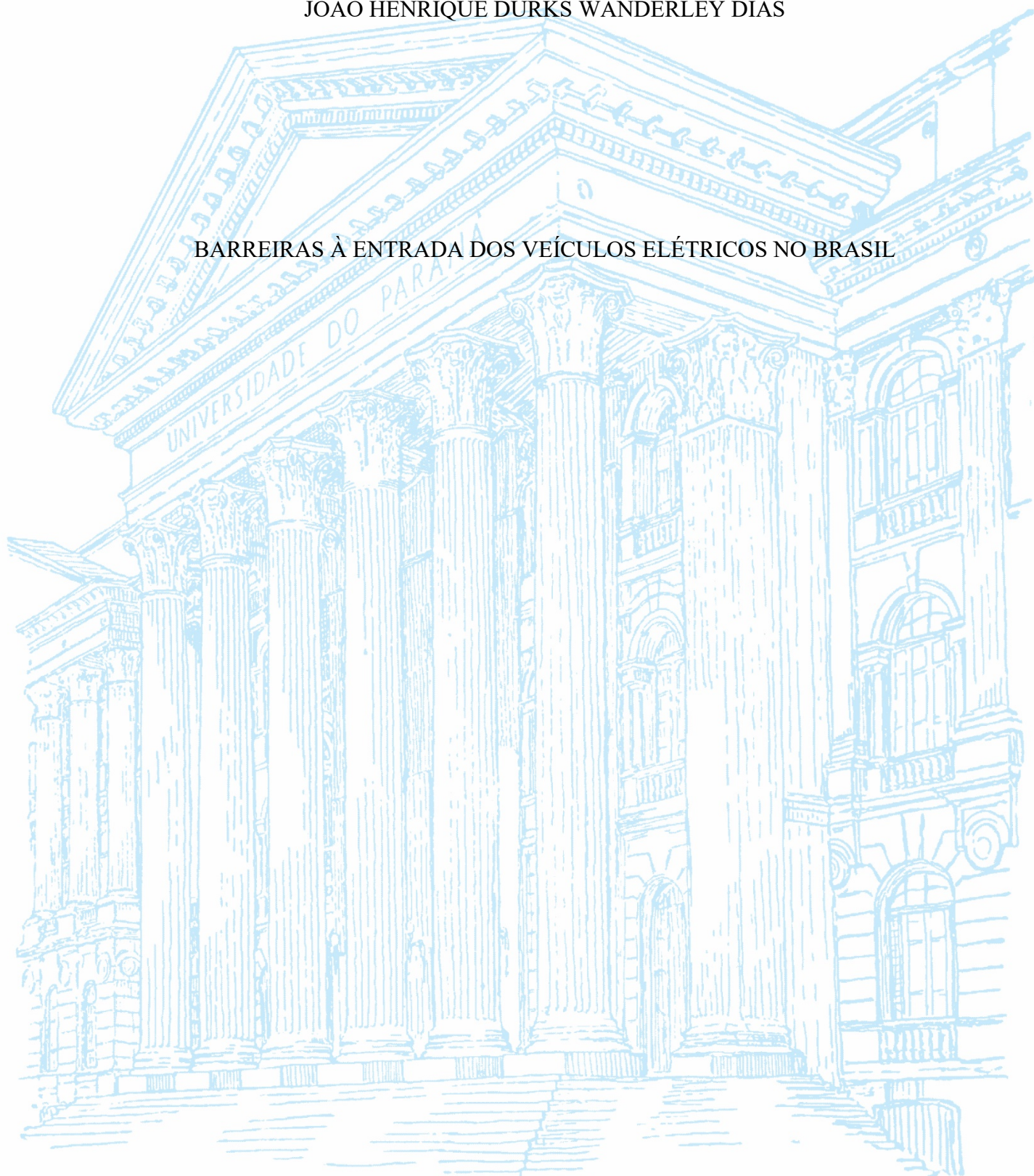


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO HENRIQUE DÜRKS WANDERLEY DIAS

BARREIRAS À ENTRADA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL



CURITIBA/PR
2023

JOÃO HENRIQUE DÜRKS WANDERLEY DIAS

BARREIRAS À ENTRADA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL

TCC apresentado ao curso de Graduação em Ciências Econômicas, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Walter Tadahiro Shima

CURITIBA/PR
2023

AGRADECIMENTOS

Registro meu agradecimento ao contribuinte brasileiro por me proporcionar a valiosa experiência de estudar ciências econômicas em uma universidade pública, gratuita e de qualidade.

“One damn thing follows another” (DAVID, Paul A.)

RESUMO

Este artigo estuda as barreiras à entrada de veículos elétricos no Brasil, com foco na dificuldade em viabilizar a transição do paradigma vigente (motor a combustão interna) para outra tecnologia em ascensão (eletromobilidade) no que diz respeito aos meios de transporte terrestres. Para tanto, demonstrar-se-á que a trajetória percorrida pela indústria automotiva a partir da consolidação do motor a combustão interna, ocorrida nas primeiras décadas do século XX, criou um ambiente hostil para a difusão tecnológica de outros meios de propulsão dos automóveis. Quanto mais se disseminou a tecnologia do carro movido a combustão, mais ela se fortaleceu e evoluiu por conta da interação de seus usuários e demais agentes econômicos. Aliado a isso, uma rede de serviços acessórios se desenvolveu em torno dessa tecnologia, com especial destaque para a indústria do petróleo. Dito isso, percebeu-se um aprisionamento tecnológico tendo como base o motor a combustão interna, relegando outras tecnologias de propulsão ao ostracismo. O trabalho destaca que será necessária uma política econômica anticíclica, contrária às forças do livre mercado, caso seja para valer a ideia de transição do modelo convencional de carros para os veículos elétricos, justificada pela legítima busca de redução da poluição promovida pelos carros com motor de combustão interna.

Palavras-chave: carros elétricos; dinâmica industrial; paradigma tecnológico; *path-dependence*; *feedback* positivo; aprisionamento tecnológico; ativos complementares.

ABSTRACT

This paper analyses the economic barriers to the entry of Electric Vehicles (EVs) in Brazil, mainly considering the challenges of a transition of current paradigm technology (Internal Combustion Engine - ICE) to a newly developed technology regarding to a road transportation. In order to do so, we intend to show that the road travelled by the automotive industry after the dominance of internal combustion engines, at the first quarter of the twentieth century, has created a hostile scenario to technological progression of other means of vehicles propulsion. The ICE technology has become stonger and stronger as a result of the spreading of its usage by a constant increasing number of users, and their interactions. Furthermore, a network of services has developed based on this dominant technology, with special mention to the oil industry. Having said that, the vehicles industrial development has got imprisoned (locked-in) in the technology based of ICE cars, relegating other alternative technologies to failure. This paper points out that a anticiclical economic policy, against the forces of the so-called free market, is needed if the idea of a paradigm transition of conventional cars is meant to be really pursued in order to reduce emission of pollutants exhausted by ICE cars.

Keywords: Electric Vehicles (EVs); industrial economic dynamics; technological paradigm; path dependence; technological aprisionment (lock-in); positive feedback; range of complementary services.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Proporção de Vendas de VEs (BEVs + PHEVs) no mundo em 2022 (10,2 milhões de unidades)	24
Gráfico 2 - Unidades Vendidas de EVs no Mundo (BEVs + PHEVs) de 2010 a 2022.....	24
Gráfico 3 - Emplacamento de Veículos Eletrificados no Brasil (Automóveis e comerciais leves).....	26
Gráfico 4 - Vendas de Veículos Eletrificados em março de 2023 no Brasil (5.989 unidades)	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de Veículos Leves eletrificados no Brasil	26
Tabela 2 - Ranking dos 10 modelos mais vendidos no Brasil em março de 2023 de veículos eletrificados (PHEV + HEV + BEV).....	27
Tabela 3 - Ranking dos 10 modelos mais vendidos no Brasil em março de 2023 somente em relação aos veículos elétricos “puros” (BEV).....	28

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1 A TRAJETÓRIA TECNOLÓGICA DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA: DA CONSOLIDAÇÃO DO MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA AO RESSURGIMENTO DO CARRO ELÉTRICO.....	14
2 CARRO ELÉTRICO: DEFINIÇÃO, CATEGORIAS E INFRAESTRUTURA	19
3 O PARADIGMA TECNOLÓGICO DO MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA COMO BARREIRA À ASCENSÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS.....	23
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
REFERÊNCIAS	36

INTRODUÇÃO

Nos últimos cem anos, o termo “meio de transporte rodoviário” foi praticamente sinônimo de “veículo equipado com motor de combustão interna”, cuja tecnologia se baseia na queima de combustível para gerar a energia necessária ao movimento do automóvel. Os gases poluentes que resultam dessa queima, no entanto, têm sido apontados como um dos principais responsáveis pela má-qualidade do ar e pelas mudanças climáticas, sem falar que o processo de obtenção dos combustíveis utilizados por esses motores representa, por si só, uma imensa fonte poluidora. A compreensão das externalidades ambientais negativas decorrentes da utilização da queima desses combustíveis nos meios de transporte está promovendo uma corrida tecnológica por um modelo de propulsão de maior eficiência energética, em substituição aos motores de combustão interna. Nessa disputa, o veículo elétrico tem tido protagonismo.

A descontinuidade do uso de uma tecnologia e a sua substituição por outra, porém, nem sempre ocorre de maneira fluida. No caso do setor automotivo, por exemplo, ocorreu um *processo* para que o motor a combustão se consolidasse como modelo tecnológico predominante. Um desencadeamento de atos em que tecnologias rivais foram abandonadas, grandes companhias surgiram e novas soluções foram desenvolvidas, com massivos investimentos em P&D, tudo baseado no padrão do motor a combustão. Com isso, a tecnologia foi se fortalecendo cada vez mais em um processo dependente da trajetória percorrida (*path dependence*), com crescente número de usuários aderindo à tecnologia (*feedback* positivo) e com o desenvolvimento concomitante de múltiplos produtos e serviços complementares que contribuíram para promover um aprisionamento tecnológico do setor nesse modelo (*lock-in*), o que fez com que o motor a combustão interna se tornasse um paradigma tecnológico para a indústria automotiva.

