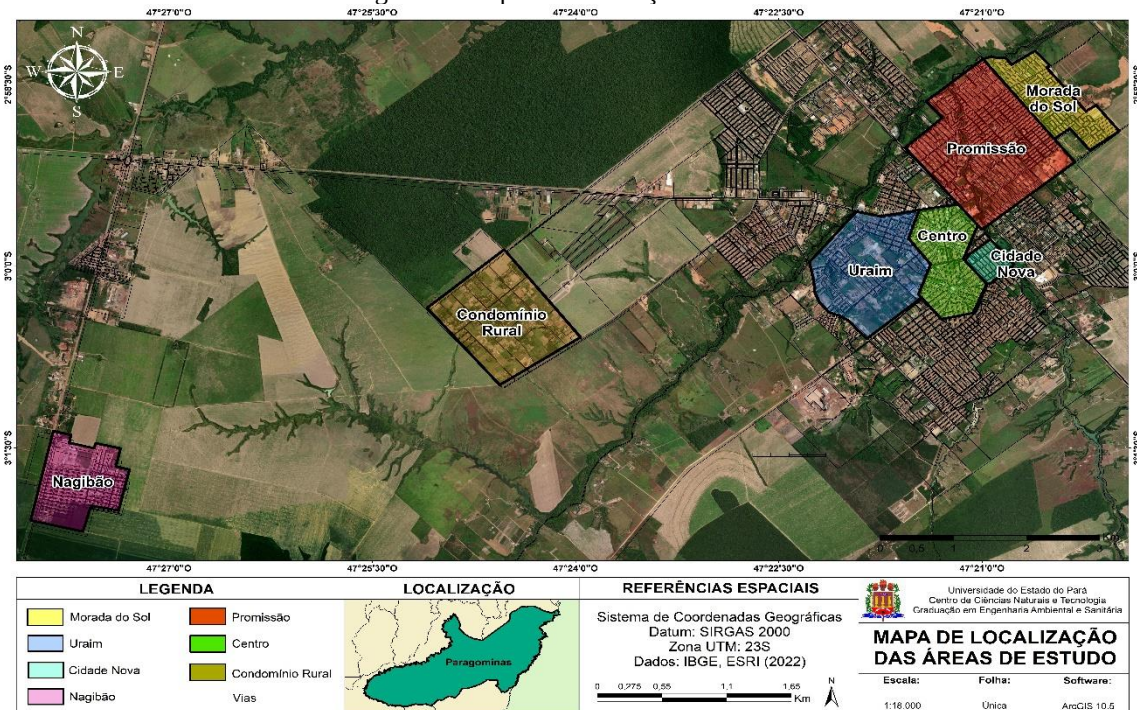
De acordo com o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do município de Paragominas (2020), o transporte público urbano do município é realizado pela empresa Transportes Caliman LTDA, que possui um sistema de bilhetagem eletrônica e o sistema ITS (Intelligent Transportation System) que significa Sistema Inteligente para Transportes. A frota é composta por 16 ônibus urbanos (total) mas somente 10 ônibus urbanos atuam diariamente, cuja idade média é de 5 anos. Os ônibus são do modelo: Mercedes Benz/Marco Polo. Torino U e são submetidos à manutenção preventiva, conforme especificado pelo fabricante.

Os ônibus utilizam como combustível óleo diesel S10 e adotam as regras da tecnologia Euro 5, que, nacionalmente, também é chamada de P7 (fase 7 do PROCONVE). Uma das regras que a empresa adota é o uso do reagente Arla 32; seu uso nos veículos dotados de tecnologia Euro 5 é fundamental para o controle de emissões.

Dos 10 ônibus urbanos que atuam diariamente, 60% são adaptados e atuam em três rotas (Figura 2), definidas como:

- a) Rota Morada do Sol - Interliga o Residencial Morada do Sol ao Centro;
- b) Rota Nagibão - Interliga o Bairro Nagibão ao Bairro Cidade Nova;
- c) Rota Promissão - Interliga o Bairro Promissão ao Condomínio Rural (Colônia rural próxima a cidade).

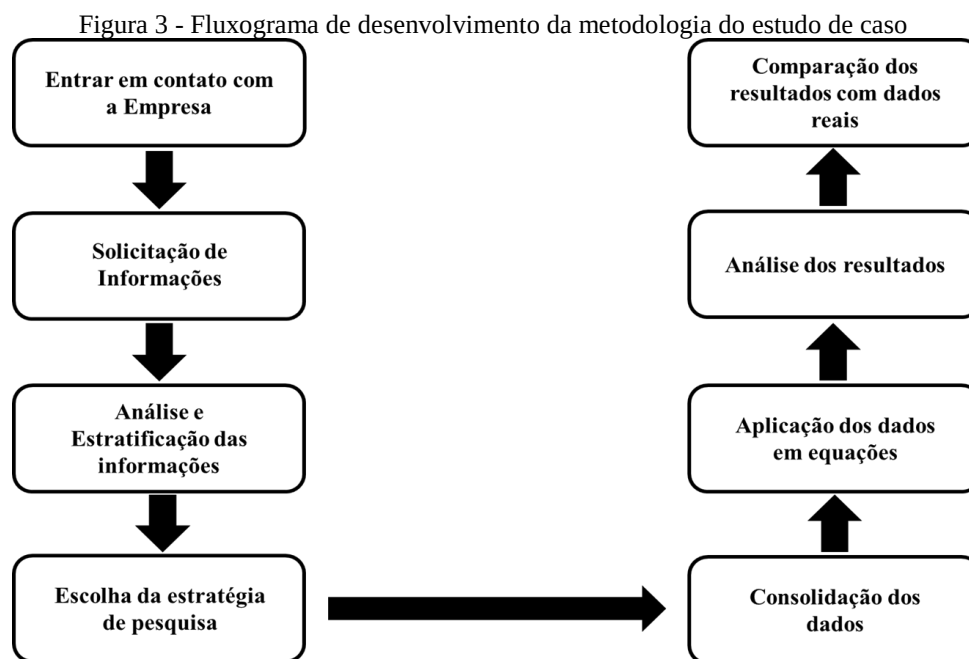
Figura 2 - Mapa de localização das rotas



