

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

Rodrigo Chaves Oliveira

DESCARBONIZAÇÃO ATRAVÉS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS: ANÁLISE DO
PROGRAMA ROTA 2030

Rio de Janeiro

2023

Rodrigo Chaves Oliveira

DESCARBONIZAÇÃO ATRAVÉS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS: ANÁLISE DO
PROGRAMA ROTA 2030

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Economia da
Universidade Federal do Rio de Janeiro,
como requisito para a obtenção do título
de Mestre em Economia da Indústria e
da Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Kaio Glauber Vital da Costa

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Cecília Lustosa

Rio de Janeiro

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

O48d Oliveira, Rodrigo Chaves.
Descarbonização através de veículos elétricos: análise do programa rota 2030 / Rodrigo Chaves Oliveira. – 2023.
95 f.

Orientador: Kaio Glauber Vital da Costa.
Coorientador: Maria Cecília Lustosa.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Economia da Indústria e da Tecnologia, 2023.
Bibliografia: f. 78 - 95.

1. Política industrial - Brasil. 2. Descarbonização. 3. Veículos elétricos.
I. Costa, Kaio Glauber Vital da, orient. II. Lustosa, Maria Cecília, coorient.
III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Economia. IV. Título.

CDD 338.981

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária: Luiza Hiromi Arao CRB/7 – 6787

Biblioteca Eugênio Gudim/CCJE/UFRJ

Rodrigo Chaves Oliveira

DESCARBONIZAÇÃO ATRAVÉS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS: ANÁLISE DO
PROGRAMA ROTA 2030

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Economia da
Universidade Federal do Rio de Janeiro,
como requisito para a obtenção do título
de Mestre em Economia da Indústria e
da Tecnologia.

Rio de Janeiro, 19 de dezembro, 2023

Prof. Dr. Kaio Glauber Vital da Costa (orientador) (UFRJ)

Prof^a. Dr^a Maria Cecília Lustosa (coorientadora) (UFRJ)

Prof^a. Dr^a Julia Ferreira Torracca-Chrispino (UFRJ)

Prof. Dr. Marcelo Colommer Ferraro (UFRJ)

AGRADECIMENTOS

Sou grato a Deus, por todo o amparo e proteção que tive nesse período. Por ter preservado a saúde de todas as minhas pessoas amadas e por ter me dado a energia e a força necessárias para seguir adiante, quando pensei que não era mais capaz.

Agradeço ao professor Kaio, meu orientador, e à professora Cecília, minha coorientadora, pela forma como me apoiaram nessa caminhada, com imensa sabedoria e paciência para comigo.

Agradeço aos professores e professoras que, gentilmente, aceitaram participar da banca.

Agradeço à Alda Luisa, meu amor e meu porto seguro. Por todo o apoio e suporte. Por não ter desistido de mim e de nós, nem nos dias mais difíceis. E por continuar sonhando comigo.

Por fim, agradeço à minha família, meus pais Tereza e Luiz Carlos, e minhas irmãs, Liliane e Mariane. Não só por terem me formado como pessoa, mas por sempre acreditarem em mim e na minha capacidade.

RESUMO

A dissertação tem como objetivo principal analisar a política industrial brasileira mais recente para o setor automobilístico, o programa Rota 2030, visando contribuir para a discussão sobre o processo de descarbonização do setor automobilístico leve no Brasil. Este programa busca, entre outros objetivos, a eficiência energética para o setor automobilístico. A partir de um referencial teórico sobre o ressurgimento das políticas industriais relacionadas ao processo de descarbonização, foram identificados os instrumentos adotados; o alinhamento destes ao debate recente do resgate das políticas industriais, em especial, das políticas industriais verdes; e se o programa está atualizado do ponto de vista tecnológico em relação à indústria automobilística global. Como resultado da análise do Rota 2030, constatou-se a falta de uma orientação do Estado para qual trajetória tecnológica deve ser seguida, deixando a cargo das montadoras defini-la. Além disso, trata-se de um plano muito simplista, ao utilizar poucos instrumentos de política, e desatualizado do ponto de vista da indústria automobilística global, uma vez que não busca transformar, a indústria automotiva nacional em direção ao contexto mundial da mobilidade elétrica, ao contrário, visa apenas a inovação incremental por meio da melhoria da eficiência dos motores a etanol e bicomcombustível. A falta de uma política específica para veículos elétricos a bateria, dificulta a promoção de novas tecnologias, tanto para fabricação de veículos elétricos e baterias, quanto para sua infraestrutura (ponto de carregamento), tornando o Brasil cada vez mais defasado em relação às políticas industriais dos principais países que avançam na transição energética.

Palavras-chave: Políticas industriais verdes; Indústria automobilística; Mudanças climáticas; Descarbonização; Janelas de oportunidades; Veículos elétricos.

ABSTRACT

The dissertation's main objective is to analyze the most recent Brazilian industrial policy for the automobile sector, the Rota 2030 program, aiming to contribute to the discussion on the decarbonization process of the light automobile sector in Brazil. This program seeks, among other objectives, energy efficiency for the automobile sector. Based on a theoretical framework on the resurgence of industrial policies related to the decarbonization process, the instruments adopted were identified; their alignment with the recent debate on the rescue of industrial policies, in particular, green industrial policies; and whether the program is technologically up to date with the global automobile industry. As a result of the Rota 2030 analysis, it was found that there was a lack of guidance from the State on which technological trajectory should be followed, leaving it to the automakers to define it. Furthermore, it is a very simplistic plan, using few policy instruments, and outdated from the point of view of the global automobile industry, as it does not seek to transform the national automotive industry towards the global context of electric mobility, rather, it aims only at incremental innovation by improving the efficiency of ethanol and dual-fuel engines. The lack of a specific policy for battery-powered electric vehicles makes it difficult to promote new technologies, both for the manufacture of electric vehicles and batteries, and for their infrastructure (charging point), making Brazil increasingly behind in relation to the industrial policies of the main countries advancing in the energy transition.

Keywords: Green industrial policies; Auto Industry; Climate changes; Decarbonization, Windows of opportunities, Electric vehicles.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Políticas de Incentivo aos veículos de nova energia no Brasil (1986-2022)	59
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Total de emissões de CO ₂ antrópicas associadas à matriz energética brasileira.....	42
--	----

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Layout esquemático da arquitetura V2G	56
FIGURA 2 - Linha do tempo com os principais Acordos Internacionais sobre o tema.....	58
FIGURA 3 – Requisitos para comercialização de veículos pelo Programa Rota 2030.....	63
FIGURA 4 – Compromissos e Incentivos do Programa Rota 2030.....	67
FIGURA 5 – Dispêndios de P&D realizados pelas empresas habilitadas em 2020.....	68
FIGURA 6 – Incentivos ao setor de Autopeças não Produzidas.....	70

LISTA DE SIGLAS/ABREVIações

ACV - Análise de Ciclo de Vida

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

AIE – Agência Internacional de Energia

BEV – Battery Electric Vehicle

CBA - Consumption Based Accounting of Emissions

CGV - Cadeias Globais de Valor

CH₄ - Gás Metano

CO₂ - Dióxido de Carbono

CO₂e - Dióxido de Carbono equivalente

COP21 - 21a Conferência do Clima de Paris

COVID-19 - Coronavirus Disease 19

EE - Eficiência Energética

EF - Ecological Footprint

EKC - Environmental Kuznets Curve

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

EV - Electric Vehicle

FCEV - Fuel Cell Electric Vehicle

GEE - Gases Efeito Estufa

GIC - Grupo de Indústria e Competitividade

HEV - Hybrid Electric Vehicle

ICE - Internal Combustion Engine

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IEA - International Energy Agency

