



Elaboração de um Inventário de Emissões Veiculares para o Município de Pelotas (RS)

Elaborating a Vehicular Emission Inventory for the Municipality of Pelotas (RS)

Jeferson Peres Gomes¹

 <https://orcid.org/0000-0002-6791-8233>  <http://lattes.cnpq.br/0867195561502135>

Willian César Nadaleti²

 <https://orcid.org/0000-0002-4727-4127>  <http://lattes.cnpq.br/4670559561277136>

RESUMO

O presente estudo visou inventariar as emissões veiculares do município de Pelotas (RS). Para isso, se utilizou o método *bottom-up* da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), logo as estimativas partiram da frota veicular circulante em Pelotas considerando sua intensidade de uso e respectivos fatores de emissão. Assim, no ano de 2022, a frota de veículos pelotense emitiu: 1341,19 ton de monóxido de carbono (CO), 1244,05 ton de óxidos de nitrogênio (NO_x), 307,01 ton de compostos orgânicos voláteis (COV), 37,05 ton de materiais particulados (MP), 15,81 ton de dióxido de enxofre (SO₂) e 480,53 Gg de dióxido de carbono equivalente (CO₂e). Além disso, identificou-se que, em termos per capita, Pelotas emite mais gases, tanto poluentes quanto de efeito estufa, que algumas regiões metropolitanas do país, tal como a Região Metropolitana de São Paulo, o que sugere que o município possui uma intensidade de emissões preocupante. Por outro lado, em contraste com o inventário anterior, notou-se que as emissões pelotenses caíram na última década, algo que se deve, em grande parte, à renovação da frota veicular que ocorreu no período. Portanto, apesar da melhoria observada, medidas ainda precisam ser tomadas para reduzir a intensidade das emissões geradas pela frota veicular de Pelotas garantindo uma melhor qualidade do ar à população.

Palavras-chave: Poluição Atmosférica; Gases de Efeito Estufa; Qualidade do Ar.

ABSTRACT

The present study aimed to inventory vehicular emissions in the municipality of Pelotas (RS). For this purpose, the bottom-up method developed by the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB) was used, meaning that the estimates were based on the circulating vehicle fleet in Pelotas, considering its usage intensity and respective emission factors. Thus, in 2022, the vehicle fleet of Pelotas emitted 1,341.19 tons of carbon monoxide (CO), 1,244.05 tons of nitrogen oxides (NO_x), 307.01 tons of volatile organic compounds (VOC), 37.05 tons of particulate matter (PM), 15.81 tons of sulfur dioxide (SO₂), and 480.53 Gg of carbon dioxide equivalent (CO₂e). Furthermore, it was found that, on a per capita basis, Pelotas emits more gases – both pollutants and greenhouse gases – than some of the country's metropolitan regions, such as the Metropolitan Region of São Paulo, suggesting that the municipality has a concerning emission intensity. On the other hand, in contrast with the previous inventory, it was noted that emissions in Pelotas have decreased

¹ Universidade Federal de Pelotas (UFPel) – Pelotas/RS – Brasil: gomesjefersonpg@gmail.com

² Universidade Federal de Pelotas (UFPel) – Pelotas/RS – Brasil: williancezarnadaletti@gmail.com



over the past decade, largely due to the renewal of the vehicle fleet during this period. Therefore, despite the observed improvement, further measures are still needed to reduce the intensity of emissions generated by Pelotas' vehicle fleet, ensuring better air quality for the population.

Keywords: Air Pollution; Greenhouse Gases; Air Quality.

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, a industrialização e a urbanização trouxeram consigo diversos problemas ambientais devido acúmulo espacial de fontes de poluição. Um dos principais impactos recaiu sobre a qualidade do ar de modo que, atualmente, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que 99% da poluição humana vive em locais onde a qualidade do ar está abaixo dos padrões considerados adequados (Who, c2023). No Brasil, segundo um estudo do *World Resources Institute* (WRI), desconsiderando os efeitos indiretos gerados sobre outras doenças, aproximadamente 50 mil óbitos podem ser relacionados diretamente com a poluição atmosférica (WRI, 2021). Além disso, a mesma pesquisa apontou para o setor de transportes como sendo o principal degradador da qualidade do ar em ambientes urbanos.

A queima de hidrocarbonetos (gasolina, diesel e etanol, por exemplo) em motores de combustão interna promove a liberação de diversos gases poluentes, tais como: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), compostos orgânicos voláteis (COV), dióxido de enxofre (SO₂) e material particulado (MP) (Vallero, 2008). Todos esses compostos são atualmente associados ao desenvolvimento de diversas doenças respiratórias e cardiovasculares, além de serem responsáveis por fenômenos atmosféricos altamente prejudiciais, como a chuva ácida e o smog fotoquímico (Wri, 2021; Who, c2023, Hinrichs e Kleinbach, 2010). Ademais, por se basear no processo de combustão, a frota veicular também emite volumes significativos de gases de efeito estufa (GEE) (Vallero, 2008). Dessa forma, tanto em termos nacionais quanto globais, o setor de transportes rodoviários se torna um dos principais responsáveis pelo aquecimento global (EPA, 2023; MCTI, 2023).

Em resposta a essa realidade, o Governo Federal criou o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) e o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT) com o objetivo principal de reduzir os níveis de emissão de poluentes gerados por esses tipos de veículos, tornando possível o atendimento dos Padrões de Qualidade do Ar previamente estabelecidos (Brasil, 1986; 2002). O principal mecanismo de ambos os programas é a definição de limites máximos de emissão de poluentes para os veículos, os quais se tornam gradualmente mais rígidos conforme o avanço das suas fases.