Fonte: Autora (2022).

Para esta pesquisa, a obtenção dos dados necessários para aplicação do método ocorreu por meio de entrevista realizada diretamente com a empresa Caliman LTDA, da qual puderam ser extraídas informações sobre a quantidade de ônibus, o quantitativo de paradas, a rota que os ônibus percorrem, o percurso em quilômetros (km) por viagem, o ano de fabricação dos ônibus, o modelo dos ônibus e o tipo de combustível.

O fluxograma apresentado na Figura 3 descreve todo o desenvolvimento da metodologia, desde a obtenção das fontes e dos dados necessários até a discussão dos resultados.



Fonte: Autora (2022).

Método

O método de cálculo "Bottom-up" adotado para esta pesquisa é o mesmo proposto e apresentado por Álvares Jr. e Linke (2001), que foi descrito e utilizado por Kozerski e Hess (2006), e será utilizado para estimar os poluentes emitidos pelos ônibus de transporte público urbano do município de Paragominas-PA.

Esta metodologia também é adotada pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) nos Relatórios Anuais de Emissão Veicular no Estado de São Paulo e nos Inventários Nacionais de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2014).

Esse método tem como objetivo estimar e quantificar as emissões dos poluentes atmosféricos através de dados de entrada referentes aos veículos estudados. Devido à impossibilidade de adquirir diretamente em sua fonte a emissão de cada poluente, faz-se necessário que fatores de emissões sejam utilizados para estas estimativas. Os fatores de emissão são compostos por valores representativos que correlacionam a emissão do poluente com determinada fonte e atividade relacionada (Dutra *et al.*, 2019).

Primeiro, é necessário um inventário das emissões atmosféricas, que consiste em obter um conjunto de dados a partir de fontes de poluição específicas, numa dada área geográfica e num dado período de tempo. O inventário fornecerá subsídios para entender as relações entre as

emissões e as concentrações ambientais de poluentes resultantes; portanto, torna-se um instrumento fundamental para estabelecer políticas e ações que assegurem que os padrões de qualidade do ar sejam respeitados, além de permitir o acompanhamento da eficiência das políticas públicas implantadas (CETESB, 2019).

O método *Bottom-Up* ainda considera a distância anual percorrida para cada tipo de veículo, além da quantidade de veículos, o fator de emissão, a autonomia e o volume de combustível consumido (CETESB, 2014). Podendo estimar a concentração de monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre e material particulado, por exemplo, utilizando dados sobre a tecnologia de motorização empregada, qualidade do combustível, consumo, quilometragem, fatores de emissão levantados em laboratórios locais e estado de manutenção da frota (IPCC, 1996).

A atividade considerada na abordagem foi pela distância percorrida, como o foco do trabalho são os ônibus, os poluentes calculados foram o MP, CO, NO₂ e, para calcular a emissão dos referidos poluentes, utilizou-se a Equação (1).

Abordagem *Bottom-Up* pela Distância Percorrida

Na abordagem *Bottom-Up* considerando a distância percorrida foi utilizado o trajeto de cada linha. Essa abordagem foi utilizada por Alvares Jr. e Linke (2001) para calcular a emissão de poluentes MP e o NO₂, e o CO e SO₂, para o combustível diesel S10 (Equação 1).

$$Emissões_i = F \times FE_{iab} \times km \text{ média} \quad (1)$$

onde:

- *Emissões_i*: correspondem às emissões de um gás i (kg ou g);
- *F*: Número de viagens;
- *FE*: fator de emissão do gás i (kg/km ou g/km); i: tipo de poluente (MP, NO₂ e CO₂); a: tipo de combustível (diesel, etanol); b: tipo de veículo (ônibus);
- *km média*: distância média percorrida (km).

A distância média é a distância percorrida pelo veículo ao longo de um ano, expressa em quilômetro por ano (km/ano). O fator de emissão é a massa de poluente emitida pelos veículos

ao percorrer determinada distância, expressa em gramas por quilômetro (g/km). Todos os fatores de emissão utilizados neste trabalho foram retirados do Relatório de Emissões Veiculares publicado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), no ano-base de 2012.

