



O impacto da idade de veículos automotores no inventário de emissões de gases de efeito estufa

Carlos Alberto Alves dos Santos^a <https://orcid.org/0000-0001-8875-6985>

Anna Virgínia Muniz Machado^b <https://orcid.org/0000-0001-5793-8591>

João Felipe Mitre^c <https://orcid.org/0000-0002-7216-1714>

^{abc} Universidade Federal Fluminense - UFF, Escola de Engenharia, Niterói, RJ, Brasil

Resumo: A idade média dos automóveis em circulação desempenha um papel crucial no contexto ambiental. Devido à ausência de tecnologias avançadas de controle de emissões, veículos mais antigos geralmente apresentam um desempenho ambiental inferior em comparação com os mais recentes. A evolução das regulamentações e padrões de emissões ao longo dos anos ajudou a desenvolver tecnologias para veículos mais econômicos e sustentáveis, o que contribuiu para essa diferença no desempenho ambiental. Com isso, veículos mais recentes têm dispositivos mais sofisticados, como conversores catalíticos, sensores de oxigênio e sistemas de injeção eletrônica de combustível, que ajudam a reduzir significativamente as emissões de gases poluentes. Dado o cenário nacional em relação à frota veicular, onde ainda há uma parcela significativa de carros antigos em circulação, foi realizado um Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa pelo Programa Brasileiro GHG Protocol, considerando o ano de fabricação de 11 modelos do veículo Hyundai HB20 motor 1.0-12V fabricados de 2012 até 2023. Os resultados indicam que a idade dos veículos e o seu consequente enquadramento em programas de controle de emissões da sua época de fabricação impactam diretamente nas emissões de gases do efeito estufa. Ao comparar os modelos mais recentes com os mais antigos, verificou-se uma redução significativa nas emissões de gases poluentes. Os veículos fabricados nos últimos anos, que incorporaram tecnologias mais avançadas de controle de emissões, apresentaram níveis substancialmente mais baixos de dióxido de carbono (CO₂) em relação aos modelos mais antigos, comprovando que renovar a frota com veículos mais modernos e eficientes é fundamental para reduzir o impacto ambiental.

Palavras-chave: frota, eficiência energética, gases de efeito estufa, GHG Protocol.

Abstract: The average age of circulating vehicles plays a crucial role in the environmental context. Due to the absence of advanced emission control technologies, older vehicles generally exhibit lower environmental performance than newer ones. The evolution of emissions regulations and standards has helped develop technologies for more fuel-efficient and sustainable vehicles, contributing to this difference in environmental performance. As a result, newer vehicles have more sophisticated devices, such as catalytic converters, oxygen sensors, and electronic fuel injection systems, which significantly help reduce pollutant gas emissions. Given the national scenario regarding the vehicle fleet, where there is still a significant portion of older cars in circulation, a Greenhouse Gas Emissions Inventory of the

Brazilian GHG Protocol Program was conducted, considering the manufacturing year of 11 models of the Hyundai HB20 1.0-12V engine vehicle manufactured from 2012 to 2023. The results indicate that vehicles' age and subsequent compliance with emission control programs during their manufacturing period directly impact greenhouse gas emissions. A significant reduction in pollutant gas emissions was observed when comparing the newest and older models. Vehicles manufactured in recent years, incorporating more advanced emission control technologies, showed substantially lower carbon dioxide (CO₂) levels than older models, proving that renewing the fleet with more modern and efficient vehicles is essential for reducing environmental impact.

Keywords: fleet; energy efficiency; greenhouse gases; GHG Protocol

Como citar: SANTOS, C. A. A., MACHADO, ANNA V. M., MITRE, J. F. **Análise do Impacto da Idade dos Veículos no Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa.** *Engevista*, vol. 22, n.1, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil, 2024.

Autor para contato: Carlos Alberto Alves dos Santos. E-mail: carlos_a@id.uff.br

Financiamento: Nenhum.

Conflito de interesse: Nada a declarar.

1 INTRODUÇÃO

Segundo o relatório do WRI Brasil, (2020) as emissões de gases de efeito estufa ao redor do mundo estão aumentando a uma taxa constante de 41% ao ano desde 1990. Embora tenha havido reduções significativas em 2016, dados recentes revelam que as emissões de dióxido de carbono têm aumentado anualmente, sendo os setores industriais responsáveis por um aumento de 174%, seguidos pelo setor de transporte (especificamente o subsetor de energia) com um crescimento de 71%, e o setor de fabricação e construção (também subsetor de energia) com um aumento de 55% nas emissões.

Com o setor de transporte sendo impulsionado principalmente pelo aumento da quantidade de veículos nas ruas, surge a necessidade de enfrentar o desafio do crescimento da frota veicular e buscar alternativas para reduzir os impactos ambientais. É essencial considerar medidas para a constante renovação da frota, substituindo veículos mais antigos por opções mais eficientes Mozafari *et al.*, (2023). De acordo com o estudo realizado por Jaworski *et al.*, (2022) a renovação completa da antiga frota por veículos modernos e de baixa emissão resultou em benefícios significativos para o meio ambiente. A substituição dos 29 ônibus sem classe de emissão e dos 23 ônibus em conformidade com a norma EURO II por novos ônibus EURO VI, fabricados principalmente após 2019, reduziu as emissões de CO₂ em mais de 448 t durante o período de estudo de um ano.

Felizmente, o Brasil possui uma rígida legislação sobre a importação de carros usados (UN, 2020). No entanto, a venda de novos veículos não resolve a obsolescência da frota, pois muitos brasileiros não têm condições de adquirir veículos zero-quilômetro, e o país ainda carece de uma política eficaz de renovação. Segundo o Relatório de Frota Circulante (Sindipeças, 2022), em 2021, foram vendidos 38,2 milhões de veículos, sendo 23,5% com até 5 anos de uso, 57,1% entre 6 e 15 anos e 19,4% com mais de 16 anos.