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

IPI - Imposto sobre Produtos Industrializados

VE – Veículos elétricos

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1 REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
1.1. Retorno das Políticas Industriais.....	16
1.2. Políticas Industriais Verdes: definições e visões.....	25
1.3. Tecnologias Verdes e Janelas de Oportunidade: a importância do conceito de paradigma tecnoeconômico.....	32
2 UMA ANÁLISE DOS IMPACTOS, DESAFIOS E O POTENCIAL DOS VEs	36
2.1. Breve histórico da Indústria Automobilística Global e do veículo elétrico no Brasil.....	36
2.2. Impactos Ambientais da adoção de Carros Elétricos.....	41
2.3. Potencial do Mercado dos Veículos Elétricos.....	47
2.4. Desafios do Mercado de Massa de VEs.....	49
3 PROGRAMA ROTA 2030.....	57
3.1. Política Industrial recente no Setor Automobilístico – Programa Rota 2030 e a promoção de veículos elétricos.....	57
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
REFERÊNCIAS	77

INTRODUÇÃO

Diante das drásticas mudanças climáticas que estão ocorrendo nas últimas décadas, principalmente, com relação à poluição do ar e ao aquecimento global, foram criadas diversas metas climáticas com o objetivo, principalmente de reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa (GEE). O Acordo de Paris, acordo mais recente, busca reduzir as emissões de GEEs para limitar até o final do século o aumento médio de temperatura global abaixo dos 2°C (se possível, a um limite de 1,5°C) quando comparado a níveis pré-industriais (Chomsky; Pollin, 2020). Para alcançar essas metas climáticas será necessária uma inovação tecnológica contínua em um portfólio diversificado de tecnologias de baixo carbono (Altenburg; Rodrik, 2017). Para tanto, são necessárias políticas industriais (verdes) que incentivem e acelerem o processo de inovação e de desenvolvimento dessas tecnologias, o que implica em mudanças fundamentais de longo prazo (Lütkenhorst et al., 2014).

Essas mudanças têm a possibilidade de levar a avanços tecnológicos transformadores, possibilitando uma ruptura de paradigmas tecnoeconômico (Lema et al., 2020). Ademais, há um reconhecimento crescente de que as políticas industriais verdes podem abrir novas vias de desenvolvimento econômico (janelas de oportunidades verdes), principalmente para países em desenvolvimento (Lema et al., 2020; Lee, 2019).

Entretanto, essas janelas de oportunidade verdes são limitadas no tempo e as respostas a elas variam significativamente entre setores e países (Lema et al., 2020; UNCTAD, 2022). A transição verde coloca desafios aos países desenvolvidos e em desenvolvimento, e a mudança para um desenvolvimento com baixas emissões de carbono confere-lhes vários papéis (Lema et al., 2020). Além disso, essa mudança verde criará resultados industriais diversos para cada país, principalmente devido ao seu ponto de partida, a ambição da política nacional, o apoio à cadeia de abastecimento e a dependência de combustíveis fósseis (Chomsky; Pollin, 2020). Por exemplo, a falta de apoio político e a continuação do apoio aos combustíveis fósseis são causas fundamentais do fracasso dos projetos de transição verde em muitos países (Mathews; Tan, 2014). Segundo Kemp e Never (2017), os governos devem ter um papel proativo com uma visão de longo prazo, incluindo todas as partes interessadas.

A agregação de várias políticas (por exemplo, P&D, capacitação e capacitação, desenvolvimento de mercado, estímulo à produção) num grande pacote de políticas comum irá esclarecer a mensagem e unificar o objetivo desejado (Kemp; Never, 2017). Além disso, é fundamental que essas políticas tenham mecanismos de controle e sejam adaptadas a cenários que estão em constante mudança (Peñasco et. al., 2021).

Nesse contexto, o desenvolvimento de novas tecnologias de baixo carbono para o setor de transporte é de extrema importância. Este setor é responsável por mais de um quarto das emissões totais de GEE no mundo, destas, o transporte rodoviário produziu mais de 70% dessas emissões (EEA, 2020). Embora a eletromobilidade ainda não seja a forma dominante de transporte rodoviário, a transição para os veículos elétricos (VE) está se concretizando como uma alternativa viável para redução dessas emissões (Brem; Nylund, 2021). As vendas globais de veículos elétricos aumentaram consideravelmente nos últimos anos e espera-se que ultrapassem as vendas de carros a combustão até 2040 (IEA, 2021; Irle, 2022). As vendas globais aumentaram de 3,2 milhões em 2020 para 6,7 milhões de VE em 2021, atingindo 8,3 por cento de quota de mercado (IEA, 2021; Irle, 2022).

Essa nova janela de oportunidade é significativa, uma vez que a transição para a eletromobilidade está reduzindo as barreiras à entrada e abrindo as portas aos países em desenvolvimento através de mudanças radicais na dinâmica competitiva (Altenburg et al., 2022; Brem; Nylund, 2021; Perkins; Murmann, 2018). Para tanto, são necessárias políticas mais complexas, que utilizem vários instrumentos, tanto pelo lado da oferta, como incentivos fiscais, investimentos públicos e privados em P&D, apoio à formação profissional e instrumentos de financiamento, quanto pelo lado da demanda como impostos pigouvianos; a regulamentação de produtos; e a utilização de compras públicas (Peñasco et. al., 2021).

Além disso, é necessário que essas políticas sejam sistêmicas, pois, esforços apenas a nível de empresas não são suficientes, são necessários esforços institucionais, que busquem integrar outros agentes importantes como universidades, centros de pesquisa e outras empresas vinculadas os setores estratégicos como, automação e inteligência artificial (Peñasco et. al., 2021).

Um exemplo de país que está conseguindo aproveitar essa janela de oportunidade é a China. A China, em particular, está conseguindo estabelecer condições firmes em muitos setores renováveis, estimulando a produção, criando demanda, favorecendo os fabricantes nacionais e principalmente, tornando-se líder em diversas tecnologias como as relacionadas à energia solar e aos veículos elétricos (Lema et al. 2020). Através de volumosos subsídios aos fabricantes e incentivos de compra aos consumidores estão desenvolvendo um mercado interno promissor, principalmente, para o mercado de veículos elétricos (Li; Yang; Sandu, 2018).

Já quando analisamos o caso brasileiro percebemos que apesar do Brasil estar entre os dez maiores fabricantes de automóveis do mundo e possuir o sexto maior mercado automobilístico, a participação no mercado global de veículos elétricos ainda é muito pequena (Konda, 2022). Tal fato está diretamente relacionado às escolhas tecnológicas feitas e as políticas industriais adotadas. Como exemplo dessas políticas destacam-se, na década de 1970, a criação do Proálcool como forma de reduzir a dependência de combustíveis fósseis (crise do petróleo). Mais tarde para atender a novos acordos ambientais para redução de GEEs o Brasil implementou políticas de eficiência energética como o PROCONVE e o programa Inovar-Auto, que ainda favoreciam as tecnologias dos biocombustíveis.

Mais recentemente, com os compromissos assumidos no âmbito do Acordo de Paris e as novas demandas de soluções mais ambientalmente eficientes, o Brasil criou o programa de longo prazo (de 2018 a 2033) chamado de Rota 2030 – Mobilidade e Logística. Esse programa foi dividido em três ciclos quinquenais, sendo o primeiro começando em 1º de dezembro de 2018 e terminando em 30 de novembro de 2023. O programa tem como objetivos apoiar o desenvolvimento tecnológico, a competitividade, a inovação, a segurança veicular, a proteção ao meio ambiente, a eficiência energética de veículos. Através de incentivos fiscais e subsídios o governo busca incentivar o desenvolvimento de P&D de novas tecnologias verdes.

Nesse contexto, esse trabalho tem como objetivo principal analisar a política industrial brasileira mais recente para o setor automobilístico (o programa Rota 2030) em busca de subsídios para responder a seguinte pergunta: “Como

os instrumentos adotados no programa Rota 2030 podem levar a uma maior eficiência energética do setor automobilístico?”.

Mais especificamente, o presente trabalho buscou identificar, no Rota 2030, os seguintes pontos: quais os instrumentos de políticas industriais utilizados; se esses instrumentos estão alinhados ao debate recente do resgate das políticas industriais, em especial, das políticas industriais verdes; e se o programa está atualizado do ponto de vista tecnológico em relação à indústria automobilística global. Nesse sentido, a presente dissertação visa contribuir para a discussão sobre o processo de descarbonização do setor automobilístico leve no Brasil, e como o Programa Rota 2030 pode se alinhar ao debate recente das políticas industriais verdes.

