

ELETRIFICAÇÃO VEICULAR: definições, tendências, e possíveis impactos na indústria automotiva nacional

Túlio A. Castelo Branco Leal
Flávia L. Consoni

ELETRIFICAÇÃO VEICULAR: definições, tendências, e possíveis impactos na indústria automotiva nacional

Túlio A. Castelo Branco Leal¹

Flávia L. Consoni²

- 1 Consultor Legislativo do Senado Federal, do Núcleo de Economia. Engenheiro Civil (UnB); Mestre em Transportes Urbanos (UnB), doutorando em Política Científica e Tecnológica (Unicamp). E-mail: tbleal@senado.leg.br.
- 2 Professora Livre Docente do Departamento de Política Científica e Tecnológica do Instituto de Geociências da Unicamp. Graduação em Ciências Sociais (UFSCar); Mestrado e Doutorado em Política Científica e Tecnológica (Unicamp); Pós-Doutorado em Sociologia (USP/SP). E-mail: fconsoni@unicamp.br.

SENADO FEDERAL

DIRETORIA GERAL

Ilana Trombka – Diretora-Geral

SECRETARIA GERAL DA MESA

Gustavo A. Sabóia Vieira – Secretário Geral

CONSULTORIA LEGISLATIVA

Danilo Augusto Barboza de Aguiar – Consultor-Geral

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS

Rafael Silveira e Silva – Coordenação

Brunella Poltronieri Miguez – Revisão

João Cândido de Oliveira – Editoração

CONSELHO EDITORIAL

Eduardo Modena Lacerda

Ivan Dutra Faria

Denis Murahovschi

Foto da Capa: Camila F./Fonte: Fickr.com

Núcleo de Estudos e Pesquisas
da Consultoria Legislativa



Conforme o Ato da Comissão Diretora nº 14, de 2013, compete ao Núcleo de Estudos e Pesquisas da Consultoria Legislativa elaborar análises e estudos técnicos, promover a publicação de textos para discussão contendo o resultado dos trabalhos, sem prejuízo de outras formas de divulgação, bem como executar e coordenar debates, seminários e eventos técnico-acadêmicos, de forma que todas essas competências, no âmbito do assessoramento legislativo, contribuam para a formulação, implementação e avaliação da legislação e das políticas públicas discutidas no Congresso Nacional.

Contato:

conlegestudos@senado.leg.br

URL: www.senado.leg.br/estudos

ISSN 1983-0645

O conteúdo deste trabalho é de responsabilidade dos autores e não representa posicionamento oficial do Senado Federal.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

Como citar este texto:

LEAL, T. A. C. B.; CONSONI, F. L. **Eletrificação Veicular: definições, tendências, e possíveis impactos na indústria automotiva nacional.** Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/ Senado, Maio, 2022 (Texto para Discussão nº 308). Disponível em: <www.senado.leg.br/estudos>. Acesso em: 17 maio de 2022.

ELETRIFICAÇÃO VEICULAR: definições, tendências, e possíveis impactos na indústria automotiva nacional

RESUMO

O presente artigo visa oferecer subsídios para a discussão da temática da eletrificação veicular. De fato, encontra-se em curso um processo de rápida transição tecnológica, particularmente nos países mais desenvolvidos e na China, no qual os trens de força veiculares baseados exclusivamente em motores a combustão interna estão sendo eletrificados nos veículos novos. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é o de apresentar os principais conceitos em relação à eletrificação veicular, seus pontos fortes e fracos; as tendências desse processo, apresentando dados de venda de veículos elétricos novos e o panorama de restrições vigentes em vários países a tecnologias automotivas poluidoras; e discutir as implicações do processo de eletrificação na arquitetura veicular, e os possíveis impactos na indústria automotiva nacional decorrentes da desarmonia entre os padrões construtivos locais e o de nossos parceiros comerciais. Por fim, são oferecidas conclusões e sugestões de encaminhamentos a serem dadas ao tema.

PALAVRAS-CHAVE: mobilidade elétrica. Veículos elétricos. Descarbonização. Indústria automotiva. Cadeia produtiva.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	ASPECTOS TECNOLÓGICOS.....	2
	2.1. CLASSIFICAÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS.....	2
	2.2. EFICIÊNCIA DOS MOTORES ELÉTRICOS.....	4
	2.3. DAS BATERIAS.....	5
	2.4. DOS COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS COMPARADOS ÀS BATERIAS	8
	2.5. DA ARQUITETURA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS	10
	2.6. CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL	13
3	HISTÓRICO RECENTE DA ELETRIFICAÇÃO	15
	3.1. PANORAMA RECENTE DAS RESTRIÇÕES LEGAIS A VEÍCULOS NÃO ELÉTRICOS	19
	3.2. PROJETOS EM TRAMITAÇÃO NO CONGRESSO SOBRE O TEMA.....	22
4	SOBERANIA TECNOLÓGICA E O MERCADO AUTOMOTIVO NACIONAL	25
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	27
6	AGRADECIMENTOS.....	31

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos dez anos, os veículos elétricos (VE) vêm aumentando de forma constante e acelerada sua participação no mercado automobilístico mundial; em 2010, o estoque mundial era pouco superior a 10 mil unidades; em 2020, eram mais de 11 milhões de VE nas ruas, sobretudo em cidades europeias, na China e nos EUA (IEA, 2021)¹. De fato, hoje (2022), esse número deve ser ainda maior, pois foram vendidos nada menos que 6,75 milhões de VE somente em 2021 (8,3% do total)².

Mesmo no Brasil, em que os obstáculos para a inserção dos VE são enormes, também tem havido um crescimento significativo na oferta de modelos comercializados e uma intensificação das discussões acerca da eletrificação dos transportes e dos impactos que esse processo terá em nosso País e sobretudo para a nossa cadeia produtiva local.

Nesse contexto, dada a escala e a amplitude dos impactos que esse processo está desencadeando no Brasil e no mundo, é necessário analisá-lo sob múltiplos prismas. Assim, no Texto para Discussão nº 293, que publicamos em janeiro de 2021³, buscamos estudar o tema sob a perspectiva das emissões poluentes, tanto locais, como globais, de forma a compreender as forças que promovem a expansão do mercado de VE.

No texto atual, buscamos apresentar as principais definições relativas ao processo de eletrificação veicular, bem como as tendências mais recentes em relação às questões comerciais e de restrições legais a determinadas tecnologias automotivas, no contexto desse processo. Além disso, apresentamos algumas reflexões e perspectivas acerca da indústria automotiva nacional, de forma a oferecer subsídios para as discussões a serem realizadas pelo Senado Federal sobre o tema.

¹ Disponível em: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/ed5f4484-f556-4110-8c5c-4ede8bcb637/GlobalEVO Outlook2021.pdf>>. Acesso em: 22 abr.2022.

² Disponível em: <<http://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/>>. Acesso em: 11 fev.2022.

³ “Emissões Poluentes dos Veículos: impacto dos combustíveis utilizados e potencialidades da mobilidade elétrica”. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td293/view>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

2 ASPECTOS TECNOLÓGICOS

Neste item são analisados os principais aspectos tecnológicos do processo de eletrificação dos transportes. O objetivo aqui é o de apresentar os pontos fortes, fracos, peculiaridades e particularidades dos VE, que sejam de relevo para a discussão que aqui se propõe.

Inicialmente, é necessário esclarecer o que é um veículo elétrico, pois todos os automóveis atualmente em fabricação envolvem algum tipo de subsistema elétrico, que, por sua vez, inclui inúmeros motores e acionadores elétricos, inclusive para permitir que o motor a combustão inicie seu funcionamento.

De fato, é interessante constatar que, ao longo dos últimos anos, a tendência tem sido justamente a de se aumentar a quantidade de assistências elétricas e a eletrônica embarcada nos automóveis, seja por conveniência, como é o caso dos acionadores dos vidros das janelas, seja por uma questão de aumento da eficiência energética, como foi o caso da eletrificação da assistência à direção, que antes decorria de um sistema hidráulico acionado pelo motor a combustão do veículo⁴. No futuro, como consequência de regras cada vez mais rígidas de consumo e emissões, prevê-se que um número ainda maior de componentes automotivos (como o ar-condicionado) será eletrificado, de forma a aumentar a oferta de potência útil do motor a combustão para tracionar o veículo.

Evidentemente, ainda que em tais exemplos aconteça o aumento da eficiência energética dos veículos com motor a combustão interna (MCI), eles não se tornam “elétricos” pela presença desses subsistemas, pois veículo elétrico é aquele que é propelido a partir da utilização de energia elétrica, ainda que de forma apenas parcial, conforme as classificações que são apresentadas no item 2.1.

2.1. CLASSIFICAÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS.

- Veículo elétrico híbrido (VEH): possui um trem de força elétrico associado a um motor a combustão. O motor a combustão pode servir somente para carregar as baterias veiculares (híbrido serial), ou também ser fonte direta de propulsão (híbrido paralelo). Usualmente, quando se fala dessa categoria, subentende-se que são veículos

⁴ A utilização de uma "direção elétrica", por si mesma, já introduz uma economia de combustível de cerca de 2,5%. <<https://www.carthrottle.com/post/electronic-power-assisted-steering-how-does-it-work/>>. Acesso em: 22 abr. 2022.

eletrificados e sem capacidade de conexão direta com a rede elétrica, como é o caso dos VEHP definidos na sequência.

- Veículo elétrico híbrido *plug-in* (VEHP): diferencia-se da categoria anterior (VEH), por permitir que a bateria seja carregada diretamente por uma tomada elétrica externa, e não apenas pelo motor a combustão do veículo. Na prática, trata-se de importante distinção, pois muitos proprietários acabam utilizando os VEHP como elétricos puros, uma vez que a autonomia permitida pelo uso exclusivo da bateria interna, embora limitada⁵, é suficiente para a maioria dos trajetos urbanos diários.
- Veículos elétricos puros: sua propulsão é gerada somente por energia elétrica e não possuem motor a combustão. Essa categoria, por sua vez, pode ser subdividida em veículos elétricos movidos a bateria (VEB) ou a células de combustível (VECC).

