

## COMPARAÇÃO DA EMISSÃO DE GÁS CARBÔNICO ENTRE VEÍCULOS ELÉTRICOS E VEÍCULOS A COMBUSTÃO NO BRASIL E ESTADOS UNIDOS

Lucas Mestres de Araújo - lucasmestres@usp.br

Fernando César Almada Santos - almada@sc.usp.br

**Campus de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP)**

**Resumo:** Os Veículos Elétricos (VE) são frequentemente colocados como uma maneira de reduzir as emissões de gás carbônico no setor de transportes. Por isso, esse estudo buscou quantificar e comparar as emissões de CO<sub>2</sub> durante a fabricação e uso dos mesmos. Em relação ao processo de fabricação concluiu-se que veículos elétricos emitem 60% mais CO<sub>2</sub> do que Veículos a Combustão Interna (VCI). Isso se deve, principalmente, ao fato dos VE serem mais pesados. Quando verificamos as emissões durante o uso, observa-se uma grande diferença nas emissões de VE em diferentes localidades, devido ao impacto da matriz energética dos países na emissão de CO<sub>2</sub>. Por exemplo, no Brasil os VE emitem 87% menos CO<sub>2</sub> durante o uso em comparação aos EUA. Combinando as emissões de CO<sub>2</sub> durante a fabricação e uso, concluiu-se que VE tem bom potencial para reduzi-las. Um carro VCI a gasolina no Brasil, em 37 mil Km, emite a mesma quantidade de CO<sub>2</sub> comparado com um veículo elétrico durante a produção e uso, já nos estados unidos o valor se equipara em 43 mil Km. Para o etanol a emissões se comparam em 152 mil Km no Brasil, mas nos EUA eles não se equiparam. Isso também demonstra o potencial de redução de CO<sub>2</sub> que os veículos a etanol podem proporcionar no curto prazo.

**Palavras-chaves:** gás de efeito estufa; emissão de gases; veículos elétricos; gás carbônico.

**Abstract:** Electric Vehicles (EV) are often present as an alternative to reduce carbon dioxide emissions in the transport sector. Therefore, this study aims to quantify and compare CO<sub>2</sub> emissions from electric vehicles during vehicle manufacture and use. Regarding the manufacturing process, it was concluded that electric vehicles emit 60% more CO<sub>2</sub> than Internal Combustion Vehicles (ICV). This is mainly because electric vehicles are heavier. When we analyze the emissions during use, there is a big difference in EV emissions in different locations, due to the impact of the countries' energy matrix on CO<sub>2</sub> emissions. For example, in Brazil EV emits 87% less CO<sub>2</sub> during use than in the USA. In addition, EVs emit approximately 90% less CO<sub>2</sub> during use in Brazil and 60% less in the US when compared to gasoline ICV. Combining the emissions during manufacture and during use, it is concluded that EV has good potential to reduce CO<sub>2</sub> emissions. The CO<sub>2</sub> emissions of an electric vehicle are equivalent to that of a gasoline ICV 37 thousand km in Brazil and 43 thousand km in the USA. For ethanol, emissions are equal to 152,000 km in Brazil, but they do not match in the US. This also demonstrates the CO<sub>2</sub> reduction potential that ethanol vehicles can provide in the short term.

**Keywords:** greenhouse gas; gas emissions; electric vehicles; carbon dioxide.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o advento do acordo de Paris em 2015, o uso de veículos elétricos tem sido colocado como uma forma de diminuir os impactos de emissão de carbono e amenizar as mudanças climáticas. O acordo busca limitar o aumento da temperatura global em 2<sup>o</sup> C. Nesse sentido, o setor de transporte é responsável por 13% (VONBUN, 2015) da emissão de gás carbônico no Brasil, enquanto nos Estados Unidos esse percentual é de 29% (CHALLA; KAMATH; ANCTIL, 2022). Dessa forma, nota-se que a esfera automotiva é expressiva em emissão de gás carbônico e a redução de emissões nesse nicho é fundamental para a amenização do efeito estufa e alcance das metas estabelecidas no acordo de Paris.

Assim, principalmente por aspectos ambientais, vários países têm realizado políticas públicas para a adoção e popularização de Veículos Elétricos (VE), bem como a proibição ou limitação de Veículos a Combustão Interna (VCI), como pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 - Política de países para redução ou proibição de VCI.

País	Política adotada
Inglaterra	Proibição de vendas de novos VCI a partir de 2035
Alemanha	Proibição de registro ICE até 2030; cidades podem proibir carros a diesel
Dinamarca	Proibição de vendas de novos VCI a partir de 2035
França	Proibição de vendas de novos VCI a partir de 2040
Islândia	Proibição do registro de VCI a partir de 2030
Espanha	Proibição de vendas de VCI a partir de 2040
Noruega	Programa de incentivo em vigor para vendas de VEs; alvo oficial: só vender VEs até 2025

Fonte: Burch e Gilchrist (2018).