A hipótese testada é de não há evidências que o programa Rota 2030 seja um plano complexo e sistêmico que busque adotar incentivos robustos e uma integração com agentes internos e externos que possibilitaria que o Brasil aproveitasse a janela de oportunidade que a transição verde está abrindo em especial para as tecnologias relacionados aos veículos elétricos e sua infraestrutura.

A metodologia utilizada consiste em uma pesquisa qualitativa de natureza descritiva que busca realizar uma revisão bibliográfica documental tanto do debate recente do ressurgimento das políticas industriais quanto do programa brasileiro, o Rota 2030. A partir da análise qualitativa foi possível analisar os instrumentos propostos para sua execução, e como eles se encaixam no debate recente.

Além desta introdução e das considerações finais, este trabalho está dividido em três capítulos. O capítulo 1 apresenta uma revisão do debate recente do resgate das políticas industriais com o foco em identificar os principais instrumentos que estão sendo utilizados. Além disso, o capítulo busca identificar como as políticas industriais estão se adequando aos novos desafios de descarbonização e ao mesmo tempo como essas novas políticas industriais, consideradas verdes, podem permitir que países em desenvolvimentos aproveitem as janelas de oportunidades que estão se abrindo.

A partir do referencial teórico estabelecido no capítulo 1, o capítulo 2 avança em busca de analisar como as inovações tecnológicas relacionadas com os veículos elétricos podem contribuir para o processo de descarbonização do setor automotivo. O estudo perpassa por um breve histórico sobre a indústria automobilística global, realiza uma análise dos impactos ambientais da adoção dos veículos elétricos e do potencial do mercado desses veículos, e por fim, apresenta os principais desafios para o mercado de massa de VEs.

O capítulo 3, com base no referencial teórico apresentado nos capítulos anteriores, buscou analisar detalhadamente o programa Rota 2030. O detalhamento começa por uma análise dos objetivos e diretrizes do plano, logo em seguida é feita uma esquematização dos requisitos necessários para que as empresas possam usufruir dos benefícios. Buscou-se também identificar os benefícios oferecidos e os principais instrumentos de políticas industriais adotados e como eles se encaixam no debate atual das políticas industriais. Ademias, baseado no último relatório do Grupo de Acompanhamento foi analisado o desempenho do plano até o momento através do detalhamento das principais metas para esse primeiro ciclo. Por último, são discutidos os resultados desta pesquisa e questões que podem ser abordadas em pesquisas posteriores.

CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 O retorno das Políticas Industriais

O crescimento mundial das últimas décadas tem acelerado o processo de degradação do meio ambiente, com perspectivas de agravamento para o futuro. A conscientização da população e das empresas sobre temas ligados à conservação, sustentabilidade e seus correlatos cresce dia a dia e se aprofunda com o desenvolvimento científico, a modernização dos processos produtivos e a globalização (OCDE, 2014). Na medida em que a mitigação das mudanças climáticas e outros desafios ambientais influenciam cada vez mais o desenvolvimento socioeconômico dos países, os condicionantes ambientais tornam-se uma parte essencial da formulação das políticas industriais.

Recentemente, o debate sobre política industrial voltou aos holofotes acadêmicos e políticos (Rodrik, 2004, 2013; Cherif; Hasanov, 2019). A discussão acadêmica, atualmente, está focada em uma reavaliação da política industrial, na qual parece ser impulsionada por: i) o fracasso das políticas do Consenso de Washington em promover o desenvolvimento e aumentar o bem-estar dos países menos desenvolvidos; ii) a crise financeira global de 2008, que criou um contexto de desconfiança no mercado como eficiente alocador de recursos; e iii) o sucesso econômico da China – ávida usuária de políticas industriais (Naudé, 2010).

Diante desses debates sobre política industrial está surgindo um consenso frágil de como as políticas industriais devem ser usadas. Dessa forma, deixa-se de lado a discussão se as políticas industriais devem ou não ser usadas, para concentrar-se na questão chave que é como fazê-la efetivamente. Nesse sentido, pelo menos três linhas de pensamento podem ser identificadas sobre como as políticas industriais devem ser conduzidas (Castro, 2009).

Primeiramente, os autores que endossam uma abordagem de 'falha de mercado' enfatizam que as políticas industriais devem se concentrar em setores com maior conhecimento e efeitos de transbordamento de aprendizado,

corrigindo assim as falhas de mercado relacionadas ao conhecimento (Rodrik, 2014; Aghion et al., 2011).

Em segundo lugar, com base na ideia de um 'Estado desenvolvimentista' ou 'Empreendedor', alguns autores também enfatizam o conhecimento e a aprendizagem, mas atribuem ao Estado um papel não apenas na correção de falhas de mercado, mas também na formação e criação de novos mercados (Labrunie, 2018). A prioridade do Estado deve ser estabelecer redes de agentes do setor privado e canalizar recursos da economia para as etapas mais incertas do processo de inovação, a fim de resolver grandes desafios e cumprir missões tecnológicas (Mazzucato, 2013; Perez, 2013).

Terceiro, embora concordando muito com o argumento do Estado Empreendedor, alguns autores enfatizam que grande parte do aprendizado ocorre durante a produção e defendem o papel de políticas 'burras' como o protecionismo e as tarifas destinadas a manter as empresas nacionais em atividade (Labrunie, 2018). Esses autores também reconhecem o papel de articulação entre as políticas macroeconômicas e industriais e a do Estado como 'gestor' dos conflitos inerentes ao desenvolvimento (Chang; Andreoni, 2020).

No âmbito das políticas públicas, esse retorno parece ter ocorrido em momentos. O primeiro momento ocorre após a crise global de 2008, quando houve uma forte ação dos governos buscando recuperar as economias de seus países (por exemplo, o American Recovery and Reinvestment Act de 2009), e uma forte desconfiança no mercado como mecanismo autorregulador (Labrunie, 2018). Tal fato passou a impressão de que haveria um retorno do intervencionismo. No entanto, o que se viu alguns anos depois foi a vitória do argumento de que as economias em apuros eram as que tinham governos irresponsáveis que gastaram demais. A solução que predominou foram as políticas de austeridade.

O segundo momento tornou-se mais notável com a publicação de várias estratégias industriais por governos nacionais, como a 'New High Tech Strategy' alemã publicada em 2014, a estratégia chinesa 'Made in China 2025' publicada em 2015, e a britânica 'Industrial Strategy' publicada em 2017, entre outras. Nesses documentos, a inovação às vezes é vista não como um fim em si mesmo,

mas como um meio para atingir objetivos sociais maiores, como o envelhecimento da população, a mobilidade urbana e as mudanças climáticas (Labrunie, 2018).

O terceiro momento, mais recente, tem vindo a consolidar-se recentemente um conceito integrado e indivisível de sustentabilidade (Purvis et al., 2019; Biggeri; Ferrannini, 2020), que combinam as preocupações ambientais, o crescimento econômico e o bem-estar social. Isto está claramente incorporado na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2015), que abraça "a chamada abordagem tripla do bem-estar humano" (Sachs, 2012, p. 2206), equilibrando as três dimensões do desenvolvimento sustentável.

Nesse contexto, o debate sobre a política industrial é ampliado e, principalmente, direcionado para análises dos desafios sociais e ambientais e das limitações das políticas neoliberais dominantes até meados da década de 2000 (Reinert, 2006). Andreoni e Chang (2018, p. 27) argumentam que, a partir de meados da década de 2000, os argumentos supostamente originais que justificam a política industrial são "traduções bastante desajeitadas de ideias antigas de escolas não neoclássicas para a linguagem neoclássica", o que levou a vários inconvenientes e limitações dessa integração do debate sobre política industrial. Dessa forma, cada vez mais fica claro que a transformação estrutural das economias está diretamente relacionada com a transformação estrutural das sociedades, e isso faz com que os novos desafios sociais e ambientais levantem "questões sobre a política industrial, uma vez que esta molda a estrutura da atividade econômica de uma forma mais geral" (Aiginger; Rodrik, 2020, p. 3).