Por fim, embora não sejam uma categoria de VE, é importante apresentar a classificação dos “veículos zero emissão” (ZEV, do inglês *zero emission vehicles*), que são aqueles que não geram emissões derivadas de sua fonte interna de energia^{6,7}. De fato, como será visto no item 3.1, em algumas jurisdições não há uma política com metas de *eletrificação per se*, mas sim para que uma fatia crescente dos veículos seja composta por ZEV.

Importante destacar que a categoria dos ZEV é maior que (ou engloba) a dos VE, pois, além de incluir veículos de propulsão humana como a bicicleta,

⁵ Os dois veículos VEHP mais vendidos no mundo (que são o VW Passat GTE e o BMW 530e/Le, de acordo com <<https://cleantechnica.com/2021/02/04/global-electric-vehicle-top-20-ev-sales-report/>>) proporcionam em torno de 50km de autonomia elétrica pura. Acesso em: 15 set. 2021.

⁶ Definição dada pelo Governo do Estado da Califórnia, disponível em: <https://ww2.arb.ca.gov/glossary?f%5B0%5D=name%3AZ#search_anchor>. Acesso em: 14 abr.2022.

⁷ Embora fuja do escopo desse artigo, deve-se registrar que o conceito de ZEV é sujeito a controvérsias, pois embora haja claro ganho em relação às emissões locais, sua aplicação não garante, *per se*, redução da emissão de gases causadores do efeito estufa, que podem apenas estar passando a serem produzidos fora do veículo. Adicionalmente, deve-se registrar que a exata definição a ser adotada (em uma lei, por exemplo) pode permitir ou proibir determinadas tecnologias – leia-se, se a lei exigir que o veículo nunca emita poluentes a partir de sua fonte interna de energia, automaticamente excluirá todos os veículos com MCI, que é justamente o objetivo de alguns países, como será visto no item 3.1.

permite ainda que outras tecnologias não elétricas possam ser utilizadas (como, por exemplo, ar comprimido⁸) para movimentar os veículos.

2.2. EFICIÊNCIA DOS MOTORES ELÉTRICOS

O motor elétrico, quando comparado a um motor a combustão de potência equivalente, apresenta diversas vantagens em sua utilização para o transporte, entre as quais:

- maior taxa de conversão da energia “do tanque às rodas” (*Tank to Wheel*);
- o torque máximo é disponível desde a imobilidade, e sua disponibilidade ocorre de forma instantânea em função da variação do pedal de acelerador;
- menor custo e menos necessidade de manutenção;
- ausência de ruídos significativos e de emissões gasosas na operação;
- maior densidade de potência (menor tamanho e menos peso por potência produzida).

De fato, as acelerações fortes e de disponibilidade instantânea que caracterizam a propulsão elétrica devem-se à mencionada característica do torque máximo poder ser atingido no momento em que o motor elétrico inicia seu funcionamento⁹. O resultado é um claro ganho operacional no anda-e-para do trânsito das grandes cidades, sendo esse um dos principais motivos pelos quais os bondes e metrô são elétricos.

⁸ A título de exemplo, reportagem da Auto & Técnica de 2013, detalha os aspectos centrais dessa alternativa tecnológica que à época foi pesquisada pela Peugeot. Disponível em: <<http://autoetecnica.band.uol.com.br/peugeot-citroen-mostra-hibrido-com-ar-comprimido/>>. Acesso em: 13 abr.2022. Embora seu desenvolvimento tenha sido descontinuado (Disponível em: <<https://www.caranddriver.com/news/a15357550/deflated-peugeot-citroen-shelves-its-air-hybrid-technology/>>. Acesso em: 13 abr.2022), esse é um exemplo de alternativa tecnológica que demonstra que um ZEV não necessariamente é sempre um VE.

⁹ Os motores a combustão, por outro lado, apresentam a dupla desvantagem de exigirem tanto um nível mínimo de rotação determinado pela condição de marcha-lenta, como apresentam faixa de torque favorável – para atender ao que é demandado pelo condutor – que somente é atingida em rotações maiores. Desse processo resultam ineficiências intrínsecas à concepção do MCI, que ajudam a explicar sua menor taxa da conversão da energia do “tanque às rodas”.

Além disso, a ausência de emissões de escapamento dos motores elétricos capacita os VE a operar em zonas centrais das cidades, especialmente naquelas em que a poluição do ar é um problema a ser combatido.

A Tabela 1 quantifica e compara alguns aspectos entre o motor elétrico e o motor a combustão, nos quais aquele se destaca em relação ao MCI.

Tabela 1: comparação de eficiência entre o motor a combustão e o motor elétrico

Aspecto	Motor a combustão	Motor elétrico	Diferença
Potência por peso	1-3 kW/kg	3-10 kW/kg	3x mais
Potência por volume	0,4 kW/L	13,6 kW/L	40x mais
Eficiência energética	5-30%	93-96%	3-20x mais

Fonte: adaptado de DelftX¹⁰.

Entretanto, apesar das inúmeras vantagens técnicas, os VE (ainda) são comercialmente limitados principalmente pelos obstáculos relativos ao armazenamento da energia elétrica em seu interior, como será visto com mais profundidade no item seguinte. Além disso, a infraestrutura pública de recarga, ou seja, de eletropostos disponíveis para uso, ainda não tem a mesma presença espacial que a dos postos de combustíveis (embora esse também seja um cenário em rápida mudança, particularmente nos países mais desenvolvidos), o que também dificulta ou retarda a eletrificação dos veículos.

2.3. DAS BATERIAS

Como mencionado, o motor elétrico é intrinsecamente mais eficiente e de fabricação mais simples que o motor a combustão. Entretanto, o maior obstáculo tecnológico para a popularização dos VE pode ser creditado a questões inerentes aos acumuladores de energia, ou seja, às suas baterias.

Evidentemente, os motores elétricos precisam ser alimentados por uma corrente elétrica para que possam funcionar. No caso dos veículos, essa

¹⁰ Disponível em: <https://prod-edxapp.edx-cdn.org/assets/courseware/v1/23f0d40709ab7b8c3bd60a48d4ff7f46/asset-v1:DelftX+eCARS2x+1T2018+type@asset+block/eCARS2x_Lecture_Notes_L1.pdf>. Acesso em: 22 abr.2022.

alimentação pode ser provida tanto por meio de infraestrutura externa (como nos metrô e trólebus), como por meio de baterias internas¹¹.

Quando é possível prover energia elétrica aos motores por meio de cabos externos, como é comum no transporte ferroviário, o motor elétrico é naturalmente preferido em relação ao motor a combustão. Contudo, quando há necessidade de uso de baterias, não é exagero afirmar que suas limitações ainda representam um dos maiores obstáculos à massificação do uso dos motores elétricos nos veículos do transporte rodoviário.

As limitações das baterias decorrem do somatório de baixa densidade energética (se comparadas com os combustíveis líquidos), da dependência de elementos raros para sua fabricação (com o agravante de, muitas vezes, estarem disponíveis somente em alguns países e/ou com acesso problemático¹²), do longo período de recarga, da degradação ao longo do tempo (redução da capacidade de armazenar energia e do fluxo máximo de corrente elétrica), entre outros fatores.

Uma das formas de quantificar a questão da baixa densidade energética nas baterias é analisar seu custo por kWh¹³. Isto é, quanto maior o volume e o peso das baterias, mais difícil e cara é sua produção. Em sentido inverso, avanços tecnológicos que permitam a utilização de menos materiais, ou de materiais menos nobres, permitem a redução de custos de fabricação desse componente, que é crucial para os VE.

Embora o preço desse componente venha caindo ao longo dos últimos anos, ainda se encontra em patamar elevado, como mostra a Figura 1, a qual

¹¹ Mesmo nos veículos híbridos, é necessário primeiro que a energia elétrica produzida pelo MCI seja armazenada em uma bateria, para posteriormente poder ser usada nos motores elétricos de tração veicular.

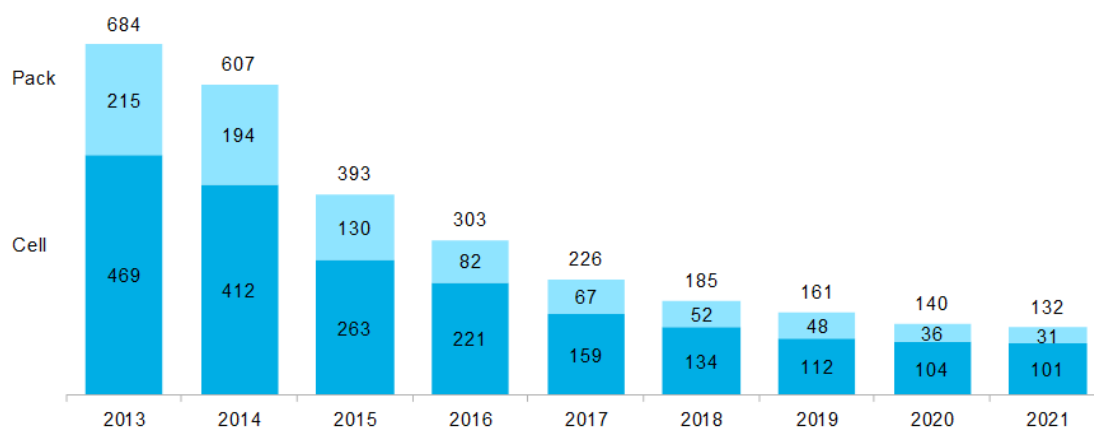
¹² A título de exemplo dessas questões, o cobalto hoje é muito importante para várias formulações químicas utilizadas em baterias de lítio. Ocorre que muito de sua mineração comercial é baseada na exploração de trabalho predatório ou infantil (vide, por exemplo: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-50828077>>. Acesso em: 19 de abril de 2022). Perceba-se, contudo, que não são problemas incontornáveis *per se*, pois é possível aperfeiçoar as condições de sua mineração, e, de todo modo, a pesquisa atual tem trabalhado no sentido de reduzir a utilização de matérias-primas problemáticas como o cobalto. De todo modo, esse pode ser considerado, *hoje*, como um dos fatores que compõem as dificuldades para a massificação dos motores elétricos no transporte.