A empresa Caliman forneceu o ano de fabricação da frota dos ônibus que fazem as 3 linhas no município, o que permitiu identificar os fatores de emissão de cada poluente, apresentados pela CETESB (Tabela 2). Os fatores foram determinados conforme o tipo de veículo (ônibus urbano), tipo de combustível (diesel) e tecnologias de controle de emissão.

Tabela 2 - Fatores de emissão de CO, NOx, e MP para ônibus urbanos com motores Diesel, em gpoluente/km

Ano/modelo	Fase	CO	NOx	MP
PROCONVE				
2004-2008	P4/P5	1,412	9,002	0,166
2009	P5	1,628	7,657	0,135
2010	P5	1,744	7,773	0,140
2011	P5	1,462	7,682	0,130
2012-2020*	P7	0,440	2,103	0,020

*Por indisponibilidade de dados, os valores de 2012 foram repetidos para os modelos de ônibus dos anos seguintes até 2020.

Fonte: Adaptado de CETESB (2014).

Assim, podem-se obter as quantidades dos poluentes emitidas por quilômetro, multiplicando-se a quilometragem média percorrida pelos ônibus pelos fatores de emissão de CO, MP e NOx na Equação 1, para obter a emissão desses elementos na atmosfera.

Para comparar os resultados obtidos em (g/km) em conformidade com os limites estabelecidos na resolução CONAMA N° 403 de 11 de novembro de 2008, complementada pela resolução 415 de 2009, realizou-se a conversão dos limites utilizando as equações 2 e 3. Em que os fatores expressos em gpoluente/kWh são convertidos para gpoluente/km utilizando operações que levam em conta o consumo específico de combustível (gdiesel/kWh), a densidade do óleo diesel (gdiesel/Ldiesel) e a quilometragem por litro (km/Ldiesel) dos veículos, conforme as seguintes equações:

$$\frac{g_{poluente}}{g_{diesel}} = \frac{g_{poluente}}{kWh} \div \frac{g_{diesel}}{kWh} \dots \quad (2)$$

$$\frac{g_{poluente}}{km} = \frac{g_{poluente}}{gdiesel} \times \frac{gdiesel}{ldiesel} \div \frac{km}{ldiesel} \quad (3)$$

Utilizam-se operações que levam em conta o limite de emissão em g/kWh estabelecido pela resolução, o consumo específico de combustível (gdiesel/kWh), baseado em ensaios de motores realizados pela Mercedes-Benz e fornecidos pela Associação Nacional de Fabricantes de Veículos (ANFAVEA), a densidade do óleo diesel (gdiesel/Ldiesel), obtida através da norma ABNT NBR nº 7148, e a quilometragem por litro (km/Ldiesel) dos veículos, baseada em informações levantadas pela ANFAVEA (Brasil, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da quilometragem anual para cada linha que circula no município. As linhas que apresentam maior e menor quilometragem mensal são, respectivamente, a linha Nagibão com 844.560 km/ano e a linha Morada do sol com 46.080 km/ano. Essa é a primeira mensuração de gases poluentes em transporte público do município.

Tabela 3 - Resultados dos cálculos de quilometragem anual para as 3 linhas que atendem ao município de Paragominas.

Linhas	Viagens diárias	Km	Viagens diárias ao ano	Km anual por linha
Morada do sol	8	16	2.880	46.080
Nagibão	51	46	18.360	844.560
Promissão	16	32	5.760	184.320
Total				1.074.960

Fonte: Autora (2023).

A quantificação da quilometragem anual foi obtida por meio do número de viagens diárias em todos os dias da semana na Caliman, multiplicado pela distância percorrida em uma viagem.

Para a análise das emissões foram utilizados os fatores de emissões: 0,440 g/km para o CO, 0,020 g/km para o MP e 2,103 g/km para o NOx. A abordagem bottom-up, quando aplicada à distância média percorrida, pode fornecer uma noção das emissões dos poluentes atmosféricos. Desta forma, por meio da Equação 1, foram quantificadas as emissões de CO, MP e NOx para cada viagem, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Emissão de CO, MP e NOx em um ano

Linhas	CO (g/ano)	MP (g/ano)	NOx (g/ano)
Morada do Sol	20.275,2	921,6	96.906,24
Promissão	81.100,8	3.686,4	387.624,96
Nagibão	371.606,4	16.891,2	1.776.109,68
Total	472.982,4	21.499,2	2.260.640,88