Nesse contexto, a elaboração periódica de inventários de emissões veiculares se torna uma necessidade, pois permite que se avalie a eficiência das medidas de controle de poluição implementadas e fornece uma compreensão do cenário atual da região de interesse, direcionando as futuras ações a serem introduzidas (Huneus et al., 2020). Por conseguinte, devido as particularidades de cada região, para assegurar uma boa qualidade do ar à população, é essencial que todos os municípios, em especial os mais urbanizados, elaborem e mantenham atualizados os seus inventários de emissões de poluentes atmosféricos (Reyna et al., 2015).

O município de Pelotas, localizado no Rio Grande do Sul (RS), detém a quarta maior população e a terceira maior frota de veículos do estado (IBGE, c2023; DETRAN, 2023). Assim sendo, Pelotas possui um elevado potencial para causar a poluição atmosférica, logo, torna-se relevante que o município mantenha atualizado o seu inventário de emissões veiculares. Todavia, o último inventário elaborado para Pelotas se baseou em dados de 2012 e analisou apenas três poluentes (Silva; Alonso; Oliveira, 2016). Portanto, o objetivo do presente trabalho foi inventariar as emissões veiculares de Pelotas, preenchendo essa lacuna informacional e, consequentemente, contribuindo para a correta gestão da qualidade do ar no município ao fornecer os dados necessários para uma melhor compreensão do cenário atual.



2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho elaborou um inventário de emissões atmosféricas para a frota veicular de Pelotas (RS) com base na metodologia *bottom-up* da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2022). Assim, a Equação (1) foi usada como base de cálculo para estimar a emissão dos seguintes poluentes e GEE: CO, NO_x, COV, MP, CO₂, óxido nitroso (N₂O) e metano (CH₄).

$$E = Iu * Fe * Fr \quad (1)$$

Onde:

E = massa de poluentes emitida no período considerado (g/ano);

Iu = intensidade de uso média anual do veículo (km/ano);

Fe = fator de emissão do poluente considerado (g/km);

Fr = frota circulante (adimensional).

A intensidade de uso de cada categoria de veículo foi ajustada com base no consumo de combustível existente na localidade sob análise. Assim, essa correção foi feita a partir da Equação (2), sendo que os dados de consumo aparente foram obtidos da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) para o ano de 2019 devido a inexistência de dados referentes à 2022 e no intuito de evitar os efeitos pontuais e não duradouros gerados pela pandemia de COVID-19 (ANP, 2023). Além disso, conforme Souza (2017), um fator de 0,8 foi aplicado sobre o consumo de diesel no município para desconsiderar os usos não rodoviários do combustível.

$$Iu_{ajustada} = Iu_{referência} * (C_{observado} / C_{estimado}) \quad (2)$$

Onde:

$Iu_{ajustada}$ = Intensidade de uso anual ajustada do tipo de veículo (km/ano);

$Iu_{referência}$ = Intensidade de uso anual de referência do tipo de veículo (km/ano) – obtido de CETESB (2022);

$C_{observado}$ = Consumo aparente de combustível anual (l/ano);

$C_{estimado}$ = Consumo de combustível da categoria de veículo (l/ano), estimado pela relação entre a intensidade de uso de referência e autonomia do veículo.

Os fatores de emissão foram obtidos de CETESB (2022), sendo que os mesmos foram considerados na forma deteriorada apenas para automóveis e comerciais leves devido a disponibilidade restrita desses dados, logo, para as demais categorias de veículos, os fatores de emissão foram baseados em veículos novos. Além disso, vale ressaltar que, em alguns casos específicos, os fatores de emissão, e também as autonomias de referência, tiveram de ser replicados para anos posteriores/anteriores devido à falta de dados.

A frota veicular de 2022 de Pelotas foi obtida na plataforma do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, c2023). Contudo, algumas alterações foram feitas para se chegar nas mesmas categorias presentes no relatório da CETESB (2022). Inicialmente, os dados da frota estadual disponibilizados pelo Departamento Estadual de Trânsito do RS (DETRAN RS) foram usados para criar fatores de distribuição que permitiram organizar a frota de Pelotas por tipo de veículo, ano de fabricação e combustível empregado (DETRAN RS, 2023). Ressalta-se que tal distribuição desconsiderou veículos elétricos e movidos a biodiesel e gás natural em decorrência de suas quantidades desprezíveis. Em seguida, os fatores de distribuição da CETESB (2022) foram empregados para dividir a classe de caminhões-trator em caminhões pesados (50%) e semipesados (50%) e a categoria de caminhões em caminhões leves (56,8%), semileves (24,3%) e médios



(18,9%). Ademais, as categorias de caminhonetes e caminhonetes presentes na base de dados do IBGE (c2023) foram enquadradas na classe de automóveis quando movidas à gasolina ou etanol e de comerciais leves à diesel quando movidas à diesel. Além disso, conforme Souza (2017), do total de motocicletas, estimou-se que 90% têm motores com potência abaixo de 150cc e apenas 10% acima. Por último, os fatores de correção da frota disponibilizados pela CETESB (2022) foram utilizados para transformar a frota registrada em frota circulante.