Um exemplo disso, são as políticas industriais verdes (Aiginger 2013; Rodrik, 2014; Altenburg; Assmann, 2017), sem dúvida, elas estão na vanguarda do debate acadêmico sobre políticas industriais, tendo explorado, tanto na teoria quanto na prática, opções de política industrial para gerir a mudança estrutural que respondem tanto à produtividade quanto aos desafios ambientais de uma forma harmonizada, superando potenciais compromissos (Altenburg; Assmann, 2017).

De fato, colocar a sustentabilidade ambiental no centro das atenções e como um potencial motor de crescimento levou a política industrial de vários

países e organizações internacionais (por exemplo, ONUDI, CNUCED, PNUD) a lidar cada vez mais com a promoção de novas tecnologias, como a de baixo carbono e de maior eficiência energética, a fim de dissociar o desenvolvimento industrial do esgotamento dos recursos, da poluição e da produção de resíduos (Rodrik, 2014; Mathews, 2020).

Assim, percebe-se que a política industrial tem sido frequentemente associada à intervenção direta do governo na dinâmica da produção para promover o crescimento econômico e objetivos de desenvolvimento mais amplos como: o crescimento, a competitividade, a produtividade, e também, a criação de emprego e a sustentabilidade ambiental (Ferrannini, et al., 2021).

No entanto, embora seja inegável que, nestes casos, a política industrial vai além das simples ideias da correção das falhas do mercado, a capacidade de colocar plenamente o desenvolvimento humano, a coesão social e a sustentabilidade no centro dessas políticas industriais pode ser questionada (Oqubay et al., 2020). O debate internacional está dedicando especial atenção a duas potenciais mudanças no panorama industrial e tecnológico global. Em primeiro lugar, as perturbações significativas nas cadeias globais de valores (CGVs) têm vindo a ampliar as preocupações pré-existentes sobre a viabilidade contínua da organização da produção de bens e serviços através de CGVs (Oldekop et al., 2020). Por um lado, isto favorece a soberania industrial e pode levar a um maior protecionismo e nacionalismo, por outro lado, estas perturbações exigem um maior debate sobre a resiliência das cadeias de abastecimento globais para o futuro e sobre a reorientação das abordagens empresariais para a "competitividade de risco" (em vez da competitividade de custos) (OCDE, 2020c; WEF, 2020b).

Em segundo lugar, a pandemia acelerou a transformação digital em todos os setores, demonstrando que são necessárias tecnologias avançadas e uma mentalidade que dê prioridade ao digital para uma empresa física (sempre que adequado e viável), uma vez que o mercado global exigirá sistemas de produção e cadeias de abastecimento mais ágeis e flexíveis (WEF, 2020c). Ademais, cada vez mais os dados se tornarão um dos ativos econômicos mais significativos, mas essa maior dependência dos ativos digitais também aumentará as

potenciais questões de justiça e equidade digitais para os indivíduos, as empresas, as comunidades e os países (Oldekop et al., 2020).

Além disso, algumas questões negligenciadas na teoria da política industrial como os “compromissos irreversíveis” em condições de incerteza, a aprendizagem na produção como motor último da dinâmica industrial e a influência da gestão da demanda na condução da política industrial, tornaram-se ainda mais centrais (Chang; Andreoni, 2020). A sua relevância aumentaria potencialmente num cenário global caracterizado por uma maior incerteza quanto ao futuro próximo, por novas tendências e relações de poder nos processos de internacionalização da cadeia de valor e por uma atenção renovada das políticas fiscais e monetárias para impulsionar a recuperação.

Além das limitações apresentadas anteriormente, o debate sobre o "rejuvenescimento da política industrial" (Stiglitz et al., 2013) ou "renascimento" (Mazzucato et al., 2015) perpassa pela análise dos principais instrumentos de política industrial utilizados atualmente na economia mundial. Seguindo uma taxonomia baseada na literatura neo-schumpeteriana sobre o crescimento, Criscuolo et. al. (2022) dividiram os instrumentos em dois grupos: os instrumentos do lado da demanda e os instrumentos do lado da oferta. Os instrumentos do lado da oferta afetam diretamente as decisões de produção, enquanto os instrumentos do lado da demanda afetam diretamente as decisões de consumo e aplicam-se ao consumo interno, independentemente da localização da produção (Edler et al., 2016).

Ainda com relação aos instrumentos pelo lado da oferta, os autores os distinguem entre: os que melhoram o desempenho das empresas (instrumentos "internos", como os de incentivo: incentivos fiscais, subvenções, subsídios; e os instrumentos de financeiros: como empréstimos e financiamentos), e os que afetam a dinâmica do setor (instrumentos "entre" ou de enquadramento, como: políticas de empreendedorismo, políticas de propriedade intelectual e de normalização técnica) (Criscuolo et. al., 2022).

Nesse contexto, as falhas do mercado, como as repercussões do conhecimento, as restrições ao crédito ou o carácter de bem público da investigação fundamental, justificam o recurso a instrumentos "internos". Essas

intervenções destinam-se a incentivar o investimento das empresas através da partilha dos custos ou dos riscos com o setor público (por exemplo, despesas fiscais, subvenções, subsídios, instrumentos financeiros) ou a afetar o desempenho das empresas através do fornecimento de fatores de produção que melhorem a eficiência (por exemplo, competências, P&D pública, infraestruturas) (Criscuolo et. al., 2022).

Analisando os instrumentos de incentivos ao investimento das empresas, percebe-se que eles podem abranger vários ativos, que são afetados de forma diferente pelas externalidades e pelas deficiências do mercado, o que explica a necessidade de se utilizar diferentes instrumentos. Dessa forma, alguns ativos podem estar sujeitos a repercussões ou externalidades positivas, como é o caso, por exemplo, da inovação e dos investimentos em P&D, que podem trazer repercussões de conhecimentos para outras empresas, e dos investimentos que visam a redução das emissões de carbono (Criscuolo et. al., 2022). Nesses casos, a teoria econômica justifica a subvenção destes investimentos, através de incentivos fiscais, subvenções e subsídios. Há também ativos, como investimentos de maior risco e de longo prazo, que são fortemente impactados pelo problema de restrições de crédito, uma vez que são ativos que apresentam um grau de incerteza maior (Chang; Andreoni, 2020). Para tanto, esse problema de restrição de crédito pode ser reduzido através de instrumentos financeiros, tais como empréstimos públicos, garantias e capital de risco, cujo objetivo é partilhar o risco entre os setores privado e público (Chang; Andreoni, 2020).

Uma vez que a subvenção do investimento das empresas pode afetar negativamente a concorrência, os incentivos fiscais, as subvenções e os subsídios são frequentemente utilizados para corrigir externalidades horizontais bem identificadas, como as repercussões do conhecimento, ou fazem parte de políticas específicas centradas em regiões ou setores afetados por deficiências específicas do mercado (Criscuolo et. al., 2022). Os créditos fiscais à P&D têm sido amplamente estudados na literatura, muitos governos utilizam o sistema fiscal como um mecanismo de incentivo para encorajar o investimento em P&D das empresas ("incentivos fiscais") (Bloom et. al., 2019 e OCDE, 2020). Em 2017, por exemplo, os incentivos fiscais à P&D representaram cerca de metade

do apoio total do Estado à P&D das empresas na área da OCDE, contra cerca de um terço em 2000 (OCDE, 2020).

Além dos incentivos fiscais à P&D, os governos recorrem frequentemente ao apoio direto à P&D, sob a forma de subsídios à P&D, para apoiar os investimentos privados em P&D. Em geral, considera-se que os subsídios diretos à P&D têm um efeito de adicionalidade sobre as despesas de P&D e efeitos positivos sobre a inovação. Nesse contexto, Criscuolo et. al. (2022) destacam que as subvenções diretas podem ser mais eficazes para apoiar a investigação, enquanto os créditos fiscais são mais eficazes para o desenvolvimento.