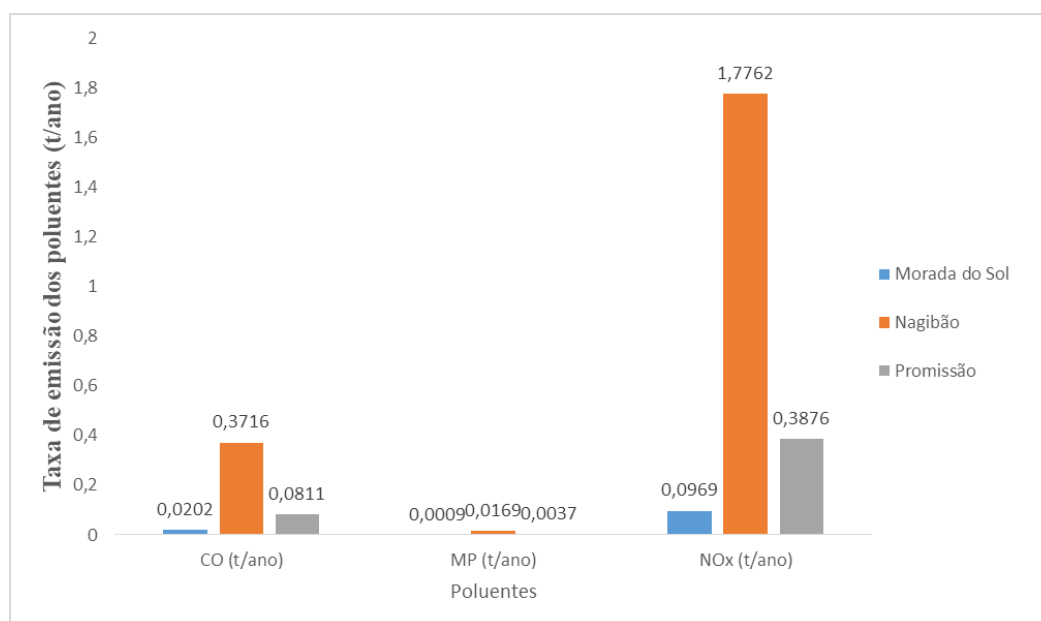
Fonte: Autora (2023).

Os valores de MP e NOx representados na Tabela 4 estão atrelados, principalmente, ao maior consumo do óleo diesel e ao fato de se tratar de veículos pesados (micro-ônibus, tratores, caminhões, carretas, ônibus e motor homes). Segundo Da Silva e Angeoletto (2017), os autores indicam que a emissão de material particulado e óxidos de nitrogênio nas categorias leves e comerciais leves possui menor ordem de grandeza.

Já para o CO, em estudos realizados por Da Silva e Vieira (2017), esse poluente é emitido principalmente por veículos leves, que consomem mais gasolina. Os valores de CO na Tabela 4 confirmam a hipótese de que a maior emissão de CO é proveniente das cidades com maior frota de automóveis (De Lima *et al.*, 2016).

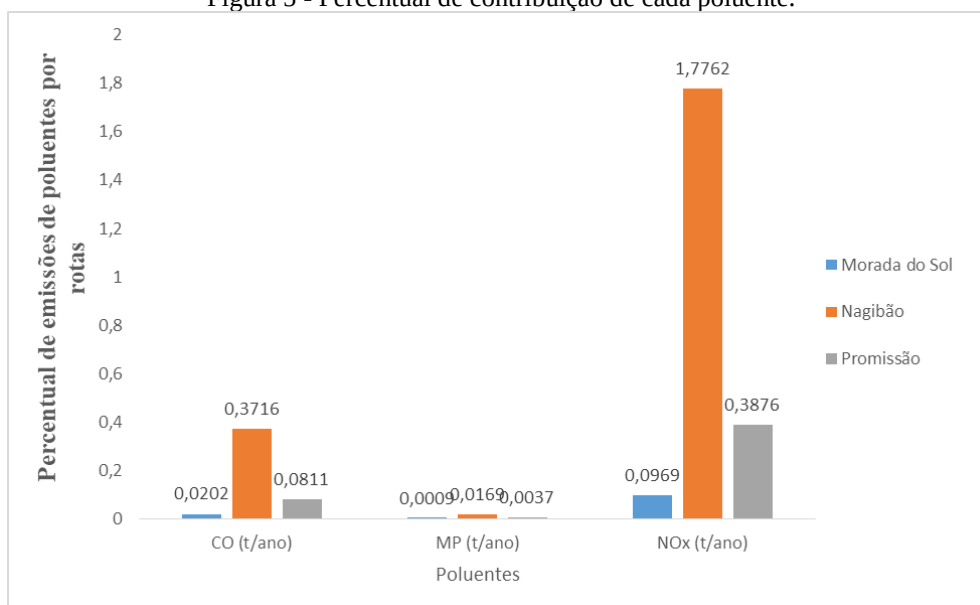
A Figura 4 apresenta o comparativo dos resultados das emissões de CO, MP e NOx para cada linha, em toneladas/ano. Os gráficos apresentam significativa variação dos resultados devido às diferenças nos trajetos percorridos.

Figura 4 - Emissões em t/ano para cada linha que os ônibus percorrem.



Fonte: Autora (2023).

Figura 5 - Percentual de contribuição de cada poluente.



Fonte: Autora (2023).

Conforme observado nas figuras 4 e 5, os valores obtidos para cada rota variam entre si devido às diferenças de percurso entre os trajetos. Observa-se que a maior rota (Nagibão) vai apresentar maior discrepância em seus resultados, por justamente realizar mais viagens diariamente, além do fato de que a quilometragem anual desse percurso é quase cinco vezes maior que a rota Promissão e cerca de dezoito vezes maior que a rota Morada do Sol.

Os valores das emissões de NOx nas duas figuras (5 e 4) são significativamente maiores em comparação com os demais poluentes. Isso deve-se ao fato de que as emissões de NOx são consideravelmente maiores em veículos pesados abastecidos a diesel. Os lançamentos de poluentes gerados por veículos movidos a diesel são vigorosamente influenciados pela tecnologia de ignição e pela composição do combustível (Marques; Brasileiro, 2015).