A determinação dos COV se deu pela soma das emissões de aldeídos (RCHO) e de hidrocarbonetos não metano de escape (NMHC_{escap}), de abastecimento (NMHC_{abast}) e evaporativos (NMHC_{evap}). As emissões de RCHO e NMHC_{escap} foram determinadas com base na metodologia previamente descrita. Já as de NMHC_{abast} foram estimadas multiplicando-se os fatores de evaporação (1,14 g/L para gasolina e 0,37 g/L para etanol) pelo consumo ajustado de combustível de cada categoria (CETESB, 2022). As emissões de NMHC_{evap} foram definidas a partir da Equação (3), sendo que os dados necessários de temperatura média diária foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, c2023).

$$E_{cov} = \sum_s D_s * \sum_j N_j * (HS_j + e_{dj} + RL_j) \quad (3)$$

Onde:

E_{cov} = Emissões evaporativas anuais de hidrocarbonetos (g);

D_s = Números de dias no qual o fator de emissão deve ser aplicado;

N_j = Quantidade de veículos na categoria inventariada;

HS_j = Média diária *hot soak* (g/dia);

e_{dj} = Média diária da emissão na fase diurna (g/dia);

RL_j = Média diária da emissão na fase *running losses* (g/dia).

As emissões de SO₂ para todos os veículos e de CO₂ para caminhões e ônibus foram estimadas com o método *top-down*, ou seja, empregando diretamente os fatores de emissão dos combustíveis sobre o consumo ajustado dos veículos (CETESB, 2022). Os fatores de emissão de SO₂ foram determinados considerando a presença de 90% do teor máximo de enxofre de cada combustível permitido na legislação (Brasil, 2013, 2021; Santos, 2018). Por último, foi considerado que os veículos pesados de fases do PROCONVE anteriores à P6 consomem tanto diesel S10 quanto S500 seguindo a distribuição presente nas vendas estaduais (57 e 43%, respectivamente) enquanto que os veículos pesados produzidos após essa fase consomem exclusivamente diesel S10 (ANP, 2023; Brasil, 2013).

Após a emissão de cada um dos poluentes atmosféricos ter sido estimada, partiu-se para a análise dos dados gerados. Inicialmente, foi feita uma avaliação crítica da frota circulante estimada uma vez que essa variável apresenta um impacto significativo na tipologia e no volume das emissões veiculares. Então, o total emitido de cada gás foi analisado de maneira individual, buscando compreender os motivos por trás da distribuição e representatividade de cada poluente. Na sequência, cada categoria veicular foi avaliada separadamente no intuito de compreender quais os principais gases emitidos. Além disso, o cenário pelotense foi comparado com o de outras regiões por meio da utilização de um indicador de emissões per capita, visando compreender o quão intensamente a frota veicular do município contribui para a degradação da qualidade do ar. Por fim, frente a existência de um inventário anterior elaborado por Silva, Alonso e Oliveira (2016), os dados gerados pelo presente estudo foram contrastados com a pesquisa anterior, o que permitiu compreender a evolução das emissões da frota veicular de Pelotas na última década.



3. RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1. CENÁRIO ATUAL

Embora forneça a frota veicular de cada município brasileiro, a plataforma do IBGE (c2023) não classifica os veículos de acordo com o ano de fabricação ou com base no combustível utilizado. Portanto, o dado puro existente nessa base de dados revela apenas o número total de cada tipo de veículo sem maiores subdivisões. Todavia, os padrões estaduais, a partir dos fatores de distribuição criados, permitiram categorizar a frota pelotense de uma maneira convergente com o requisitado pela metodologia da CETESB (2022). Dessa forma, a Tabela 1 apresenta a frota circulante de Pelotas que foi estimada com os pressupostos mencionados.

Tabela 1 – Frota Circulante em Pelotas (RS)

Categoria	Gasolina C	Etanol	Flex total	Diesel	Total
Automóvel	71.281	1.404	37.227	-	109.912
Comercial	174	5	365	5.321	5.865
Caminhões	-	-	-	4.171	4.171
Ônibus	-	-	-	681	681
Motocicletas	27.701	-	3.402	-	31.103
Total	99.156	1.409	40.994	10.173	151.732

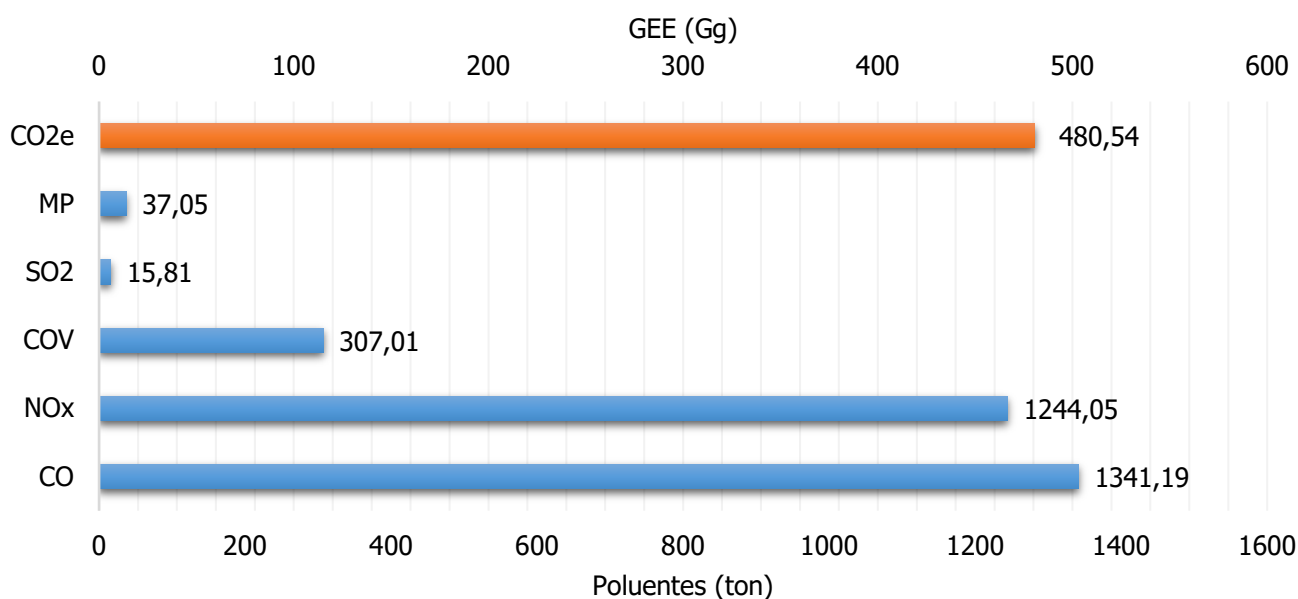
Fonte: Adaptado de IBGE (c2023).