Além disso, vale destacar que grandes empresas também têm aplicado políticas para a redução da emissão de gás carbônico de sua frota. A exemplo disso, a Ambev em 2018 oficializou o maior acordo do mundo para a aquisição de frota elétrica. A empresa irá adquirir 1600 caminhões até 2023 e terá 35% de sua frota composta por veículos elétricos (ESTADÃO, 2018).

Com tais medidas é estimado que o mercado de elétricos cresça a uma *Compound Annual Growth Rate* (CAGR) de 25,4% de 2021 a 2028, se tornando um mercado de US\$ 137 bilhões. Por isso, pela relevância que esse setor está atingindo, é importante discutir seus impactos ambientais e a efetividade de veículos elétricos para a redução de gás carbônico. Esse artigo trará um comparativo de veículos a combustão interna e veículos puramente elétricos e buscará entender a efetividade da política e adoção de veículos elétricos.

Assim, o objetivo desse estudo é trazer direcionamento para os administradores e gestores públicos em relação a adoção de veículos elétricos e a quantidade de emissão de gás carbônico de veículos elétricos e a combustão, considerando diferentes matrizes energéticas e busca responder a seguinte pergunta: Veículos elétricos emitem menos CO<sub>2</sub> do que um veículo a combustão interna?

Dessa maneira, neste artigo buscará responder as seguintes questões:

1. Quanto de CO<sub>2</sub> é emitido durante a fabricação de veículos a combustão interna?
2. Quanto de CO<sub>2</sub> é emitido durante a fabricação de veículos elétricos?
3. Quanto de CO<sub>2</sub> um veículo elétrico emite a mais que um veículo a combustão durante a fabricação?
4. Quanto de gás carbônico é emitido durante o uso de veículos a combustão e elétricos considerando a matriz energética brasileira e americana?
5. Quantos quilômetros um carro elétrico deve percorrer nos EUA para igualar as emissões de gás carbônico a de um veículo a combustão interna?
6. Quantos quilômetros um carro elétrico deve percorrer no Brasil para igualar as emissões de gás carbônico a de um veículo a combustão interna?
7. Quanto a menos de gás carbônico é emitido durante o uso e fabricação de veículos elétricos e a combustão quando se compara Brasil e Estados Unidos

## **2. MÉTODOS DE PESQUISA BIBLIOGRÁFICA**

A pesquisa bibliográfica deste artigo foi realizada no dia 20/06/2022 nas bases *Web of Science e Scopus*. Consideraram-se publicações realizadas entre o ano de 2014 a 2022. Foram buscados artigos com as seguintes palavras chaves: *greenhouse gases, gas emissions, electric vehicles e carbono dioxide*.

Além disso, foram utilizadas referências de outros órgãos públicos como Ministério de da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI, 2022) para a coleta de informações, bem como relatórios de fontes conceituadas como *Massachusetts Institute of Technology* (MIT ENERGY INITIATIVE, 2019), Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores e *Boston Consulting Group* (ANFAVEA; BCG, 2021).

Inicialmente, foi realizado uma busca apenas com as palavras-chave supracitadas para buscar referências teóricas a respeito do que são veículos elétricos. Uma pesquisa relacionando a strings “electric” e “vehicles” ligadas ao operador booleano “and” gerou aproximadamente 130 mil resultados. Dado o volume de estudos, foram selecionados artigos com mais citações.

Em seguida, buscou-se estudos com as seguintes strings “electric”, “vehicles” e “gas emissions” ligados ao operador booleano *and* para a coleta de dados quantitativos. Isso resultou em aproximadamente 5000 estudos. Novamente, selecionou-se os estudos mais relevantes e com maior número de citações. As duas principais referências quantitativas foram selecionadas com o critério de uma abertura de dados que possibilitasse a expansão do estudo para o caso brasileiro.

Os dados utilizados para a pesquisa foram retirados, principalmente, dos dois seguintes artigos: *Comparative study on life cycle CO<sub>2</sub> emissions from the production of electric and conventional vehicles in China* (QIAO et al., 2017) e *Insights into future mobility: A report from the mobility of the future study* (MIT ENERGY INITIATIVE, 2019). Além disso, os dados foram comparados com estudos similares com o intuito de verificar o consenso em relação a esses e possíveis incongruências nos estudos utilizados como referência.

Outras referências utilizadas foram: (COBALT INSTITUTE, 2022), (QUAN et al., 2022), VONBUN (2015), EPE (2022) e EIA (2021).

