

AVANÇOS NO SETOR DE TRANSPORTES VISANDO A REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GEE

Fillipe Chagas Souza¹ (EG), Rogério José da Silva (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: Energia. Transportes. Veículos.

Introdução

O setor de transportes consome uma grande quantidade de energia que corresponde a mais de 29% da demanda global, e é consequentemente responsável por 27% das emissões de CO₂ do planeta. Deste percentual, como mostrado na Figura 1, 45,1% são devidos ao transporte de passageiros, 29,4% dos fretes terrestres, 11,6% da aviação, tanto comercial quanto privada, 10,6% do transporte marítimo, 1% do ferroviário e 2,2% provindos do transporte de óleo, gás, água, vapor e outros materiais via oleodutos (IEA, 2022). Ou seja, 74,5% dessas emissões provêm da queima dos combustíveis de veículos terrestres como motocicletas, carros, ônibus e caminhões. Contudo, o intenso processo de globalização torna o setor de transportes uma peça fundamental para seu adequado funcionamento, além de fomentar o desenvolvimento da engenharia acerca dos veículos empregados.

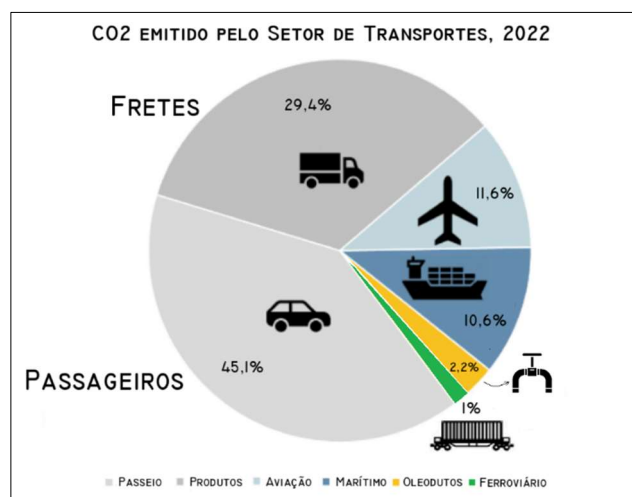


Figura 1 – CO₂ emitido pelo setor de transportes, 2022

Com a intenção de mitigar as emissões de gases de efeito estufa, o setor de transportes busca regularmente otimizar sua eficiência energética, tanto no âmbito do fretamento de pessoas e produtos quanto na eficiência mecânica e elétrica dos veículos. A respeito do deslocamento de passageiros e de mercadorias, uma

melhor coordenação da distribuição, com mais pessoas ou produtos por veículos destinados a uma mesma região, ou até mesmo o compartilhamento de veículos, acarreta em um número menor de motores consumindo energia. Já no tocante veicular, o apoio a inovações tecnológicas provenientes de iniciativas verdes e de eletrificação junto à criação de uma infraestrutura apropriada à permanência das mesmas, leva a uma redução ainda maior da emissão direta.

O objetivo deste trabalho é então traçar um panorama geral a respeito dos avanços do setor de transportes globais, tendo como justificativa ressaltar a importância do setor e do melhoramento dos seus integrantes.

Metodologia

Esta pesquisa foi realizada com base na análise de dados e discussões oriundos de dissertações ligadas ao tema abordado, boletins informativos de órgãos relacionados, como os emitidos pela IEA, notícias de portais especializados em energias veiculares, como o “Fuel Economy”, e outras informações relevantes evidenciadas e distribuídas por indústrias e organizações nacionais e internacionais.

O estudo iniciou-se pela compreensão dos principais avanços relacionados ao setor que contribuíram para a diminuição das emissões de poluentes nos motores a combustão interna, seguida da diferenciação entre as categorias dos carros elétricos e de uma posterior abordagem de viabilidade energética e ambiental.

Resultados e discussão

Os motores a combustão interna têm passado por diversas evoluções ao longo do tempo para se tornarem menos poluentes e mais eficientes, desde a invenção de turbocompressores, passando pela redução da cilindrada e o tamanho dos motores, mantendo uma potência igual ou maior, mas diminuindo consideravelmente a quantidade de extração mineral necessária por motor, até o emprego de tecnologias de alta complexidade. Fatores

esses que contribuem de forma significativa para o bem estar do consumidor final e de forma exponencial para a manutenção do meio ambiente.