A Tabela 1 ilustra que há uma maior concentração de alguns tipos de veículos/combustíveis em relação a outros. Assim, notou-se que a maior parte da frota de Pelotas é constituída por automóveis leves, sendo que essa categoria representa cerca de 72% do número total de veículos no município. Além disso, as motocicletas também compõem uma parte relevante da frota - cerca de 21%. Entre os veículos pesados, ressalta-se que há um predomínio de caminhões em detrimento de ônibus. Já com relação aos combustíveis empregados, a frota Pelotense é, em sua maioria, movida exclusivamente por gasolina (aproximadamente 65% dos veículos). Em segunda escala, os veículos flex compõem cerca de 27% da frota, restando apenas uma pequena parcela para ser preenchida por veículos à diesel e etanol.

Em razão de possuir a terceira maior frota veicular do estado, Pelotas promove emissões significativas de poluentes (DETRAN RS, 2023). Nesse contexto, a Figura 1 ilustra a emissão veicular de poluentes atmosféricos em Pelotas para o ano de 2022. Ademais, de maneira suplementar, a Tabela 4, ao final do presente texto, ilustra detalhadamente as emissões geradas por cada classe de veículo e combustível.



Figura 1 – Emissão veicular de poluentes atmosféricos em Pelotas (RS) no ano de 2022.



Fonte: Elaborada pelos autores.

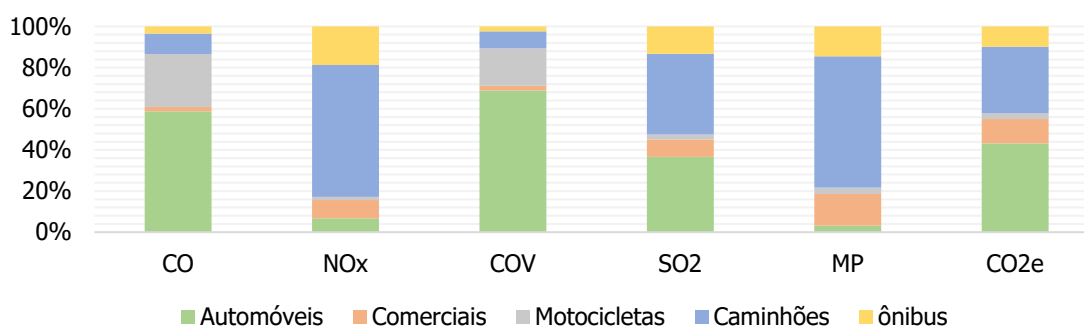
A partir da Figura 1, observou-se que os principais poluentes emitidos pela frota veicular são o CO e os NO_x. Esse resultado é condizente com o encontrado por Azhari et al. (2021) durante a elaboração de um inventário de emissões atmosféricas para a cidade de Kuala Lumpur (capital da Malásia). Ademais, Silva, Lima e Almeida (2022) também obtiveram o mesmo padrão no inventário de emissões veiculares da cidade de Maceió e, além disso, Vasques e Hoinaski (2021) encontraram a mesma tendência no inventário nacional de emissões veiculares. Esse padrão vem do fato de que o CO e os NO_x são os principais poluentes gerados em processos de combustão, sendo o primeiro advindo da insuficiência de ar no motor o que torna a combustão incompleta não permitindo a oxidação total do carbono e o segundo justamente da presença de ar na câmara de combustão o que promove a oxidação do nitrogênio presente (Vallero, 2008).

As emissões de COV também são significativas. As mesmas estão associadas a eficiência inerente dos processos de combustão que não promovem a conversão de todo combustível injetado, o qual acaba sendo liberado juntamente com os gases de escape (Vallero, 2008). Ademais, uma vez que são compostos por hidrocarbonetos, as forças intermoleculares presentes nos combustíveis são fracas, o que os caracteriza como altamente voláteis e facilita a evaporação dos mesmos tanto durante o abastecimento quanto diretamente nos tanques dos veículos (CETESB, 2022).

Cada categoria de veículo contribui diferentemente para as emissões em decorrência de suas particularidades mecânicas e sua representatividade na frota. Nesse sentido, a Figura 2 apresenta a contribuição de cada categoria de veículo na emissão de poluentes atmosféricos em Pelotas.



Figura 2 – Contribuição de cada categoria de veículo na emissão de poluentes atmosféricos em Pelotas (RS).



Fonte: Elaborada pelos autores.

Percebeu-se que a maior parte das emissões de CO foi causada por automóveis e motocicletas. Uma vez que a combustão interna nos veículos raramente acontece de maneira totalmente completa, o CO acaba sendo gerado universalmente por todas as categorias de veículos (Vallero, 2008). Assim, aquelas que possuem uma maior representatividade com relação à frota total foram as que propiciaram a maior emissão desse poluente. Nesse contexto, uma vez que o CO₂ representa mais de 97,5% das emissões de GEE no município, uma explicação semelhante pode ser dada para a distribuição das emissões de CO₂e entre as classes de veículos. Todavia, vale ressaltar que os veículos pesados contribuíram mais significativamente para as emissões de CO₂e em virtude de seus maiores fatores de emissão de CO₂ e suas menores autonomias de combustível.