Nesse contexto, O artigo visa criar um Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa usando o Programa Brasileiro GHG Protocol para quantificar e comparar as emissões de CO₂ de veículos HB20 1.0-12V, de 2012 a 2023. O estudo considera dados de veículos novos na época dos relatórios do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular, mas avalia ao final o impacto das emissões em modelos mais antigos, oferecendo insights sobre a evolução da eficiência ao longo do tempo.

2 GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE)

A Agenda 2030 engloba os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), os quais constituem um plano conjunto para a paz e a prosperidade, tanto no presente quanto no futuro, para as pessoas e o planeta. O aquecimento global, um dos principais desafios ambientais das últimas décadas, é responsável por alterações climáticas em escala global (Bekun *et al.*, 2019). O ODS 13 concentra-se em combater as mudanças climáticas e seus impactos negativos. Para isso, são propostas ações como a redução das Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), o aumento da resiliência e da capacidade de adaptação às mudanças climáticas, bem como a promoção de conscientização e educação sobre o tema (ONU, 2022). É importante compreender que os poluentes presentes no ar não apenas contribuem para o aquecimento da atmosfera, mas também afetam negativamente a saúde humana, sendo esse um dos principais desafios ambientais enfrentados atualmente, com impactos negativos para o bem-estar das comunidades (Andrych-Zalewska, *et al.*, 2021, Liu *et al.*, 2017, Wang *et al.*, 2021).

Apesar de seu potencial em energia renovável, o Brasil ocupa o 6º lugar em emissões globais de carbono (Udemba, Tosun, 2022). Em 2021, o país emitiu 2,4 bilhões de toneladas de GEE, um aumento de 12,5% em relação a 2020, marcando a maior elevação em quase duas décadas (Leal, 2023). Esse crescimento, especialmente nas grandes cidades, é impulsionado pelo tráfego de veículos — carros, ônibus, caminhões e motos —, que liberam poluentes como CO, CO₂, NO_x, HC, SO_x e partículas, prejudicando a saúde humana ao serem inalados.

As emissões de GEE, principalmente de CO₂, contribuem em cerca de 60% para o aquecimento global, resultantes do uso de combustíveis fósseis, desmatamento e alteração do uso do solo (Proclima, 2022). Em 2019, essas concentrações atingiram 410 partes por milhão (ppm), um valor muito mais elevado do que os níveis pré-industriais de cerca de 280 ppm (Toro González, 2020). Nesse contexto, o controle dos níveis de CO₂ é crucial para desacelerar o esgotamento do orçamento global de carbono e prevenir o impacto irreversível do aquecimento global acima de 1,5°C em relação aos níveis pré-industriais (Law, *et al.*, 2023).

3 PROGRAMA DE CONTROLE DE EMISSÕES VEICULARES

O Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve) é um programa brasileiro criado em 1986, equivalente aos EURO Standards (European Emission Standards), estabelecidos pela Resolução Conama nº 18, de 6 de maio de 1986. Seu objetivo é estabelecer padrões de controle de emissão de poluentes por veículos automotores, com foco na redução da poluição do ar e na melhoria da qualidade do ar nas grandes cidades, sendo o Ibama seu principal executor (Ibama, 2022). O Proconve define critérios de emissão de veículos, categorizados em duas principais categorias: L - veículos leves (carros de passeio e veículos comerciais leves) e P - veículos pesados (caminhões e ônibus).

Com o tempo, os critérios de emissão tornaram-se mais rigorosos, divididos em fases que impõem limites cada vez mais restritos para veículos leves e pesados (Cetesb, 2021). O Proconve tem sido eficaz na redução das emissões veiculares, especialmente na região metropolitana de São Paulo, melhorando a qualidade do ar e protegendo a saúde pública (Dias *et al.*, 2021). Veículos com mais de 20 anos emitem até três vezes mais GEE que os com menos de 3 anos, apesar de representarem uma frota menor.

Entretanto, se comparado aos principais mercados, conforme exposto na Figura 1, o Brasil ocupa a última posição de veículos automotores que adotaram o padrão Euro VI (ICCT, 2020), o que torna ainda mais desafiador o processo de renovação da frota. Vale lembrar que o padrão EURO VI equivale ao Proconve P-8 e L7.

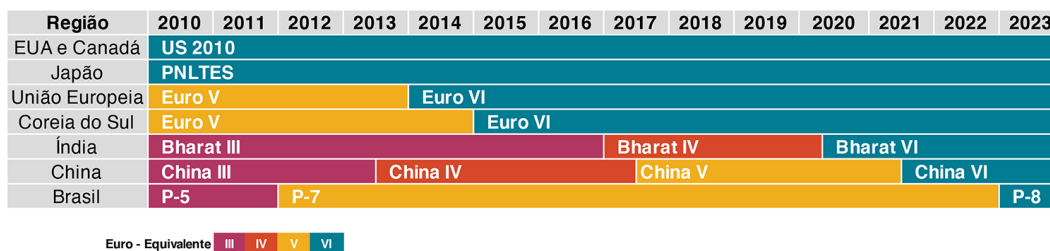


Figura 1. Cronograma para implementação de padrões nacionais em veículos pesados

Fonte: ICCT (2020)

Para atender aos limites de emissão do Proconve e acompanhar suas fases de controle, os veículos passaram por avanços tecnológicos. Na década de 1990, para cumprir as fases L2 e

L3, o carburador foi substituído pela injeção eletrônica nos motores de ciclo Otto, permitindo uma dosagem mais precisa do combustível e controle da queima, o que reduziu significativamente as emissões (Branco, 2015). Esse avanço também viabilizou o uso de catalisadores eficientes, fundamentais para reduzir os gases de escape em veículos leves.