Assim, este trabalho teve por objetivo expor as dificuldades de transição do consagrado veículo movido a combustível para o elétrico, considerando a trajetória percorrida pelo paradigma atual, bem como analisar como está ocorrendo essa tentativa de migração em alguns países mais avançados no tema e no Brasil. Para tanto, a pesquisa partiu da análise de textos científicos que tratam da trajetória de tecnologias dominantes no setor industrial, em especial os trabalhos de Dosi (1982), David (1985) e Shapiro e Varian (1999), e em relação ao setor automotivo e veículos elétricos propriamente ditos, como Chan (2002), Freeman e Soete (2008) e Unruh (2000). No que tange aos dados relativos à frota de veículos e da participação de carros elétricos nos mercados selecionados, o estudo utilizou como fontes o Instituto

Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, a Associação Brasileira do Veículo Elétrico – ABVE e a *International Energy Agency* – IEA.

Em relação à estrutura, dividiu-se o trabalho em 3 partes, além de introdução e conclusão. Na primeira parte se discorreu sobre os fatores que fortalecem o paradigma vigente, como os mencionados *path dependence*, *feedback* positivo, aprisionamento tecnológico e ativos complementares, além de abordar aspectos históricos da indústria automotiva que culminaram na adoção do motor a combustão interna como modelo universal de propulsão dos automóveis. Em seguida, passou-se definir o que é um carro elétrico, as suas diferentes categorias e a infraestrutura exigida por esses veículos. Por fim, foram trazidos dados sobre a eletromobilidade em países selecionados e no Brasil, bem como se examinou se o paradigma tecnológico vigente representa uma barreira de entrada aos veículos elétricos. Desse modo, ao final da leitura deste estudo, pretende-se que o leitor tenha um panorama sobre a temática dos veículos elétricos e acompanhe, sob o enfoque de questões inerentes à dinâmica industrial, as discussões acerca das barreiras que esse segmento de mercado encontra para a sua maior disseminação, em substituição aos veículos convencionais.

1 A TRAJETÓRIA TECNOLÓGICA DO SETOR AUTOMOTIVO: DA CONSOLIDAÇÃO DO MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA AO RESSURGIMENTO DO CARRO ELÉTRICO

Inovação, investimentos em P&D, economia das ideias, destruição criativa e disrupção são termos muito utilizados em economia e outras matérias correlatas ao ambiente de negócios. São espécies de mantras que, repetidos à exaustão, passam a ideia de que a sobrevivência das firmas depende das suas capacidades de evoluir e de acertar qual será o passo seguinte de determinado setor, a fim de que não sejam rebaixadas em importância e competitividade.

Mas qual é a capacidade de as firmas inovarem e, com isso, promoverem a transição de uma tecnologia plenamente consolidada e que participa do cotidiano de grande parte das pessoas do planeta? O desenvolvimento de uma tecnologia que apresente vantagens em relação ao paradigma vigente é suficiente para que haja a adoção desse novo modelo? Quais são os obstáculos para a difusão de uma nova tecnologia que promova uma reestruturação de um setor altamente consolidado e rompa com toda uma cadeia produtiva? A partir de agora, procurar-se-á demonstrar que um padrão de referência é uma barreira difícil de ser superada quando se trata de dinâmica industrial de um setor plenamente estabelecido, ainda que do ponto de vista tecnológico haja vantagens para a descontinuidade do modelo vigente.

Fatores históricos que contribuíram para a formação e o desenvolvimento das atividades industriais de determinado setor são essenciais para compreender os motivos que levaram ao erguimento de algumas barreiras para a entrada de concorrentes e de novas tecnologias. Em outras palavras, escolhas feitas no passado podem definir o paradigma tecnológico e aprisionar o setor num modelo vigente. Com isso, a tecnologia em uso se fortalece, ganhando mais adeptos e afastando as opções rivais, em um processo de retroalimentação contínuo, de modo que o forte se fortalece e o fraco se enfraquece (SHAPIRO; VARIAN, 1999, p. 205).

A trajetória de desenvolvimento de um setor - ou de uma tecnologia dominante em determinado setor - é feita por escolhas muitas vezes excludentes. Ao se seguir dado caminho tecnológico, difícil será desviar-se dele e o progresso subsequente será *path dependence*, ou seja, dependente da trajetória percorrida. Com efeito, essa dependência da trajetória é a continuidade e aperfeiçoamento de um produto ou processo pelo fato de se tratar do modelo dominante, já arraigado no imaginário coletivo, dificultando a adoção de métodos alternativos, ainda que haja substitutos viáveis ou até superiores. Na elegante definição de

Erber (2009, p. 61), *path dependence* representa “a pesada mão do passado posta sobre o ombro do presente”.

Acontecimentos econômicos com característica *path dependence* são decorrentes de eventos e tomadas de decisões remotos, cujas escolhas não necessariamente se deram baseadas em critérios de cunho científico ou provenientes de escolhas racionais, maximizadoras de utilidade, mas sim ocorridas no mais das vezes com alguma carga de aleatoriedade e para atender situações de momento (DAVID, 1985, p. 332). O ponto de partida dessa rota eventualmente percorrida foi influenciado por elementos incertos e pode-se até posteriormente concluir, com o benefício de se olhar em retrospectiva, que havia melhores alternativas ao caminho escolhido. Contudo, ainda que eventualmente se conclua que haveria um trajeto alternativo vantajoso frente ao escolhido, pode ser difícil migrar de um caminho para outro, especialmente quando essa trajetória é “poderosa” (DOSI, 1982, p. 154).

A respeito, Arthur (1989, p. 116), ao procurar teorizar a dinâmica do processo de escolha de múltiplas alternativas em aparente equilíbrio, considerando os estágios iniciais de um modelo de negócio, escreve que a tecnologia que assume a liderança inicial pode eventualmente “encurrular o mercado” (“*corner the Market*”) e afugentar o uso das demais tecnologias concorrentes, de modo que a interação entre as forças econômicas e os eventos aparentemente aleatórios têm importância para as previsões econômicas.

O teclado para digitação no modelo QWERTY é um exemplo frequentemente utilizado para demonstrar a ocorrência de *path dependence*, tendo inclusive se cunhado o termo *QWERTY-Nomics* (DAVID, 1985, p. 334). O modelo de disposições das teclas foi desenvolvido sem levar em conta fatores como velocidade, ergonomia, usabilidade e intuição. No entanto, os datilógrafos daquela época desenvolveram suas atividades nesse *layout* de teclado e desde então o modelo permanece sendo o padrão, sem qualquer ameaça real de ser superado. Ainda que tenha se comprovado que há substitutos superiores no que tange à velocidade de digitação, a exemplo do modelo DVORAK, a migração de um método para outro encontra muita resistência e pouca adesão. A utilização do modelo QWERTY geração após geração torna cada vez mais improvável que se abandone o padrão, ainda que outros modelos sejam disponibilizados sem custos nos equipamentos eletrônicos atuais.

Outro exemplo de consolidação *path dependence* bastante lembrada é o padrão do editor de textos de computador *Microsoft Word*. Ainda que haja produtos rivais, o *layout* de todos eles se parecem com o do padrão *Word*, que é o mais conhecido. Se algum concorrente se desviar do padrão vigente, certamente estará a criar dificuldade aos usuários e a si mesmo, o que importará em prejuízo na busca de obter parcela significativa de mercado. Registre-se

que o conceito de *path dependence* também é utilizado em outras áreas do conhecimento, como na psicologia, por exemplo, com a mesma ideia central de que a formação e trajetória de um indivíduo são definidas por acontecimentos e decisões tomadas no passado.

Retornando a atenção para a dinâmica industrial, denota-se que a popularização de determinada opção tecnológica faz com que as tecnologias rivais se enfraqueçam e percam atratividade, afunilando um caminho a ser seguido, no qual os agentes econômicos passam a envidar esforços para o desenvolvimento e aperfeiçoamento do produto. Essa massa crítica de usuários fortalece a tecnologia adotada, em um sistema conhecido como **feedback positivo**. E mais, ocorre um **aprisionamento tecnológico** (*lock-in*) em relação aos recursos em uso, que tende a fortalecer ainda mais a tecnologia dominante (SHAPIRO; VARIAN, 1999, p. 205), formando, assim, um círculo virtuoso que se retroalimenta continuamente.

Infere-se, portanto, que não basta a existência de uma nova tecnologia para que ocorra a sua imediata adoção. É preciso que haja incentivos concretos para tanto, afinal, um setor altamente estabelecido apresenta a tendência de permanecer estagnado no paradigma vigente se tudo mais se mantiver constante. Vale dizer, em suma, que “a história importa” quando se fala em consumo e produção de bens e serviços e que a inércia é uma fonte poderosa para que não haja discontinuidades.

Ademais, note-se que a consolidação de uma cadeia produtiva baseada no padrão vigente também dificulta a transição de um modelo para outro em virtude do desenvolvimento de múltiplos produtos que têm de trabalhar juntos (SHAPIRO; VARIAN, 1999, p. 234). Afinal, acessoriamente a essa tecnologia vigente, muitos produtos e serviços são desenvolvidos para dar suporte e fazê-la funcionar, formando uma rede de **ativos complementares**, os quais também têm potencial de promover *path dependence*. Barassa (2015, p. 5) aborda a relação do *path dependence* e do aprisionamento tecnológico da seguinte maneira:

[...] uma vez escolhido o caminho que uma tecnologia irá seguir, há a atuação dos mecanismos autorreforçantes, exemplificados pelas combinadas interações entre sistemas tecnológicos e instituições de suporte, gerando um estado de aprisionamento tecnológico (*lock-in*).