Quanto ao CO, o valor total liberado é de 0,473 t/ano, e nota-se que ao somar o percentual deste poluente o mesmo é o segundo maior (17%) pelos veículos do transporte coletivo. Apesar de ser um gás poluente inodoro e incolor formado através da queima de combustível, o mesmo não é considerado um gás do efeito estufa segundo o CONAMA (MMA, 2013).

Ainda em relação ao monóxido de carbono, Filipe, Naran e Uthui (2018) afirmam que quanto mais novo for o veículo menor será o seu fator de emissão. Essa redução também pode ser atribuída aos programas de controle de poluição veicular, como o PROCONVE e o PROMOT, que influenciaram para a redução das emissões com a utilização de catalisadores e melhorias nos sistemas dos automóveis.

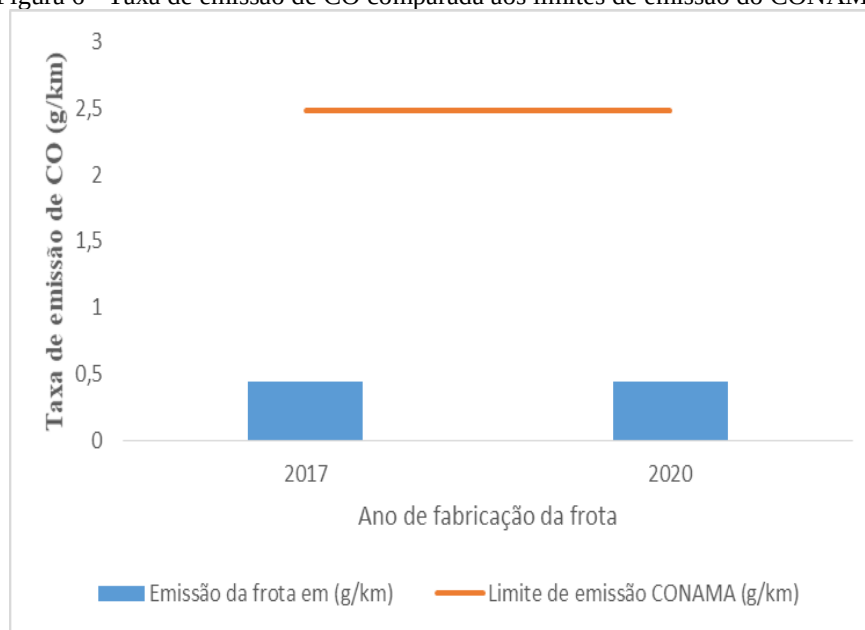
O material particulado liberado pelos ônibus estudados equivale a 0,78% do total de 2,75 t/ano das emissões dos gases gerados pela frota. Ainda em relação ao MP, segundo Fiorese et al. (2019), os valores reduzidos nas emissões podem ser justificados principalmente pela pequena frota de ônibus de transporte público urbano, o que se encaixa perfeitamente na realidade do município de Paragominas, já que o total da frota é de 10 ônibus.

Neste sentido, De Araújo, Abe e Miraglia (2017) abordam que, de acordo com a idade da frota, nota-se uma queda significativa nas emissões, também devido à implantação da fase P7 do PROCONVE, cuja nova fase introduziu um sistema de tratamento dos poluentes NOx e MP (catalisadores de redução de NOx e filtros de MP), diminuindo gradativamente as emissões à medida que se cumpre o cronograma estabelecido pelo PROCONVE.

E isso aplica-se à realidade dos ônibus urbanos da empresa Caliman, pois possuem ano de fabricação entre os períodos de 2017 e 2020, e além disso fazem uso de novas tecnologias aplicadas aos combustíveis, como o ARLA-32 (Agente Redutor Líquido Automotivo). Tal tecnologia é constituída por um agente químico que, associado a catalisadores SCR (Redução Catalítica Seletiva), converte os óxidos de nitrogênio em nitrogênio gasoso, reduzindo quimicamente a emissão de óxidos de nitrogênio nos gases de escape dos veículos movidos a diesel (Loriato, 2018).

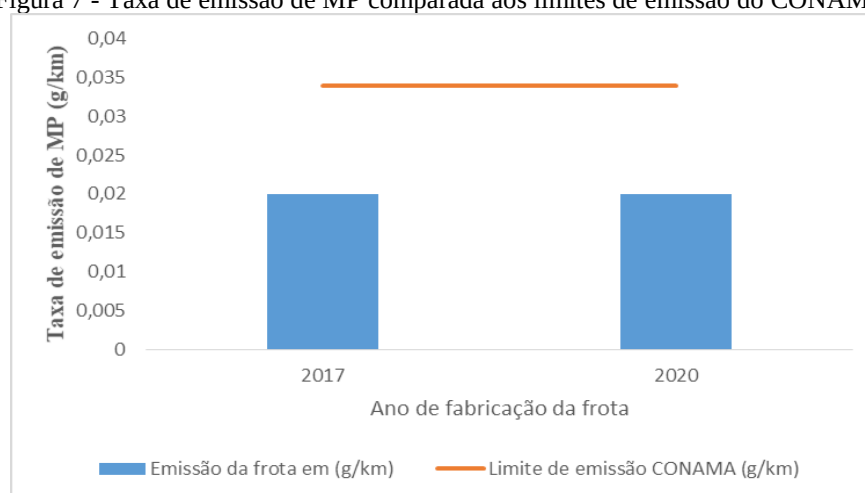
Nas figuras seguintes (6, 7 e 8), observa-se a relação dos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação brasileira através da Resolução CONAMA nº 403, de 11 de novembro de 2008, para veículos pesados do ciclo Diesel (fase P7), com a taxa de emissão dos poluentes emitidos pela frota de ônibus, de acordo com a idade dos veículos.