Outros instrumentos de política indústria que podemos destacar são os instrumentos financeiros, principalmente os financiamentos e empréstimos através de fundos de capital de risco privado e públicos ou através de bancos apoiado pelo Estado. Por exemplo, no caso brasileiro, o Estado utiliza o Banco Nacional Desenvolvimento (BNDES) para esse fim. Assim, esses instrumentos são utilizados como forma de buscar apoiar a inovação das empresas, principalmente, as em fase inicial. Hottenrott e Richstein (2020) estabelecem que os empréstimos facilitam o investimento em ativos corpóreos, permitindo assim às empresas transformar as inovações em produtos comercializáveis.

Já com relação aos instrumentos que afetam a dinâmica do setor (instrumentos de enquadramento) podemos destacar as políticas de empreendedorismo, políticas de propriedade intelectual e de normalização técnica (Criscuolo et. al., 2022). As políticas de apoio à entrada, as políticas de empreendedorismo podem ser divididas em políticas “diretas”, como a prestação de informações ou “coaching” para potenciais empreendedores ou empresas em fase inicial, e “políticas indiretas” destinadas a reduzir os encargos administrativos, que afetam desproporcionalmente potenciais empresários e jovens empresas¹. Criscuolo et. al. (2022) destaca que a redução da burocracia se revelou eficaz. A burocracia pesa desproporcionalmente sobre as empresas

¹ Ver artigo, que detalha o papel destas políticas nas estratégias industriais. O apoio financeiro a empresários, jovens e pequenas empresas (por exemplo, subsídios, empréstimos e capital de risco governamental) é considerado um incentivo ao investimento ver OCDE (2015).

jovens, desencorajando assim a entrada e prejudicando o seu crescimento e capacidade de competir com os operadores históricos (OCDE, 2015).

A concepção de sistemas de direitos de propriedade intelectual (PI) tem recebido muita atenção na literatura recente². Ao proporcionar um “monopólio temporário” sobre tecnologias, os direitos de PI aumentam os incentivos à inovação, à custa de uma redução temporária da concorrência. Muitos estudos apontaram para algumas deficiências do sistema de PI, uma vez que, as transações de patentes estão sujeitas a falhas de mercado devido, principalmente, à informação assimétrica, acumulação de royalties, entre outros (Bloom; Van Reenen; Williams, 2019). A literatura mostrou que estes efeitos adversos e comportamentos oportunistas desencorajam a inovação, em particular para as pequenas empresas (Rabier, 2017). O debate nesta área política é amplo e inclui discussões sobre o tipo de tecnologias que são patenteáveis, custos de aplicação, transparência do sistema e custos e procedimentos de litígio (Criscuolo et. al., 2022).

A normalização diz respeito a uma parte crescente da economia, em particular aos produtos de TI e às tecnologias verdes, como o hidrogênio (Anderson et al., 2021). Ao coordenar as partes interessadas nas normas técnicas, a padronização favorece a compatibilidade entre dispositivos ou sistemas, que por sua vez espera-se que gere externalidades positivas (Baron; Pohlmann, 2018). Mas também pode ter custos sociais, ao reduzir a variedade e a concorrência ou ao conduzir à adoção de tecnologias subótimas. Desta forma, faz-se necessário melhorar a transparência no que diz respeito ao processo de normalização (Rabier, 2017).

Diante do exposto, verifica-se que os governos precisam encontrar um equilíbrio entre a estabilidade e a adaptabilidade da política industrial. Por um lado, os novos desenvolvimentos tecnológicos podem levar a uma modernização da legislação que permita que as empresas obtenham os seus ganhos de produtividade, e por outro lado, as mudanças políticas e a incerteza política têm um custo para as empresas, em particular através da redução do emprego e do

² Este parágrafo centra-se nas patentes, mas outros tipos de direitos de propriedade intelectual, como os direitos de autor, as marcas registadas e os desenhos e modelos, também são importantes para o crescimento da produtividade – ver OCDE (2015).

investimento (Baker et. al., 2016). Nesse contexto, a incerteza política torna-se relevante para investimentos a longo prazo, por exemplo investimentos em novas tecnologias de baixo carbono e energias renováveis (Andreoni; Rodrik, 2017).

Já com relação aos instrumentos de política industrial pelo lado da demanda, ou seja, aqueles que afetam a demanda de produtos/serviços. Esses instrumentos são muito utilizados em estratégias orientadas para missões, na medida que contribuem para abordar as externalidades no centro das missões, como as alterações climáticas (Criscuolo et. al., 2022). Além disso, eles afetam a demanda de produtos, através do seu preço, disponibilidade ou demanda pública. A lógica subjacente é a criação de demanda (onde os mercados imperfeitos não conseguem fazer), a fim de incentivar a expansão e a melhoria da eficiência através, por exemplo, da aprendizagem pela prática (Criscuolo et. al., 2022). Dentre esses instrumentos podemos destacar três: a utilização de impostos e subsídios pigouvianos; a regulamentação de produtos; e a utilização de compras públicas.

A literatura tende a mostrar que os instrumentos de mercado (tarifas de aquisição, regimes de limitação e comércio, taxas de carbono, etc) têm maiores efeitos sobre a inovação do que instrumentos mais rígidos, como os regulamentos de comando e controle (Aghion et al., 2016). Enquanto os instrumentos de mercado permitem reações heterogêneas³ entre as empresas, ao mesmo tempo que atribuem eficientemente as reduções de emissões de acordo com os custos de abatimento, as regulamentações impõem o mesmo objetivo a todas as empresas (Criscuolo et. al., 2022). Dessa forma, Fang, Gao e Lai (2020) destacam que normas regulamentares tendem a aumentar a burocracia, os custos de entrada e ter um efeito prejudicial nas empresas menores. Ainda segundo os autores, na China, as regulamentações de comando

³ A adicionalidade dos incentivos fiscais à P&D é maior para as pequenas e médias empresas do que para as grandes empresas, o que reflete o fato de as empresas menores realizarem menos P&D do que as empresas maiores, em média; da mesma forma, verifica-se pouca adicionalidade de fatores de produção para empresas em indústrias altamente intensivas em P&D (farmacêutica, fabrico de computadores, P&D científico), refletindo o fato dos seus modelos de negócio se basearem em P&D, independentemente de intervenções políticas (Aghion et al., 2016).

e controle têm um efeito positivo na inovação das grandes empresas, mas têm um efeito inibidor para as pequenas empresas.

Os instrumentos do lado da demanda podem também desempenhar um papel na difusão das tecnologias, permitindo que estas se tornem rentáveis ou mesmo obrigatórias. Entre estes instrumentos do lado da procura destinados a promover a difusão de produtos de baixo carbono, os subsídios aos veículos eléctricos (VE) são muito comuns (Konda, 2022). O impacto desses instrumentos dependerá, em última análise, da sua concepção e da sua complementaridade com outros instrumentos políticos (Konda, 2022). A OCDE (2015) salientou cinco características que são fundamentais para o impacto da regulamentação na inovação: o seu rigor, previsibilidade, flexibilidade, incidência e profundidade.

Outro instrumento pelo lado da demanda a ser analisado são as compras/contratos públicos. A literatura define habitualmente os compras públicas orientadas para a inovação como a "aquisição de tecnologias e produtos e serviços inovadores" pelo setor público com o objetivo principal de satisfazer as necessidades do setor público e o objetivo secundário de promover a inovação (Criscuolo et. al., p. 26, 2022). Os contratos públicos podem também ser utilizados para perseguir outros objetivos de política industrial (por exemplo, compras públicas de produtos verdes, compras para a autonomia estratégica através do desenvolvimento interno de tecnologias-chave), alguns dos quais estão relacionados com a inovação.

1.2 Políticas Industriais Verdes: definições e visões

A política industrial verde, conforme usada neste estudo, refere-se às tentativas do governo de acelerar o desenvolvimento de alternativas de baixo carbono aos combustíveis fósseis. Altenburg e Rodrik define política industrial verde como:

“qualquer medida governamental destinada a acelerar a transformação estrutural no sentido de uma economia de baixo carbono e eficiente em termos de recursos, de forma a permitir também melhorias de produtividade na economia” (Altenburg; Rodrik, 2017, p. 11, tradução nossa).