¹³ Kilowatt x hora. Medida padrão da quantidade (ou seja, da capacidade) de energia armazenada em baterias elétricas.

ilustra a tendência de redução de preços tanto para os pacotes (*packs*), como para as células (*cells*)¹⁴ produzidas.

Ressalte-se que a Bloomberg aponta, na reportagem da qual foi extraído o gráfico contido na Figura 1, que os custos apresentados constituem uma média de aplicações automotivas e não automotivas. Para os veículos, o valor do pacote seria ainda menor que a média geral, de US\$ 118 por kWh de preço médio em 2021. É de se observar, portanto, o forte ritmo de queda no valor do kWh das baterias em menos de uma década (o valor do pacote em 2021 foi de menos de 20% daquele de 2014), o que sinaliza um grande e rápido avanço tecnológico em sua produção.

Figura 1: preço em dólares americanos das baterias de lítio-íon (por pacote e por células individuais) por kWh de capacidade, entre 2013 e 2021



Fonte: BloombergNEF¹⁵.

De todo modo, o trem de força de um VE (que inclui bateria, inversores, controle e motores elétricos) ainda representa metade dos custos de sua fabricação, ao passo que no caso de um veículo a combustão (principalmente o MCI e a transmissão), esse componente representa cerca de 18% de seu custo total¹⁶.

¹⁴ Várias células são utilizadas para a fabricação de um pacote. O pacote então é instalado no veículo.

¹⁵ Disponível em: <<https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-to-an-average-of-132-kwh-but-rising-commodity-prices-start-to-bite/>>. Acesso em: 3 fev.2022.

¹⁶ <<https://insideevs.com/features/396979/how-much-powertrain-cost-ev/>>. Acesso em: 10 set. 2021.

Assim, é fundamental para o sucesso comercial dos VE que o custo de produção do trem de força elétrico (e das baterias em particular) continue a diminuir ao longo do tempo. Entretanto, embora se possa esperar que essa redução vá continuar a acontecer tanto pelos avanços incrementais de ganhos de produtividade, como pelo efeito de mais inovações, não se descarta a possibilidade de haver uma crise na oferta de matérias primas essenciais à eletrificação, como é o caso do lítio, ainda que de forma temporária¹⁷.

Por fim, é necessário analisar o que se chama em inglês de *range anxiety*, ou, em tradução livre, angústia pela falta de autonomia, isto é, poucos veículos elétricos a bateria disponíveis no mercado possuem autonomia equivalente a um congêneres com motor a combustão. Esse fato, associado a limitações na oferta da infraestrutura de recarga veicular, dificultam a realização de viagens de longas distâncias. Assim, embora essas viagens sejam pouco frequentes, a *range anxiety* pode ser fator decisivo na escolha pelo veículo a ser comprado, e, nesse sentido, dificultar o sucesso comercial dos VE. Sob a perspectiva inversa, o aumento de eficiência e da capacidade da bateria dos VE atuais, associada à contínua expansão na oferta de infraestrutura comercial de recarga, particularmente nos países mais desenvolvidos, vêm reduzindo constantemente a dimensão desse problema.

2.4. DOS COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS COMPARADOS ÀS BATERIAS

Se a bateria pode ser considerada o ponto fraco dos VE, os combustíveis líquidos (diesel, gasolina, etanol, e suas misturas) constituem-se em um dos pontos mais fortes dos veículos com MCI, pois não só lhes permite superar as enormes deficiências do motor a combustão em relação aos elétricos, como pode ser considerado o fator que lhes garante menores custos de produção e venda, maior autonomia e velocidade de reabastecimento.

Assim, para contextualizar o desafio da adoção dos veículos elétricos no Brasil e no mundo, é necessário entender a inerente conveniência dos combustíveis líquidos.

¹⁷ Para um panorama sobre essa possibilidade, ver reportagem de 2021 da IEEE Spectrum, disponível em: <<https://spectrum.ieee.org/evs-to-drive-a-lithium-supply-crunch>>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2022. Para uma análise mais aprofundada sobre a importância do lítio para o futuro da eletrificação, vide Greim *et. al.* (2020), disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41467-020-18402-y>>. Acesso em: 3 fev.2022

O principal ponto forte dos combustíveis líquidos é sua densidade de energia por unidade de volume. De fato, enquanto as células de lítio de uma bateria elétrica moderna armazenam apenas cerca de 0,69 kWh por decímetro cúbico (litro), o mesmo litro de etanol hidratado possui quase dez vezes mais densidade energética, ou seja, aproximadamente 6,26 kWh de energia. Já a gasolina comum contém cerca de 8,89 kWh por litro¹⁸. O óleo diesel, por sua vez, contém ainda mais energia que todos esses exemplos.

Ou seja, os combustíveis líquidos apresentam densidade energética muito maior que a contida em uma bateria, o que traz como consequência prática o fato de que embora os motores elétricos sejam muito mais eficientes para a conversão da energia contida na bateria, os veículos com MCI podem rodar distâncias mais longas com um tanque com dimensões e peso menores que a bateria de um VE. Em outras palavras, para alcançar a mesma autonomia obtida por um veículo convencional, as baterias dos VE precisam ocupar mais espaço e pesar mais do que um tanque de combustível cheio.

Além disso, pela escala de produção obtida ao longo do século XX, os combustíveis líquidos, além de terem baixo custo de produção, contam com ampla oferta global e estabilidade química no tempo (não se degradam ou reduzem sua energia no intervalo de algumas semanas ou meses). Ao contrário das baterias, não dependem de elementos químicos raros, e podem reabastecer um veículo em poucos minutos, em vez das dezenas de minutos exigidas para uma recarga rápida dos VE. Por fim, os tanques utilizados nos veículos convencionais têm fabricação simples e barata e uso relativamente seguro.

Nesse sentido, como será analisado mais detidamente no item 2.6, as células de etanol poderiam vir a unir as vantagens dos combustíveis líquidos com as vantagens dos VE, quais sejam: menores emissões de gases causadores do efeito estufa e ausência de emissão de poluentes pelo escapamento.

¹⁸ Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/2017/11/24/mais-energia/>>. Acesso em: 25 jun.2021.

2.5. DA ARQUITETURA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

A arquitetura dos VE é significativamente diferente daquela utilizada pelos modelos com motor a combustão. Para entendermos o impacto dessa mudança, é necessário definirmos o que seja uma “plataforma automotiva”.

De acordo com Lampón e Cabanelas¹⁹ (2014), plataforma automotiva é o suporte básico de um veículo, que inclui a estrutura ou chassi e os pontos de fixação da suspensão traseira e dianteira, da caixa de direção e dos suportes do motor. Em alguns fabricantes, o conceito da plataforma inclui outros elementos comuns, como sistemas de suspensão, de direção e de transmissão.

A ideia da plataforma automotiva, portanto, é criar um único conjunto básico de soluções de engenharia que podem ser aplicadas a múltiplos modelos de veículos, de forma a reduzir os custos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e de produção. Trata-se de prática adotada pelas maiores montadoras atuantes no mercado.

Esse conceito pode ser exemplificado pela plataforma denominada “MQB”²⁰, desenvolvida pela Volkswagen, e que dá origem a veículos de porte e estilos bastante diferentes, como Polo, Golf, T-Cross, Jetta e Tiguan. Apesar de todas essas diferenças, entretanto, todos apresentam algumas similaridades técnicas tanto estruturais, como de subsistemas, decorrentes dessa base comum de arquitetura veicular.

Assim, ao investir na fabricação de componentes e de subsistemas da plataforma MQB no Brasil, a VW capacitou sua subsidiária nacional a produzir uma gama de veículos, como Polo e T-Cross, que podem ter todos os avanços mais recentes em tecnologia automotiva que foram pesquisados e condensados pelo centro desenvolvedor dessa plataforma.

E não se trata aqui de um caso que seja exclusivo dessa montadora. Outros fabricantes instalados no Brasil trabalham da mesma forma, como é o caso da Chevrolet (General Motors), que usa a plataforma chamada de GEM no novo Onix e no Tracker, e outra denominada de GSV no antigo Onix e na Spin, entre outros. Poderiam ser citados vários outros exemplos de plataformas automotivas usadas no Brasil e no mundo, mas o ponto aqui é apenas destacar que seu uso, compartilhado e otimizado, se tornou padrão na moderna indústria automotiva.

¹⁹ Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6266452.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2021.

²⁰ Em uma tradução livre do alemão, *Modularer Querbaukasten* (MQB) seria plataforma modular para motores transversais.

É importante ressaltar que a plataforma automotiva vem deixando, ao longo dos anos, de ser apenas uma arquitetura básica dos veículos, uma espécie de pré-projeto de sua estrutura, e tem passado a englobar também subsistemas não físicos, como os decorrentes da interação entre software e determinadas partes dos veículos.

Ou seja, os avanços que são codificados nas novas plataformas compreendem desde sistemas “soft”, como autonomia parcial, até a parte “hard” da organização estrutural básica do veículo.

Na parte “hard”, física, são definidos aspectos como as distâncias mínimas de deformação da carroceria, ou os tipos de aço e outros materiais que irão compor o monobloco. Tais parâmetros são definidos *a priori* como configuração básica da plataforma, e não mudam depois para cada um dos modelos derivados. Essa característica permite que os modelos projetados usando esse conjunto de soluções, ainda que exclusivos de determinados mercados, como o brasileiro, tenham a garantia de ótimo desempenho em testes de impacto, desde que sejam respeitados os parâmetros originais do projeto da plataforma.