Portanto, a ocorrência imbricada dos fatores *path dependence*, *feedback* positivo, ativos complementares e aprisionamento tecnológico fortalecem o paradigma vigente, dificultando sobremaneira a substituição de tecnologias de bens e serviços que já contam com ampla penetração popular por outras. Para se perquirir esse fenômeno na questão automotiva, é oportuno comentar a respeito da história da consolidação do motor de combustão interna

como referência tecnológica nos meios de transporte terrestres e os motivos que levaram ao ressurgimento das pesquisas envolvendo a eletromobilidade.

Carros movidos a eletricidade não são novidade na história dos meios de transporte terrestres: o veículo elétrico disputou a preferência dos consumidores e fabricantes nos primórdios da indústria de automóveis, antes de a tecnologia do motor de combustão interna se tornar hegemônica frente ao veículo elétrico e ao movido a vapor (FREEMAN; SOETE, 2008, p. 243). Sobre essa questão da competição entre as tecnologias, Chan afirma que a tecnologia de carro movido a energia elétrica existe desde 1834 e que durante a última década do século XIX empresas francesas, britânicas e estadunidenses produziram veículos elétricos em escala comercial (CHAN, 2002, p. 248). No mesmo sentido, Barassa (2015) afirma que até o início do século XX não existia um modelo predominante de propulsor de veículo terrestre, sendo que:

[...] o ano de 1905 é marcado pela ausência de uma rota tecnológica definida de propulsão veicular, a qual foi refletida na acirrada competição entre os três motores (a vapor; elétrico e a combustão interna), verificado por meio de dados quantitativos de veículos registrados com esta tecnologia nos Estados Unidos, pois a competição pelo tipo do motor dominante ocorreria de forma mais intensa nesse país (BARASSA, 2015, p. 19).

Aliás, afirma-se que por volta do ano de 1885 o motor de combustão interna era visto como a tecnologia menos promissora entre as opções existentes, visto que tóxico, poluente, barulhento, complicado e perigoso de manusear (UNRUH, 2000, p. 821). Do lado da eletromobilidade, porém, Geels (2005, p. 455) afirma que os carros elétricos construídos no final do século XIX e início do século XX sofriam com a fraqueza do motor elétrico e com o peso das baterias então utilizadas, mas com a vantagem de serem mais fáceis de ser conduzidos. Sobre esse embate entre as tecnologias e os respectivos pontos fracos, Cowan & Húltén *apud* Barassa (2015, p. 24), pontua que:

as três tecnologias de propulsão veicular tinham desafios de implantação e barreiras de ordem diversas. ‘As deficiências dos carros a gasolina eram: (1) o barulho emitido; (2) a dificuldade de partida; (3) o grande consumo de água; (4) baixa autonomia; e (5) baixa velocidade máxima... Os problemas com os carros a vapor eram: (1) necessidade de pré-aquecimento 20 minutos antes do deslocamento do veículo; e (2) grande consumo de água... Os maiores desafios para os carros elétricos: eram (1) a incapacidade de subir ladeiras; (2) baixa autonomia; e (3) baixa velocidade máxima.

Embora as três tecnologias concorrentes apresentassem problemas técnicos iniciais como os mencionados no excerto acima, os fabricantes de carros a gasolina foram encontrando soluções e aprimorando a tecnologia, ao passo que os produtores dos carros a vapor e elétrico foram incapazes ou não tinham incentivos do mercado para superar as

respectivas falhas (MARTINS, 2015). Sobre a questão do carro elétrico não ter tido sucesso nessa corrida tecnológica, Chan (2002, p. 248) afirma que fatores como a baixa autonomia das baterias existentes à época, o rápido desenvolvimento dos motores com combustão interna, a produção em massa destes veículos (fordismo) e a constante busca por redução de custos, fizeram com que os veículos elétricos praticamente desaparecessem de cena desde os anos 1930. Já o motor de combustão interna, por sua vez, tornou-se a tecnologia dominante na indústria automotiva e o veículo movido a queima de combustível se consolidou como o paradigma tecnológico em termos de veículo de transporte terrestre.

O marco da consolidação do veículo movido a combustão interna como modelo de transporte terrestre se dá com o sucesso do Ford Model T, produzido em grande escala a partir de 1908. O icônico carro lançado por Henry Ford tornou os automóveis movidos a gasolina amplamente disponíveis e a um preço menor do que o cobrado por um veículo elétrico ou movido a vapor. Segundo Jones (2000, p. 76),

[...] as linhas de montagem e as técnicas de produção em massa que permitiram à empresa de Henry Ford aprontar um Model T a cada 24 segundos e pagar um salário de 5 dólares ao dia, quando o vigente era de menos de metade disso, são inovações de negócio que mudaram profundamente a indústria de transformação nos EUA, estabelecendo o veículo a combustível como o modelo padrão de meio de transporte terrestre.

Sobre o preço do carro, tem-se que em 1912, o carro a gasolina custava US\$ 650, ao passo que um veículo elétrico era vendido a US\$ 1.750. Nesse mesmo ano foi introduzida a partida elétrica nos veículos movidos a combustão, eliminando a necessidade de acionamento manual da alavanca de arranque, o que até então exigia força física e causava diversos acidentes (MATULKA, 2014).

Paralelamente ao desenvolvimento e consolidação do motor a combustão interna, a indústria do petróleo se estruturou e fez com que o custo de rodagem do carro a gasolina fosse consideravelmente menor do que o dos veículos elétricos, lucrando, assim, com o modelo de negócio dos postos de abastecimento de combustíveis e com a venda de produtos derivados do petróleo.

A partir de então, a expressão meio de transporte terrestre foi praticamente equivalente a se referir a veículo impulsionado por motor de combustão interna. Por aproximadamente um século os carros foram concebidos nesse modelo, atingindo um altíssimo nível de aperfeiçoamento tecnológico, nos aspectos de segurança, design, conforto e eficiência energética. Por questões ambientais, porém, a reputação dos veículos tradicionais foi abalada e se busca uma alternativa mais sustentável ao motor que queima combustível.

Com isso, o carro elétrico passou a ser cobijado por gestores governamentais e consumidores por conta de seu apelo ambiental. A seguir, apresentar-se-á algumas questões técnicas do carro elétrico, seus diferentes tipos e a estrutura necessária para que seja considerado uma alternativa viável frente aos veículos convencionais.

2 CARRO ELÉTRICO: DEFINIÇÃO, CATEGORIAS E INFRAESTRUTURA

Na definição abrangente de Chan (2002, p. 247), "os veículos elétricos são meio de transporte terrestre que se deslocam através de propulsão elétrica". Ou seja, os veículos elétricos utilizam a eletricidade para se colocar em movimento, em substituição ao tradicional modelo de carro impulsionado por motor movido a combustão.

Segundo Lindström e Heimer (2017, p. 1), há duas concepções de veículos elétricos: i) a dos veículos que conservam em sua(s) bateria(s) a energia gerada externamente, ou seja, não há tecnologia de geração de energia no próprio carro; e ii) a dos veículos que produzem eletricidade a bordo através de célula combustível ou alguma outra forma de gerador.

De acordo com material elaborado pela Confederação Nacional dos Transportes, são características comuns de veículos movidos a eletricidade: "(i) o acionamento elétrico total ou parcial, (ii) o armazenamento de energia a bordo e a (iii) obtenção de energia majoritariamente da rede elétrica local" (CNT, 2022, p. 6).

Além da questão da propulsão, é importante notar que a adoção de veículos elétricos acarreta significativas alterações na cadeia de produção da indústria automobilística. Afirma-se que o processo produtivo é mais simplificado, pois demanda menos peças de reposição e dispensa equipamentos como bombas de combustível, filtros, correias, injetores, radiadores e alternadores, o que torna os custos de manutenção do veículo elétrico mais baixos do que os veículos a combustão interna (KLUG, 2013, *apud* BISPO; CECHIN, 2023, p. 3). Estima-se, com isso, que um carro elétrico demande 35% (trinta e cinco por cento) menos serviço de manutenção mecânica quando comparado a um carro movido a combustão (MARTINS, 2015 p. 151).

Do ponto de vista ambiental, os veículos elétricos são uma opção mais ecológica de transporte se comparado ao modelo convencional, visto que não há queima de combustível e emissão de gases poluentes quando em funcionamento. A relevância de uma eventual substituição de tecnologia é enorme, uma vez que se estima que o transporte terrestre represente 16% (dezesseis por cento) das emissões de poluentes na atmosfera, de acordo com a *International Energy Agency* (IEA, 2023).

Embora se assume que já se tenha atingido o ponto de saturação em relação ao tamanho da frota nos países atualmente desenvolvidos, é interessante observar que o crescimento econômico de países periféricos (e populosos) tende a aumentar a quantidade de veículos de transporte pessoal em circulação a nível global. Na China, por exemplo, estima-se que a propriedade de veículos por 1.000 pessoas sairá de 208 veículos em 2021, para 486 em 2060, indicando tendência de saturação ainda em 2045 com 444 veículos (BISPO, 2023, p. 13). Assim, dado o abissal tamanho da população chinesa (e de outros países em desenvolvimento), a continuidade do modelo de veículo movido a motor a combustão representaria uma grave ameaça em relação aos níveis de poluição e aquecimento derivados da emissão de gases pelos veículos tradicionais.

Do ponto de vista tecnológico, deixando de lado a questão da existência de infraestrutura destinada à eletromobilidade, já se pode afirmar que o veículo elétrico apresenta condições de concorrer com os veículos convencionais, pois a confiabilidade e durabilidade foram colocadas à prova pelos anos de uso destes automóveis movidos à eletricidade. Em relação à autonomia, da mesma forma, constata-se que o automóvel elétrico atende bem o(a) usuário(a) que normalmente não percorre grandes distâncias e cuja rotina lhe permite deixar o carro parado uma parte do dia para a recarga da bateria. Desse modo, observando o segmento apenas pela ótica do mercado (*market pull*), é possível afirmar que os veículos elétricos teriam potencial de adquirir parcela do mercado pelos seus próprios méritos, inclusive com espaço para a entrada de concorrentes no setor automotivo, a exemplo do que fez a TESLA MOTORS, com uma proposta de produzir apenas carros elétricos, cujo primeiro veículo foi lançado no ano de 2008 (GREGERSEN; SCHREIBER, 2023).