Tendo como base o equacionamento da combustão ideal do octano, comumente conhecido como representativo da gasolina, sob as condições de temperatura e pressão de um sistema cilindro-pistão:



Ou seja, se multiplicarmos as quantidades moleculares por seus respectivos números de massa, veremos que as proporções estequiométricas da mistura ar-combustível para gasolina são de 15 unidades de massa de ar para cada unidade de massa de gasolina injetada no motor, mas normalmente os veículos trabalham com a denominada mistura econômica, que admite um excesso de ar para aumentar a eficiência da combustão. A partir disso, evidencia-se que os carburadores, responsáveis pela criação da mistura ar-combustível nos motores mais antigos, devido a sua regulação mecânica tem, por melhor regulados que estiverem, uma grande dificuldade de alcançar o balanceamento ideal para uma combustão completa do combustível. E como as reações de oxidação, que deveriam combinar oxigênio e carbono, CO₂, não se completam, resultam na formação de monóxido de carbono CO, um poluente tóxico.

No intuito de sanar o problema supracitado, foi criada, a tecnologia de Injeção Eletrônica, que utiliza sensores e um computador para medir e ajustar a quantidade de combustível a ser vaporizado pelo coletor e injetado na válvula de admissão, com base em várias variáveis, como a temperatura, a pressão do ar e a rotação do motor. Posteriormente, foi elaborada a Injeção Direta a partir dos avanços dos softwares de gestão eletrônica, uma tecnologia que permite injetar o combustível diretamente na câmara de combustão do motor, em vez de fazê-lo no coletor de admissão antes da válvula de admissão, como na injeção eletrônica convencional, sendo ainda mais eficiente.

Como forma de alcançar um controle ainda mais eficaz de GEE, foram desenvolvidos os catalisadores nos sistemas de escape, que atuam filtros compostos de metais preciosos, os quais ajudaram a converter poluentes como o CO, hidrocarbonetos não queimados e NO_x, em substâncias menos nocivas, as quais seriam resultantes de uma combustão completa, como N₂, CO₂ e H₂O antes de serem liberadas na atmosfera. Adjunto ao catalisador foi idealizada a Válvula EGR, do inglês *Exhaust Gas Recirculation*, a qual executa o processo de reciclagem parcial dos gases do escapamento, fazendo com que eles voltem para a câmara de combustão. Isso faz com que a mistura ar-combustível do motor fique mais pobre e,

consequentemente, a queima se torna menos eficiente em termos de capacidade de compressão e, principalmente, em termos de temperatura da combustão. Dessa forma, há uma significativa redução na produção do NO_x.

Também, o investimento na pesquisa e desenvolvimento de combustíveis alternativos, assim como o Gás Natural Veicular, GNV, o hidrogênio e os biocombustíveis, como o etanol e o biodiesel, sendo este último produzido de diversas fontes agrícolas, oferecem opções mais limpas em comparação com os combustíveis fósseis tradicionais, (FUEL ECONOMY, 2023). Neste caso, a Figura 2 apresenta comparações entre a liberação de CO₂ e os tipos de combustíveis.

TIPO DE COMBUSTÍVEL	ANO DE LANÇAMENTO	kgCO ₂ /KM	KM/L	kgCO ₂ /VIDA ÚTIL DEVIDO A COMBUSTÃO	kgCO ₂ /VIDA ÚTIL DEVIDO AO REFINO	kgCO ₂ /VIDA ÚTIL TOTAL
Gasolina C	2010	0,206	10,90	30900	4278,2	35175,2
Flex-Gasolina C	2010	0,177	12,30	26550	3791,2	30341,2
Flex-Etanol	2010	0,710	8,50	25650	5823,5	31473,5
Gasolina C	2017	0,175	13,10	26250	3549,0	29799,0
Flex-Gasolina C	2017	0,154	14,30	23100	3261,0	26361,0
Flex-Etanol	2017	0,147	9,80	22050	4758,4	26808,4