Figura 6 - Taxa de emissão de CO comparada aos limites de emissão do CONAMA.



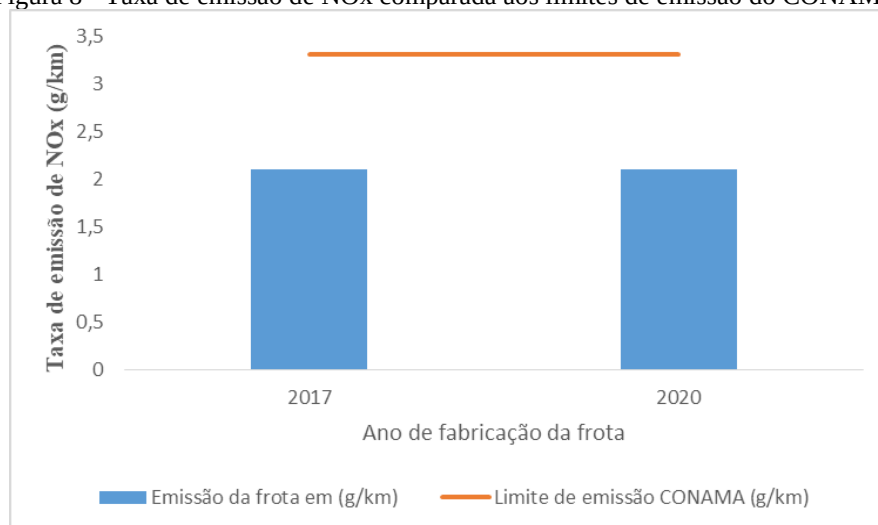
Fonte: Autora (2023).

Figura 7 - Taxa de emissão de MP comparada aos limites de emissão do CONAMA.



Fonte: Autora (2023).

Figura 8 - Taxa de emissão de NOx comparada aos limites de emissão do CONAMA.



Fonte: Autora (2023).

Os valores de emissão dos poluentes não ultrapassaram os limites estabelecidos pela legislação. Desde o ano de 2012, há um decréscimo nas emissões em relação aos anos anteriores, devido à diminuição do fator de emissão estipulado pelo PROCONVE. Essa queda significativa nas emissões também varia de acordo com a idade da frota: quanto mais moderna ela for, maior poderá ser a redução, sobretudo quando comparada a uma frota mais antiga (BRASIL, 2013).

É válido ressaltar que os ônibus estudados atendem à fase P7 do PROCONVE e, devido à implantação desta nova fase, é introduzido um sistema de tratamento dos poluentes NOx e MP (catalisadores de redução de NOx e filtros de MP), diminuindo gradativamente as emissões à medida que se cumpre o cronograma estabelecido pelo PROCONVE (MMA, 2013).

Diante desses resultados e dos malefícios anteriormente descritos que os referidos poluentes causam ao meio ambiente e ao ser humano, um estudo da qualidade do ar no município de Paragominas seria necessário para verificar como as emissões oriundas do transporte público contribuem ao estudo.

Ferreira e Oliveira (2016) utilizaram a mesma metodologia de cálculo e perceberam que os veículos a diesel do transporte público contribuíam significativamente com emissão de gases e particulados nas regiões estudadas. Jing *et al.* (2016) também utilizaram o método “Bottom-up” para estimar a emissão de poluentes no centro urbano de Pequim (China) para inserir os valores em modelos matemáticos de qualidade do ar.

Dutra *et al.* (2019) sugerem que se estenda o estudo de dispersão dos poluentes, considerando dados meteorológicos como a variação da direção e velocidade dos ventos, temperatura, radiação solar, umidade relativa do ar e precipitação média ao longo dos meses,

além de dados topográficos. Com esses dados e com as emissões é possível modelar matematicamente essa dispersão.

CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu, através da metodologia "Bottom-up", estimar a emissão de monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e material particulado pelo transporte público no município de Paragominas-PA.

Para essa estimativa, foi necessário saber a quilometragem anual percorrida pelas 3 linhas atuantes, a idade média da frota que opera essas linhas e os fatores de emissão dos poluentes considerados para o combustível diesel e o tipo de veículo ônibus urbano; assim, estimou-se que a frota de ônibus de transporte coletivo urbano do presente trabalho é responsável pela emissão de 0,473 t/ano de CO, 2,26 t/ano de NOx e 0,0215 t/ano de MP.

Com esses resultados pode-se observar que as emissões de poluentes atmosféricos vêm diminuindo nos últimos anos devido à implementação de fases mais avançadas do PROCONVE e PROMOT que catalisaram melhoria na evolução da tecnologia dos motores, mas também à política pública de combustíveis mais limpos adotada pelo governo federal.