É oportuno mencionar que o segmento de veículos eletrificados é subdividido em quatro categorias, a depender da tecnologia utilizada, distinguidas pelas siglas **VEB**, **VECC**, **VH** e **VHP** (ou nas siglas em inglês, BEV, FCEV, HEV e PHEV, respectivamente) (LUNA, 2020, p. 43).

Os **Veículos Elétricos a Bateria** (*VEB*, *EV* ou *BEV*, de *Battery Electric Vehicle*) são os elétricos “puros”, 100% movidos a eletricidade. A propulsão se dá através de um ou mais motores alimentados por bateria(s), cuja recarga se dá através de energia elétrica provida por tomada (CHAN, 2002, p. 48). São exemplos de veículos 100% elétricos os modelos da montadora Tesla, o Chevrolet Bolt, o Nissan Leaf, o BMW i3, o Renault Zoe, os carros Jaguar da linha i-Pace, o Kia Soul EV e o Volkswagen ID.4.

Existe também a categoria **Veículos Elétricos de Células de Combustível** (**VECC** ou *FCEV*, de *Full Cell Electric Vehicles*), cuja eletricidade propulsora é produzida de forma

limpa através de hidrogênio ou outros combustíveis. O hidrogênio ao misturar com oxigênio gera uma corrente elétrica que carrega a bateria que fornece energia elétrica para o motor (CHAN, 2002, p. 48). São exemplos de carros que usam essa tecnologia o Toyota Mirai, o Honda Clarity Fuel Cell e o Hyundai Nexo. Os VEBs e os VECCs, portanto, não possuem motor a combustão.

Ao lado dos veículos genuinamente elétricos (VEB e VECC), há também os modelos **híbridos** (VH ou *HEV*, de *Hybrid Electric Vehicle*), que combinam dois motores: um movido a energia elétrica e outro a combustão. Esses carros geralmente utilizam a configuração elétrica quando em baixa velocidade ou para a realização de trajetos curtos, e o de combustão auxilia ao somar potência ou assume completamente o comando quando se exige mais potência do veículo. Nesses veículos, a recarga da bateria não é feita através de tomada: o próprio motor a combustão, o sistema de frenagem ou outro sistema de recuperação de energia fazem a recarga da bateria (CHAN, 2002, p. 48). O Toyota Prius foi um modelo de bastante sucesso no segmento HEV, lançado inicialmente em 1997. No Brasil, Toyota Corolla, Toyota Corolla Cross, Honda Civic, Kia Niro, Caoa Chery Tiggo 8 Pro e Toyota RAV4 são algumas opções de veículos híbridos.

Outra categoria de veículo eletrificado é o **híbrido *plug-in***, que atende pela sigla *PHEV*, de “*Plug-in Hybrid Electric Vehicle*” (LUNA, 2020, p. 43). Ele combina as características do híbrido HEV, com a recarga da bateria através de sistemas de recuperação (frenagem e “banguela”, principalmente), com o recurso de poder utilizar a energia elétrica convencional através de um cabo de recarga (“tomada”, por isso o termo *Plug-in* no nome, ou seja, “conectável”). Tal como nos HEVs, os dois tipos de motor podem funcionar isoladamente ou de forma combinada, somando esforços para oferecer o desempenho que o carro necessita em dado momento. Ou seja, na prática, esses híbridos *plug-in*, quando usados em percursos curtos (em média, entre 40 e 50 km), funcionam como carros puramente elétricos. E, na estrada ou outros trajetos maiores, podem operar como carros a combustão normal. São modelos de veículos PHEV o BMW i8, o Mercedes Benz C350e, o Volvo V60 PHEV, o Mitsubishi Outlander PHEV e o Volkswagen Golf GTE.

Note-se, por oportuno, que quando se está a falar em veículo 100% elétrico, ou seja, totalmente independente de combustível derivado de petróleo, referimo-nos aos *BEVs* (*Battery Electric Vehicle*) e *FCEVs* (*Full Cell Electric Vehicle*), sendo que a participação de *FCEVs* no número de vendas de veículos elétricos é pouco relevante (KANE, 2023). Feita a diferenciação dos veículos elétricos, é de se ressaltar que a tecnologia que ao menos por ora começa a ameaçar os veículos convencionais é a dos veículos elétricos a bateria (VEBs).

Indo adiante, assim como os veículos convencionais necessitam de uma rede que explore os setores de fornecimento de combustível, de suprimento de peças e de prestação de serviço especializada, a popularização dos Veículos Elétricos a Bateria (VEBs) também depende da existência de uma infraestrutura apropriada. Os onipresentes veículos a combustão contam a seu favor com toda uma rede de postos de combustíveis para o abastecimento dos carros e o usuário, em situações normais de abastecimento, não encontra dificuldades para localizar o combustível de preferência e encher o tanque de seu carro em poucos minutos, conferindo-lhe uma autonomia de rodagem de centenas de quilômetros. Já os carros elétricos, aqui mencionados os elétricos puros (BEVs) e em menor medida os híbridos *plug-in* (HPEVs), dependem da existência de uma infraestrutura própria, voltada à recarga das baterias elétricas. Para Chan (2002, p. 270),

[...] o sucesso no desenvolvimento de uma infraestrutura de recarga de baterias deve levar em conta os seguintes aspectos: a) disponibilidade de locais de recarga; b) conveniente modo de pagamento pela recarga; c) padronização das baterias e dos recarregadores; d) regulação acerca de uma recarga limpa e segura; e) apoio através de treinamentos e medidas de promoção; e f) consequências sobre o setor de energia.

Do lado da oferta, o investimento na criação de infraestrutura para veículos elétricos passa pela análise da existência de demanda para tanto. Na economia de rede, o valor de uma rede depende do número de pessoas que se conectarão a ela (SHAPIRO; VARIAN, 1999). Desse modo, a questão da instalação de infraestrutura adequada para a popularização dos veículos elétricos depende da atratividade que a nova tecnologia exerce sobre potenciais consumidores, de modo que se crie uma demanda para a utilização dessas eventuais instalações.

Há variados dispositivos de recarga de bateria de veículos elétricos, cujo tempo necessário para proporcionar uma carga completa varia de dispositivo para dispositivo. A autonomia do veículo Nissan Leaf, por exemplo, é de 192 km e a carga completa da bateria pelo carregador padrão do carro, na voltagem 220V, leva 20 (vinte) horas. Porém, se for utilizado o carregador “Super Rápido”, disponível em estações públicas localizadas geralmente junto a postos de combustíveis de algumas rodovias, 80% da bateria é carregada em 40 minutos (NISSAN, 2023).

Pelo exemplo acima, percebe-se que o mais conveniente ao usuário do veículo elétrico seria a existência de diversas estações públicas de abastecimento de alta potência de baterias, o que ainda não se verifica no país. Não obstante, segundo a Associação Brasileira do Veículo Elétrico – ABVE, em maio de 2023 já havia cerca de 3.200 eletropostos públicos

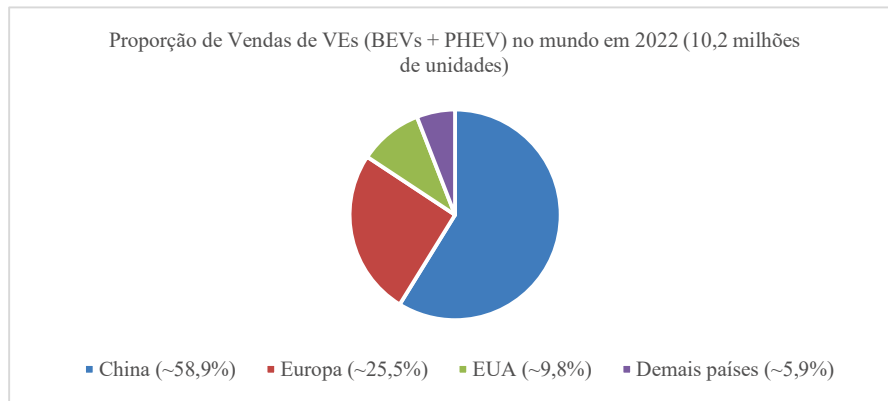
e semipúblicos no país, com estações sendo instaladas quase que diariamente, o que mostra o crescimento da eletromobilidade no Brasil (ABVE, 2023). Percebe-se, assim, que, ainda que de forma incipiente, o setor de veículos elétricos vem ganhando tração no país e que a criação da infraestrutura necessária ocorrerá de forma concomitante ao aumento da quantidade desses carros em circulação, ainda que lenta e gradual. De novo é oportuno mencionar, porém, que não há no momento qualquer ameaça à hegemonia do carro movido a motor de combustão interna como paradigma vigente no país e que a difícil tarefa que é a alteração do modelo universal de veículos de locomoção terrestre para a eletromobilidade somente ocorrerá se houver maiores incentivos para isso, conforme será visto na sequência do trabalho.

Feitos os esclarecimentos acerca do que é o veículo eletrificado, seus diferentes segmentos e a estrutura necessária à recarga dos BEVs, no próximo capítulo será tratado da participação desses veículos no mercado internacional e brasileiro de veículos de passeio e comerciais leves, bem como as dificuldades de transição do veículo movido a combustão para o carro elétrico.