### **3. LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS**

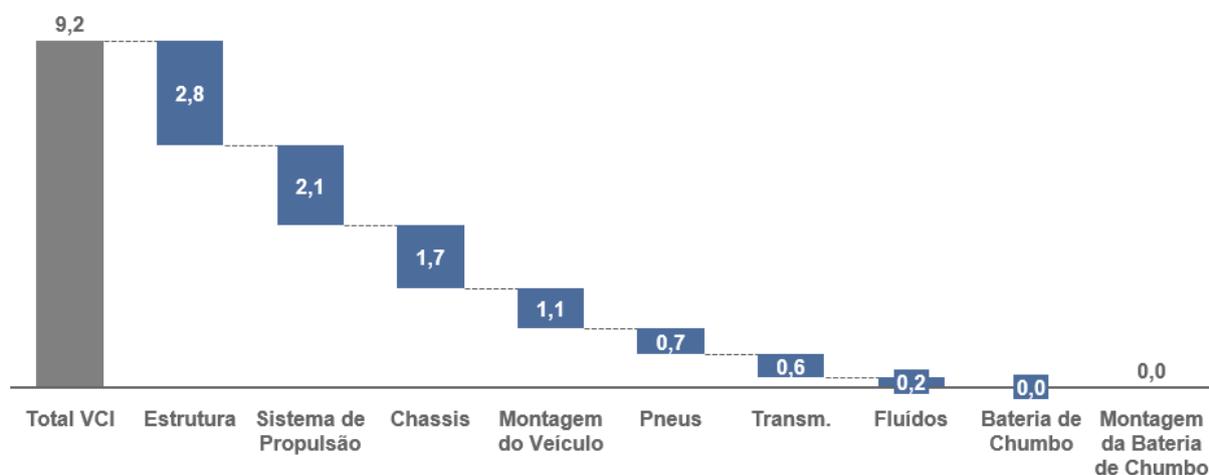
A coleta de dados foi realizada por meio de artigos que trouxessem informações a respeito das emissões durante a fabricação e que nos permitissem levantar informações para comparar com a realidade brasileira, onde não há estudos que abordam de forma quantitativa o tema. Os artigos utilizavam carros médios de passeios para levantar dados a respeito das emissões. Assim, os resultados não levam em consideração as emissões em veículos pesados.

### 3.1 EMISSÃO DE GÁS CARBÔNICO DURANTE A FABRICAÇÃO DE VEÍCULOS A COMBUSTÃO

Foram coletados dados a respeito da emissão de CO<sub>2</sub> durante cada etapa da fabricação de veículos a combustão interna como pode ser observado no Gráfico 1.

O valor trazido de 9,2 g \*10<sup>6</sup> de CO<sub>2</sub> como referência no estudo reflete a realidade China, em que apenas 11% do aço é reciclado, o que traz impacto para o resultado (QIAO et al. 2017). Esta é a resposta para Questão 1. Outro estudo realizado pelo MIT traz dados 8\*10<sup>6</sup> g de CO<sub>2</sub> emitidos durante a fabricação (MIT ENERGY INITIATIVE, 2019), ou seja, 13% menor do que o estudo usado como referência. O estudo utilizado como base foi escolhido pois proporcionar uma visão por componente sobre quais são as peças mais críticas em termos de emissão de CO<sub>2</sub>.

Gráfico 1 - 10<sup>6</sup> gramas de gás carbônico emitidas durante a fabricação de Veículos a Combustão Interna (VCI).



Fonte: Adaptado de Qiao et al. (2017, p.3588).

Analisando o Gráfico 1, observa-se que, aproximadamente, 70% das emissões durante a fabricação estão nos seguintes componentes: estrutura (aproximadamente 30% das emissões), sistema de propulsão (aproximadamente 22% das emissões) e chassi (aproximadamente 22% das emissões).