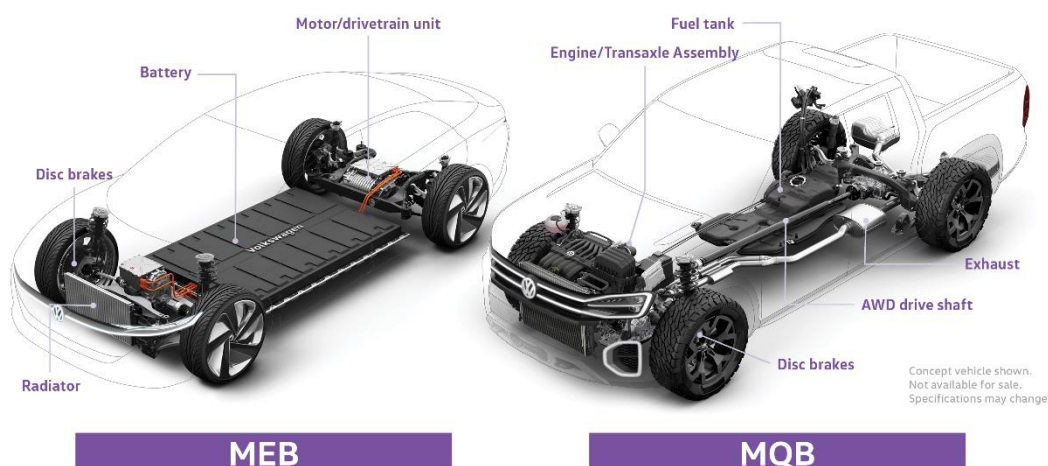
Na parte “soft”, uma série de soluções gerenciam funções semi ou totalmente automatizadas, como a aceleração adaptativa em função do tráfego, a programação de funcionamento dos faróis consoante as condições do ambiente e do tráfego, e dos limpadores de para-brisas em função da chuva, entre muitas outras. Tais soluções são também específicas e codificadas em cada plataforma automotiva e permitem ao veículo fazer a leitura dos sensores ambientais e enviar os comandos aos equipamentos que desempenham cada uma das funções acima descritas.

Embora a discussão aqui proposta possa parecer abstrata, ela traz consigo consequências bem tangíveis, ilustradas por dois exemplos a seguir apresentados. O primeiro refere-se a veículos como a Volkswagen Kombi e ao Fiat Mille, que deixaram de ser comercializados em 2014, em função da exigência legal de que todos os veículos à venda no País deveriam passar a ser equipados com freios ABS e airbags a partir daquele ano. De fato, suas plataformas eram tão antigas que, ou era tecnicamente inviável a instalação de tais dispositivos, ou sua eventual adaptação resultaria em um custo que tornaria essa opção economicamente impraticável.

O segundo exemplo da importância das plataformas automotivas é a constatação de que os veículos a venda no Brasil com pior desempenho nos testes de impacto são normalmente aqueles com plataformas ultrapassadas, ou decorrentes de adaptações improvisadas ou inadequadas de plataformas existentes.

Ocorre que, como assinalado no início deste item, os veículos elétricos, por apresentarem especificidades em relação a sua estrutura, número e tipo de partes e peças, demandam plataformas bastante distintas daquelas aplicadas a seus congêneres com motor a combustão. Em primeiro lugar, não há um grande motor na parte dianteira do veículo: os motores elétricos são comparativamente pequenos e situam-se sobre os eixos dos veículos. Por outro lado, o estado da arte da engenharia dos VE tem colocado suas volumosas e pesadas baterias no assoalho veicular, entre os eixos. Tais modificações acarretam mudanças significativas em termos de arquitetura e de projeto das zonas de deformação, centro de gravidade, balanço de peso, dinâmica de condução, etc., como pode ser visto na Figura 2, em que é possível observar uma grande diferença no espaço disponível/necessário na parte dianteira das duas plataformas analisadas (elétrica e convencional).

Figura 2: comparação entre as plataformas elétrica (VW MEB) e convencional (VW MQB)



Fonte: Volkswagen²¹.

²¹ Disponível em: <http://newsroom.vw.com/app/uploads/2019/04/VWLife_Spring19_Engines_Image1-1.jpg>. Acesso em: 25 jun. 2021>.

Portanto, caso as montadoras globais cumpram com os planos de eletrificar sua oferta de veículos na Europa, EUA e China, lugares onde se concentram suas vendas, o Brasil poderá ficar à margem dos avanços tecnológicos que vão cada vez mais serem desenvolvidos e aplicados apenas em suas plataformas elétricas. Em outras palavras, caso o País não tenha planos de longo prazo para abandonar o uso dos motores a combustão, as plataformas convencionais remanescentes no Brasil tenderão a ser relegadas a um cenário de crescente defasagem tecnológica e de segurança estrutural. Disso resultará veículos menos seguros e menos capazes de se adaptar a novas tendências em mobilidade urbana (autonomia veicular, mobilidade como serviço, etc.).

É fato que a eletrificação completa dos veículos ainda será gradual, e terá um ritmo ainda mais lento em países de baixa e média renda que, neste processo de transição, deverão combinar diversas soluções que reduzam a emissão veicular. Entretanto é necessário um olhar atento para estas transformações em curso, no sentido de tanto identificar os possíveis impactos negativos sobre capacidade produtiva e de desenvolvimento tecnológico, como as oportunidades para que o Brasil possa participar ativamente desta transição.

Esse fato pode ter graves implicações para a indústria automotiva nacional, e para nossa capacidade de realizar P&D, como será analisado no item 4 deste artigo.

2.6. CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL

Uma célula de combustível é um dispositivo que utiliza a energia química de um combustível, como o hidrogênio, para produzir eletricidade de forma limpa, silenciosa e sem a necessidade de combustão. Assim, por não se sujeitarem aos limites de eficiência da conversão térmica decorrente dos processos de combustão, as células de combustível podem atingir até 60% de eficiência no uso da energia contida nos combustíveis²², em comparação com os 5 a 30% dos MCI (vide Tabela 1).

Em teoria, portanto, as células de combustível podem associar as vantagens inerentes do motor elétrico com aquelas dos combustíveis líquidos,

²² Disponível em: <<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cells>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

sem os inúmeros problemas decorrentes do processo de combustão, como poluição sonora e a emissão de poluentes locais.

Embora o desenvolvimento mais avançado para utilização comercial das células de combustível seja o que utiliza diretamente o hidrogênio como insumo para a obtenção de energia elétrica, há a possibilidade de uso de outras fontes, como a partir do etanol de cana-de-açúcar. Nesse caso específico, inclusive, poder-se-ia unir tanto as vantagens intrínsecas das células de combustível (silenciosas, eficientes e sem emissões poluentes) com as vantagens do biocombustível, que conta com cadeia de produção e suprimento consolidada no Brasil, mínimas emissões de gases de efeito estufa²³, e facilidade para estocagem e manuseio.

Além disso, como as células de combustíveis podem ter tamanho razoavelmente compacto e bem menor que o de um motor a combustão, teoricamente seria mais fácil de serem fisicamente adaptadas para funcionar (cabem) em plataformas de carros elétricos puros. Em outras palavras, essa tecnologia pode ser complementar ao desenvolvimento tecnológico dos VE, e não divergente, como ocorrerá com os veículos híbridos, pois o MCI não tem espaço no interior das plataformas elétricas puras (VEB), como analisado no item 2.5.

Entretanto, a despeito de suas inúmeras vantagens potenciais, ainda existem muitas barreiras tecnológicas a serem vencidas para que as células de etanol possam ser utilizadas comercialmente²⁴. Embora o desenvolvimento nesse campo tenha sido contínuo^{25, 26, 27}, mais pesquisa ainda é necessária para tornar o VECC alimentado por etanol uma realidade comercial.

²³ Acerca da baixa emissão de gases de efeito estufa na produção do etanol de cana, vide, por exemplo, o mencionado Texto para Discussão nº 293, de nossa autoria, disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td293>>. Acesso em: 28 de junho de 2021.

²⁴ Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/combate/carro-eletrico/celula-combustivel-etanol-difícilmente-sucesso-200617>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

²⁵ Disponível em: <<http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/30266/nissan-e-ipen-vaotestar-etanol-em-celula-de-combustivel>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

²⁶ Disponível em: <<https://www.greencarcongress.com/2020/05/20200505-defc.html>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

²⁷ Disponível em: <<https://www.sciencedaily.com/releases/2019/06/190607140433.htm>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

3 HISTÓRICO RECENTE DA ELETRIFICAÇÃO

Embora os veículos elétricos existam desde os primórdios da indústria automotiva, e suas vantagens sejam conhecidas já há bastante tempo, inúmeros fatores sociotécnicos retardaram sua adoção em massa até o presente momento.

Essa situação, contudo, começou a mudar nos últimos vinte anos. Um dos vetores de mudança nesse cenário deve-se à crescente preocupação com a redução da poluição advinda das emissões veiculares por escapamento veicular, especialmente quanto aos gases de efeito estufa e seu efeito de mudanças climáticas. Além disso, como um veículo elétrico puro não emite gases de escapamento, o impacto na qualidade do ar das grandes cidades e, conseqüentemente na saúde pública, é bastante positivo, particularmente naquelas em que há frotas com grande presença de veículos movidos a óleo diesel (LEAL e CONSONI, 2021)²⁸.

Outro importante vetor de mudança está ligado à questão tecnológica, sobretudo em relação aos avanços obtidos no desenvolvimento das baterias²⁹. Nas últimas décadas esse vetor encontrou importante sinergia com a massificação dos *gadgets* eletrônicos, em especial telefones celulares, o que demandou avanços em termos de custos de produção e de densidade energética das baterias, além de menor tempo de carregamento. Em outras palavras, esse componente tem ficado progressivamente mais potente, confiável e acessível, o que oferece a possibilidade de ser utilizados em aplicações que cada vez mais vão muito além dos dispositivos eletrônicos.