Ademais, cabe destacar que há semelhanças, mas também diferenças importantes entre os argumentos relativos à política industrial verde e aqueles que se aplicam à política industrial. A política industrial verde vai além da noção tradicional de políticas industriais em pelo menos seis aspectos importantes: (i) o enfoque nas externalidades ambientais como uma falha de mercado adicional e particularmente prejudicial; (ii) uma distinção clara e previsível entre tecnologias "boas" e "más", com base nos seus impactos ambientais, e, por conseguinte, a orientação sistemática do comportamento de investimento numa direção socialmente acordada; (iii) a urgência de realizar mudanças estruturais num curto espaço de tempo, para evitar o risco de pontos de viragem ambientais catastróficos; (iv) o aumento da incerteza devido aos longos horizontes temporais de algumas transformações, bem como a dependência de mudanças políticas; (v) as interfaces políticas adicionais e, por conseguinte, a necessidade de uma coordenação política particularmente abrangente; e (vi) a motivação para gerir bens comuns globais, como a atmosfera e os oceanos, para uma sustentabilidade a longo prazo, que nem sempre pode estar alinhada com os interesses nacionais imediatos (Altenburg; Pegels, 2012; Lütkenhorst et al., 2014).

Nesse sentido, como forma de equilibrar os retornos privados e sociais das empresas que investem em tecnologia verdes, devido, principalmente, ao fato dos retornos privados ficarem abaixo do retorno social, ou seja, resultam em um subinvestimento, faz-se necessário a fixação do preço da utilização de bens ambientais (Pegels, 2014). Para tanto, dois instrumentos importantes para os governos atribuírem preços aos bens ambientais são: sistemas de limitação e comércio (cap-and-trade systems) e impostos ambientais sobre o consumo de recursos ou as emissões. Nos sistemas de limitação e comércio, os governos definem um limite máximo para a utilização de um recurso ou de emissões e, em seguida, distribuem ou leiloam direitos de utilização entre os agentes econômicos, que podem depois ser comercializados. Já como relação aos impostos ambientais, eles não garantem um limite máximo para a utilização dos recursos ou para a poluição, porque a disponibilidade da indústria para pagar impostos define em que medida reduzirão a utilização dos recursos ou a poluição (Altenburg; Rodrik, 2017).

Segundo Pegels, como forma de internalizar as externalidades ambientais, a introdução de um preço do carbono e a tributação de vários outros "males" ambientais, bem como quadros regulamentares que desencorajem ou mesmo proíbam a produção e o consumo insustentáveis são fundamentais para a transição para uma economia verde (Pegels, 2014). Ademais, esses impostos apresentam outras vantagens, como são fixados diretamente por uma autoridade governamental, o custo adicional para as empresas é mais previsível (Altenburg; Rodrik, 2017).

Em um estudo elaborado por Peñasco et. al. (2021), os autores buscaram examinar diversas literaturas recentes sobre os instrumentos de política industrial verde com a finalidade de avaliar os seus impactos nas políticas de descarbonização. Os autores identificaram que instrumentos como investimentos públicos diretos, subsídios à implantação de energias renováveis e fixação dos preços do carbono podem ajudar a superar desafios em termos de competitividade para as pequenas empresas (PME) (Peñasco et. al., 2021).

No que diz respeito ao financiamento público em P&D e aos contratos públicos, a inovação e a competitividade das PME podem ser promovidas através de mecanismos específicos de atribuição e controle de P&D e de orientação para as pequenas empresas (Peñasco et. al., 2021). Os programas governamentais de financiamento da P&D dirigidos às pequenas empresas ou às que se encontram em fases iniciais de desenvolvimento ajudam a atrair outras fontes de financiamento e a promover a competitividade das pequenas empresas (Criscuolo; Menon, 2015).

Howell mostra que as subvenções escalonadas de P&D para as pequenas empresas fazem progredir tanto os resultados em termos de inovação como de competitividade (Howell, 2017). Para as pequenas empresas, as subvenções à P&D tendem a ser um instrumento complementar dos créditos fiscais à P&D, uma complementaridade que não surge claramente para as grandes empresas. Uma combinação de financiamento direto da P&D e de créditos fiscais à P&D pode estimular investimentos privados de P&D mais elevados do que a aplicação de cada instrumento político de forma independente (Howell, 2017).

Os contratos públicos podem também promover a inovação e a competitividade das pequenas empresas (Peñasco et. al., 2021). É importante notar que podem ser utilizados em âmbitos locais e regionais para resolver problemas localizados das empresas, tais como facilitar o acesso a novos mercados (Cerutti et. al., 2018). Ghisetti em um estudo verificou que a utilização de contratos públicos resultou, em alguns casos, resultados positivos em termos de competitividade e inovação através da criação de oportunidades de mercado, em particular para as pequenas e médias empresas em áreas economicamente afetadas (Ghisetti, 2017).

Já com relação aos instrumentos de fixação de preços e de comércio de licenças de emissão de carbono, seja através de impostos ou de mercados de licenças, segundo Peñasco et. al. (2021), não apresentam um consenso na literatura quanto aos benefícios à competitividade e aos resultados distributivos. Os resultados em termos de competitividade são, na maioria das vezes, negativos para os setores de exportação com utilização intensiva de energia. Em contrapartida, o impacto da fixação do preço do carbono no resultado da competitividade do setor da eletricidade é geralmente positivo (Peñasco et. al., 2021). Isto deve-se provavelmente ao fato do setor da eletricidade estar geralmente mais orientado para os mercados nacionais (Martin et. al., 2016).

Apesar de cada vez mais presente, esses instrumentos, por várias razões, podem não ser suficientes (Fay et al. 2015). Uma limitação é o fato de existirem outras falhas de mercado que dificultam as transformações verdes, por exemplo, as relacionadas com a informação incompleta, a falta de coordenação ou a apropriação inadequada dos investimentos em investigação e desenvolvimento. Outra limitação consiste em preocupações éticas sobre a fixação de preços. Além disso, os melhores instrumentos políticos podem não estar disponíveis por razões políticas ou administrativas (Altenburg; Rodrik, 2017).

Dessa forma, são normalmente necessárias combinações de políticas que combinem instrumentos baseados no mercado, regulamentação, reforço das capacidades, subsídios e outras componentes de várias formas. A combinação correta depende das condições do país, tais como o grau de complexidade da política que pode ser gerido e o grau de isolamento do governo em relação à pressão dos grupos de pressão (Altenburg; Rodrik, 2017).

Um segundo aspecto importante das políticas industriais verdes é a orientação sistemática do comportamento de investimento numa direção socialmente acordada. Segundo Rockström et al., o objetivo global de reconduzir a economia a um "espaço operacional seguro para a humanidade" confere necessariamente uma orientação à mudança estrutural (Rockström et al. 2009). A política industrial tradicional de certa maneira visa aumentar o crescimento da produtividade e dos rendimentos, mas deixa às forças de mercado a tarefa de encontrar as tecnologias e os modelos de negócio mais lucrativos (Rockström et al. 2009). Já política industrial verde é orientada por provas científicas de ameaças ambientais. Isto implica em buscar uma visão muito mais clara das tecnologias e dos modelos de negócio que são bons ou maus (Altenburg; Rodrik, 2017).