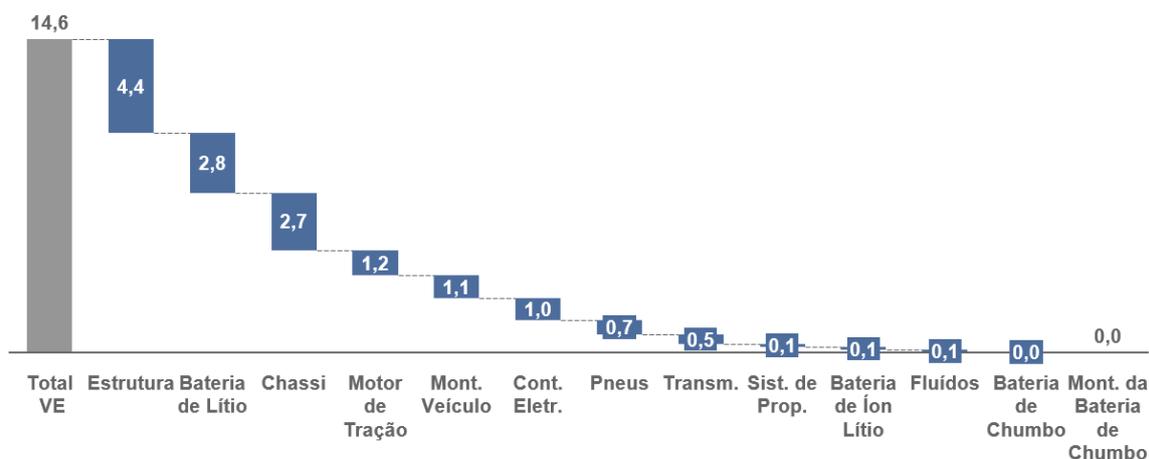
### 3.2 EMISSÃO DE GÁS CARBÔNICO DURANTE A FABRICAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

A coleta de dados da emissão de gás carbônico durante a fabricação de veículos elétricos foi realizada considerando o uso de bateria de Níquel Cobre Manganês (NCM), a mais utilizada nos veículos elétricos atualmente. Há também o modelo de Fosfato, Ferro e Lítio (LFP) (COBALT INSTITUTE, 2022). Ambos os modelos de baterias de íon lítio citados anteriormente são as formas mais comuns e mais usadas atualmente (QUAN et al., 2022).

Caso fosse considerada a emissão de CO<sub>2</sub> durante a fabricação de veículos elétricos que utilizam bateria de fosfato, ferro e lítio, o resultado seria 1% maior (QIAO et al., 2017)). Além disso, de maneira geral as baterias de NCM são melhores ecologicamente do que a de LFP, apesar de ter o ciclo de vida mais curto (QUAN et al., 2022).

O mesmo estudo utilizado no tópico anterior foi usado para levantar dados a respeito da fabricação de VE e apresenta a mesma sistemática. O valor utilizado como referência foi de 14,6 g \*10<sup>6</sup> de CO<sub>2</sub> (QIAO et al., 2017). Esta é a resposta para Questão 2. O outro estudo de MIT utilizado como comparação, considera a emissão de 13,6 g \*10<sup>6</sup> de CO<sub>2</sub> durante a fabricação VE (MIT ENERGY INITIATIVE, 2019), ou seja, valor 7% menor do que o estudo utilizado como referência.

Gráfico 2 - 10<sup>6</sup> Gramas de gás carbônico emitidas durante a fabricação de Veículos Elétricos (VE).



Fonte: Adaptado de Qiao et al. (2017, p. 3588).

Pela análise do Gráfico 2 nota-se que os componentes do VE que mais contribuem para a emissão de gás carbônico são a estrutura (aproximadamente 30% das emissões), a bateria de lítio (aproximadamente 20% das emissões) e o chassi (aproximadamente 18% das emissões), sendo responsáveis por 67,8% emitidas durante a fabricação de um VE (QIAO et al., 2017).

### 3.3 COMPARAÇÃO DE EMISSÃO DE GÁS CARBÔNICO DURANTE A EMISSÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E VEÍCULOS A COMBUSTÃO

Analisando os Gráficos 1 e 2 e a Tabela 1, é possível observar que VE emitem 5,4 toneladas a mais de gás carbônico, quando comparados a VCI. Aqui se responde a Questão 3. Ou seja, durante a etapa de fabricação de VE são emitidas 60% mais toneladas de carbono do que VCI. Ademais, a estrutura de um VE possui uma pegada de carbono 42% maior que um VCI, enquanto o chassi tem uma pegada de carbono 76% maior em um VE do que em VCI. Acrescenta-se ainda que, considerando-se a bateria de lítio análoga ao sistema de propulsão, essa emite 33% mais CO<sub>2</sub>.

Tabela 1 - Gramas de CO<sub>2</sub> emitidas durante a fabricação de veículos.

Tipo de Propulsão	g * 10 <sup>6</sup> de CO <sub>2</sub> emitidas durante a fabricação
Combustão	9,2
Elétrica	14,6

Fonte: Adaptada de Qiao et al. (2017, p. 3588).

Não são apenas a estrutura e o chassi de um VE que têm um impacto maior na emissão de gás carbônico. Considerando-se a emissão dos componentes presentes em ambos os veículos, um VE emite 59% mais CO<sub>2</sub> do que em um VCI. Isso se deve principalmente ao fato de o VE ser muito mais pesado que um VIC (QIAO et al., 2017).