4 OBJETIVO

O artigo tem como objetivo desenvolver um Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em 2023, utilizando a ferramenta de estimativas do Programa Brasileiro GHG Protocol. O foco é quantificar e comparar o total de dióxido de carbono ($t\ CO_2e$) liberado na atmosfera pelo veículo HB20 com motor 1.0-12V, fabricado de 2012 até 2023. Com metas específicas em mente, o artigo busca alcançar os seguintes objetivos:

- I. Identificar a série histórica de geração de CO_2 pelos veículos HB20 com motor 1.0-12V fabricados entre 2012 e 2023. Isso permitirá traçar uma linha do tempo e observar o impacto do Programa de controle de emissões veiculares (Proconve) na produção desses veículos;
- II. Aplicar a ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol para calcular e avaliar o total de dióxido de carbono equivalente ($t\ CO_2e$) liberado na atmosfera pelos veículos estudados. Essa abordagem proporcionará resultados precisos e confiáveis para avaliar o impacto ambiental desses veículos no ano da emissão dos relatórios, ou seja, no ano de fabricação dos veículos;
- III. Analisar o impacto das emissões de CO_2 em veículos mais antigos. Isso contribuirá para entender a ineficiência desses veículos, bem como destacar e auxiliar os gestores de sustentabilidade a quantificarem a necessidade de transição para veículos mais sustentáveis.

Ao final do estudo, será possível analisar o impacto das emissões de CO_2 em veículos mais antigos, fornecendo informações relevantes para a tomada de decisão e incentivo à transição para meios de transporte mais sustentáveis.

4 METODOLOGIA

No que se refere ao método de abordagem, este artigo utiliza a ferramenta de estimativas de emissões de gases do efeito estufa (GEE) desenvolvida pelo Programa Brasileiro GHG Protocol. Criado em 2008, esse programa adaptou o método GHG Protocol ao contexto brasileiro, com o objetivo de estimular a cultura corporativa de inventário de emissões no Brasil (FGV, 2023).

Para obter os dados necessários para as estimativas de consumo mensal, conforme Figura 2, foram coletadas informações sobre eficiência energética veicular a partir dos ensaios publicados anualmente pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Inmetro. Nesse estudo, a eficiência energética é caracterizada como Quilometragem por litro (km/l). No processo de estimativa do consumo de combustível, foi adotado um percurso constante de 1000 km por mês ao longo de um ano de estudo para cada um dos 12 modelos Hyundai HB20 analisados. Essa escolha foi feita para estabelecer um parâmetro comum e permitir comparações consistentes entre os diferentes modelos.

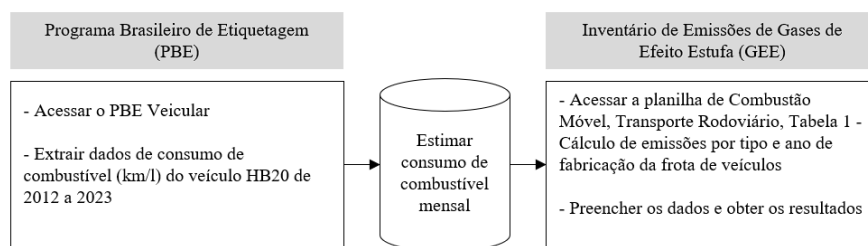


Figura 2 - Processo de elaboração do inventário

Fonte: o autor.

Por fim, no processo de desenvolvimento do inventário, vale ressaltar que, conforme a Portaria MAPA Nº 75 DE 05/03/2015 (Brasil, 2015), o percentual obrigatório de adição de etanol anidro combustível à gasolina é de 27% na Gasolina Comum e 25% na Gasolina Premium. Neste estudo, considerou-se o uso da Gasolina Comum. Dessa forma, a ferramenta de estimativas apura as Emissões Totais (t CO₂e), levando em conta as emissões de Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄) e Óxido nitroso (N₂O) para a Gasolina Pura, e as emissões de CO₂ biogênico para o Biocombustível Etanol Anidro adicionado à Gasolina Comum. Vale

destacar que as emissões do Biocombustível Etanol Anidro são consideradas neutras em termos de impacto climático.

6 PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM (PBE)

6.1 Veículos Automotivos (PBE Veicular)

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), uma iniciativa liderada pelo Inmetro, desempenha um papel importante ao beneficiar os consumidores, a indústria e o meio ambiente. No âmbito do PBE, destaca-se a vertente dos Veículos Automotivos (PBE Veicular). Essa vertente do programa fornece dados relevantes sobre a eficiência energética dos veículos leves, permitindo que os consumidores façam escolhas conscientes ao adquirir um veículo.

Para avaliar a eficiência dos veículos dentro do Programa, são realizados ensaios de acordo com a Norma ABNT NBR 7024 - Veículos rodoviários automotores leves - Medição do consumo de combustível - Método de ensaio. Os valores obtidos nesses ensaios são utilizados para classificar o veículo quanto à eficiência energética e definir os valores de referência, tanto para a condução em ambiente urbano quanto em rodovias, considerando diferentes tipos de combustíveis (Almeida Filho, 2018).

7 INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

A forma singular como as pessoas interagem com o meio ambiente é algo notável, porém acarreta problemas, influenciados principalmente pelo crescimento demográfico. Diante disso, as empresas têm mostrado um interesse crescente em monitorar e reduzir o uso de energia, bem como estabelecer metas para a redução das emissões GEE, através da elaboração de um Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (Assis, D'agosto, 2020). Esse inventário se torna um instrumento fundamental para avaliar, quantificar e registrar as emissões, além de estabelecer e monitorar metas, identificando oportunidades de aprimoramento (ABNT, 2022). Além disso, é necessário monitorar a evolução das emissões de outras substâncias gasosas resultantes da queima de combustíveis, que contribuem para a

deterioração da qualidade do ar, e tomar medidas adequadas para reduzir suas concentrações na atmosfera (Tchanche, 2021).