Diante do exposto, é necessário avaliar algumas particularidades das políticas industriais verdes. A primeira diz respeito às questões de escolha e promoção de tecnologia: avaliar e acordar quais as tecnologias são boas para um futuro sustentável não é fácil, pois implicam em juízos de valor difíceis (Pegels, 2014). Por exemplo, numa perspectiva de descarbonização, os biocombustíveis são substitutos desejáveis dos combustíveis fósseis, mas a sua produção comercial pode conduzir a monoculturas, à perda de biodiversidade, ao aumento dos preços dos alimentos e a uma maior pressão sobre terras vulneráveis não utilizadas (Pegels, 2014). O que é desejável depende, portanto, de juízos de valor, e são necessários acordos políticos para definir o que merece apoio (Spratt, 2013). Outra particularidade é a necessidade de manter os subsídios a implantação de tecnologias verdes, além do ponto em que estas se igualam às tecnologias nocivas. Never e Kemp destacam que ao contrário da política industrial tradicional que promoveria as tecnologias apenas na sua fase inicial e retiraria o apoio assim que começassem a competir no mercado, a lógica das transformações verdes implica que, quando as soluções ambientalmente sustentáveis competem com as nocivas, é do interesse público acelerar a substituição em vez de esperar que os mercados recompensem alternativas comercialmente superiores (Never; Kemp, 2017).

Outrossim, com o objetivo de evitar que algumas atividades econômicas de fortes impactos no meio ambiente gerem mudanças irreversíveis e

catastróficas, são necessários saltos quânticos na eficiência dos recursos que, por sua vez, exigem tecnologias e modelos de negócio radicalmente diferentes em vários domínios (Rockström et al. 2009). Esta urgência de realizar mudanças estruturais num curto espaço de tempo, para evitar o risco de impactos ambientais catastróficos constitui um terceiro aspecto que diferencia a política industrial verde da tradicional (Altenburg; Rodrik, 2017).

Um quarto aspecto que mostra a relevância do debate das políticas industriais verdes é como lidar com o aumento da incerteza. É fato que qualquer política traz consigo um certo grau de incerteza quanto à sua eficácia, mas quando estamos tratando de muitos dos objetivos de uma política industrial verde, que, em geral, dependem de horizontes temporais mais longos, essa incerteza é maior (Chang; Andreoni, 2020).

Segundo Altenburg e Rodrik (2017), existem três tipos de incertezas: há incerteza quanto às tecnologias e aos mercados; existe uma incerteza política; e existe incerteza quanto à dinâmica dos ecossistemas. Com relação a incerteza quanto às tecnologias e aos mercados, os autores destacam que estas são sempre difíceis de prever, ainda mais quando se trata de mudanças sistêmicas que se estende por várias décadas. Já quando tratamos das incertezas políticas, é fundamental entender que a política industrial verde é fortemente impulsionada por objetivos definidos politicamente, mais do que por novas tecnologias e oportunidades de mercado, o que torna essencial a existência de quadros políticos previsíveis e estáveis a longo prazo (Chang; Andreoni, 2020).

Finalmente, o terceiro tipo de incerteza destacado por Altenburg e Rodrik (2017) refere-se à incerteza quanto à dinâmica dos ecossistemas. Segundo os autores, como os efeitos das perturbações não são lineares, torna-se difícil de prever e definir as ações necessárias para combater as mudanças ambientais. Assim, se as perturbações forem menores e limitadas no tempo, os sistemas tendem a regressar ao seu estado de equilíbrio anterior; mas existem limiares para os quais os sistemas podem entrar em colapso (Scheffer, 2009). A investigação em ciências naturais é, portanto, necessária para compreender os riscos econômicos inerentes à dinâmica dos ecossistemas e informar os decisores políticos e os investidores (Scheffer, 2009).

Um quinto aspecto que diferencia as políticas tradicionais das verdes diz respeito à necessidade de coordenação de políticas. Muitas vezes, a transformação verde vai além da substituição de tecnologias individuais. Altenburg e Rodrik (2017) defendem que essa mudança ocorra de forma ampla nos sistemas de produção e isto exige mudanças simultâneas em várias frentes, incluindo o desenvolvimento de várias tecnologias e modelos empresariais interdependentes, e os ajustamentos conexos da regulamentação e dos sistemas de apoio. São necessários processos de coordenação bem geridos, com um forte apoio político, para concretizar esta mudança.

Ademais, o último aspecto levantado por Altenburg e Rodrik (2017) diz respeito à motivação para proteger não só os interesses nacionais, mas também os bens comuns mundiais. Segundo os autores, a agenda da política industrial verde é parcialmente impulsionada por acordos internacionais em que os governos se comprometeram a descarbonizar as suas economias. Além disso, no cenário atual, verifica-se que as repercussões positivas das políticas nacionais para a difusão global de tecnologias verde ocorrem sobretudo de forma não intencional. Assim, na visão dos autores, para acelerar a difusão mundial de soluções tecnológicas para a gestão dos bens comuns globais, é necessária uma maior cooperação tecnológica internacional:

“Currently, such positive spillovers from national policies to global green technology diffusion have mainly happened unintentionally. To accelerate the worldwide diffusion of technological solutions for managing global commons, more international technology cooperation is needed. This requires expansion of mechanisms that fund international research and development, knowledge sharing and technical assistance to developing countries, such as the Global Environmental Facility and the UNFCCC’s Technology Mechanism” (Altenburg; Rodrik, 2017, p. 16).

1.3 Tecnologias Verdes e Janelas de Oportunidade: a importância do conceito de paradigma tecnoeconômico

A política industrial verde é um importante guia de políticas e uma ferramenta para o governo controlar a poluição ecológica e ambiental. Ela também deve promover o desenvolvimento econômico sustentável, o que implica em mudanças fundamentais de longo prazo. Essas mudanças têm a possibilidade de levar a avanços tecnológicos transformadores, resultando na inovação da tecnologia verde (Lema et al., 2020). Pouco tempo atrás, a ideia de crescimento verde estava limitada às economias avançadas, com os países em desenvolvimento relutantes em aceitar o desafio da sustentabilidade. Recentemente, de acordo com Altenburg e Pegels, (2020), a relação dicotômica entre transformação verde e desenvolvimento tardio, inerente à curva de Kuznets ambiental, foi invertida (Stern, 2007). Essa inversão vem possibilitando que países em desenvolvimento possa realizar saltos de tecnologia como forma de contornar os modelos de crescimento altamente poluentes (Mathews, 2013; Harrison et al., 2017).

Nesse contexto, há um reconhecimento crescente de que as políticas industriais verdes podem abrir novas vias de desenvolvimento econômico, principalmente para países em desenvolvimento (Lema et al., 2020). A transformação verde e as mudanças de paradigma tecnoeconômico⁴ relacionadas em todos os domínios institucionais, de mercado e tecnológicos, estão possibilitando a abertura de janelas de oportunidade para as economias emergentes alcançarem a liderança em novas indústrias relacionadas com a sustentabilidade (Mathews, 2018; Lee, 2019). Essas janelas de oportunidades verdes (GWOs – sigla em inglês) foram definidas por Lema et. al. (2020, p. 1194) como: *“um conjunto de condições que implicam circunstâncias temporárias, mas*

⁴ Segundo Freeman (1995), um paradigma tecnoeconômico pode ser definido como: "um conjunto de diretrizes comuns para decisões tecnológicas e de investimento à medida que as novas tecnologias amadurecem. Ele é impulsionado não por forças naturais predeterminadas, mas por instituições e atores econômicos e sociais" (Freeman, 1995, p.198).

favoráveis, para a recuperação a longo prazo dos países em desenvolvimento em setores centrais para a economia verde.”

Ademais, as janelas de oportunidade verdes são condições favoráveis, mas limitadas no tempo, para o desenvolvimento econômico decorrentes de mudanças nas instituições, mercados ou tecnologias associadas à transformação para a sustentabilidade (Lee; Malerba, 2017). São diferentes das tradicionais janelas de oportunidade de recuperação que normalmente surgem por mudanças tecnológicas exógenas ou de grandes mudanças na procura do consumidor (Lee; Malerba, 2017; Perez; Soete, 1988). De fato, existem múltiplas vias possíveis de desenvolvimento dos retardatários, que diferem substancialmente das percorridas pelos pioneiros nas economias avançadas (Perez; Soete, 1988). Além disso, a recuperação envolve mais do que a simples imitação de novas tecnologias, requer adaptação criativa e inovação ao longo e para além das trajetórias seguidas pelos pioneiros. Lee também defende que os países em desenvolvimento podem saltar algumas etapas ou até mesmo seguir uma trajetória única no processo de recuperação (Lee, 2019, p. 26):

“Latecomer catch-up may skip some stages or follow an entirely unique trajectory. Late entrants build on existing knowledge, but may depart from it to follow their own development path”.