No entanto, analisando o impacto percentual dos componentes mais poluentes de veículos elétricos e veículos a combustão, ambos têm praticamente o mesmo peso na emissão geral.

### 3.4 EMISSÃO DE GÁS CARBÔNICO DURANTE O USO DE VEÍCULOS A COMBUSTÃO CONSIDERANDO A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA E AMERICANA

Em seguida, coletou-se dados a respeito da emissão de gás carbônico durante o uso de veículos elétricos e a combustão. Para isso, foi necessário considerar a emissão de CO<sub>2</sub> por km de acordo com a emissões geradas na matriz energética de cada país, no caso do VE. Para o VCI, foi necessário levantar dados a respeito das emissões por km para o etanol e para a gasolina. Esses dados foram obtidos pelo cruzamento de fontes, pois poucos países utilizam etanol e pela ausência de estudos de emissão de CO<sub>2</sub> para VE considerando a matriz brasileira. É importante ressaltar que é considerada a emissão do poço à roda, ou seja, não apenas no uso dos veículos. Os dados podem ser observados na Tabela 2, onde é apresentada a resposta para a Questão 4.

Tabela 2 - Rendimento dos veículos e emissão de Gás Carbônico por sistema de propulsão e combustível.

	Veículo Elétrico		Veículo a Combustão Gasolina		Veículo a combustão Etanol	
	Brasil	EUA	Brasil	EUA	Brasil	EUA
<b>Km por Litro</b>	49 <sup>1</sup>	49 <sup>1</sup>	12	14	8	8
<b>Emissão pela fabricação de Combustível (g CO<sub>2</sub>/ km)</b>	10	80	2	42	-90	-90
<b>Emissão pelo uso do combustível (g CO<sub>2</sub>/ km)</b>	0	0	157	162	136	136
<b>Total de g CO<sub>2</sub> / km</b>	10	80	159	204	46	46

Nota 1: Dados em Km por Litro de Gasolina Equivalente.

Fonte 1: Adaptada de MIT Energy Initiative (2019, p. 67), ANFAVEA e BCG (2021) e MCTI (2022).

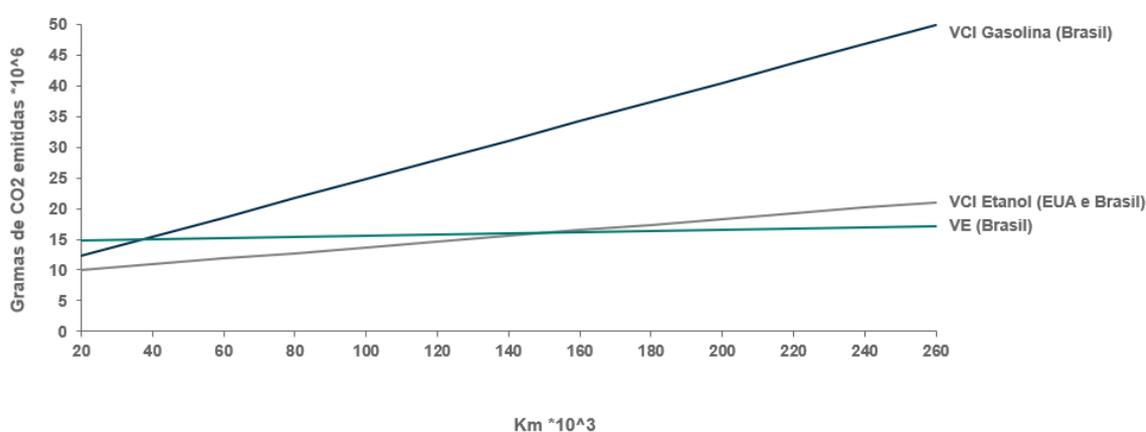
Verificando a tabela 3, percebe-se que a matriz energética tem um grande impacto na emissão de gás carbônico de veículos elétricos, pois se nota que um carro elétrico emite 87% menos CO<sub>2</sub> por Km durante o uso no Brasil do que quando comparado aos EUA. Além disso, a inclusão de álcool na gasolina na proporção de 30% etanol e 70% gasolina (premissa de mistura de gasolina Brasil) tem o potencial de reduzir em 22% a emissão de CO<sub>2</sub> durante o uso

de veículos. Também é importante destacar é que o uso de etanol reduz em 71% a emissão de CO<sub>2</sub> durante o uso de veículo no Brasil e 78% nos EUA, quando comparado ao uso de gasolina.

### 3.5 PONTO EM QUE A EMISSÃO DE GÁS CARBÔNICO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS SE EQUIPARA A DE VEÍCULOS A COMBUSTÃO NO BRASIL

Com os dados da Tabela 2 e dos Gráficos 1 e 2 é construído o Gráfico 3.