Para elaboração do inventário proposto nesse trabalho, será utilizado a ferramenta de estimativas do Programa Brasileiro GHG Protocol desenvolvido pela FGV e WRI - World Resources Institute. A Versão 2023.0.3, trata-se de um modelo desenvolvido em Excel que adapta do GHG Protocol à realidade brasileira, possuindo fatores de emissão baseados em publicações reconhecidas internacionalmente, como os métodos do IPCC (2000, 2006), da US-EPA, da DEFRA, entre outros (FGV, 2023). Para quantificar total de dióxido de carbono (t CO_{2e}) liberados na atmosfera pelo veículo HB20 motor 1.0-12V fabricados de 2012 até 2023, será utilizado apenas o Escopo 1, tipo Combustão móvel.

Qualquer tipo de organização, seja ela uma empresa privada, uma instituição pública, uma ONG ou uma entidade do terceiro setor, tem a oportunidade de se tornar membro do Programa Brasileiro GHG Protocol e aproveitar os recursos disponíveis na área restrita para divulgar os dados relacionados às suas Emissões de GEE. A participação nesse programa é anual e oferece às organizações a chance de participar de treinamentos sobre a elaboração de inventários, oficinas que abordam temas específicos, grupos de trabalho e outras atividades relacionadas a novos métodos e ferramentas (FGV, 2023).

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

8.1 Análise do PBE Veicular

O processo de consolidação das informações contou com o acesso aos documentos publicados do ano de 2012 até 2023, escolha do veículo HB20 1.0-12V e coleta da “Eficiência (km/l)”, tipo “Gasolina ou Diesel”, em “Cidade (km/l)”.

Inicialmente, conforme demonstrado na Tabela 1, é possível observar que o veículo modelo Hyundai HB20 2023 é 14% mais eficiente que o seu modelo de 2012. Essa conclusão está atrelada à distância percorrida pelos veículos com 1 litro de combustível do tipo gasolina. Enquanto o veículo modelo 2023 percorre 13,2 km, o modelo de 2012 percorre 11,5 km com 1 litro.

Tabela 1. Dados de consumo do Hyundai HB20 motor 1.0-12V e Padrão Proconve

| Ano de Fabricação | Marca | Veículo | Modelo | Motor | Autonomia (km/l) | Padrão Proconve |
|-------------------|---------|---------|-------------------------------|---------|------------------|-----------------|
| 2012 | Hyundai | HB20 | Comfort | 1.0-12V | 11,5 | L5 |
| 2013 | Hyundai | HB20 | Comfort | 1.0-12V | 11,5 | L5 |
| 2014 | Hyundai | HB20 | Comfort | 1.0-12V | 11,5 | L5 |
| 2015 | Hyundai | HB20 | Comfort | 1.0-12V | 11,8 | L6 |
| 2016 | Hyundai | HB20 | Comfort | 1.0-12V | 12,5 | L6 |
| 2017 | Hyundai | HB20 | Comfort / Plus / Style | 1.0-12V | 12,5 | L6 |
| 2018 | Hyundai | HB20 | Comfort / Plus / Style | 1.0-12V | 12,5 | L6 |
| 2019 | Hyundai | HB20 | Unique / Comfort Plus / Style | 1.0-12V | 12,5 | L6 |
| 2020 | Hyundai | HB20 | Sense | 1.0-12V | 12,8 | L6 |
| 2021 | Hyundai | HB20 | Sense 21/21 | 1.0-12V | 12,8 | L6 |
| 2022 | Hyundai | HB20 | Comfort | 1.0-12V | 13,1 | L7 |
| 2023 | Hyundai | HB20 | Sense | 1.0-12V | 13,3 | L7 |

Fonte: adaptado de Dados Anuais do PBE Veicular

Essa eficiência reflete diretamente no custo, ou seja, com um consumo mais baixo, o proprietário do Hyundai HB20 modelo 2023 precisará abastecer com menos frequência em comparação com o modelo de 2012, o que pode resultar em economia de dinheiro a longo prazo, como também reproduzido na Figura 3.

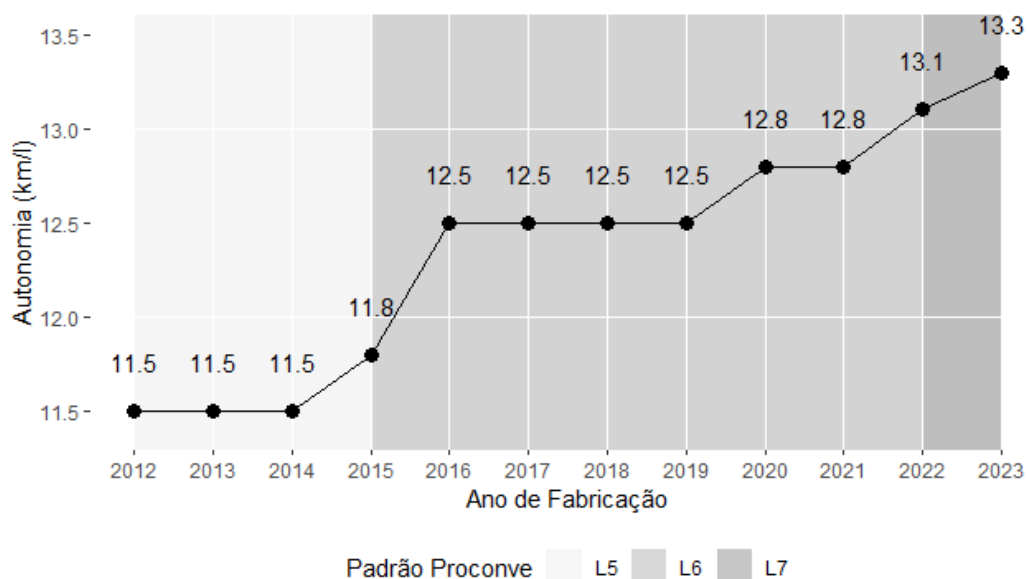


Figura 3. Autonomia do Hyundai HB20 motor 1.0-12V por ano de fabricação

Fonte: o autor.