Contudo, vale ressaltar que este trabalho apresenta uma estimativa da emissão de poluentes. Para uma maior precisão seria necessário medir as emissões direto da fonte para reduzir os erros das variáveis utilizadas.

Desta forma, propõe-se como trabalho futuro modelar matematicamente a dispersão anual dos poluentes considerando-se os dados de emissão, de meteorologia e de topografia da região para verificar como o transporte público afeta a qualidade do ar local.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, V. C.; SOUZA, G. C.; ANJOS, R. R. Análise dos compostos orgânicos voláteis no reaproveitamento de resíduos no desenvolvimento de materiais construtivos. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 15511-15530, 2020.

ALVARES JR., O. M.; LINKE, R. R. A. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. São Paulo: CETESB, 2001.

ALVES, C. N.; FERREIRA, N. L.; SOUZA, G. B.; BARROSO, L. L.; DA SILVA, J. A. F.; BROTO, R. B. M.; MELO, E. E. P.; Caracterização de atributos físico-químicos de um

latossolo amarelo no Município de Paragominas-PA. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e10010212130, 2021.

ANFAVEA. **Dados estatísticos da indústria automobilística brasileira**. São Paulo: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, 2013.

ANAC. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil 2014**. Brasília: Agência Nacional de Aviação Civil, 2014.

ANTT. **Inventário nacional de emissões atmosféricas do transporte de cargas**. Brasília, 2012.

ARAÚJO, M. A.; BRAGA, T. A.; SILVA, M. R.; MALHEIRO, D. R. Poluição atmosférica e a saúde humana: avanço da humanidade que resultou em percalço público. **Revista Brasília Médica**, v. 58, p. 1-9, 2021.

BRAZ, S. N.; LONGO, R. M. Qualidade ambiental das cidades: uso de bioindicadores para avaliação da poluição atmosférica. **Sustentabilidade: Diálogos Interdisciplinares**, v. 2, p. 1-21, 2021.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>.

BRASIL. CONAMA. Resolução nº 18, de 6 de maio de 1986.

BRASIL. CONAMA. Resolução nº 403, de 11 de novembro de 2008.

BRASIL. CONAMA. Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018.

BRASIL. CONAMA. Resolução nº 506, de 05 de julho de 2024.

CARDOSO, J. M.; GOBBO, C. A. R.; RIBEIRO, R. A. Comparação entre as estimativas de emissão de poluentes veiculares dos municípios de São Carlos (SP) e Ilha Solteira (SP). **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 13, n. 1, 2017.

CETESB. **Qualidade do ar no Estado de São Paulo – 2018**. São Paulo, 2019.

CETESB. **Relatório de Emissões Veiculares – 2014**. São Paulo, 2014.

CETESB. **Qualidade do ar no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2016.

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

DA SILVA, A. F.; VIEIRA, C. A. Aspectos da poluição atmosférica: reflexão sobre a qualidade do ar nas cidades brasileiras. **Ciência e Sustentabilidade**, v. 3, n. 1, p. 166-189, 2017.

DA SILVA, I. A. Hidrogênio: combustível do futuro. **Ensaio e Ciência**, v. 20, n. 2, p. 122-126, 2016.

DA SILVA, K. L. Á.; ALONSO, M. F.; OLIVEIRA, L. P. Análise das emissões atmosféricas de fontes móveis em Pelotas-RS. **Ciência e Natura**, v. 38, p. 347-353, 2016.

DA SILVA, L. D.; ANGEOLETTO, F. Poluição atmosférica em cidades médias. **Revista Espaço Acadêmico**, v. 17, n. 198, p. 122-130, 2017.

DE ARAÚJO, J. M.; DO ROSÁRIO, N. M. Poluição atmosférica associada ao material particulado no estado de São Paulo. **Brazilian Journal of Environmental Sciences**, v. 55, n. 1, p. 32-47, 2020.

DE ARAÚJO, N. M. C.; ABE, K. C.; MIRAGLIA, S. G. K. Avaliação de impacto à saúde do PROCONVE. **Avaliação de Impacto em Saúde**, p. 151, 2017.

DE LIMA, J. DA SILVA, L. D.; LEÃO, M. B.; DA SILVA, M. G. Inventário das emissões de gás carbônico de veículos leves de Caçapava do Sul/RS. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 8, n. 2, 2016.

DE OLIVEIRA AGUIAR, S. ARAÚJO, R. S.; CAVALCANTE, F. S. A.; DE LIMA, R. K. C.; BERTONCINI, B. V.; DE LIMA, R. K. C.; OLIVEIRA, M. L. M. Avaliação das emissões de escapamento veicular em condições específicas. **Transportes**, v. 23, n. 3, p. 35-43, 2015.

FONTENELE DIAS, H. L.; BERTONCINI, B. V.; MOURA DE OLIVEIRA, M. L.; ÁVILA CAVALCANTE, F. S.; ARAÚJO, R. S. Procedimento para coleta dinâmica embarcada de emissões veiculares. **Transportes**, v. 23, n. 3, p. 18-25, 2015.

DUTRA, J.; RELVAS, H.; RODRIGUES, J.; CANALEZ, G.; CAVALCANTE, K.; WAICHMAN, A.; LOPES, M. Estimativas de poluentes atmosféricos do transporte em Manaus. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 6, p. 2108-2120, 2019.