Assim, como decorrência dos impulsos gerados tanto pelo processo de inovação apontado, como pela pressão ambiental e de saúde pública por um transporte com menos emissões de gases poluentes, a eletrificação veicular tem ganhado força, o que pode ser demonstrado pelos 3,24 milhões de veículos elétricos³⁰ vendidos mundialmente em 2020, e pelos 6,75 milhões, em 2021. Esses números representaram, respectivamente, 4,2% e 8,3% das vendas

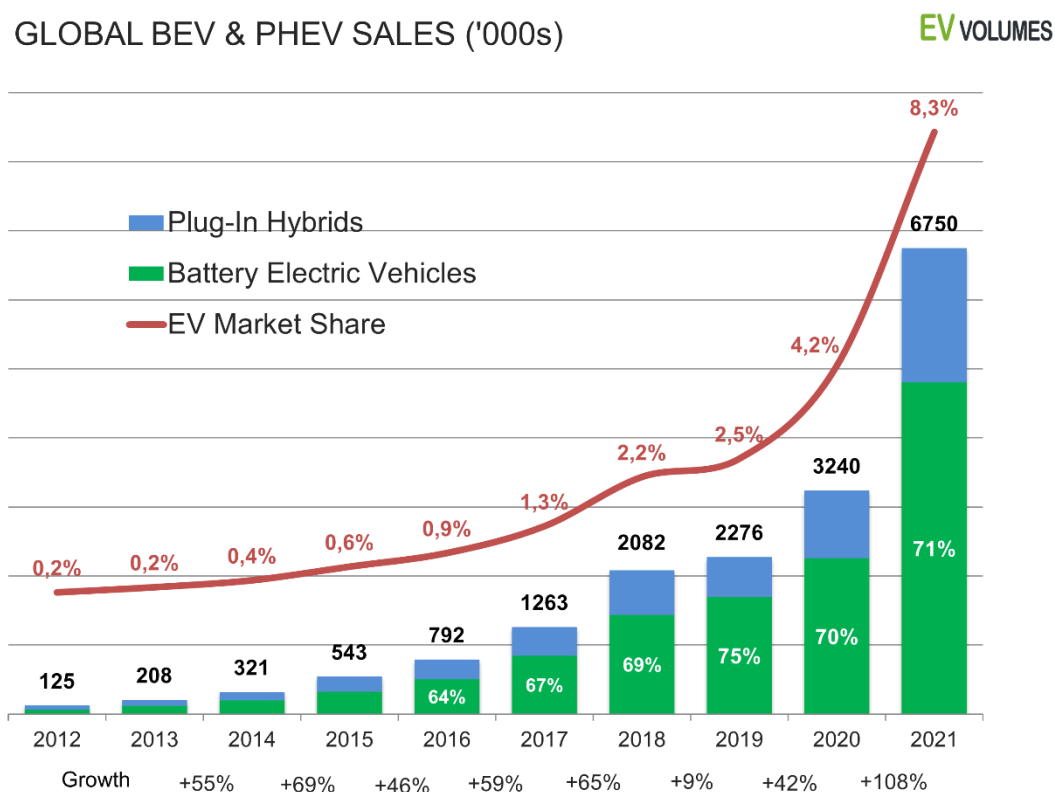
²⁸ TD n° 293, *op. cit.*

²⁹ Para uma discussão mais aprofundada das dinâmicas de desenvolvimento das baterias dos VE, vide Bermúdez-Rodríguez e Consoni (2020), disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8658394/22788>>. Acesso em: 18 nov. 2021.

³⁰ Na classificação da fonte aqui utilizada para mensuração das vendas de veículos elétricos foram incluídos apenas aqueles que podem ser carregados diretamente por uma fonte externa de eletricidade, ou seja, VEB e VEHP.

automotivas globais³¹, conforme se pode ver na Figura 3. Desse gráfico, é importante também perceber o aspecto de crescimento geométrico (exponencial) da curva de demanda por VE no mundo.

Figura 3: histórico das vendas mundiais de veículos elétricos (VEB + VEHP) de 2012 a 2021, em milhares de unidades



Fonte: EV-Volumes³².

Por sua vez, a Figura 4, produzida pela Agência Internacional de Energia (IEA³³), sintetiza o movimento recente (2015-2020) das vendas de veículos novos na Europa, na China e nos EUA, que são os maiores mercados globais para VE. As linhas mostram a evolução da porcentagem de venda de veículos elétricos a bateria e híbridos *plug-in* sobre o total de veículos comercializados nesse período, enquanto que as barras apresentam o total de VE vendidos em função da tecnologia utilizada, em que as cores mais claras são de VEHP, e as escuras de VEB.

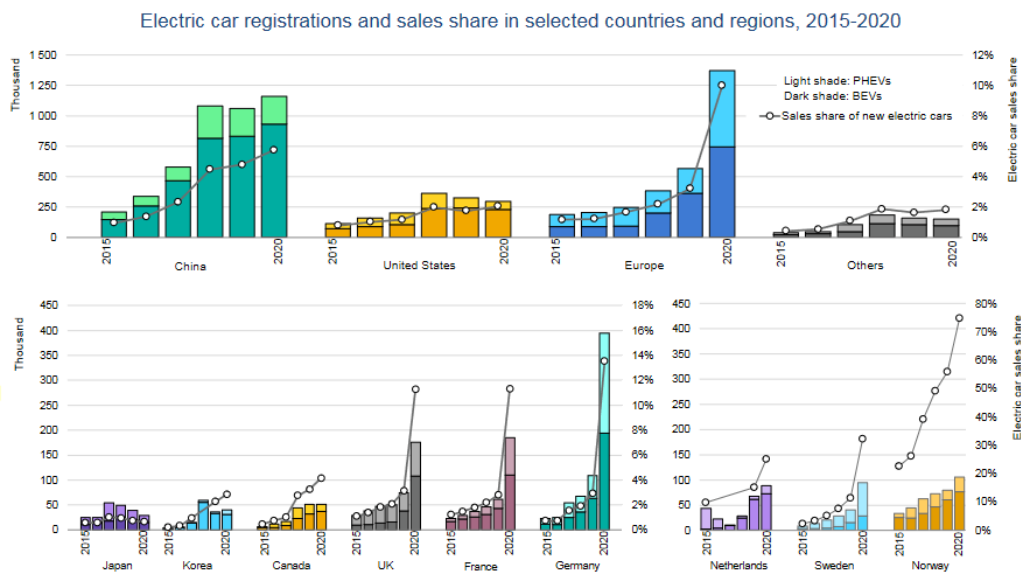
³¹ Disponível em: <<http://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/>>. Acesso em: 11 fev. 2022.

³² *op. cit.*

³³ *International Energy Agency.*

Figura 4: emplacamentos de veículos elétricos em regiões selecionadas

Electric car registrations increased in major markets in 2020 despite the Covid pandemic



Fonte: IEA³⁴.

Nessa figura é possível observar que o movimento de eletrificação se encontra bastante acelerado na Europa, com uma curva de participação dos elétricos nas vendas em formato exponencial, e que essas estão praticamente divididas entre VEB e VEHP. Percebe-se também que após alguns anos em que esteve em segundo lugar, o crescimento acelerado aqui apontado, fez com que a Europa retomasse a liderança no tocante ao total de VE vendidos, ultrapassando a China. Nesse país asiático, também há crescimento na participação dos elétricos sobre o total, mas é mais linear, e há um maior predomínio dos VEB sobre os VEHP. Por fim, nos EUA, há um cenário de certa estagnação na participação dos elétricos sobre o total vendido ao longo dos últimos anos, e se percebe uma forte consolidação desse nicho em torno dos VEB.

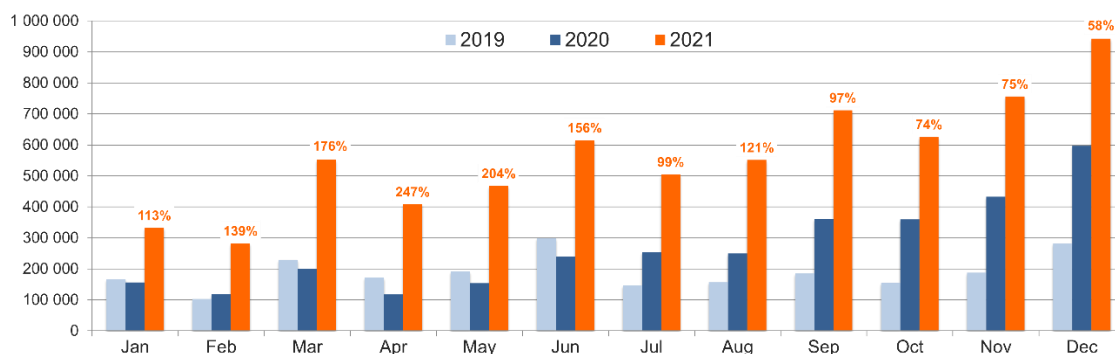
É interessante destacar que, no começo de 2020, estimava-se que a pandemia da Covid-19 poderia frear o cenário de crescimento da venda de VE³⁵. De fato, foi o que ocorreu até a metade daquele ano, mas a demanda recuperou-se de tal forma que não só reverteu essa tendência, como produziu o crescimento anualizado nas vendas anteriormente apontado, como mostra a Figura 5, e isso

³⁴ Disponível em: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/ed5f4484-f556-4110-8c5c-4ede8bcb637/GlobalEVO Outlook2021.pdf>>. Acesso em: 19 abr.2022.

³⁵ Disponível em: <<https://www.woodmac.com/press-releases/global-electric-vehicle-sales-to-drop-43-in-2020>>. Acesso em: 19 abr. 2022.

em um cenário de contração do mercado automotivo global, no qual as vendas totais caíram de 74,9 milhões de veículos em 2019, para 63,8 milhões em 2020, e recuperando-se levemente para 66,7 milhões em 2021³⁶.

Figura 5: vendas mensais globais de veículos elétricos (VEB + VEHP) nos últimos 3 anos



Fonte: EV-Volumes.

Por fim, no cenário brasileiro, segundo dados da Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), há também uma forte expansão da comercialização de VE novos: 11.858 em 2019, 19.745 em 2020 e 34.990 em 2021. Para 2021, foram comercializados 20.678 híbridos não *plug-in*, 11.461 *plug-ins*, e 2.851 VEB³⁷. Ainda, segundo a ABVE, o primeiro mês de 2022 consolida esta tendência de crescimento, com 2.558 emplacamentos, na comparação com os 1.321 emplacamentos de VE em janeiro de 2021.

Assim, em relação ao total comercializado³⁸ no Brasil, os VE tiveram 2,2% de participação no mercado. Para efeitos de comparação com os números globais anteriormente apresentados, do total vendido no País, apenas 0,92% são VEB e VEHP, o que se contrasta fortemente com o total de 8,3% vendido no mercado global. Ou seja, a despeito da aceleração do crescimento das vendas de elétricos no País, o Brasil ainda é um retardatário nesse processo quando comparado ao cenário global.

³⁶ Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/200002/international-car-sales-since-1990/>>. Acesso em: 11 fev. 2022.