Gráfico 1 - Emissão de CO<sub>2</sub> por km Brasil (considerando fabricação e uso).



Fonte: MIT Energy Initiative (2019), ANFAVEA e BCG (2021), QIAO et al. (2017) e MCTI (2022).

Observando o gráfico 3 destacam-se os seguintes pontos, respondendo-se assim a Questão 5:

- i. Com aproximadamente 152 mil km a emissão de gás carbônico de veículos a combustão com uso de etanol se iguala a emissão de veículos elétricos, no Brasil; e
- ii. Com aproximadamente 37 mil km a emissão de gás carbônico de veículos a combustão com uso de gasolina se iguala a de veículos elétricos no Brasil

Com isso, observa-se que o VCI a etanol é uma tecnologia eficiente e disponível para a redução dos danos ambientais causados por gás carbônico. Quando comparado a VCI a gasolina, ambos reduzem de forma significativa a emissão de CO<sub>2</sub>.

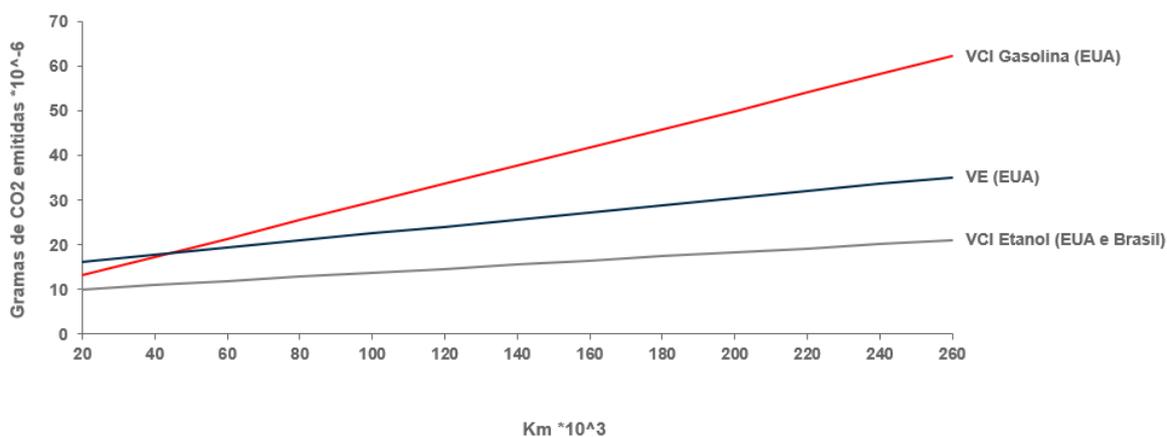
Considerando um ciclo de vida de 260 mil km, no Brasil, VCI a etanol emite 58% menos CO<sub>2</sub> do que um VCI a gasolina. Enquanto, um VE emite 66% menos CO<sub>2</sub> que um VCI a

gasolina. Quando comparado VCI a etanol, um VE emite 19% menos CO<sub>2</sub>. Apesar de não ser uma diferença tão grande quanto do VCI a gasolina para EV, em larga escala, considerando toda a frota de veículos, esse valor faz a diferença nas emissões de CO<sub>2</sub>.

### 3.6 PONTO EM QUE A EMISSÃO DE GÁS CARBÔNICO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS SE EQUIPARA A DE VEÍCULOS A COMBUSTÃO NOS EUA

Com os dados da Tabela 2 e dos Gráficos 1 e 2 é construído o Gráfico 4.

Gráfico 4 - Emissão de CO<sub>2</sub> por km Brasil (considerando fabricação e uso).



Fonte: MIT Energy Initiative (2019), ANFAVEA e BCG (2021) e QIAO et al. (2017).

Observando o gráfico 4, destaca-se os seguintes pontos que respondem a Questão 6:

- Nos EUA, o uso de veículos elétricos considerando-se a matriz energética atual, não se iguala, dentro do ciclo de vida do veículo, à emissão de gases de efeito estufa do veículo a combustão utilizando etanol; e
- Com aproximadamente 43 mil km, a emissão de gás carbônico de veículos a combustão com uso de gasolina se iguala a de veículos elétricos nos EUA

É possível inferir que nos EUA, VCI a etanol e VE tem o potencial de reduzir o efeito pela emissão de CO<sub>2</sub>. Contudo, tal impacto por VE é maior do que VCI a Etanol devido à emissão de CO<sub>2</sub> durante a geração de energia.