3 O PARADIGMA TECNOLÓGICO DO MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA COMO BARREIRA À ASCENSÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

Enquanto no Brasil o mercado de veículos elétricos dá seus primeiros passos, a realidade em países da Europa, nos Estados Unidos e na China é outra. Já é comum ver veículos elétricos rodando nesses locais e a participação de mercado deles no número total de vendas já é bastante relevante. Segundo dados da IEA, a participação conjunta desses 3 *players* representou algo em torno de 94% (noventa e quatro por cento) das vendas globais de veículos elétricos no ano de 2022. No período, foram vendidas aproximadamente 10,2 milhões unidades de veículos elétricos no **mundo**, sendo que 6 milhões foram vendidas na **China**, 2,6 milhões na **Europa** e 1 milhão nos **Estados Unidos** (IEA, 2023). O Gráfico 1 representa a proporção de vendas globais de veículos elétricos por país/região no ano de 2022.

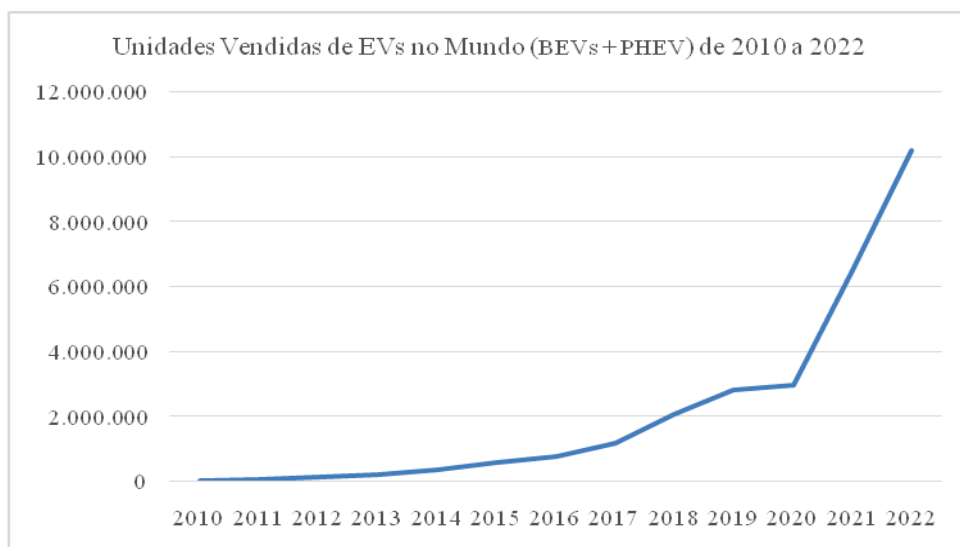
Gráfico 1 - Proporção de Vendas de VEs (BEVs + PHEVs) no mundo em 2022 (10,2 milhões de unidades)



Fonte: Elaboração própria, com dados de IEA, 2023.

Esses 10,2 milhões de veículos elétricos novos corresponderam a 14% do total de vendas globais de carros no ano de **2022**. Em **2021**, as vendas de veículos elétricos foram de 6,6 milhões de unidades, o que representou cerca de 9% do mercado global de veículos daquele período. Se voltarmos pouco mais no tempo, em **2012** cerca de 130.000 carros elétricos foram vendidos no mundo. Até o final de **2023**, estima-se que terão sido vendidas 14 milhões de unidades de veículos elétricos, representando um aumento de aproximadamente 35% em relação às vendas do ano anterior (IEA, 2023). Percebe-se, portanto, que a participação de veículos elétricos na venda de automóveis cresce de forma vertiginosa ano a ano, capitaneado pelos países acima mencionados, conforme ilustrado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Unidades Vendidas de EVs no Mundo (BEVs + PHEVs) de 2010/2022



Fonte: Elaboração própria, com dados de IEA, 2023.

Esse crescimento consistente no número de vendas de veículos elétricos é fruto de avanços tecnológicos aliado a medidas de incentivos à aquisição de veículos elétricos, como subsídios e isenção ou redução de tributos. Além disso, a quantidade de modelos de veículos eletrificados disponíveis nessas mencionadas regiões é farta, desde carros de entrada aos de alto padrão. No cenário doméstico, porém, os números não são tão animadores, embora se verifique um crescimento constante no número de vendas de veículos eletrificados por aqui.

Em que pese o Brasil seja um importante *player* no setor automobilístico global, com uma frota em 2022 estimada em 115 milhões de veículos, dos quais 75 milhões de automóveis, caminhonetes e camionetas (IBGE, 2023), ainda é pouco relevante no que se refere ao segmento de veículos elétricos. Sexto maior mercado de veículos automotores, o Brasil tem uma indústria automotiva robusta que em 2022 ocupou a oitava colocação mundial em termos de quantidade de veículos produzidos e em 2020 foi responsável por gerar aproximadamente 1,2 milhão de empregos diretos e indiretos no país (ANFAVEA, 2023), mas que ainda não produz veículos elétricos no país. O surgimento – ou adaptação – da indústria automotiva visando à fabricação de veículos elétricos no país exigirá vultuosos investimentos, capacitação de mão-de-obra, P&D, políticas públicas e a atuação coordenada do setor produtivo para que o paradigma vigente não eclipse a tentativa de ascensão da nova tecnologia. Como foi visto no início do estudo e será retomado adiante, o modelo dominante, a trajetória percorrida, a disseminação do uso dessa tecnologia e toda a rede de ativos complementares que orbita em volta desse padrão são fatores que tendem a aprisionar o setor no modelo vigente.

Para iniciar o entendimento acerca da quantidade de veículos leves eletrificados no Brasil, confira-se os números constantes da Tabela 1, que demonstra a quantidade de veículos dessa categoria emplacados no Brasil de janeiro de 2012 a maio de 2023.

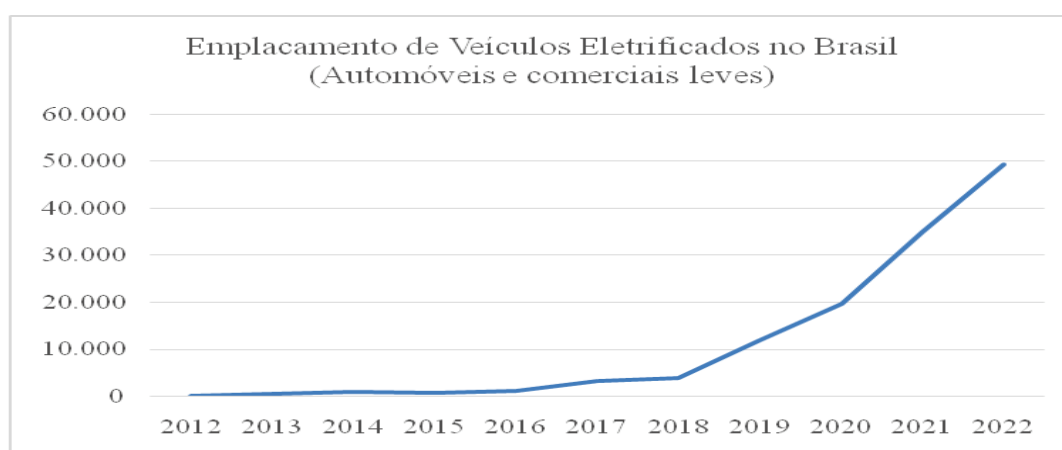
Tabela 1 - Número de Veículos Leves eletrificados no Brasil

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2012	9	16	7	3	13	23	5	3	2	2	18	16	117
2013	45	22	53	50	12	29	65	45	23	39	52	56	491
2014	93	61	65	53	94	52	61	79	71	53	87	86	855
2015	72	56	61	73	72	74	74	100	82	55	65	62	846
2016	58	64	60	137	41	91	48	59	79	93	159	202	1.091
2017	178	157	227	176	208	238	268	627	384	243	240	350	3.296
2018	272	254	367	367	302	382	262	262	286	405	374	437	3.970
2019	370	287	336	290	357	716	960	867	1.264	1.989	2.013	2.409	11.858
2020	1.568	2.053	1.570	442	601	1.334	1.668	1.943	2.113	2.273	2.231	1.949	19.745
2021	1.321	1.389	1.872	2.708	3.102	3.507	3.625	3.873	2.756	2.787	3.505	4.545	34.990
2022	2.558	3.435	3.851	3.123	3.387	4.073	3.136	4.249	6.391	4.460	4.995	5.587	49.245
2023	4.503	4.294	5.989	4.793	6.435								26.014
TOTAL													152.518

FONTE: ABVE Data/Renavam/Anfavea/Abeifa

Como a série histórica acima (Tabela 1) indica, o Brasil emplacou 49.245 veículos elétricos no ano de 2022, o que representou um incremento de 40,74% comparado ao ano anterior. Nos cinco primeiros meses de 2023 já foram emplacados 26.014 veículos eletrificados, o que cria expectativa de superação em relação ao ano anterior. Todavia, representou apenas algo próximo de 2,2% (dois vírgula dois por cento) das vendas de automóveis e comerciais leves no ano de 2022, que foi em torno de 2,2 milhões de unidades, segundo informações da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2023).

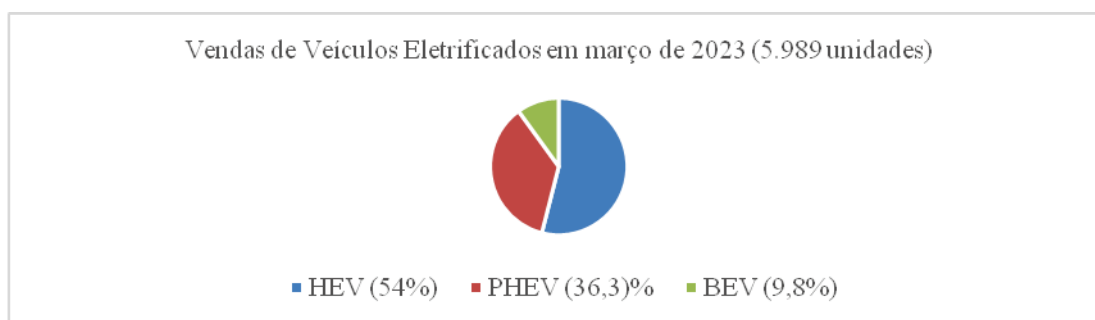
Os números constantes na Tabela 1 estão representados no Gráfico 3, o que demonstra visualmente o vertiginoso crescimento do emplacamento desses veículos principalmente a partir do ano de 2018.