Esse fenômeno também pode ser explicado pelo avanço tecnológico implementado pelas exigências do Proconve. Enquanto o veículo Hyundai HB20 modelo 2012 atende ao Proconve Fase - L5, o modelo 2023 atende ao Proconve Fase - L7, o que reflete diretamente nas emissões de GEE, conforme comparado na Tabela 1. Dados de consumo do Hyundai HB20 motor 1.0-12V e Padrão Proconve.

8.2 Elaboração do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE)

8.2.1 Análise preliminar e identificação de fatores de emissão

A ferramenta de estimativas do Programa Brasileiro GHG Protocol, utilizada para elaboração do inventário, possui escopos de atuação classificados conforme categorias de emissões de GEE. Existem três escopos principais:

- Escopo 1 - corresponde às emissões diretas. São obrigatórios para quase todos os programas de gestão (inventário) de GEE e legislações vigentes, incluindo a combustão estacionária, combustão móvel, emissões fugitivas, processos industriais e uso de material, tratamento de efluentes e resíduos sólidos, processos agrícolas, remoções de GEE (recomposição de vegetação, queima de biogás e captura e armazenamento de carbono) e emissões de CH₄ e N₂O originados da combustão de biomassa (Assis, D'Agosto, 2020);
- Escopo 2 - também são obrigatórios em quase todos os programas de gestão (inventário) de GEE e legislações vigentes, incluindo as emissões indiretas de GEE associadas ao consumo de eletricidade, calor ou vapor adquiridos pela organização e usados no limite organizacional definido;
- Escopo 3 - corresponde a todas as outras fontes de emissão indiretas de GEE, podendo ser relatados de forma opcional.

Para condução do inventário, na Ferramenta de Estimativas, utilizou-se a classificação Escopo 1, Combustão móvel, Tabela 1 - Cálculo de emissões por tipo e ano de fabricação da frota de veículos. Logo após a identificação dos veículos, se fez necessário a classificação do

veículo como “Automóvel flex a gasolina”, bem como a identificação do consumo mensal de combustível para cada modelo do veículo.

$$L = \frac{km}{km/l} \quad (1)$$

Onde km é determinado pela distância total percorrida por cada veículo em determinado mês, km/l indica a distância percorrida em quilômetros por cada litro de combustível consumido pelo veículo. O resultado L corresponde aos litros de combustível gastos no mês.

A fim de apurar o consumo no mês, foi considerado um percurso constante de 1.000km por mês em 1 ano de estudo para cada um dos 12 modelos Hyundai HB20. Os valores de km/l foram resgatados do PBE Veicular constante na Tabela 1. Dados de consumo do Hyundai HB20 motor 1.0-12V. Os resultados podem ser observados na Figura 4.

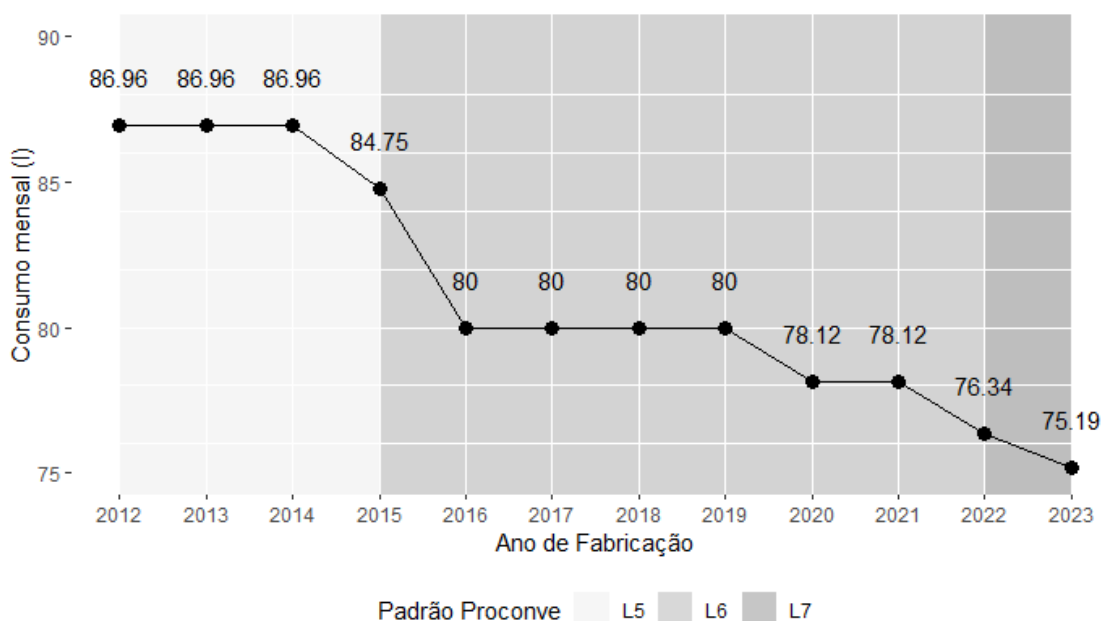


Figura 4. Dados de consumo considerando 1.000 km por mês

Fonte: o autor.

De acordo com a Nota Técnica feita pelo Programa Brasileiro GHG Protocol e já mencionado anteriormente, o Brasil através da Portaria MAPA Nº 75 DE 05/03/2015 (Brasil, 2015) adota

o uso de biocombustíveis incorporados a alguns combustíveis fósseis. Essa adição ocorre da seguinte forma: (i) etanol anidro é adicionado à Gasolina Comum; (ii) biodiesel é adicionado ao óleo Diesel; (a partir de 01 de janeiro de 2008). O teor de adição de biocombustíveis é definido pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) e muda de acordo com a disponibilidade dos dois tipos de combustível. Para o período estudado, o % etanol anidro na gasolina corresponde a 27%, sendo 73% de gasolina pura (FGV, 2023), resultando no total de combustível fóssil e biocombustível utilizado no estudo.