Figura 2 – CO₂ liberado durante a vida útil de um veículo leve

Em consonância com BARAN e R; LEGEY, L. F. L. (2010), apenas após levar em consideração o crescimento populacional no decorrer das últimas décadas e junto a ele a equivalente necessidade de mobilidade terrestre atentando-se às consequentes mudanças climáticas, é que os motores elétricos voltaram a ganhar notoriedade no âmbito automotivo com a intenção de ampliar o conceito de desenvolvimento sustentável incentivando o aprimoramento dos veículos elétricos.

Segundo a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), caracterizam-se veículos elétricos, EVs, aqueles acionados por pelo menos um motor elétrico. E por consequência das diferentes aplicações desses motores, esses automóveis, possuem as seguintes classificações: HEV, BEV e FCEV. As três categorias utilizam motores elétricos de corrente alternada por resultarem em maior torque.

Os HEV, do inglês *Hybrid Electric Vehicle*, são veículos considerados híbridos por possuírem um motor a combustão interna e um motor elétrico que revezam entre si na geração de torque para a propulsão. Nesse tipo de veículo o motor elétrico é geralmente planejado para ser responsável pelas rotações em velocidades mais baixas e o de combustão pelas mais altas, havendo assim uma maior autonomia e aproveitamento das duas fontes. Inclusive, existe ainda uma vertente dos HEV que possuem uma entrada *plug-in* para a carga da bateria

acoplada, os chamados PHEV que se assemelham à ilustração da Figura 3.

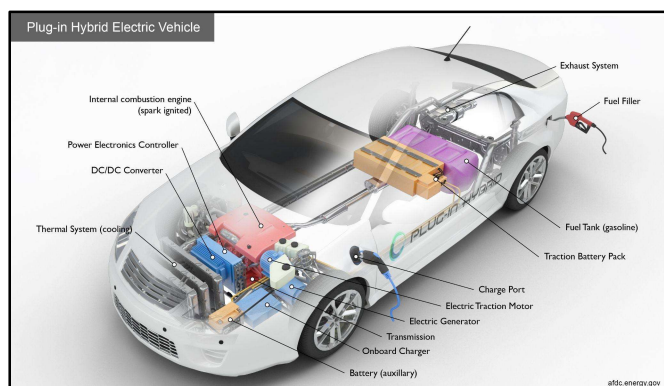


Figura 3 – Esquema de propulsão de um PHEV

Já os veículos BEV, ilustrados pela figura 4, do inglês Battery Electric Vehicles tem seu desenvolvimento intrinsecamente ligado ao das baterias, visto que são totalmente dependentes da mesma, ou seja, são completamente elétricos. O princípio desses veículos é bem similar aos carros de brinquedo de uma criança que possuem pilhas recarregáveis, estas transferem sua energia química para o motor elétrico que gera torque e movimentação do veículo. Essa vertente necessita que sua bateria seja recarregada com um carregador específico que é conectado diretamente ao carro.

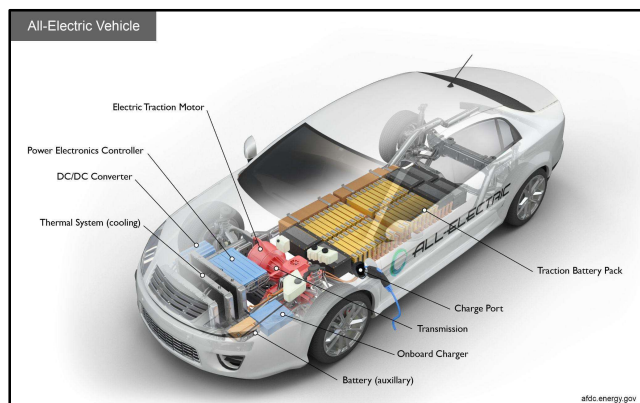


Figura 4 – Esquema de propulsão de um BEV

Originárias do século XX, conforme descreve SILVA (2017), as células combustíveis consistem nos princípios eletroquímicos de oxirredução dentro de um sistema de controle onde os fluidos atravessam uma membrana de solução ácida ou de polímeros, com o objetivo que haja um fluxo de íons livres de H^+ , gerando assim uma corrente elétrica. Proveniente dessa idealização ambientalmente vantajosa, considerando que na maioria dos casos o combustível é o Hidrogênio, havendo estudos recentes que abordam o uso do Etanol, e seu produto produzido será o vapor d'água, é que

surgem os veículos da classificação FCEV, como os da Figura 5, do inglês *Fuel Cell Electric Vehicle*, cuja eficiência é de aproximadamente 60%.