Gráfico 3 - Emplacamento de Veículos Eletrificados no Brasil (Automóveis e comerciais leves)

Fonte: elaboração própria a partir de dados da ABVE Data/Renavam/Anfavea/Abeifa.

Em relação à frota, a ABVE apontou que em março deste ano havia um total de 141.291 veículos leves eletrificados em circulação no Brasil. Por segmentos, dos 5.989 veículos eletrificados emplacados em março deste ano, 3.230 foram de HEVs, 2.172 de PHEVs e apenas 587 de BEVs. Como se vê, os veículos híbridos dominam o mercado nacional de veículos eletrificados e o segmento de BEVs é incipiente.

Gráfico 4 - Vendas de Veículos Eletrificados em março de 2023 no Brasil (5.989 unidades)



Fonte: elaboração própria a partir de dados da ABVE Data/Renavam/Anfavea/Abeifa.

Na Tabela 2 estão indicados os modelos e a quantidade dos veículos elétricos mais vendidos no mês de março de 2023 no Brasil. Note-se que a lista é formada exclusivamente por veículos híbridos, ou seja, nenhum deles dispensa o motor de combustão interna.

Tabela 2 - Ranking dos 10 modelos mais vendidos no Brasil em março de 2023 de veículos eletrificados (PHEV + HEV + BEV)

RANKING	MODELO	MONTADORA	VENDAS	CATEGORIA
1º	COROLLA CROSS	TOYOTA	1184	HEV
2	COROLLA ALTIS	TOYOTA	583	HEV
3	XC60	VOLVO	504	PHEV
4	TIGGO 5X	CAOA CHERRY	355	HEV
5	TIGGO 8	CAOA CHERRY	287	PHEV
6	SONG PLUS	BYD	205	PHEV
7	RAV4	TOYOTA	176	HEV
8	DISCOVERY	LAND ROVER	170	PHEV
9	Q5	AUDI	157	PHEV
10	CAYENNE	PORSCHE	152	PHEV

FONTE: ABVE, 2023b.

Agora considerando apenas os veículos 100% elétricos (BEV), confira-se abaixo a Tabela 3 contendo a lista dos 10 carros mais vendidos em março de 2023 e o respectivo número de unidades vendidas.

Tabela 3 - Ranking dos 10 modelos mais vendidos no Brasil em março de 2023 somente em relação aos veículos elétricos “puros” (BEV)

RANKING	MODELO	MONTADORA	VENDAS	CATEGORIA
1º	XC40	VOLVO	117	BEV
2	YUAN PLUS	BYD	85	BEV
3	IX	BMW	47	BEV
4	COOPER	MINI	40	BEV
5	E-JS1	JAC	38	BEV
6	IX3	BMW	37	BEV
7	C40	VOLVO	27	BEV
8	TAYCAN	PORSCHE	24	BEV
9	E TRON	AUDI	23	BEV
10	TAN	BYD	15	BEV

FONTE: ABVE, 2023b.

Da leitura dos números trazidos nesta seção (Tabelas 2 e 3), é possível extrair que os veículos híbridos (HEV e PHEV) predominam no segmento de veículos eletrificados no Brasil e que os veículos elétricos “puros” (BEV) correspondem a uma parcela ainda muito pouco expressiva da frota nacional. Cabe destacar que a oferta de modelos de carros eletrificados no Brasil é pequena quando comparada às opções existentes nos mercados centrais, como Europa, Estados Unidos e China. Além disso, os modelos à disposição no mercado brasileiro não são fabricados no Brasil e possuem um valor significativamente alto quando considerado o padrão médio de renda do brasileiro. Esses fatores certamente contribuem para que a participação de veículos eletrificados no mercado brasileiro ainda seja bastante tímida.

Os números mostrados acima (Tabelas 1, 2 e 3) demonstram que o Brasil ainda está profundamente ancorado no modelo convencional de automóvel. Afinal, os veículos rodoviários com que nos acostumamos a viver no último século são, via de regra, dotados de motor de combustão interna, cuja energia produzida com a queima de combustível movimenta as engrenagens mecânicas responsáveis por impulsionar o veículo. Conforme já mencionado no decorrer deste estudo, esse modelo de propulsão é apenas uma das formas tecnológicas já concebidas na história dos meios de transporte, bem como que as tecnologias do motor a vapor, do veículo elétrico e do motor a combustão disputavam em condições de igualdade a preferência dos consumidores nos primórdios do surgimento dos automóveis, cada qual com suas vantagens e desvantagens, características de um setor industrial em construção e que ainda não tinha seu paradigma consolidado.

As consequências da consagração do motor a combustão interna como padrão tecnológico para os automóveis estão presentes ainda hoje na indústria automobilística. Desde então, passados mais de 100 anos de reinado do motor térmico, toda uma indústria calcada no modelo tecnológico do veículo impulsionado pela queima de combustível foi desenvolvida e estabelecida. Foi com base nesse padrão que as pesquisas e aperfeiçoamentos foram realizados para que se alcançasse o estágio dos veículos atuais – vide aspectos como, por exemplo, funcionalidade, confiabilidade, resistência, conforto, refinamento e estética. Note-se que o motor a combustão interna é um modelo dominante de tal modo que muitas inovações mecânicas ainda estão focadas em mudanças incrementais, como foram os casos da injeção eletrônica, dos filtros de partículas e de outros produtos que visaram trazer maior eficiência energética (CECERE et al, 2014). Observa-se, dessa forma, a ocorrência de um processo *path dependence*, haja vista que o setor automotivo se manteve fiel à tecnologia do motor térmico, sem se desviar desse caminho até o ressurgimento do interesse nos veículos elétricos por conta de questões ambientais.

O fenômeno do *path dependence* no setor automotivo é acentuado e a superação do paradigma vigente se mostra uma tarefa extremamente complexa, haja vista que o motor a combustão interna não funciona isoladamente e demanda um conjunto de ativos complementares para funcionar. Assim, em paralelo com a própria indústria automotiva, desenvolveram-se atividades de produção de bens e de prestação de serviços especializados, no que se destaca a indústria petrolífera. Todo esse aparato criado no entorno da indústria automobilística "representa um agregado de ativos, tecnologias e tudo mais que formam o conjunto de uma tecnologia ou produto" (MARTINS, 2015, p. 46). O surgimento e a trajetória desses ativos complementares (fabricantes, empresas petrolíferas e de postos de combustível) também são produto do paradigma tecnológico e decorrentes de *path dependence* (MARTINS, 2015, p. 98).

Papel fundamental na consolidação do motor a combustão como tecnologia dominante foi desempenhado pela indústria do petróleo, pois no início do século passado o custo de rodagem dos veículos a gasolina se mostrou mais em conta se comparada ao dos carros elétricos. Com isso, estabeleceu-se uma infraestrutura de postos de abastecimento de forma concomitante ao crescimento da frota de veículos movidos a gasolina, o que representava mais um incentivo para que o consumidor aderisse ao motor a combustão interna em detrimento das tecnologias concorrentes (BARASSA, 2015, p. 25).

De modo que o modelo referencial de veículo movido a motor a combustão e essa rede já estabelecida de ativos complementares tiveram o efeito de atrair e aprisionar os

usuários nesse mesmo modelo. Segundo Maldonado, Vaz e Teixeira (2023), os veículos de motor a combustão interna usufruíram dos fatores de *lock-in* que mantiveram a trajetória tecnológica dominante dessa tecnologia por décadas, o que aumentou suas vendas, gerando mais recursos para desenvolvimento, que aumentaram a lacuna tecnológica com o carro elétrico (MALDONADO, VAZ, TEIXEIRA, 2023, p. 3). E mais, a base enorme de usuários dessa mesma tecnologia promoveu incrementos decorrentes da própria utilização e avaliação feita pelos usuários, num processo de *feedback* positivo. Com o massivo uso da tecnologia do motor a combustão interna por uma massa de usuários, a tecnologia dominante se fortalece cada vez mais, enfraquecendo as substitutas. “O forte fica cada vez mais forte e enfraquece o rival” (SHAPIRO; VARIAN, 1999, p. 205). Sobre a interação entre o *feedback* positivo e os ativos complementares, Barassa (2015, p. 27) escreve que:

Ganhos de aprendizado foram acumulados, obtidos através da experiência de produção e know-how. Estes fatores exerceram influência na diminuição dos custos produtivos e aumento de desempenho. A expansão do mercado e do conhecimento sobre o motor a combustão interna fez com que as incertezas quanto ao sucesso da tecnologia fossem atenuadas. Tanto os usuários quanto os desenvolvedores/produtores passaram a adquirir gradativamente mais confiança acerca da qualidade, confiabilidade e desempenho da tecnologia. Este complexo foi composto por empresas e organizações diversas e surgiu a partir da necessidade de alinhamento industrial das atividades ligadas ao processo de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento), produção e comercialização dos motores a combustão interna e seus subsistemas. Salientamos aqui, como exemplo, atores que compuseram esta rede por meio de empresas responsáveis pela produção do motor a combustão interna e dos diversos componentes relacionados como transmissão, caixa de marchas e afins. Incluem-se nesta rede também os atores responsáveis pela manutenção do motor a combustão interna, como a infraestrutura de abastecimento dos automóveis (postos de combustíveis) e as oficinas e centros especializados em calibragem e manutenção mecânica. Ou seja, o sucesso do motor a combustão interna deu-se mediante a integração das empresas que compunham toda a cadeia automobilística, cada uma desempenhando sua respectiva competência.