³⁷ Dados da ABVE, disponíveis em: <<http://www.abve.org.br/eletrificados-batem-todas-as-previsoes-em-2021/>>. Acesso em: 21 jan.2022.

³⁸ De acordo com a Fenabrave, foram comercializados 1.557.957 veículos no País em 2021. Dados disponíveis em: <http://www.fenabrave.org.br/portal/files/2021_12_2.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2022.

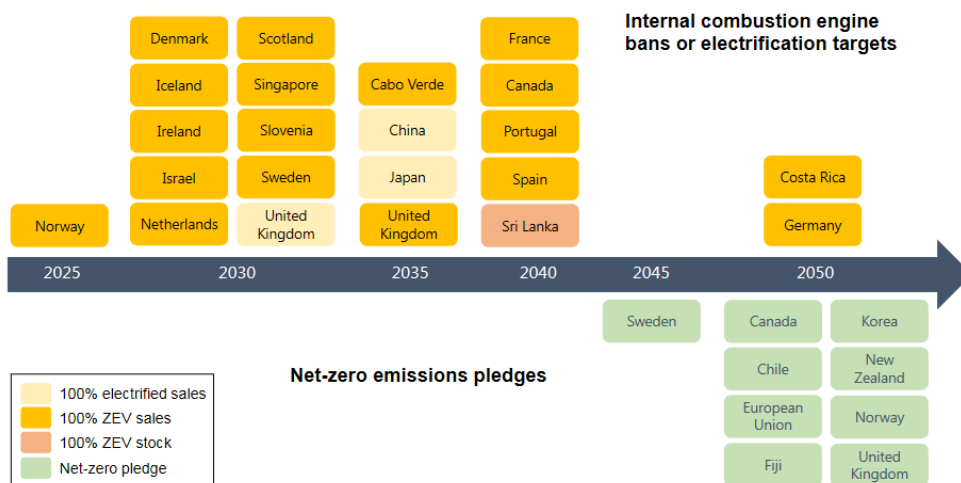
3.1. PANORAMA RECENTE DAS RESTRIÇÕES LEGAIS A VEÍCULOS NÃO ELÉTRICOS

Na última década, e particularmente nos últimos cinco anos, diversos países, estados e mesmo cidades anunciaram planos de proibir total ou parcialmente a venda de veículos com MCI ou movidos a combustíveis fósseis.

A Figura 6 aponta compromissos formais assumidos por alguns países no sentido de eletrificar suas frotas ou de serem compostas somente por veículos com zero emissão de gases de escapamento. A Noruega é destaque nesta discussão por ter se posicionado com metas para coibir veículos dependentes de combustíveis fósseis já em 2025. Destaque-se que a IEA listou somente países com leis existentes ou projetos de lei já em tramitação. Aqueles com compromissos apenas em programas de governo e documentos equivalentes (como é o caso de China e Japão) não foram incorporados nessa figura. Também não foi incluída a Califórnia, estado norte-americano que tem funcionado, na prática, como líder e condutor das mudanças de toda a indústria automotiva dos EUA.

Figura 6: países com leis ou projetos para banir o uso de veículos com motor a combustão

More than 20 countries have electrification targets or ICE bans for cars, and 8 countries plus the European Union have announced net-zero pledges



(Fonte: IEA³⁹).

³⁹ *Op. cit.*

De fato, nos Estados Unidos, embora não haja uma regra nacional para estimular o uso dos veículos elétricos, o estado da Califórnia tem direito a estipular seus próprios limites de emissão, podendo esses limites ser seguidos pelos estados que assim o desejarem. Na prática, ao estabelecer regras distintas e mais rígidas, a Califórnia obriga a que a indústria automotiva norte-americana como um todo evolua no sentido de menos emissões, já que não é economicamente viável a fabricação de duas especificações dos mesmos veículos, isto é, um para os padrões californianos, e outro para os padrões nacionais, menos rígidos.

Assim, como decorrência dessa peculiaridade legal, na Califórnia e em mais dez outros estados, inclusive o populoso Estado de Nova Iorque, vigora a exigência de que, do total de veículos vendidos por cada uma das montadoras dos EUA, uma porcentagem mínima seja de ZEV. Dessa forma, em 2025, essa meta será correspondente a pouco menos de 8% dos veículos vendidos nesses estados⁴⁰. Mas, para 2035, a determinação estipulada pela Califórnia é que todos os veículos ali vendidos sejam zero emissão⁴¹.

Mesmo na América Latina, o assunto tem começado a se desenvolver mais aceleradamente. Eis o cenário em alguns dos maiores países da região (a lista aqui apresentada não é exaustiva e contém apenas países com compromissos formais no tocante à eletrificação de suas frotas⁴²):

- Na Argentina, país com o qual temos o maior comércio bilateral de veículos e autopeças, o governo apresentou projeto⁴³ que proíbe a comercialização, a partir de 1º de janeiro de 2041, de veículos novos movidos exclusivamente por um motor a combustão interna (ou seja, ficariam permitidos apenas híbridos, elétricos a bateria, etc.).

⁴⁰ Disponível em: <<https://www.ucsusa.org/resources/what-zev>>. Acesso em: 19 abr. 2022.

⁴¹ Disponível em <<https://ww2.arb.ca.gov/resources/fact-sheets/governor-newsoms-zero-emission-2035-executive-order-n-79-20>>. Acesso em: 27 jan. 2022.

⁴² Destaque-se que embora o México, segundo maior país da região, tenha assinado uma declaração ao fim da COP26, ocorrida em 2021 em Glasgow, comprometendo-se que “*as governments, we will work towards all sales of new cars and vans being zero emission by 2040 or earlier, or by no later than 2035 in leading markets*”, esse documento não é legalmente vinculante, e expressa mais uma intenção do que um compromisso formal (a nota de rodapé nº 1 da própria declaração é clara: “*we will make clear this declaration is not legally binding and focused on a global level*”. Além do México, Chile, El Salvador, Paraguai, República Dominicana, e Uruguai assinaram o mesmo documento. Sua cópia está disponível em: <<https://www.gov.uk/government/publications/cop26-declaration-zero-emission-cars-and-vans/cop26-declaration-on-accelerating-the-transition-to-100-zero-emission-cars-and-vans>>. Acesso em: 27 jan. 2022.

⁴³ Disponível em: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/10/movilidad_sus_tentable.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2022.

- No Chile, a “Estratégia Nacional de Eletromobilidade”⁴⁴ prevê que a partir de 2035 somente possam ser vendidos ZEV naquele país.
- Na Colômbia vigora, desde 2019, a Lei nº 1.964, que “tem por objetivo gerar esquemas de promoção ao uso de veículos elétricos e zero emissão”⁴⁵. Embora não seja colocada nenhuma data limite para a comercialização de veículos com MCI na frota em geral (apenas um calendário para a eletrificação dos ônibus urbanos), essa Lei prevê incentivos à aquisição e manutenção dos VE, quotas para aquisição desses veículos nas frotas públicas, entre outros. No caso da capital Bogotá, tem destaque a Declaração de Emergência Climática, segundo a qual a partir de janeiro de 2022 a prefeitura só poderá fazer licitações e/ou contratar sistemas de transporte público com ônibus elétricos a bateria.
- No Equador, o art. 14 de sua “Lei Orgânica de Eficiência Energética” determina que a partir de 2025, todos os ônibus a serem incorporados ao serviço de transportes urbanos em sua porção continental sejam elétricos.

Na esteira desse cenário internacional cada vez mais restritivo aos veículos com MCI, diversas montadoras vêm anunciando planos de não mais desenvolver veículos com essa tecnologia⁴⁶, ou mesmo de não os comercializar a partir de determinada data⁴⁷. Em outra frente, especula-se que a ausência de planos governamentais para a eletrificação veicular no Brasil tenha sido fator importante

⁴⁴ Disponível em: <https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/estrategia_nacional_de_electromovilidad_2021_o.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2022.

⁴⁵ Disponível em: <<https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%201964%20DEL%2011%20DE%20JULIO%20DE%202019.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2022.

⁴⁶ Entre outras, a montadora Volkswagen vai parar de desenvolver novos MCI. Disponível em: <<https://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/volkswagen-nao-vai-mais-criar-novos-motores-a-combustao/>>. Acesso em: 27 jan. 2022. Curiosamente, para o nosso País, essa montadora prevê desenvolvimentos de híbridos flex, no qual se pressupõe o investimento em MCI. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Empresa/noticia/2021/12/volkswagen-diz-que-empresa-tera-carros-eletricos-e-hibridos-etanol.html>>. Acesso em: 27 jan. 2022.

⁴⁷ Segundo o relatório da IEA (*op. cit.*), somente no primeiro trimestre de 2021 ocorreram os seguintes anúncios: “Volvo somente venderá VE a partir de 2030; Ford somente venderá VE na Europa a partir de 2030; General Motors planeja vender apenas automóveis eletrificados a partir de 2035; em 2030, Volkswagen busca vender 70% de VE na Europa e 50% na China e nos EUA; Stellantis busca vender 70% de VE na Europa e 35% nos EUA”.

para o fim da produção local da Ford no Brasil⁴⁸, e para o fechamento da fábrica da Mercedes-Benz em Iracemápolis⁴⁹.

3.2. PROJETOS EM TRAMITAÇÃO NO CONGRESSO SOBRE O TEMA

Em comparação com os desdobramentos apresentados no item 3.1, pode-se considerar que os movimentos para a eletrificação veicular no Brasil ainda são pouco desenvolvidos, sendo que no âmbito do Poder Executivo Federal não existem ações ou programas em andamento com o mesmo escopo dos que foram elencados no item anterior⁵⁰.

De fato, em termos dos compromissos para o fim da circulação de veículos poluentes em território nacional, cabe destaque apenas para a proibição da entrada de veículos a combustão no Arquipélago de Fernando de Noronha a partir de 10 de agosto de 2023, e sua circulação e permanência a partir de 10 de agosto de 2030 (Lei nº 16.810, de 7 de janeiro de 2020, do Estado de Pernambuco).