Com relação ao NO_x, os veículos pesados (caminhões e ônibus) são responsáveis pela maior parte das emissões. Além disso, a categoria de veículos comerciais também possui uma contribuição relevante. Esse padrão surge do fato de que motores à diesel operam com uma maior injeção de ar do que motores à gasolina, o que promove uma redução nas emissões de CO, mas também permite um aumento da liberação de NO_x (Hinrichs; Kleinbach, 2010).

As emissões de COV apresentaram o mesmo padrão de distribuição entre as categorias de veículos que foi percebida para o CO. No entanto, no contexto dos COV, automóveis e motocicletas são responsáveis por uma parcela ainda maior das emissões possivelmente em decorrência da maior volatilidade da gasolina em relação ao diesel.

Caminhões e ônibus contribuíram com uma grande parcela das emissões de MP e SO₂. Em se tratando de MP, sabe-se que a emissão desse poluente é uma característica já reconhecida de veículos movidos à diesel (CETESB, 2022). Já com relação ao SO₂, vale ressaltar que, embora o diesel S500 ainda seja consumido no município, a Resolução N°50 de 2013 da ANP estabeleceu que veículos pesados da fase P6 em diante somente podem utilizar o diesel S10, isto é, a versão com teor de enxofre máxima de 10 mg/kg (Brasil, 2013). Dessa forma, a participação dos veículos pesados na emissão de SO₂ foi reduzida em decorrência dessa determinação. Por outro lado, o limite de enxofre da gasolina é 50mg/kg, o que permitiu uma maior contribuição dos veículos leves na emissão desse poluente (Brasil, 2020).

Para que se tenha uma compreensão adequada da intensidade das emissões veiculares de Pelotas, é fundamental contrastar o cenário pelotense com o de outras regiões. A Tabela 2 promove essa comparação demonstrando a emissão veicular per capita de poluentes em Pelotas em contraste com áreas metropolitanas do país.



Tabela 2 – Emissão veicular per capita de poluentes em Pelotas em contraste com regiões metropolitanas

Poluente	PET 2022 ¹	RMPOA 2015 ²	G. FLORIPA 2017 ³	RMSP 2021 ⁴
CO (kg/hab)	4,12	37,57	15,31	4,28
NO _x (kg/hab)	3,82	7,49	3,66	1,80
NMHC (kg/hab)	0,93	3,01	0,44	1,01
MP (kg/hab)	0,11	-	0,12	0,04
SO ₂ (kg/hab)	0,05	-	-	0,02
CO ₂ e (ton/hab)	1,48	-	0,80	0,58

¹Pelotas – presente estudo;

² Região Metropolitana de Porto Alegre – Chovert (2016);

³Grande Florianópolis – Hoinaski et al. (2017);

⁴Região Metropolitana de São Paulo – CETESB (2022).

Fonte: Elaborada pelos autores.

Em termos per capita, Pelotas emite menos CO do que todas as outras regiões avaliadas. Todavia, de maneira geral, emite mais NO_x, MP e SO₂. Portanto, é possível que a frota de veículos pesados seja mais significativa em Pelotas do que nas demais localidades.

A RMPOA gerou uma maior emissão per capita para todos os poluentes apesar da sua taxa de motorização, de 0,38 veículos por habitante, ser menor do que a de Pelotas, de 0,47 (Chovert, 2016; IBGE, c2023). Todavia, é altamente provável que a tendência observada sofra uma grande influência da diferença temporal existente entre os inventários de Porto Alegre e Pelotas. Assim, como o estudo na RMPOA foi feito para o ano de 2015, a frota da época certamente possuía um fator de emissão consideravelmente maior que a atual. Portanto, não é possível apontar com exatidão qual região polui mais intensamente em termos per capita.

A Tabela 2 aponta para Pelotas como uma cidade que possui altas taxas de emissão per capita de poluentes veiculares. Para alguns gases como, NO_x e NMHC, as emissões veiculares per capita de Pelotas superam as de regiões altamente urbanizadas como a G.Floripa e a RMSP. Além disso, observou-se que a frota veicular de Pelotas gera uma emissão per capita de GEE maior do que as três regiões metropolitanas avaliadas. Por conseguinte, para além de contribuir com a degradação da qualidade do ar local, a atividade veicular do município contribui seriamente para o agravamento do aquecimento global e corrobora com os impactos negativos causados pelas consequentes mudanças climáticas. Vale ressaltar que o município já experienciou tais Impactos com os fortes temporais e inundações de 2023 que causaram um prejuízo de mais de 90 milhões e desabrigaram 155 pessoas devido a um registro inédito de 524mm de precipitação no mês de setembro (Macedo, 2023).

Sendo assim, o comparativo realizado indica que Pelotas, apesar de ser um município de médio porte, apresenta taxas de emissões que se comparam, e até mesmo superam, àquelas de grandes metrópoles. Dessa forma, em vista de sua população total, Pelotas apresenta um elevado número de veículos em circulação, os quais são utilizados em grande intensidade. Consequentemente, uma vez que municípios mais populosos são capazes de apresentar taxas de emissões mais positivas, é possível que a cidade gaúcha consiga melhorar o cenário atual a partir de um gerenciamento da qualidade do ar que desincentive o intenso uso de veículos. Nesse cenário, o estímulo ao uso do transporte coletivo, que pode se manifestar por meio da redução tarifária e expansão da frota, pode representar uma alternativa promissora. Além disso, considerando a baixa inclinação topográfica da



região, torna-se fundamental ampliar a infraestrutura cicloviária da cidade e divulgar campanhas incentivando o uso de bicicletas em substituição ao emprego de veículos automotores de uso individual. Tais medidas podem contribuir com a redução da emissão veicular per capita do município, propiciando tanto uma redução do impacto climático gerado quanto uma melhoria na qualidade do ar local.