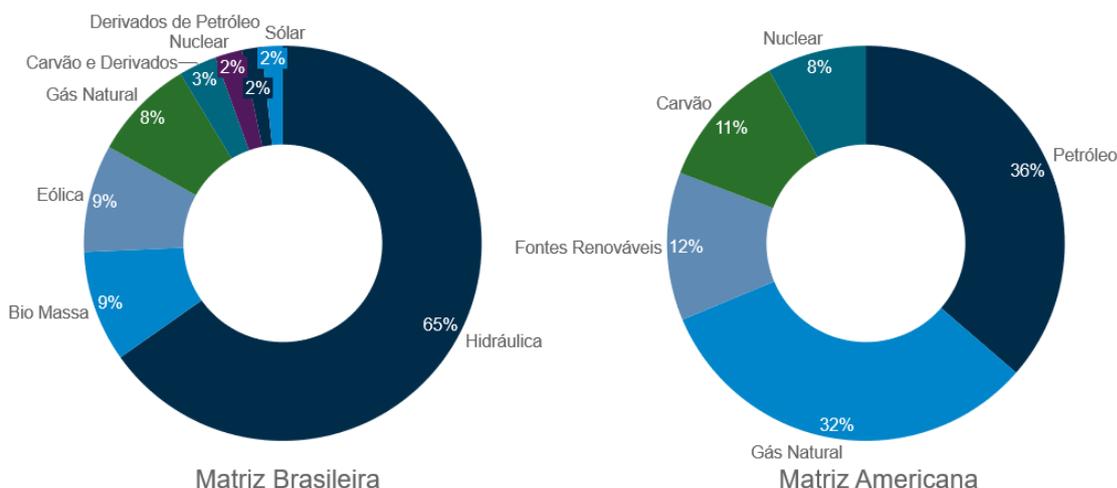
Considerando um ciclo de vida de 260 Mil km, nos EUA, VCI a Etanol emite 66% menos CO<sub>2</sub> do que um VCI a gasolina, enquanto um VE emite 44% CO<sub>2</sub> que um VCI a gasolina,

quando comparado VCI a etanol, um VE emite 67% mais CO<sub>2</sub>.

### 3.7 COMPARAÇÃO DE EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> DURANTE O USO E FABRICAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E A COMBUSTÃO NO BRASIL E ESTADOS UNIDOS

Quando se compara os tópicos 3.5 e 3.6, observa-se que considerando um ciclo de vida de 260 mil Km, um VE no Brasil emite 51% menos CO<sub>2</sub> do que um VE nos EUA. Assim a Questão 7 é respondida. Isso se deve à matriz energética brasileira ser majoritariamente composta por fontes renováveis e de menor impacto ambiental, como pode ser observado no gráfico 4, enquanto, nos EUA 79% é oriunda de combustíveis fósseis, como pode ser observado no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Comparação entre as matrizes energéticas brasileira e americana.



Fonte 2: EPE (2022) e EIA (2021).

Além disso, nota-se que a inclusão de etanol na gasolina brasileira tem um impacto relevante, pois um VCI a gasolina no Brasil emite 20% menos CO<sub>2</sub> do que nos EUA.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dessa forma, com os dados apresentados, nota-se que durante a fabricação um VCI emite 9,2 toneladas de carbono enquanto VE emite 14,6 toneladas, o que corresponde a 60%

mais CO<sub>2</sub> emitido. Além disso, os veículos elétricos (10 g de CO<sub>2</sub> por km, no Brasil e 80 g de CO<sub>2</sub> por km, nos EUA) emitem menos CO<sub>2</sub> durante o uso do que VCI a gasolina (159 g de CO<sub>2</sub> por km, no Brasil e 204 g de CO<sub>2</sub> por km, nos EUA) e tendem a igualar as emissões de CO<sub>2</sub> de VCI a gasolina durante o uso (37 mil km no Brasil e 43 mil km nos EUA). Quando consideramos o uso de VCI a etanol, as emissões de VE só se equiparam ao de VCI no Brasil (152 mil km), já que os VCI a etanol emitem menos CO<sub>2</sub> por km (46 g por km) durante o uso apenas no Brasil.

Assim, os veículos elétricos no geral emitem menos CO<sub>2</sub> do que veículos a combustão interna e têm um grande potencial para reduzir as emissões no setor de transporte. Contudo, esses veículos não são puramente ecológicos e têm impactos ambientais relacionados a emissão de gás carbônico que devem ser considerados na discussão das políticas públicas para redução do impacto ambiental do setor automotivo.