Em termos de projetos em tramitação no Congresso, existem várias proposições em tramitação tanto na Câmara, como no Senado, que versam sobre o assunto, ainda que de forma apenas tangencial. Essas proposições buscam tratar de temas como incentivos fiscais à fabricação de veículos híbridos ou elétricos puros; imposição de datas limites para a comercialização de veículos com determinadas tecnologias (como aqueles movidos exclusivamente por MCI); incentivos e regulação da micromobilidade⁵¹; regulamentação/obrigação de instalação de pontos de recarga em edifícios e locais públicos, entre outros temas.

⁴⁸ Disponível em: <<https://invest.exame.com/esg/o-carro-eletrico-matou-a-ford-do-brasil>>. Acesso em: 30 jun. 2021.

⁴⁹ Disponível em: <<https://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/mercedes-benz-encerra-producao-automoveis-iracemapolis-sp/>>. Acesso em: 30 jun. 2021.

⁵⁰ O caderno de mobilidade do Estado de São Paulo do dia 2 de fevereiro de 2022 lista as principais ações vigentes que tratam do assunto, ainda que tangencialmente. Disponível em: <<https://mobilidade.estadao.com.br/inovacao/eletromobilidade-poder-publico-precisa-envolver-mais>>. Acesso em: 2 fev. 2022.

Adicionalmente, o ICCT publicou artigo rico em informações acerca dos desafios da eletrificação nos países emergentes, inclusive Brasil, no qual é oferecido um panorama geral das ações em curso nos países pesquisados. O documento está disponível em: <<https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/02/ZEV-EMDE-white-paper-A4-v3.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2022.

⁵¹ De acordo com o Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP), a micromobilidade diz respeito ao deslocamento de veículos leves que circulam em velocidade baixa, até 25 km/h, e são utilizados para viagens de curta distância. Incluem sobretudo as bicicletas, triciclos, patinetes, e suas derivações. Disponível em: <<https://itdpbrasil.org/infografico-o-que-e-micromobilidade/>>. Acesso em: 9 mar. 2022.

Em anexo, incluímos pesquisa realizada junto à Câmara dos Deputados na qual figuram 58 projetos de lei em tramitação sobre o tema⁵².

Quanto ao Senado, pode-se listar, por ordem de sua apresentação, os seguintes projetos acerca da temática da eletrificação veicular:

- PLS 340/2016 (13/09/2016)
Ementa: dispõe sobre a Isenção do Imposto sobre Produtos Industrializados – IPI, na aquisição de veículos elétricos, e dá outras providências.
Autor: Senador Telmário Mota (PDT/RR).
Última tramitação: 05/04/2019. Distribuído ao Senador Tasso Jereissati, para emitir relatório na Comissão de Assuntos Econômicos. Já aprovado na Representação Brasileira no Parlamento do Mercosul em 05/09/2017.
- PLS 304/2017 (31/08/2017)
Ementa: institui a política de substituição dos automóveis movidos a combustíveis fósseis e altera a Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 (Código de Trânsito Brasileiro) para dispor sobre a vedação a comercialização e a circulação de automóveis movidos a combustíveis fósseis.
Autor: Senador Ciro Nogueira (PP/PI)
Última tramitação: 19/02/2020. Aguardando inclusão em Ordem do Dia do Plenário do Requerimento nº 53, de 2020, do Senador Fernando Bezerra Coelho, que solicita audiência da CAE, CI e CTFC. Já aprovado na CCJ em 11/02/2020.
- PLS 454/2017 (21/11/2017)
Ementa: altera a Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993, que dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e

⁵² Pesquisa realizada no dia 28 de janeiro de 2022, utilizando-se a expressão “veículos elétricos”. Destaque-se que ao se verificar a lista gerada, é possível observar que nem todos os projetos versam sobre o assunto. Da mesma forma, é possível que alguns projetos sobre a temática não tenham sido indexados utilizando-se a expressão utilizada. De todo modo, uma análise mais aprofundada de todos os projetos foge ao escopo deste artigo, pois o ponto que interessa ressaltar, é que, ao contrário do Poder Executivo, o Congresso tem dado destaque ao tema, como se comprova pela amplitude dos temas tratados e a quantidade de proposições em tramitação.

dá outras providências, para dispor sobre a vedação a comercialização e a circulação de automóveis movidos a combustíveis fósseis.

Autor: Senador Telmário Mota (PTB/RR)

Última tramitação: 07/10/2019. Realização de audiência pública na Comissão de Meio Ambiente. Já aprovado na CAE em 16/10/2018.

- PL 5.590/2019 (22/10/2019)
Ementa: institui tarifa para custear a implantação de pontos de recarga para veículos elétricos e híbridos e dá outras providências.
Autor: Senadora Daniella Ribeiro (PP/PB)
Última tramitação: 25/10/2021. Distribuído à Senadora Eliane Nogueira, para emitir relatório na Comissão de Transparência, Governança, Fiscalização e Controle e Defesa do Consumidor. A matéria não foi votada em nenhuma comissão.
- PL 808/2021 (09/03/2021)
Ementa: determina a instalação de infraestrutura para a recarga de veículos elétricos nas edificações de uso coletivo.
Autor: Senador Ciro Nogueira (PP/PI)
Última tramitação: 09/03/2021. Encaminhado para publicação no Plenário. Matéria ainda não foi distribuída às comissões temáticas que farão sua análise.
- PL 2.327/2021 (25/06/2021)
Ementa: altera a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar da logística reversa para baterias de veículos elétricos.
Autor: Senador Flávio Bolsonaro (PATRIOTA/RJ)
Última tramitação: 25/06/2021. Encaminhado para publicação no Plenário. Matéria ainda não foi distribuída às comissões temáticas que farão sua análise.
- PL 2.461/2021 (06/07/2021)
Ementa: cria o Programa de Modernização Veicular e Mobilidade Elétrica – MoVE Brasil; dispõe sobre as medidas de incentivo à transição para um transporte não poluente e sobre a instalação de estações de recarga de veículos elétricos; e dá outras providências.

Autor: Senador Jaques Wagner (PT/BA)

Última tramitação: 06/07/2021. Encaminhado para publicação no Plenário. Matéria ainda não foi distribuída às comissões temáticas que farão sua análise.

Sucintamente, os PLS nºs 304 e 454, de 2017, e o PL nº 2.461, de 2021, impõem datas limites para o uso de determinadas tecnologias veiculares. Os PL nº 5.590, de 2019, e nº 808, de 2021, tratam da questão da recarga em áreas públicas e edificações privadas. O PL nº 2.461, de 2021, por sua vez, trata desses dois assuntos, e de um programa de incentivo à modernização da indústria automotiva. O PL nº 340, de 2016, dispõe sobre o IPI dos VE e, por fim, o PL nº 2.327, de 2021, trata da logística reversa referente às baterias dos VE.

Finalmente, deve-se constatar que, de certa forma, as discussões estão avançando de forma lenta no Senado, uma vez que os três últimos projetos sobre o assunto sequer foram distribuídos às comissões temáticas que devem analisá-los, e a última aprovação de alguma das propostas aqui elencadas em uma comissão deu-se há mais de dois anos, em 11 de fevereiro de 2020, no caso do PLS nº 304, de 2017.

4 SOBERANIA TECNOLÓGICA E O MERCADO AUTOMOTIVO NACIONAL

Como apontado no item 2.5, os avanços da tecnologia automotiva são “condensados” em plataformas que dão origem a diversos modelos de veículos oferecidos ao público. Nesse sentido, a quantidade de tecnologias disponíveis para ser aplicada em determinado modelo é intrinsecamente relacionada à plataforma da qual o modelo deriva. Plataformas mais modernas possibilitam veículos com tecnologias mais modernas, e plataformas mais antigas dão origem a veículos tecnologicamente mais defasados.

É necessário reiterar essa informação porque decisões governamentais acerca da motorização dos veículos, longe de serem questões meramente abstratas, na verdade, podem impactar no acesso do País às novas tecnologias automotivas, em campos diversos como conectividade, digitalização e avanços em relação à segurança automotiva, entre outros.

Ainda mais grave, caso a indústria automotiva brasileira adote modelos de desenvolvimento totalmente descasados dos processos globais de transição tecnológica para a eletrificação, seja em decorrência de inação governamental, seja por pressão de *lobbies* contrários aos VE, seja por apego às tecnologias ora utilizadas, ou, ainda, pela conjunção de um ou mais desses fatores, corre-se o risco de o parque automotivo brasileiro ficar defasado tecnologicamente.

Nesse cenário, é evidente que a P&D realizada no Brasil estará também descasada da que será feita no restante do mundo. Em outras palavras, em vez de nos integrarmos e buscarmos liderar onde as vantagens comparativas que nossa P&D permite, corre-se o risco de realizar pesquisas que não interessarão sequer aos nossos mais próximos parceiros comerciais na América Latina.

Para melhor ilustrar esse ponto, pode-se usar uma analogia com a Embraer, empresa que é sem dúvida uma das líderes nacionais em P&D. Se essa empresa não fosse completamente integrada às cadeias globais de suprimentos aeronáuticos, nem oferecesse produtos que apresentem apelo comercial a um mercado global, é questionável se conseguiria sobreviver a longo prazo.

Evidentemente, o mercado aeronáutico tem suas especificidades, mas o ponto aqui é destacar que em uma indústria fortemente dependente da tecnologia, como a automotiva, é necessário tanto integração às cadeias globais de suprimento, como capacidade de exportar produtos com apelo comercial global.

Assim, ao decidir (por ação ou omissão) continuar a produzir *sine die* veículos com tecnologias defasadas ou descasadas do mercado global, o País tende a enfrentar dificuldades crescentes de exportar automóveis e autopeças. Essa situação, evidentemente, colocará nossa indústria automotiva (que corresponde a pelo menos 20% do nosso PIB industrial⁵³) em posição extremamente vulnerável a qualquer crise econômica, por menor que seja, uma vez que não se poderá contar com a válvula de escape da exportação para redirecionamento da produção local, como acontece hoje.

⁵³ De acordo com Daudt e Willcox (2018), disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/16241/1/PRCapLiv214167_industria_automotiva_compl_P.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2022.