3.2. EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES

Frente à importância do tema para o município, a presente pesquisa não foi pioneira na estimativa realizada. Silva, Alonso e Oliveira (2016) elaboraram um inventário de emissões veiculares para Pelotas, tendo 2012 como o ano base. Assim sendo, tornou-se possível avaliar a evolução das emissões atmosféricas geradas pela frota veicular do município nos últimos dez anos. Nesse sentido, a Tabela 3 ilustra a frota circulante determinada por Silva, Alonso e Oliveira (2016) para 2012 em contraste com a estimada no presente estudo.

Tabela 3 – Evolução da frota veicular de Pelotas (RS)

Categoria	2012	2022
Automóvel	95.372	109.912
Comercial	13.346	5.865
Caminhões	7.322	4.171
Motocicletas	44.433	31.103
Ônibus	1.089	681
Total	161.562	151.732

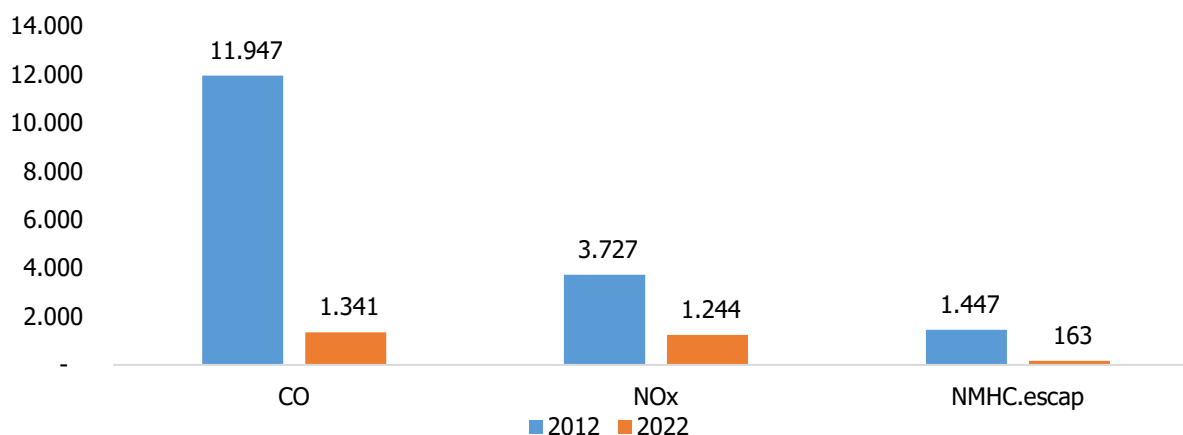
Fonte: elaborado a partir de Silva, Alonso e Oliveira (2016).

Com exceção da classe de automóveis, a frota de 2012 se mostrou maior que a determinada na presente pesquisa para todas as categorias e também no somatório geral. Não obstante, essa tendência se encontra em desacordo com o exposto na série histórica da frota de Pelotas presente no banco de dados do IBGE (c2023), a qual denota um crescimento contínuo da mesma. Desse modo, é possível que esse padrão contraditório tenha surgido do fato de Silva, Alonso e Oliveira (2016) não terem corrigido a frota disponibilizada pelo DETRAN RS. Segundo CETESB (2022), a frota circulante geralmente é menor do que a frota disponibilizada pelos órgãos de trânsito, já que diversos veículos deixam de circular sem que seja feita a baixa de seus respectivos registros. Assim, entende-se que a distinção entre as frotas do inventário de 2012 e do exposto nesse trabalho decorre majoritariamente das diferenças metodológicas existentes entre os estudos.

As emissões totais também se alteraram substancialmente na última década. A Figura 3 expõe a variação das emissões veiculares de Pelotas entre 2012 e 2022.



Figura 3 – Evolução das emissões veiculares de poluentes atmosféricos em Pelotas (RS).

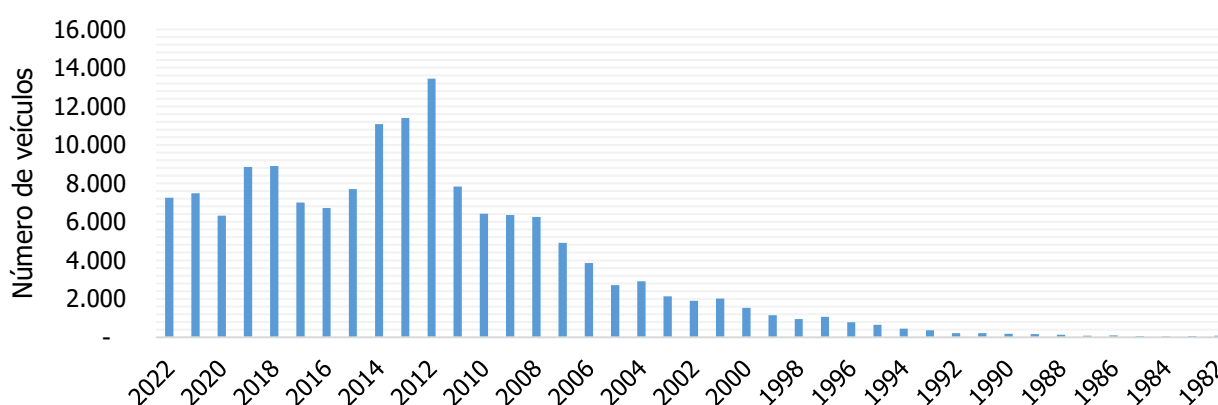


Fonte: Elaborada pelos autores partir de Silva, Alonso e Oliveira (2016).