Combustíveis como etanol e biodiesel são um dos principais produtos provenientes da biomassa, que através de sua queima, libera o CO₂ biogênico. De acordo com o Protocolo de Quioto, o uso de biomassa e seus subprodutos como combustíveis alternativos é reconhecido como uma contribuição importante para a redução das emissões de GEE, uma vez que a queima de biomassa resulta em emissões que são consideradas neutras em termos de impacto climático, pois o CO₂ liberado faz parte de um ciclo biológico, diferente do CO₂ proveniente de fontes fósseis que segue um ciclo geológico (WRI Brasil, 2015).

Após cálculo da quantidade de combustível fóssil (gasolina pura) e biocombustível (etanol anidro), baseado em dados emitidos pela ferramenta, identificou-se os fatores de Emissão do Combustível Fóssil em 2,21200 kg CO₂ / litro; e Emissão do Biocombustível em 1,52600 kg CO₂ / litro.

Tabela 2. Fatores de Emissão do combustível comercial

| Ano de Fabricação | kg CH ₄ / litro | kg N ₂ O / litro |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 2012 | 0,000121 | 0,000230 |
| 2013 | 0,000074 | 0,000236 |
| 2014 | 0,000051 | 0,000241 |
| 2015 | 0,000040 | 0,000236 |
| 2016 | 0,000055 | 0,000248 |
| 2017 | 0,000057 | 0,000256 |
| 2018 | 0,000057 | 0,000256 |
| 2019 | 0,000057 | 0,000259 |
| 2020 | 0,000065 | 0,000266 |
| 2021 | 0,000070 | 0,000268 |
| 2022 | 0,000045 | 0,000277 |
| 2023 | 0,000045 | 0,000277 |

Fonte: Dados da Ferramenta de Estimativas do Programa Brasileiro *GHG Protocol*

Os Fatores de Emissão do combustível comercial, relacionado a emissão de gás metano (CH₄) está diretamente relacionado ao ano de fabricação do veículo. Na Tabela 2, é possível observar que, quando mais antigo é o modelo do veículo, maior é a quantidade de gás metano emitido. Isso acontece pois com os desgastes mecânicos provocados com o tempo de uso e conseqüentemente uma queima de combustível menos completa, aumenta a quantidade de emissões de gases, incluindo metano. Já fator relacionado a emissão de dióxido de nitrogênio (NO₂), não estão diretamente relacionadas a idade do veículo uma vez que esses fatores são determinados principalmente pela composição do combustível.

8.2.2 Cálculo de Emissões de GEE

Como resultado das análises iniciais e da identificação dos fatores de emissões, a ferramenta calcula automaticamente as três principais emissões de GEE em toneladas (t) provenientes da frota escopo dessa pesquisa:

$$CO_2(t) = \frac{kg\ CO_2 / litro\ f\acute{o}ssil \times \Sigma\ gasolina\ pura}{1000} \quad (2)$$

$$CH_4(t) = \frac{kg\ CH_4 / litro \times \Sigma\ consumo\ mensal}{1000} \quad (3)$$

$$N_2O(t) = \frac{kg\ N_2O / litro \times \Sigma\ consumo\ mensal}{1000} \quad (4)$$

Para o cálculo de CO₂, utilizou o somatório da gasolina pura, sendo formada por 73% do consumo mensal em litros, conforme identificado na Figura 4. Dados de consumo considerando 1.000 km por mês. A Tabela 3 mostra o total de emissões em tonelada (t) para cada modelo Hyundai HB20 por ano de fabricação.

Tabela 3. Emissões de CO₂, CH₄ e N₂O em toneladas

| Ano de Fabricação | Emissões de CO ₂ fóssil (t) | Emissões de CH ₄ (t) | Emissões de N ₂ O (t) |
|-------------------|--|---------------------------------|----------------------------------|
| 2012 | 1,684967 | 0,000126 | 0,000240 |
| 2013 | 1,684967 | 0,000078 | 0,000246 |
| 2014 | 1,684967 | 0,000053 | 0,000252 |
| 2015 | 1,642129 | 0,000040 | 0,000240 |
| 2016 | 1,550170 | 0,000053 | 0,000238 |
| 2017 | 1,550170 | 0,000055 | 0,000246 |
| 2018 | 1,550170 | 0,000055 | 0,000245 |
| 2019 | 1,550170 | 0,000055 | 0,000248 |
| 2020 | 1,513838 | 0,000061 | 0,000249 |
| 2021 | 1,513838 | 0,000065 | 0,000251 |
| 2022 | 1,479169 | 0,000064 | 0,000246 |
| 2023 | 1,456926 | 0,000041 | 0,000250 |

Fonte: Dados da Ferramenta de Estimativas do Programa Brasileiro *GHG Protocol*

Cada GEE possui a capacidade de reter calor em diferentes intensidades, comparada à capacidade do dióxido de carbono (CO₂) de desempenhar essa função. Essa relação é expressa através do potencial de aquecimento global (GWP), que quantifica essa capacidade de cada gás, sendo esses valores de referência estabelecidos pelos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (FGV, 2022). Dessa forma, os mesmos valores de referência presentes na Tabela 4 são adotados pelo Programa Brasileiro *GHG Protocol*.