FERREIRA, C. C. M.; OLIVEIRA, D. E. Estimativa da poluição veicular e qualidade do ar em Juiz de Fora-MG. **Revista do Departamento de Geografia**, p. 98-114, 2016.

FILIPPE, D. I.; NARAN, A. U.; UTHUI, R. J. Inventariação de poluentes emitidos pelo tráfego rodoviário em Maputo. **X Conferência Científica UEM**, 2018.

FIGUEIREDO, C. H. U. GOUVÊA, M. P. S.; ANDRADE, D.; SILVA FILHO, G. Desenvolvimento urbano como ferramenta de dissipação de gases poluentes da atmosfera emitidos por veículos automotores em 2015 no município de Castelo, ES. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 2, p. 1389-1398, 2019.

GIULIATTI, N.; RODRIGUES, A. B. M.; JESUS, E. S.; JUNIOR, A. P. Variabilidade da precipitação mensal e anual em Paragominas-PA. **Enciclopédia Biosfera**, v. 16, n. 29, 2019. IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Brasília, 2010.

IPCC. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. 1996.

- JING, B.; WU, L.; MAO, H.; GONG, S.; HE, J.; ZOU, C.; SONG, G.; LI, X.; WU, Z. Development of a vehicle emission inventory with high temporal-spatial resolution based on NRT traffic data and its impact on air pollution in Beijing – Part 1: Development and evaluation of vehicle emission inventory. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 16, p. 3161-3170, 2016.
- KOZERSKI, G. R.; HESS, S. C. Estimativa dos poluentes emitidos por ônibus e microônibus de Campo Grande/MS. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 113-117, 2006.
- LEITE, V. P.; DEBONE, D.; MIRAGLIA, S. G. K. Emissões de gases de efeito estufa no estado de São Paulo. **Vitalle**, v. 32, n. 3, p. 143-153, 2020.
- LORIATO, A. G. Padrões nacionais de qualidade do ar. 2018.
- LORIATO, A. G.; SALVADOR, N.; LORIATO, A. A. B.; SOKOLOV, A.; NASCIMENTO, A. P.; YNOUE, R. Y.; MOREIRA, D. M.; REIS JR., N. C.; ALBUQUERQUE, T. T. A. Inventário de emissões com alta resolução para a Grande Vitória. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, p. 521-536, 2018.
- MARQUES, S. M.; BRASILEIRO, L. A. Emissão de gases poluentes por veículos automotores. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 3, n. 19, 2015.
- MARTINS, E. M.; FORTES, J. D. N.; ARAÚJO LESSA, R. Modelagem de dispersão de poluentes atmosféricos. **Revista Internacional de Ciências**, v. 5, n. 1, p. 2-19, 2015.
- MMA. **Emissões Veiculares**. Brasília, 2013.
- PARAGOMINAS. Prefeitura Municipal de Paragominas. **Minuta do Projeto de Lei do Plano Diretor de Desenvolvimento Municipal de Paragominas – Pará**. Paragominas, 2020.
- MMA. **Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários**. Brasília, 2014.
- OLIVEIRA MUSSE, L.; LOPES, R. L.; TAVARES, J. L. Emissão de CO₂ pela frota de ônibus da região metropolitana de Natal/RN. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 2, p. 335-350, 2018.
- OSCAR JR., A. C.; ROCHA, J. L. Poluição do ar e doenças respiratórias em Duque de Caxias e Petrópolis. **Geografia (Londrina)**, v. 29, n. 2, p. 219-239, 2020.
- PEREIRA, B. B.; LIMONGI, J. E. Epidemiologia de desfechos relacionados à poluição atmosférica no Brasil. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 23, p. 91-100, 2015.
- PINHEIRO, C. L.; ROCHA, K. L. S.; SANTOS, D. G. Inventário de emissões veiculares do município de Manaus. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 3, n. 4, p. 0647-0655, 2017.
- PORTO, M. L.; JESUS, E. S.; PEREIRA JÚNIOR, A. Fluxo de veículos, arborização e ruído urbano. **Ecologia e Nutrição Florestal**, v. 5, n. 3, p. 87-97, 2017.

RIBAS, W. F. BILOTTA, P.; JANISSEK, P. R.; CARVALHO FILHO, M. A. S.; PETEADO NETO, R. A. Influência do combustível (diesel e biodiesel) e das características da frota de veículos do transporte coletivo de Curitiba, Paraná, nas emissões de Nox. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 437-445, 2016.

SILVA, C. M.; ARBILLA, G. Urbanização e desafios na caracterização da qualidade do ar. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 6, 2019.

SILVA, J. R. S.; DOS SANTOS, M. D.; DA SILVA, J. K. S.; QUEIROGA, S. L. M.; MACÊDO NETO, J. C. Comparação dos combustíveis diesel S10 e S500. **CONTECC**, 2017.

TORRES, L. M.; PINHEIRO, C. P. S.; AZEVEDO, S. D.; RODRIGUES, P. R. S.; SANDIM, D. P. R. Poluição atmosférica em cidades brasileiras: uma breve revisão dos impactos na saúde pública e meio ambiente. **Naturae**, v. 2, n. 1, p. 23-33, 2020.