A Figura 3 aponta para uma diminuição drástica das emissões nos últimos 10 anos, com uma redução média de aproximadamente 80%. Todavia, como os dois inventários não foram feitos exatamente com a mesma metodologia, a redução mencionada pode ter sido influenciada pela diferença entre os métodos e, portanto, pode não ter sido tão abrupta quanto descrito na Figura 3. Vale ressaltar que, além de Silva, Alonso e Oliveira (2016) não terem corrigido a frota registrada, os mesmos também não ajustaram a intensidade de uso com base no consumo de combustível observado no município. Assim sendo, ambos fatores podem ter contribuído para uma superestimativa das emissões finais no estudo de 2012.

Por outro lado, vale ressaltar também que a idade da frota pelotense variou significativamente entre 2012 e 2022. Segundo Silva, Alonso e Oliveira (2016), a grande maioria dos veículos que circulavam no município em 2012 haviam sido fabricados antes de 2001. No entanto, conforme exposto na Figura 4, em 2022, a frota de Pelotas era composta majoritariamente por modelos mais recentes.

Figura 4 – Distribuição da frota de Pelotas (RS) por ano do modelo.



Fonte: Elaborada pelos autores.

De modo geral, os modelos mais recentes de veículos possuem fatores de emissão menores, respeitando a evolução prevista nas diferentes fases do PROCONVE e PROMOT (GOV.BR, 2022). Portanto, é possível que a renovação da frota pelotense tenha causado boa parte da redução das emissões de poluentes denotada na Figura 3.

**Tabela 4** – Detalhamento das emissões veiculares de Pelotas (RS) em 2022 (toneladas)

Categoria		CO	NO _x	MP	SO ₂	NMHC _{escap}	NMHC _{abast}	NMHC _{evap}	RCHO	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Automóveis	Flex	253,7	24,8	0,4	2,0	24,3	35,5	11,3	0,9	67.997,69	3,4	7,6
	Etanol	64,3	7,0	0,0	0,0	7,7	0,7	2,8	0,7	2.731,89	1,3	0,2
	Gasolina	469,2	51,8	0,7	3,8	43,8	67,0	14,9	2,0	130.383,62	6,8	14,3
Comerciais	Flex	2,6	0,3	0,0	0,0	0,2	0,5	0,1	0,0	880,85	0,0	0,1
	Etanol	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,42	0,0	0,0
	Gasolina	2,8	0,3	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,0	382,40	0,0	0,0
	Diesel	23,4	109,9	5,7	1,3	5,4	0,0	0,0	0,0	54.468,89	2,4	4,3
Motocicletas	<150 cc flex	20,1	1,1	0,1	0,0	2,6	0,7	0,0	0,0	1.231,58	0,9	0,1
	<150 cc gasolina	282,1	17,1	0,9	0,3	40,8	5,4	0,0	0,0	9.945,41	9,4	0,4
	>150 cc flex	2,3	0,2	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	170,40	0,1	0,0
	>150 cc gasolina	39,9	2,2	0,1	0,0	5,2	0,8	0,0	0,0	1.591,12	1,1	0,0
Caminhões	Pesados	35,5	222,9	6,0	1,7	7,2	0,0	0,0	0,0	45.763,12	3,7	1,9
	Semipesados	32,9	201,4	6,1	1,6	6,5	0,0	0,0	0,0	35.827,05	2,9	1,4
	Médios	22,3	127,9	4,5	1,0	4,5	0,0	0,0	0,0	23.333,91	3,1	1,5
	Leves	36,9	206,7	5,8	1,6	6,3	0,0	0,0	0,0	41.008,55	5,3	2,6
	Semileves	6,6	38,6	1,3	0,4	1,1	0,0	0,0	0,0	6.790,30	1,4	0,7
ônibus	Urbanos	32,0	158,9	3,8	1,3	5,2	0,0	0,0	0,0	31.175,17	1,5	0,8
	Micro-ônibus	6,9	28,3	0,5	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0	6.811,51	0,5	0,3
	Rodoviários	7,2	44,7	1,1	0,4	1,4	0,0	0,0	0,0	8.794,95	0,7	0,3

Fonte: Elaborado pelos autores.



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo a elaboração de um inventário das emissões veiculares geradas no município de Pelotas – RS. Assim sendo, uma vez que o inventário existente se encontrava desatualizado, os resultados ora apresentados contribuem significativamente para o gerenciamento da qualidade do ar no município.

O cenário atual se mostrou negativo. Em termos per capita, a emissão de NO_x, MP, SO₂ e NMHC gerada pela frota veicular de Pelotas é maior do que a de algumas regiões metropolitanas do país, incluindo a RMSP. Além disso, a frota pelotense emite substancialmente mais GEE por habitante do que as das três regiões metropolitanas utilizadas para comparação (RMPOA, G. Floripa e RMSP). Portanto, medidas precisam ser tomadas para reduzir a intensidade das emissões geradas pela frota veicular do município, como, por exemplo, a ampliação da infraestrutura cicloviária e o incentivo ao uso do transporte público em detrimento da utilização individual de veículos para viagens rotineiras de curta distância.

Todavia, a análise da evolução das emissões revelou um ponto positivo. Em contraste com o inventário municipal elaborado com dados de 2012, o montante de poluentes emitido em 2022 foi significativamente menor. Naturalmente, as diferenças metodológicas existentes entre os dois estudos podem ter contribuído para o comportamento observado. Não obstante, embora não seja possível quantificar o efeito exato, é provável que a renovação da frota veicular que ocorreu nos últimos dez anos tenha sido a principal responsável pela redução das emissões em Pelotas.