Tabela 4. Potencial de Aquecimento Global

| Gás | GWP | Referência |
|---------------------------------------|-----|------------|
| Dióxido de carbono (CO ₂) | 1 | |
| Metano (CH ₄) | 28 | IPCC 2013 |
| Óxido nitroso (N ₂ O) | 265 | |

Fonte: adaptado de FGV (2022)

Nesse contexto, o cálculo de Emissões Totais (t CO₂e) leva em consideração diferentes GEE emitidos, expressando o impacto de cada um em relação ao dióxido de carbono (CO₂), utilizando o Potencial de Aquecimento Global (GWP).

$$t CO_2e = Emissões de CO_2 fósil (t) * 1 + Emissões de CH_4 (t) * 28 + Emissões de N_2O (t) * 265 \quad (5)$$

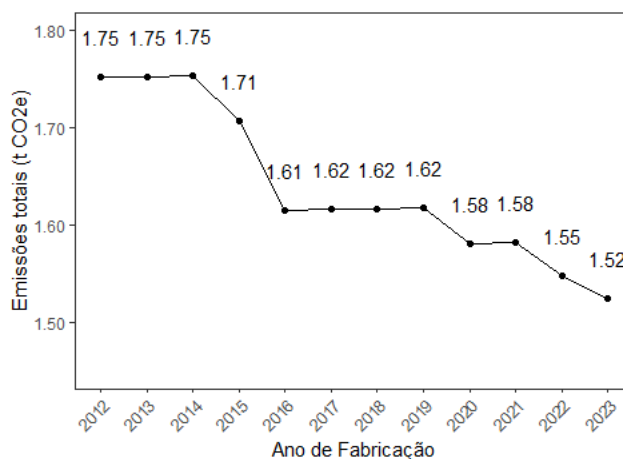
Além das Emissões Totais (t CO₂e), a ferramenta de estimativas também calcula as Emissões de CO₂ biogênico (t), sendo este gerado pela queima do biocombustível etanol, misturado à gasolina pura.

$$CO_2 \text{ biogênico (t)} = \frac{kg \text{ CO}_2 / \text{litro biocombustível} \times \Sigma \text{ biocombustível}}{1000} \quad (6)$$

Dessa forma, para o período estudado, uma frota contendo 12 carros geraram 19,67t de CO₂e e 4,81t de CO₂ biogênicos, sendo este último neutralizado em termos de impacto climático. Os resultados individuais das emissões totais de CO₂ para cada Hyundai HB20, por ano de fabricação, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Emissões Totais de CO₂e e CO₂ biogênico do Hyundai HB20 por ano de fabricação

| Ano de Fabricação | Emissões Totais (t CO ₂ e) | Emissões de CO ₂ biogênico (t) | Padrão Proconve |
|-------------------|---------------------------------------|---|-----------------|
| 2012 | 1,752075 | 0,429934 | L5 |
| 2013 | 1,752289 | 0,429934 | L5 |
| 2014 | 1,753176 | 0,429934 | L5 |
| 2015 | 1,706900 | 0,419003 | L6 |
| 2016 | 1,614846 | 0,395539 | L6 |
| 2017 | 1,616793 | 0,395539 | L6 |
| 2018 | 1,616721 | 0,395539 | L6 |
| 2019 | 1,617543 | 0,395539 | L6 |
| 2020 | 1,581514 | 0,386269 | L6 |
| 2021 | 1,582302 | 0,386269 | L6 |
| 2022 | 1,547543 | 0,377423 | L7 |
| 2023 | 1,524272 | 0,371747 | L7 |
| Total | 19,665972 | 4,812670 | |



Fonte: Dados da Ferramenta de Estimativas do Programa Brasileiro *GHG Protocol*

Com o resultado, é possível constatar que no período estudado, o veículo modelo Hyundai HB20 2023 gerou 1,52 t de CO₂, enquanto o modelo de 2012 gerou 1,75 t de CO₂.

Isso significa dizer que, se comparado ao veículo de modelo mais novo, o veículo mais antigo gera pelo menos 228 kg de CO₂ a mais, todos os anos.

9 CONCLUSÕES

A análise do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Programa Brasileiro GHG Protocol, realizado para quantificar e comparar as emissões de dióxido de carbono (CO₂) pelos veículos HB20 motor 1.0-12V fabricados de 2012 até 2023, revelou informações cruciais sobre o impacto ambiental, do ponto de vista da idade média dos automóveis em circulação, sendo de suma importância para a sociedade, empresas que possuem ativos móveis e gestores que atuam na medição e implementação de práticas sustentáveis.

Inicialmente, o estudo permitiu traçar uma linha do tempo e observar o impacto do Programa de controle de emissões veiculares (Proconve) na produção de veículos, além de compreender o progresso alcançado nas regulamentações e padrões de emissões ao longo dos anos, servindo também como um direcionador de futuras políticas de controle de emissões. No contexto do critério de emissão de CO₂, as evidências encontradas pelo inventário reforçam a necessidade de renovação da frota. A redução substancial das emissões de CO₂ nos veículos mais recentes, em comparação com os modelos mais antigos, no ano da emissão dos relatórios do PBE Veicular, aponta para a importância de incentivar a substituição de veículos menos eficientes por opções mais sustentáveis.

O estudo também destaca a importância dos programas relacionados ao ESG (*Environmental, Social and Governance*) no enfrentamento das mudanças climáticas. A análise das emissões de CO₂ em veículos mais antigos ajuda a compreender a ineficiência desses veículos e fornece dados relevantes para embasar gestores para decisões estratégicas e direcionar ações que visem a transição para uma frota de veículos mais sustentável.

Além disso, sugere-se que sejam realizadas pesquisas adicionais, considerando fatores como a manutenção e depreciação do veículo ao longo dos anos, de maneira que forneça uma análise mais completa e abrangente, indo além do estado da arte e incluindo a ineficiência ou obsolescência dos veículos na data atual.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão à Universidade Federal Fluminense (UFF) e à Coordenação do Mestrado Profissional de Montagem Industrial pelo apoio e orientação fundamentais para a realização deste trabalho. A UFF tem sido um ambiente inspirador, promovendo o desenvolvimento acadêmico e profissional através de seu compromisso com a excelência. Agradeço aos professores e colegas, cujo conhecimento e colaboração foram essenciais para este estudo, permitindo a construção de novas perspectivas no campo da montagem industrial e da sustentabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **ABNT PR 2030: Ambiental, social e governança (ESG) - Conceitos, diretrizes e modelo de avaliação e direcionamento para organizações**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, dez. 2022.