Para reduzir os impactos da emissão de CO<sub>2</sub> nos VE e setor de transporte é válido discutir formas de serem reduzidas a emissão de gás carbônico na bateria de lítio e formas de reduzir o peso dos veículos e aumentar o uso de aço reciclado para reduzir a emissão de gás carbônico da sua estrutura e chassi de VE. No que tange a bateria de lítio, um desafio é fazer a reciclagem em larga escala. Atualmente, não há uma padronização dos fabricantes de veículos elétricos e das baterias, o que dificulta a reciclagem desse material (HARPER et al., 2019). Dessa maneira, percebe-se que grande parte do desafio para descarbonização do setor automotivo envolve o reuso e a reciclagem, por isso indústria deve estar preparada para absorver esses desafios e abordar essas questões desde a concepção do produto.

Ademais, é evidente o impacto que a matriz energética tem no resultado de emissões de CO<sub>2</sub> de VE. Dessa maneira, a descarbonização do setor de transportes envolve a descarbonização do setor de energia. Por exemplo, no Brasil um veículo elétrico emite 50% menos gás carbônico do que nos EUA, devido as diferenças de emissão de gás carbônico na matriz energética.

Também, observa-se que veículos a combustão interna que utilizam etanol têm um impacto significativamente menor do que os que utilizam gasolina. Tal opção pode ser usada no curto prazo como forma de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> no setor de transportes. Além disso, é válido estudar questões como a inclusão de etanol na gasolina que reduz as emissões em 20% quando se compara os EUA e Brasil.

Em suma, o artigo traz contribuições para o direcionamento de políticas públicas para a descarbonização do setor automotivo com dados quantitativos que possibilitam calcular os efeitos de adoção das políticas públicas. Além disso, o artigo fornece aos administradores informações para a adoção de práticas mais sustentáveis em relação a como diminuir o impacto da emissão de carbono da frota e quanto será diminuído com tais práticas e investimentos.

## REFERÊNCIAS

- ANFAVEA (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES) E BCG (BOSTON CONSULTING GROUP (2021). **O caminho da descarbonização do setor automotivo no Brasil**. São Paulo: ANFAVEA, 10/08/2021.
- BURCH, I.; GILCHRIST, J. **Survey of global activity to phase out internal combustion engine vehicles**. Santa Rosa, CA, USA: Center of Climate Protection, 2018.
- CHALLA, R.; KAMATH, D.; ANCTIL, A. Well-to-wheel greenhouse gas emissions of electric versus combustion vehicles from 2018 to 2030 in the US. **Journal of Environmental Management**, v. 308, artigo 114592, p. 1-12, 2022.
- COBALT INSTITUTE. **Batteries and electric vehicles**. Disponível em <<https://www.cobaltinstitute.org/essential-cobalt-2/powering-the-green-economy/batteries-electric-vehicles/>>. Acesso em 24/07/2022.
- EIA (ENVIROMENTAL INVESTIGATION AGENCY). **U.S. energy facts explained**. U. S. Enviromental Investigation Agency, 2021. Disponível em: <<https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/#:~:text=Download%20image%20U.S.%20primary%20energy,natural%20gas%2032%25%20petroleum%2036%25>>. Acesso em 23/07/2022.
- EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA). **Matriz energética e elétrica**. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>> Acesso em 23/07/2022.
- ESTADÃO. **Ambev começa a eletrificar frota**. Redação, 20/08/2018. Disponível em: <<https://estradao.estadao.com.br/caminhoes/ambev-comeca-eletrificar-frota/>>. Acesso em 01/08/2022.

HARPER, G.; SOMMERVILLE, R.; KENDRICK, E.; DRISCOLL, L.; SLATER, P.; STOLKIN, R.; ANDERSON, P. Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. **Nature**, v. 575, n. 7781, p. 75-86, 2019.

MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações). **Fatores de emissão MDL/SIN (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo / Sistema Integrado Nacional)**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>>. Acesso em 20/07/2022.

MIT Energy Initiative. **Insights into Future Mobility**. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology (MIT) Energy Initiative, 2019. Disponível em: <<http://energy.mit.edu/insightsintofuturemobility>>. Acesso em 23/06/2022.

QIAO, Q.; ZHAO, F.; LIU, Z.; JIANG, S.; HAO, H. Comparative study on life cycle CO<sub>2</sub> emissions from the production of electric and conventional vehicles in China. **Energy Procedia**, v. 105, p. 3584-3595, 2017.

QUAN, J.; ZHAO, S.; SONG, D.; WANG, T.; HE, W.; LI, G. Comparative life cycle assessment of LFP and NCM batteries including the secondary use and different recycling technologies. **Science of the Total Environment**, v. 819, artigo 153105, p. 1-11, 2022.

VONBUN, C. **Impactos ambientais e econômicos dos veículos elétricos e híbridos plug-in: Uma Revisão da literatura**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, 2015. Disponível em: <<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/121613/1/833842056.pdf>>. Acesso em 24/07/2022.