Assim, quanto mais se trilhou o caminho aberto pela opção de concentrar recursos e esforços no modelo de veículo dotado de motor a combustão interna, maior grau de eficiência essa tecnologia apresentou, relegando as demais tecnologias rivais ao ostracismo. É a concretização da expressão “*the winner takes it all*”, em que o vencedor deixa pouco ou mesmo nada para os demais participantes (SHAPIRO; VARIAN, 1999, p. 208).

Com efeito, o avanço tecnológico pode, sim, vir a ocorrer e o paradigma vigente ser eventualmente superado. Essa superação se dá em virtude de fatores de mercado (*demand pull* ou *market pull*) ou em decorrência do próprio progresso tecnológico (*technology push*). Mudanças contínuas, como é o caso das melhorias incrementais, frequentemente estão relacionadas ao progresso no próprio curso da trajetória tecnológica dominante, sem que se afaste do padrão vigente. Isso se explica pelo fato de a trajetória percorrida pela tecnologia

dominante ser algo poderoso e que torna os concorrentes “cegos” em relação a outras possibilidades tecnológicas (DOSI, 1982, p. 153). Já descontinuidades estão associadas com o surgimento de um novo paradigma, o que, via de regra, não ocorre por forças do mercado, e sim da interrelação/simbiose entre avanços científicos, fatores econômicos, variáveis institucionais e dificuldades não resolvidas na trajetória tecnológica estabelecida (DOSI, 1982, p. 157).

Como visto, a indústria automobilística se consolidou sob o modelo paradigmático do motor de combustão interna e a tendência, *ceteris paribus*, é de se manter no caminho já conhecido. A transição para uma nova tecnologia pode não ser do interesse de empresas fortemente consolidadas, com poder político e econômico suficientes para adotar estratégias concorrenciais que dificultem ou ao menos ditem o ritmo de disseminação dessa nova tecnologia. Uma transição súbita, além de econômica e materialmente inviável de ocorrer, acarretaria o sucateamento da indústria ora existente¹. Nesse quesito, as forças do livre mercado atuam contra a superação do paradigma vigente e a atuação estatal no papel de agente indutor dessa transformação é inquestionável. Vale dizer, portanto, que o descolamento de um modelo já consolidado é difícil e só ocorrerá se houver incentivos indiscutíveis para que haja essa descontinuidade.

Infere-se, portanto, que não basta a existência de uma nova tecnologia para que ocorra a sua imediata adoção, é preciso, repita-se, que haja incentivos concretos para tanto, afinal, um setor altamente estabelecido apresenta a tendência de permanecer estagnado no padrão vigente e não se desviar da trajetória percorrida. Vale dizer, em suma, que “a história importa” quando se fala em consumo e produção de bens e serviços. Para Barassa (2015, p. 6),

com base nas barreiras e desafios que o veículo elétrico possui, seja no âmbito de sua consolidação no mercado, seja no aperfeiçoamento de sua tecnologia, é possível afirmar que o desenvolvimento do veículo elétrico não depende somente dos esforços das empresas que compõem o setor automobilístico, mas de um conjunto de organizações que transcendem a esfera corporativa, além do importante papel das instituições, do Estado e dos conjuntos de conhecimentos que envolvem este processo.

Portanto, para além da superação da questão da inovação tecnológica, as dificuldades para a **difusão** dessa nova tecnologia são uma barreira à entrada em um setor altamente consolidado. Para que ocorra a difusão de novas tecnologias, é preciso superar fatores

¹ Como curiosidade, oportuno mencionar o documentário “*Who Killed the Electric Car?*”, de 2006, dirigido por Chris Paine, que procura demonstrar as estratégias de boicote que as próprias montadoras adotaram para inviabilizar a disseminação dos veículos elétricos no início deste século.

condicionantes, que podem ser divididos em institucionais, econômicos e técnicos (TIGRE, 2006 *apud* MARTINS, 2015, p. 70). Como condicionante técnico, é preciso que a autonomia do veículo elétrico seja suficiente para que o modelo de transporte seja visto como uma opção viável. Do ponto de vista econômico, o passo de difusão tecnológica dos veículos elétricos está condicionado ao fato de não apresentar um custo proibitivo quando comparado ao carro convencional. Por fim, sob o viés institucional, a difusão do carro elétrico depende da existência de um ambiente propício para que os consumidores prefiram a aquisição de carros elétricos.

Com efeito, em nível global a indústria não está migrando para um modelo alternativo aos combustíveis fósseis por uma questão de consciência ambiental, mas para atender a legislações que restringem os níveis de emissão de poluentes pelos meios de transporte (MARTINS, 2015, p. 136). Em não havendo uma legislação severa que induza a indústria automotiva a migrar para o setor da eletromobilidade, não há por que se imaginar que essa transição ocorrerá subitamente apenas movida pelas forças do mercado. Todo o investimento em tecnologia feita por essas empresas no motor a combustão interna não será abandonado espontaneamente.

Além disso, é oportuno registrar que a realidade brasileira é diversa dos demais países. O fato de o Brasil ter uma matriz energética considerada “limpa” deixa o país em melhor posição para atender aos compromissos assumidos no Tratado de Paris e outros acordos internacionais que preveem medidas a serem implementadas pelos países signatários na tentativa de mitigar as mudanças climáticas geradas por ações antrópicas (ONU, 2015). Medidas de combate ao desmatamento ilegal e outras medidas de melhor aproveitamento dos recursos naturais, por exemplo, podem ser buscadas para reduzir a pegada de carbono do país, sem que com isso se crie entraves aos carros que utilizam a tecnologia de combustão interna.

Um fator importante a mencionar é que a pegada ecológica do carro elétrico é dependente da matriz energética utilizada na recarga das baterias. Se o país utiliza, por exemplo, o carvão como forma de geração de energia, o veículo – ainda que elétrico – continuará a ser algo bastante poluente. Sobre a sustentabilidade do veículo elétrico, também convém verificar quais os custos ambientais para a produção e descarte das baterias (mineração, processo produtivo, transporte). Além disso, a utilização massiva de veículos elétricos pode representar uma sobrecarga à rede elétrica, caso não haja estrutura suficiente para tanto. Quer-se dizer com isso que o veículo elétrico de fato não é a panaceia para todos os problemas ambientais verificados no setor de transportes.

Sobre o combustível, aliás, é interessante notar que o Brasil tem um substituto local para os combustíveis derivados do petróleo que já se provou no tempo. O etanol é um biocombustível desenvolvido no Brasil, obtido da cana-de-açúcar e do milho, que emite menos poluentes se comparado à gasolina. Diante das características econômicas e dos recursos naturais disponíveis no país, o etanol desempenha papel fundamental na descarbonização dos meios de transporte terrestres e não representa qualquer defasagem tecnológica (RODRIGUES; ABREU, 2023, p. 21). Por isso em seminário recente promovido pela ANFAVEA (AMARAL, 2023) muito se falou que no Brasil a tendência não é de adoção desenfreada de um carro elétrico, mas de um carro “ecológico”, que atenda aos interesses dos seus usuários e às especificidades regionais do Brasil.

Uma das reivindicações da indústria automobilística nacional é o encerramento da atual isenção da alíquota do imposto de importação para veículos elétricos. As fabricantes nacionais que manifestam o interesse em produzir carros elétricos no país afirmam que é difícil de competir com concorrentes estrangeiras sem que haja a utilização desse instrumento fiscal. Aliás, a finalidade desse tributo é mais regulatória do que arrecadatória, pois serve para proteger a competitividade da indústria local frente à concorrência internacional.

No momento, a alíquota de importação de veículos elétricos está zerada e alguns estados ainda preveem a redução ou isenção do IPVA para esses veículos, dentre outros benefícios como a desnecessidade de observar o rodízio de carros na cidade de São Paulo. Todavia, isso ainda não é suficiente para que o veículo elétrico tenha a penetração no mercado, ficando restrita a um grupo muito diminuto de potenciais compradores.

Por fim, o potencial financeiro dos consumidores brasileiros é algo a ser levado em conta, pois os veículos elétricos disponíveis no mercado nacional – todos eles ainda importados – são proibitivos para a grande parcela da população brasileira. A entrada de veículos elétricos tem o condão de criar uma infraestrutura inicial para a futura disseminação dos veículos elétricos, mas a tendência é que isso ocorra de forma lenta e gradual, a não ser que se desenvolvam políticas que prestigiem o carro elétrico e que comecem a desembarcar no país veículos elétricos mais baratos, ou mesmo que passem a ser produzidos localmente. Iniciativas nesse sentido já têm sido divulgadas, em especial com a participação de fabricantes de origem chinesa.

Enfim, para que haja de fato uma adaptação da indústria brasileira para atendimento dos veículos elétricos, será necessária a adoção de medidas anticíclicas por parte do Estado, em benefício da indústria automotiva nacional, que vão além das adotadas até o momento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muito tem se falado sobre a descarbonização dos meios de transportes terrestres e de uma iminente e inexorável transição do modelo de carro a combustão para a eletromobilidade. Pretendeu-se investigar neste estudo os obstáculos para a ocorrência dessa transição. Antes, porém, entendeu-se conveniente estabelecer algumas premissas a respeito da dinâmica industrial de um setor altamente arraigado em uma única tecnologia, sobretudo da importância que a trajetória percorrida representa, bem como resgatar aspectos históricos da formação da indústria automotiva e da consolidação do motor de combustão interna como referência dessa indústria (capítulo 1). Nessa etapa se verificou que a tecnologia de veículo movido a eletricidade não é nova e que concorreu em pé de igualdade com o carro dotado de motor de combustão interna e com o movido a vapor, tendo praticamente desaparecido a partir do momento em que o carro a combustão apresentou vantagens inquestionáveis do ponto de vista tecnológico e econômico para o usuário, o que ocorreu nas primeiras décadas do século XX. Com isso, o motor de combustão interna se tornou o paradigma de meio de transporte terrestre e as tecnologias concorrentes perderam atratividade.