Por fim, dois pontos do presente estudo precisam ser destacados. Em primeiro lugar, ressalta-se que a frota utilizada como base para todos os cálculos foi estimada, logo, a existência de um banco de dados com a frota circulante real do município seria fundamental para a produção de resultados mais acurados. Ademais, vale denotar que os fatores de emissão, além de inexistentes para alguns tipos de veículos e poluentes específicos, não representam adequadamente as variações geradas pelas condições de funcionamento dos veículos, as quais são influenciadas, por exemplo, pelo estado de conservação dos mesmos, pela topografia do terreno e pela aceleração instantânea. Portanto, futuros estudos devem se dedicar a aperfeiçoar tanto a metodologia em si quanto a disponibilidade dos dados demandados pela mesma.

Por fim, os autores sugerem o aprofundamento do presente estudo por meio da avaliação da concentração de poluentes atmosféricos próximo as principais vias da cidade durante momentos de pico no trânsito.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo financiamento às pesquisas concedido ao Professor Willian Nadaleti. Agradecemos também ao CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida ao aluno Jeferson Peres Gomes.

5. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Vendas de derivados de petróleo e biocombustíveis**. 2023. Acessado em: 30 mai. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/vendas-de-derivados-de-petroleo-e-biocombustiveis>.

AZHARI, Azliyana et al. Highly spatially resolved emission inventory of selected air pollutants in Kuala Lumpur's urban environment. **Atmospheric Pollution Research**, v. 12, n. 2, p. 12-22, 2021.



BRASIL. **Diário Oficial da União**: 15 de mar. 2002. Resolução CONAMA nº 297, de 26 de fevereiro de 2002. 2002.

BRASIL. **Diário Oficial da União**: 17 de jun. 1986. Resolução CONAMA nº 18, de 6 de março de 1986. 1986.

BRASIL. **Diário Oficial da União**: 24 de dez. 2013. Resolução ANP nº50 de 23 de dez. de 2013. 2013.

BRASIL. **Diário Oficial da União**: 24 de jan. 2020. Resolução ANP nº807 de 23 de jan. de 2020. 2020.

CHOVERT, A.D. **Estudo numérico do impacto da frota veicular na qualidade do ar na Região Metropolitana de Porto Alegre**. 2016, 146f. Dissertação (Mestre em Meteorologia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Emissões veiculares no estado de São Paulo**, 2021. São Paulo – SP, 2022.

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO (DETRAN RS). **Frota no RS**. 2023. Acessado em: 30 mai. 2023. Disponível em: <https://www.detran.rs.gov.br/dados-rs>.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **Global Greenhouse Gas Emissions Data**. 2023. Disponível em: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>. Acesso em: 08 out. 2023.

GOV.BR. **Programa de controle de emissões veiculares (Proconve)**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/emissoes/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve>. Acesso em 07 out. 2023.

HINRICH, R. A.; KLEINBACH, M (ed). **Energia e meio ambiente**. 4.ed. Cengage Learning, 2010.

HOINASKI, et al. **Emissões veiculares no estado de Santa Catarina** – ano base 2017. ISBN: 978-65-87206-14-1. 2017.

HUNEEUS, Nicolas et al. Evaluation of anthropogenic air pollutant emission inventories for South America at national and city scale. **Atmospheric Environment**, v. 235, p. 117606, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. c2023. Acessado em: 30 mai. 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Tabela Estações**: estação A887. c2023. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001>. Acesso em: 07 out. 2023.

MACEDO, J.P. **Pelotas confirma situação de emergência**. 2023. Disponível em: <https://www.pelotas.com.br/noticia/pelotas-confirma-situacao-de-emergencia>. Acesso em 07 out. 2023.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA TECNOLOGIA E INFORMAÇÃO – MCTI. **Emissões de GEE por Subsetor**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/emissoes/participacao-de-emissoes-de-gee-por-subsetor>. Acesso em: 08 out. 2023.

REYNA, Janet L. et al. Improving the accuracy of vehicle emissions profiles for urban transportation greenhouse gas and air pollution inventories. **Environmental science & technology**, v. 49, n. 1, p. 369-376, 2015.

SANTOS, F.S. **Diagnóstico das Emissões Atmosféricas em Minas Gerais: um estudo para as fontes fixas e veiculares**. 2018. 147f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.



SILVA, K.L.A.; ALONSO, M.F.; OLIVEIRA, L.P. Análise das Emissões Atmosféricas de Fontes Móveis para a cidade Pelotas – RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.38, Ed. Especial: IX Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, p. 347 – 353, 2016.

SILVA, M. de O., LIMA, T.A.M.; ALMEIDA, D.S de. Construção de um inventário de emissões veiculares para a cidade de Maceió-AL. **Recima** **21**, v.3, n.7, p. e371697-e371697, 2022.

SOUZA, K.R. **Estimativa de emissões de gases poluentes por veículos automotores rodoviários nos municípios paulistas e sua relação com a saúde**. 2017. 181 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

VALLERO, D. **Fundamentals of air pollution**. 4.ed. Londres: Elsevier, 2008.

VASQUES, T. V.; HOINASKI, L. Brazilian vehicular emission inventory software–BRAVES. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 100, p. 103041, 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Air pollution 2022**. c2023. Disponível em: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1. Acesso em: 08 set. 2023.

WORLD RESOURCES INSTITUTE - WRI. **O Estado da Qualidade do Ar no Brasil. 2021**. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/estudo-revelaestado-da-qualidade-do-ar-e-mostra-como-o-tema-e-negligenciado-no-brasil>. Acesso em: 08 set. 2023.

Submissão: 28/10/2023

Aceito: 20/10/2025