ALMEIDA FILHO, G. **PROGRAMA INOVAR-AUTO: Atendimento das metas de eficiência energética e suas externalidades**. 2018. Dissertação – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

ANDRYCH-ZALEWSKA, M., CHLOPEK, Z., MERKISZ, J., *et al.* "Research on exhaust emissions in dynamic operating states of a combustion engine in a real driving emissions test", **Energies**, v. 14, n. 18, 1 set. 2021.

ASSIS, T. M., D'AGOSTO, M. de A. "Guia para Inventário de Emissões - Gases de Efeito Estufa nas atividades logísticas", p. 1–69, ago. 2020.

BEKUN, F. V., ALOLA, A. A., SARKODIE, S. A. "Toward a sustainable environment: Nexus between CO2 emissions, resource rent, renewable and nonrenewable energy in 16-EU countries", **Science of the Total Environment**, v. 657, p. 1023–1029, 20 mar. 2019.

BRANCO, M. C. **A inspeção veicular como instrumento de controle da poluição atmosférica nas grandes cidades**. 2015. Dissertação – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

BRASIL. **PORTARIA 75/2015**. DOU. Brasília, jun. 2015.

CETESB. **Emissões Veiculares no Estado de São Paulo**. . São Paulo, 2021.

DIAS, C., PEREIRA, M., SILMARA, B., *et al.* "Benefits of new PROCONVE phases for light duty vehicles, considering vehicle refueling emissions in the São Paulo Metropolitan Area". mar. 2021. **Anais** [...] São Paulo, SIMEA, mar. 2021.

FGV. **Programa Brasileiro GHG Protocol**. 2023. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>. Acesso em: 10 jun. 2023.

FGV. **Valores de referência para o potencial de aquecimento global (GWP) dos gases de efeito estufa -versão 2.0**. São Paulo, mar. 2022.

IBAMA. **Programa de controle de emissões veiculares (Proconve)**. 2022. Ibama. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/emissoes/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve>.

ICCT. **A crise da Covid-19 não justifica o adiamento da adoção de limites de emissão mais rigorosos para os veículos no Brasil**. São Paulo, [s.n.], 2020. Disponível em: <https://theicct.org/a-crise-da-covid-19-nao-justifica-o-adiamento-da-adocao-de-limites-de-emissao-mais-rigorosos-para-os-veiculos-no-brasil/>.

INMETRO. **Programa Brasileiro de Etiquetagem-PBE**. 2021. Inmetro. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/conheca-o-programa>. Acesso em: 10 jun. 2023.

JAWORSKI, A., MADZIEL, M., KUSZEWSKI, H. "Sustainable Public Transport Strategies—Decomposition of the Bus Fleet and Its Influence on the Decrease in Greenhouse Gas Emissions", **Energies**, v. 15, n. 6, 1 mar. 2022.

LAW, A. J., MARTINEZ-BOTAS, R., BLYTHE, P. "Current vehicle emission standards will not mitigate climate change or improve air quality", **Scientific reports**, v. 13, n. 1, p. 7060, 1 dez. 2023. DOI: 10.1038/s41598-023-34150-7.

LEAL, S. **Relatório revela a maior emissão em quase duas décadas**. 2023. IPAM. Disponível em: <https://ipam.org.br/relatorio-revela-a-maior-emissao-em-quase-duas-decadas/1/8>.

LIU, Y., SHENG, H., MUNDORF, N., *et al.* "Integrating norm activation model and theory of planned behavior to understand sustainable transport behavior: Evidence from China", **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 14, n. 12, 18 dez. 2017.

MOZAFARI, H., SOLTANPOUR, A., JAZLAN, F., *et al.* "Sustainable Fleet Operation Strategies to Minimize the Economic and Societal Emission Costs", **2023 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)**, p. 252–253, 19 abr. 2023.

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | As Nações Unidas no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 29 nov. 2022.

PROCLIMA. **Gases do Efeito Estufa**. 2022. CETESB. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br>.

SINDIPEÇAS. **Relatório da Frota Circulante 2022**. São Paulo, mar. 2022.

TCHANCHE, B. "Dynamics of Greenhouse Gas (GHG) Emissions in the Transportation Sector of Senegal", **Earth (Switzerland)**, v. 2, n. 1, p. 1–15, 1 mar. 2021.

TORO GONZÁLEZ, J. Ignácio. **Proposta de precificação das emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor Elétrico Brasileiro por meio de sistema de comércio de emissões**. 2020. Tese – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

UDEMBA, E. N., TOSUN, M. "Energy transition and diversification: A pathway to achieve sustainable development goals (SDGs) in Brazil", **Energy**, v. 239, 15 jan. 2022.

UN. **Veículos Usados e o Meio Ambiente - Uma Visão Global sobre Veículos Comerciais Leves Usados: Fluxo, Escala e Regulamentação**. . Nairobi, [s.n.], 2020.

WANG, W., LIU, M., WANG, T., *et al.* "Sulfate formation is dominated by manganese-catalyzed oxidation of SO₂ on aerosol surfaces during haze events", **Nature Communications**, v. 12, n. 1, 1 dez. 2021.

WRI BRASIL. **4 gráficos para entender as emissões de gases de efeito estufa por país e por setor**. 2020. WRI Insights. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/4-graficos-para-entender-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-por-pais-e-por-setor>. Acesso em: 9 jun. 2023.

WRI BRASIL. **Metodologia do GHG Protocol da agricultura**. . Campinas, 2015.

Contribuição dos autores: Carlos Alberto Alves dos Santos foi responsável pela conceituação, redação e estruturação do artigo. Anna Virgínia Muniz Machado e João Felipe Mitre contribuíram com orientação e supervisão técnica ao longo do processo de elaboração, além de revisão crítica e aprimoramento do conteúdo final.

Editores: Bruno Campos Pedroza, Mayra Soares Pereira Lima Perlingeiro.