Nesse sentido, planejar, apoiar e financiar a pesquisa e as requalificações necessárias à transição da indústria automotiva nacional é fundamental para a garantia de geração de empregos, para a relevância da produção tecnológica local, para a garantia de um ar mais limpo nas grandes cidades e para se ter carros cada vez mais seguros e capazes de se beneficiar das novas tendências em mobilidade urbana.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os dados que foram elencados neste artigo demonstram claramente o processo de rápida transição da indústria automotiva dos países mais desenvolvidos e da China em direção à eletrificação veicular. Mesmo em nosso entorno regional, países como Chile e Colômbia já contam com planos ambiciosos nesse sentido, com forte ênfase na eletrificação do transporte público.

Pelo lado tecnológico, como buscamos analisar, a transição para os veículos elétricos implica significativa mudança nas plataformas automotivas atualmente existentes, projetadas para uso com MCI.

Da conjunção desses dois fatores resulta a encruzilhada na qual o Brasil se encontra neste momento: se o Brasil mantiver a fabricação de veículos com tecnologias que podem se tornar obsoletas em alguns anos, sem nenhum plano de longo prazo para a transição ou harmonização com o restante do mundo, corre o risco de sofrer desindustrialização, concentração de mercado em poucas montadoras, e defasagem entre os padrões construtivos, de segurança e de tecnologia em relação aos *benchmarks* internacionais do setor.

A despeito disso, não temos conhecimento de nenhum plano sistêmico do Governo Federal para apoiar essa transição, ainda que em fase de discussão.

Assim, o que se percebe, é que talvez essa ausência de planos por parte do Governo Federal seja justamente decorrente de uma série de obstáculos que se interpõem no caminho de uma necessária mudança dos paradigmas tecnológicos adotados pela indústria automotiva nacional, entre os quais estão a oposição de interesses econômicos estabelecidos no *status quo*; a resistência a mudanças por parte de segmentos da academia e da elite intelectual; o excesso de burocracia nas instâncias decisórias; e o grau de fechamento da economia brasileira ao intercâmbio comercial.

A despeito disso, seria necessário planejar ou avaliar os seguintes aspectos deste processo de transição tecnológica:

- apoio econômico para a transição industrial para fabricação dos VE no Brasil;
- elaboração de um plano ou estratégia de mobilidade elétrica, de forma a balizar a indústria no tocante a seu planejamento de investimentos;
- no âmbito desse plano, estabelecer cronograma com datas limites para a venda de veículos com tecnologias em processo de obsolescência, para evitar uma crescente desarmonia entre a produção nacional e a de nossos parceiros comerciais;
- conclusão de acordos comerciais com União Europeia (UE), e demais destinos de exportação automotiva do Brasil;
- apoio federal à pesquisa e ao desenvolvimento de tecnologias ligadas à eletrificação veicular;
- apoio federal à requalificação e à recolocação da mão de obra ligada à fabricação de trens de força baseados em motores a combustão;
- apoio federal à troca de veículos de transporte coletivo dependentes do diesel por outras tecnologias de menor emissão de poluentes de impacto local e causadores de efeito estufa.
- formulação de plano para substituição/utilização de veículos das frotas oficiais por veículos eletrificados;
- aprimoramento do marco legal para recarga veicular; e
- fortalecer o Proconve⁵⁴, cumprindo e fiscalizando de forma rigorosa seu cronograma de metas de emissão de poluentes locais, e estipulando metas claras de redução da emissão de gases causadores de efeito estufa, inclusive CO₂.

Em relação ao primeiro ponto, vislumbra-se, no mínimo, a criação e o fortalecimento de linhas de crédito específicas junto a agências de fomento

⁵⁴ Programa de controle de emissões veiculares, criado pela Resolução Conama nº 18, de 6 de maio de 1986.

federais, como é o caso do BNDES⁵⁵. Ademais, a partir de estudos de custo-benefício economicamente embasados, pode-se pensar até em benefícios fiscais diversos, como isenção ou redução de determinados impostos de autopeças ou de produtos acabados por determinado período de tempo, com vistas à requalificação das fábricas nacionais para a produção de VE.

Esse financiamento poderia contemplar o investimento na fabricação em híbridos *plugin*, com utilização do etanol em substituição à gasolina, de forma a tornar mais gradual o processo de transição tecnológica e a permitir maior expertise na fabricação de baterias e motores elétricos no Brasil, até como forma de apoiar o desenvolvimento tecnológico local desses componentes.

Em conjunto com esse plano de apoio à requalificação da indústria automotiva, é necessário colocar um limite de longo prazo para a possibilidade de venda de veículos leves com tecnologias que vão ser abandonadas por nossos parceiros comerciais, de forma a estimular a adesão da indústria à mudança de paradigma.

Em países mais desenvolvidos é utilizada uma subvenção direta sobre o preço de venda do VE, quer dizer, o governo do país subsidia uma parte do preço do veículo a ser adquirido. Essa possibilidade, entretanto, deve ser vista com certa cautela para o caso brasileiro, uma vez que se trata ainda de veículos caros, e a adoção de tal opção pode ter um efeito político contrário ao que se pretende, ou seja, o de aumentar resistências ao processo de transição tecnológica. Uma alternativa para minorar esse efeito seria o de limitar seu usufruto a determinado teto de preço final do veículo, de forma a que segmentos menos abastados da sociedade também se beneficiem dele.

Em relação aos acordos comerciais, embora se trate de medida que iria beneficiar a indústria automotiva como um todo, facilita também a fabricação de determinados componentes elétricos no Brasil, com vistas à exportação para a União Europeia, por exemplo. Em contrapartida, poderíamos importar outros componentes, em uma solução de ganha-ganha que já foi aplicada em nosso comércio com a Argentina, e por países como México e Turquia, em acordos,

⁵⁵ Vide por exemplo, o Finame de baixo carbono em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finame-baixo-carbono>>. Acesso em: 10 mar. 2022.

respectivamente, com EUA e UE. Ou seja, nossa indústria automotiva poderia se beneficiar dos princípios econômicos da especialização e das vantagens comparativas, para poder concentrar recursos na fabricação apenas de determinados componentes que fossem mais competitivos.

Quanto à pesquisa, como apontado no item 2.3, a bateria talvez seja o maior obstáculo tecnológico atual à plena adoção dos VE. Assim, desenvolver novas composições químicas que utilizem matérias primas que sejam relativamente abundantes em nosso País, ou nos parceiros do Mercosul, por meio de alianças comerciais e técnicas, poderia reduzir o custo das baterias e potencialmente capacitar o Brasil a se tornar plataforma de exportação desse componente nas cadeias globais automotivas.

De todo modo, é necessário também intensificar as pesquisas em temas como as células de combustível de etanol (para torná-las mais baratas e de uso mais simples), a utilização desse biocombustível na aviação, ou mesmo a geração de energia elétrica a partir de biomassa, de forma a oferecer alternativas de uso do etanol para além de sua queima no interior dos motores a combustão dos veículos.

De fato, nem todas as rotas tecnológicas dessa transição estão já completamente definidas para todas as classes de veículos. Embora a tendência atual dos carros de passeio no cenário global já aponte para um paradigma de motor elétrico e bateria, não há tanta clareza, por exemplo, quanto aos caminhões mais pesados, em que várias alternativas tecnológicas ainda competem pela hegemonia comercial. Assim, se é estratégico para o País garantir uma demanda continuada para o etanol no Brasil e em outros países, deve buscar imediatamente as soluções tecnológicas que permitam sua utilização prática e economicamente competitiva nas classes de veículos com rotas tecnológicas ainda indefinidas.

A requalificação dos recursos humanos que atuam na indústria automotiva é outro objetivo evidente. Os atuais trabalhadores ligados à fabricação de câmbio e de motores a combustão precisam ser capazes de trabalhar com as tecnologias do futuro. Para isso, o ideal, parece-nos, seria usar estruturas existentes como as redes de ensino técnico, tais como SENAI e Institutos Federais e Estaduais, que já têm excelência e expertise no treinamento técnico para a indústria brasileira.

A troca da frota oficial para utilizar veículos elétricos, em conjunto com o adensamento da oferta de energia fotovoltaica para geração de energia renovável para abastecimento destes veículos e a demonstração de que tal opção significa menores custos ao contribuinte ao longo do tempo (TCO – *total cost of ownership*), além da substituição dos poluidores ônibus a diesel⁵⁶ no ambiente urbano, poderia estimular a demanda doméstica para a fabricação local desses veículos, e servir de vitrine para as vantagens ambientais e de custo (TCO) dos VE.

Quanto ao marco legal que estimule a expansão da rede de recarga veicular, parece-nos que a legislação deva contemplar três segmentos distintos: a recarga a ser realizada no estacionamento público das vias públicas, a recarga a ser realizada em locais privados de uso público (como no estacionamento de *shoppings* e hipermercados), e aquela nas edificações de uso coletivo. No primeiro caso, a regulamentação deve evitar o monopólio, no segundo caso ser a mais liberal possível, e no último caso, prever que pelo menos nas novas construções de uso coletivo, suas garagens contem com pontos de recarga com medição individual, a exemplo do que cidades como Brasília e São Paulo já estão fazendo.

Por fim, é importante registrar que muitos dos temas que aqui delineamos como necessários ao planejamento das ações para a mudança de paradigma estão propostos no mencionado PL nº 2.461, de 2021, do Senador Jaques Wagner. Assim, talvez um ponto de partida para o aprofundamento dessas questões seja a realização de um amplo processo de discussão, tomando como base o mencionado projeto, de forma a envolver os atores relevantes ao processo, e resultar em um norte para as ações que se fazem necessárias tomar.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de registrar os agradecimentos pelas valiosas contribuições e sugestões oriundas da Consultora Legislativa Liliane Galvão e do engenheiro Robson Ferreira Cruz.

⁵⁶ Vide Leal e Consoni (2021), *op. cit.*

Missão da Consultoria Legislativa

Prestar consultoria e assessoramento especializados ao Senado Federal e ao Congresso Nacional, com o objetivo de contribuir com o aprimoramento da atividade legislativa e parlamentar, em benefício da sociedade brasileira.



Núcleo de Estudos
e Pesquisas

Consultoria
Legislativa

SENADO
FEDERAL



ISSN 1983-0645