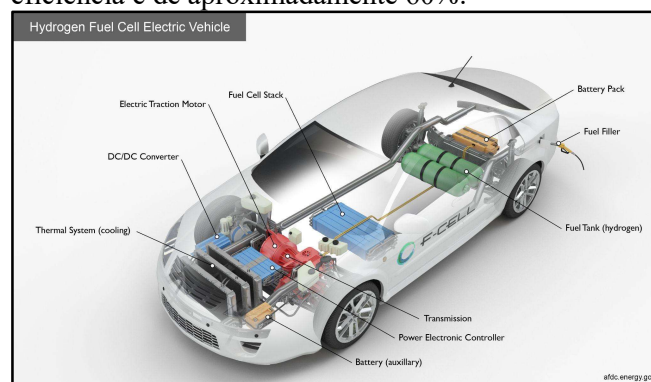


Figura 5 – Esquema de propulsão de um FCVE

A China se tornou o maior produtor de veículos movidos por eletricidade no mundo. Nos últimos anos, o número de unidades vendidas anualmente no país cresceu de 1,3 milhão para 6,8 milhões, fazendo de 2022 o oitavo ano consecutivo em que a foi o maior mercado mundial de VE. De 2009 a 2022, a China concedeu mais de US\$ 29 bilhões em subsídios e incentivos fiscais para que suas empresas melhorassem seus veículos, tornando-os mais acessíveis a consumidores individuais. Muitas companhias de outros países abriram filiais no país para aproveitar as subvenções, assim como a Tesla.

No Brasil, para que uma significativa parte da frota seja composta por veículos elétricos, mesmo com a existência das duas principais políticas governamentais: o Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores (Inovar-Auto), criado pela Lei nº 12.715 de 2012, e o Programa de Mobilidade - Rota 2030, criado pela Lei nº 13.755 de 2018 para substituir o anterior, existem ainda problemas relacionados ao setor energético responsável por sustentar e abastecer toda a futura frota elétrica. Segundo CABRAL *et al.* (2021), considerando que o consumo adicional de energia referente a entrada dos veículos elétricos será de 4,2 TWh, para atendimento dessa demanda, a título de comparação com as estruturas geradoras de energia já existentes no país, seria necessário a construção de: (i) uma geradora do porte da Usina Nuclear Angra I, que, segundo a Eletrobrás (2020), em 2019 alcançou sua melhor marca de geração com 5,5 TWh; (ii) ou a construção de três centrais hidrelétricas do porte de Sobradinho, que em 2018 chegou a produzir 1,5 TWh (CHESF, 2019). Lembrando ainda que para o suporte de veículos elétricos o Brasil necessita de um alto investimento estrutural, não só no aspecto de geração de energia, como também nas redes de distribuição e eletropostos para recarga destes veículos.