Em seguida, com o intuito de estabelecer o que de fato representa a eletromobilidade, procurou-se definir o que são os veículos elétricos, as suas diferentes categorias e se comentou a respeito da infraestrutura necessária para a recarga de suas baterias, o que foi feito ao longo do capítulo 2 do trabalho. A tecnologia embarcada na categoria Veículo Elétrico a Bateria (VEB), aliás, é a que de fato tem sido apontada como a protagonista para substituir os veículos convencionais, haja vista que 100% movida a eletricidade. Além disso, as baterias, que sempre foram um fator crítico para a viabilidade do carro elétrico (CHAN, 2002, p. 47), já se encontram em avançado processo de desenvolvimento tecnológico, proporcionando autonomia suficiente para atender a rotina de boa parte dos consumidores.

Fixadas tais premissas, o capítulo 3 iniciou com um panorama internacional e nacional da indústria do carro elétrico. Ao assim proceder, constatou-se que o Brasil, em que pese ser um mercado relevante para o setor automotivo, possui uma quantidade ínfima de veículos elétricos “puros” e que o segmento de automóveis eletrificados mais bem posicionado é o de híbridos, que combinam a tecnologia do motor a combustão interna com o propulsor elétrico. Além disso, constatou-se que a indústria automotiva nacional ainda não produz veículos elétricos e os que estão à disposição do consumidor brasileiro são proibitivos para o padrão médio da população. Dessa forma, inferiu-se que o Brasil ocupa uma posição periférica em relação à crescente difusão tecnológica do veículo elétrico, sobretudo se

comparado à China, aos países da Europa e aos Estados Unidos, que combinados representaram cerca de 94% da venda de veículos elétricos no mundo no ano passado.

Na sequência do capítulo 3, foi examinado se a tecnologia vigente de carro movido a combustão representa uma barreira à entrada de veículos elétricos no Brasil e o que fazer caso de fato se pretenda superá-la. Viu-se que o crescimento constante do número de vendas nos países mencionados é um indicador de que o veículo elétrico tem, de fato, se provado um substituto à altura do veículo convencional. Porém, para que haja a descontinuidade de um modelo tecnológico dominante tão poderoso quanto o do carro a combustão, em que a tecnologia foi fortalecida em um processo contínuo e dependente, à medida em que mais e mais pessoas foram aderindo a ela, tornando-a o padrão universal dos veículos automotores em circulação, é preciso que haja uma conjugação de fatores econômicos, tecnológicos e institucionais.

Sob a ótica das firmas, vimos que as empresas precisam ter incentivos para que despendam recursos no aperfeiçoamento da nova tecnologia, uma vez que eventual transição tecnológica importará em obsolescência de alguns produtos e serviços hoje existentes. Ao tratarmos de fatores que dificultam a migração do lado do consumidor, vimos que a relação preço/desempenho da nova tecnologia tem que ser atrativa ao consumidor, sob pena de nunca se concretizar.

De acordo com a leitura dos textos de referência, conclui-se que o paradigma dominante, a trajetória percorrida, a disseminação do uso dessa tecnologia e toda a rede de ativos complementares que orbita em volta do padrão atual de veículo automotor são fatores que tendem a aprisionar o setor no modelo vigente e criar um verdadeiro *cul-de-sac* tecnológico (UNRUH, 2000, p. 12), sendo que a inércia se mostra uma poderosa força para dificultar essa transição. De tal modo que, para a análise das barreiras à entrada de veículos elétricos, a história, sim, importa e segue a influenciar o longo caminho de uma eventual transição de modelo tecnológico dominante.

Espera-se, assim, que o trabalho tenha contribuído para que o leitor adquira uma visão mais abrangente das dificuldades da superação de fatores que barram a entrada de veículos elétricos no Brasil, bem como promova a reflexão se o país de fato deve embarcar nessa corrida tecnológica neste momento.

REFERÊNCIAS

- ABVE. 50% das vendas de eletrificados já são Plug-in. **ABVE**, 14 de junho de 2023. Disponível em: <http://www.abve.org.br/50-das-vendas-de-eletrificados-ja-sao-plug-in>. Acesso em 23 de jun. 2023.
- ABVE. Eletrificados têm o melhor 1º trimestre da história. **ABVE**, 7 de abril de 2023. Disponível em: <http://www.abve.org.br/eletrificados-tem-o-melhor-trimestre-da-historia/>. Acesso em 22 de abr. 2023b.
- AMARAL, Paulo. Anfavea e montadoras cravam: Futuro do Brasil não é elétrico, é eclético. **Canal Tech**, 16 de junho de 2023. Disponível em <https://canaltech.com.br/carros/anfavea-e-montadoras-cravam-futuro-do-brasil-nao-e-eletrico-e-eclético-252904/>. Acesso em 27 de jun. 2023.
- ANFAVEA. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**, 2023.
- ARTHUR, W. Brian. Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events. **The Economic Journal**, v. 99, n. 394, mar., 1989.
- BARASSA, Edgar. **Trajectoria Tecnológica do Veículo Elétrico: Atores, Políticas e Esforços Tecnológicos no Brasil**. Campinas/SP, 2015.
- BISPO, Scarlett Queen Almeida; CECHIN, Alícia. Oferta de Veículos Elétricos: Considerações sobre os Principais Players e a Influência das Questões Ambientais. **VII ENEI**, realizado em 2023.
- BISPO, Scarlett Queen Almeida. Propriedade de Veículos na China: Consequências e Perspectivas Sobre o Tráfego, Poluição e Energia. **VII ENEI**, realizado em 2023.
- CECERE, Grazia; et al. Lock-in and Path Dependence: an Evolutionary Approach to Eco-Innovations. **J EvolEcon**, 2014.
- CHAN, C.C. The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles, **Proceedings of the IEEE**, 2002.
- CNT. **Eletromobilidade: uma das soluções para alcançar a neutralidade de carbono**. Brasília: CNT, 2022.
- DAVID, Paul A. Clio and the Economics of QWERTY. **The American Economic Review**, v. 75, n. 2, 1985.
- DOSI, Giovanni. Technological Paradigms and Technological Trajectories. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research Policy**, 1982, 147-162.
- ERBER, Fabio Stefano. **Inovação tecnológica na Indústria Brasileira no Passado Recente: uma Resenha da Literatura Econômica**. Mimeo IE/UFRJ, 2009.

FREEMAN, Christopher; SOETE, Luc. A Economia da Inovação Industrial. Trad. André Luiz Sica de Campos e Janaina Oliveira Pamplona da Costa. Campinas/SP: Editora da Unicamp, 2008.

GEELS, Frank W. The Dynamics of Transitions in Socio-Technical Systems: A Multi-Level Analysis of the Transition Path way from Horse-Drawn Carriages to Automobiles (1860–1930). **Technology analysis & strategic management**, v. 17, n. 4, p. 445-476, 2005.

GREGERSEN, Erik; SCHREIBER, Barbara S. Tesla, Inc. **Britannica**, 28 de junho de 2023. Disponível em: <https://www.britannica.com/topic/Tesla-Motors>. Acesso em 28 de jun. 2023.

IBGE. Frota de Veículos. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120?tipo=grafico&indicador=28122>. Acesso em 11 jun. 2023.

IEA, 2023, Global EV Outlook 2023, IEA, Paris. License: CC BY 4.0. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>. Acesso em 11 jun. 2023.

IEA. Electric vehicles. Disponível em: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electric-vehicles>. Acesso em 03 jun. 2023.

JONES, Charles I. Introdução à Teoria do Crescimento Econômico. 4. tiragem. Editora Campus, 2000.

KANE, Mark. US: Hydrogen Fuel Cell Car Sales Decreased In 2022. INSIDEEVs, 10 de janeiro de 2023. Disponível em: <https://insideevs.com/news/629973/us-hydrogen-fuel-cell-car-sales-2022q4/#:~:text=Hydrogen%20Fuel%20Cell%20Vehicle%20sales,level%20of%203%2C341%20in%202021>. Acesso em 04 jun. 2023.

LINDSTRÖM, Markus; HEIMER, Thomas. Electric Vehicles: Shifting Gear or Changing Direction? **The Future of Manufacturing in Europe (FOME) project**, 2017.

LUNA, Thiago Ferrari. A influência dos sistemas de compartilhamento na transição para carros elétricos. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2020.

MALDONADO, Mauricio Uriona; VAZ, Caroline Rodrigues; TEIXEIRA, André Luiz da Silva. Áreas Temáticas de P&D sobre Eletromobilidade Financiadas pela FAPESP. **VII ENEI**, realizado em 2023.

MARTINS, Claudia do Nascimento. Condicionantes da Difusão do Carro Elétrico no Brasil: Análise dos Fatores Institucionais, Econômicos e Técnicos. UFRJ, 2015.

MATULKA, Rebecca. The History of the Electric Car. **Energy**, 24 de setembro de 2014. Disponível em: <https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>. Acesso em 04 de jun. 2023.

NISSAN. Opções de Recarga. **NISSAN**, 16 de junho de 2023. Disponível em: https://www.nissan.com.br/veiculos/modelos/leaf.html#C402_cmp_feature_ff75-modal. Acesso em 23 de jun. 2023.

ONU. Acordo de Paris sobre o Clima. **ONU**, 11 de dezembro de 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/88191-acordo-de-paris-sobre-o-clima>. Acesso em 27 de jun. 2023.

RODRIGUES, Luciano; ABREU, Ricardo Simões de. O Papel da Bioenergia na Mobilidade Sustentável de Baixo Carbono. **Agroanalysis**, FGV, 2023.

SHAPIRO, Carl; VARIAN, Hal R. A Economia da Informação. 1ª edição. Editora Elsevier, 1999.

UNRUH. Gregory C. Understanding Carbon Lock-in. **Energy Policy** 28, 2000.