Embora os emplacamentos de carros elétricos em

julho de 2023 tenham atingido o marco de 7.462 automóveis (ABVE, 2023), fato que faz a eletromobilidade ganhar ainda mais força, existem também problemas ambientais onde, segundo estudos de STEEL MARKET DEVELOPMENT INSTITUTE (2016), a fabricação de um veículo convencional nos Estados Unidos, por exemplo, pode ser responsável pela emissão de 8 a 9 toneladas de CO_{2eq} - equivalência em dióxido de carbono - enquanto a fabricação de um VEB (com a bateria) pode emitir mais de 12 toneladas de CO_{2eq}. Dessa maneira, a produção veicular pode ter um impacto de 13 a 15% no ciclo de vida de motores a combustão interna e de 41% na vida BEVs. Estudos demonstram que, mesmo que veículos elétricos causem um impacto significativo antes mesmo de sua utilização, são benéficos em análise a longo prazo. Isso acontece, pois, em um período que pode variar de alguns meses a quatro anos, as emissões geradas pelo uso de um motor a combustão interna ultrapassam as emissões de produção de um elétrico (COSTA e COSTA, 2020). Outra compensação ambiental está no uso das baterias de lítio de segunda vida, tecnologia essa que se mostra promissora, podendo aumentar a viabilidade econômica e reduzir o impacto ambiental dos sistemas de armazenamento de íons de lítio, desde que mais pesquisas na área auxiliem sua caracterização e a modelagem do seu funcionamento (HOHMANN e RÜTHER, 2022).

Conclusões

No decurso do estudo realizado, foi efetuada uma análise detalhada do panorama global do setor de transportes, que se caracteriza por um consumo significativo de energia e emissões substanciais de CO₂, com implicações diretas nas mudanças climáticas. Este estudo enfatizou os avanços tecnológicos e estratégias adotadas para aprimorar a eficiência energética e mitigar os impactos ambientais associados a essa esfera crucial da sociedade.

Nesse sentido, a eletrificação dos veículos emerge como uma solução promissora para substancialmente reduzir as emissões de GEE. Não obstante, desafios inerentes à infraestrutura de recarga e à produção sustentável de baterias precisam ser enfrentados de forma decisiva para garantir o sucesso desta transição. Além da ainda, mesmo que dificultada, otimização dos outros sistemas dos veículos, como o próprio motor a combustão.

Em síntese, os resultados desta pesquisa sublinham a importância contínua da promoção da inovação tecnológica e da adoção de práticas sustentáveis no setor de transportes. Tais medidas são imperativas para enfrentar os desafios globais relacionados às

transições energéticas e ao meio ambiente, cujo objetivo é assegurar um futuro mais limpo, responsável e sustentável para as gerações seguintes.

Agradecimentos

O autor agradece à Universidade Federal de Itajubá, Unifei, pelo amparo acadêmico e ao Programa de Educação Tutorial- PET - SESu/MEC pela bolsa paga pelo FNDE.

Referências

ABVE. **Vendas de eletrificados leves disparam em julho**. Portal de Notícias ABVE 2023. Disponível em: <http://www.abve.org.br/vendas-de-eletrificados-leves-disparam-em-julho-e-batem-novo-recorde/>

BARAN, R; LEGEY, L. F. L. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**. 2010. Artigo apresentado no XIII Congresso Brasileiro de Energia. Disponível na Biblioteca Digital BNDS.

CABRAL NETO, J. P.; SANTOS, S. M.; PIMENTEL, R. M. M. **Infraestrutura energética brasileira: perspectivas e desafios para o suporte aos veículos elétricos**. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.12, n.1, p.385-396, 2021.

COSTA, J. M. M.; COSTA, F. T. M. **Emissões de poluentes na produção de veículos convencionais e elétricos**. IFSP, 2020.

FUEL ECONOMY. **Fuel Economy Guide 2023**. U.S. Environmental Protection Agency e U.S. Department of Energy, 2023. Disponível em: <https://www.fueleconomy.gov/feg/pdfs/guides/feg2023.pdf>

HOHMANN, M.; KIRSTEN, A. V. O.; RÜTHER, R. **Análise de viabilidade técnica da utilização de baterias de segunda vida retiradas de veículos elétricos**. Centro Tecnológico UFSC, 2022.

IEA. **Global CO2 emissions by sector**. IEA, Paris, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-co2-emissions-by-sector-2019-2022>.

SILVA, Pâmela de Melo. **A história, desenvolvimento e trajetória das células a combustível**. 2017. 1 CD-ROM. Trabalho de conclusão de curso (licenciatura - Química) - Unesp, Faculdade de Ciências, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/155503>.

STEEL MARKET DEVELOPMENT INSTITUTE. **The importance of the production phase in vehicle life cycle GHG emissions**. Michigan: SMDI, 2016.