Perez e Soete (1988) sugeriram que estas saídas são motivadas por janelas de oportunidade que surgem quando as mudanças nos regimes tecnológicos reduzem as restrições ao desenvolvimento em desenvolvimento. Embora as empresas estabelecidas possam estar presas a rotinas e conhecimento orientados para o regime tecnológico existente, as mudanças tecnológicas podem reduzir as barreiras à entrada e reduzir os tempos de aprendizagem. Assim, as economias emergentes e as empresas com as capacidades relevantes podem ser mais ágeis e beneficiar de possibilidades de salto numa fase de transição de paradigma (Fu et al., 2011).

Outrossim, essas oportunidades podem surgir como resultado de mudanças no paradigma tecnoeconômico prevalecente, de mudanças na procura do mercado ou de grandes modificações na regulamentação

governamental ou nas intervenções políticas. Lee e Malerba (2017) descrevem essas oportunidades como janelas tecnológicas, de mercado e institucionais e mostram que, em diferentes setores, as mudanças na liderança da indústria dependem do tipo de oportunidade e das respostas estratégicas dos operadores históricos e dos recém-chegados.

Ademais, com a introdução do conceito de janelas de oportunidades verdes, fez-se necessário, também, substituir a ideia de paradigma tecnoeconômico tradicional por uma nova noção de paradigma, que Christopher Freeman a definiu como um paradigma tecnoeconômico verde (1992, 1996). Esse paradigma tecnoeconômico verde implica que o desenvolvimento dos países em desenvolvimento se processa segundo uma nova trajetória que se distingue por ser mais sustentável do ponto de vista ambiental do que as trajetórias seguidas pelas economias avançadas (Malerba; Nelson, 2011). A mudança para um paradigma tecnoeconômico verde implica numa mudança nas decisões tecnológicas e de investimento para tecnologias e modos de produção mais sustentáveis do ponto de vista ambiental (Malerba; Nelson, 2011).

Dessa maneira, os governos procuram ativamente antecipar oportunidades ou ameaças emergentes e reagem estabelecendo ambientes de seleção que favorecem caminhos tecnoeconômicos específicos em determinados setores (Yap; Truffer, 2019). Isto envolve o uso de instrumentos de política industrial verdes, tais como políticas do lado da demanda, normas técnicas, subsídios, entre outros, para privilegiar determinadas trajetórias verdes (Mathews et al., 2020). Essas oportunidades podem, portanto, surgir como resultado de grandes modificações na regulamentação governamental ou nas intervenções políticas, de mudanças associadas na demanda do mercado ou de mudanças tecnológicas induzidas (Konda, 2022). A sequência e a interação das mudanças institucionais, de mercado e tecnológicas são fundamentais para a forma como as oportunidades específicas se desenrolam em diferentes países e setores (Lema et al., 2020).

Além disso, para abordar a natureza de tais respostas às mudanças em domínios técnicoeconômicos específicos da economia verde, é importante uma perspectiva centrada nos sistemas setoriais de inovação e produção. Os esforços a nível das empresas não são suficientes, são necessários esforços

institucionais para apoiar a passagem da facilitação da capacidade de produção para o apoio ativo ao desenvolvimento tecnológico (Lema et al., 2020). Isto requer investimentos públicos em P&D e programas e projetos específicos para enfrentar desafios tecnológicos, tais como melhorias de processos e aplicação de tecnologias complementares (Shubbak, 2019). Assim, dada a natureza interligada destas dimensões na economia verde, uma abordagem inspirada no sistema pode, portanto, fornecer uma lente unificada para abordar condições prévias, tais como características setoriais, capacidades e estratégias relativas às respostas nacionais às GWOs (Konda, 2022).

Com relação às características setoriais globais, verifica-se que elas são muito importantes para a capacidade de resposta. Por exemplo, o grau de maturidade tecnológica e de comercialização das diferentes tecnologias verdes varia significativamente e afeta os processos de construção e aplicação das capacidades relevantes (Konda, 2022). As tecnologias que ainda estão na fase inicial necessitam de investimentos em P&D público e experimentação pelo lado da oferta, enquanto pelo lado da demanda podem exigir a introdução de mecanismos de estímulo de mercado para efeitos dinâmicos de interação usuário-produtor para surgir (Lema et al., 2020). Já os setores altamente maduros, por exemplo, energia eólica ou solar fotovoltaica, podem ser totalmente ou parcialmente competitivos em termos de custos e tendem a ter bases de conhecimento muito mais codificadas e mercados tecnológicos globais desenvolvidos, permitindo estratégias de recuperação baseadas na rápida aquisição e imitação de tecnologia (Lema et al., 2020).

Além do mais, verifica-se também que as condições prévias da base de abastecimento e das indústrias relacionadas são fundamentais, pois, as capacidades existentes podem ser inadequadas ou desalinhadas com os requisitos da janela de oportunidade, o que inviabiliza o seu aproveitamento (Lema et al., 2020). Por exemplo, existe uma janela verde de oportunidade significativa no espaço solar fotovoltaico em vários países de baixo e médio renda, mas as capacidades de produção necessárias não estão disponíveis, o que significa que a localização dos benefícios econômicos associados é altamente limitada (Lema et al., 2018).

Um outro ponto de destaque é a importância das políticas industriais verdes para transformar as oportunidades de desenvolvimento econômico em realidade. Uma abordagem passiva pode transformar a oportunidade numa ameaça e pode levar a uma eventual perda de competitividade e de capacidade de implantar novas soluções verdes. Isto pode acontecer se houver mudanças drásticas nas tecnologias ou nas preferências dos consumidores (Konda, 2022). Nesses casos, a utilização de políticas industriais orientadas para missões pode ser fundamental. Estas incluem a criação de procura e a salvaguarda de investimentos verdes públicos através de medidas protecionistas (Landini et al., 2020). Inclui também a estimulação das capacidades necessárias do lado da oferta. O investimento em P&D, tanto público como privado, o apoio à formação profissional, os créditos à exportação e o financiamento são todos elementos possíveis da combinação de políticas industriais verdes (Altenburg; Rodrik, 2017; Anzolin; Lebdioui, 2021). Portanto, é de suma importância a coordenação e a concepção conjunta de políticas para promover objetivos econômicos ambientais.

CAPÍTULO 2 - UMA ANÁLISE DOS IMPACTOS, DESAFIOS E O POTENCIAL DOS VEs

2.1 Um breve histórico da Indústria Automobilística Global e do veículo elétrico no Brasil

Ao analisarmos o surgimento da indústria automobilística percebemos que ela está diretamente relacionada com as transformações da sociedade. Com o surgimento do automóvel o modo de viver da humanidade teve grandes alterações, passando a ser algo essencial no dia a dia da sociedade, seja para lazer ou para trabalho. A história do automóvel surgiu em meados 1769, quando Nicolas Joseph Cugnot buscou, em uma tentativa fracassada, construir o primeiro veículo com motor à vapor (Romanzoti, 2013). Depois de diversas tentativas, no ano de 1886, Gottlieb Daimler construiu um carro com quatro rodas e com motor à combustão interna que é considerado o primeiro automóvel moderno (Romanzoti, 2013). Segundo John Rae (1999), após o sucesso do

motor a gasolina, houve bastante empenho na tentativa de produção de outros tipos de motorização, como o motor a eletricidade.

Entretanto, foi no ano de 1903 com a criação da Ford Motor Company, que os automóveis passaram a ser produzidos em grande escala. Henry Ford criou o Sistema Ford de Produção que inaugurou a fase moderna da industrialização ao instituir a linha de montagem, com a simplificação do conteúdo do trabalho via compartimentação de tarefas, padronização dos procedimentos e dos componentes fabricados. Foi o início da chamada produção em massa (Goldenstein; Azevedo, 2006). Ainda segundo os autores, com a expressiva redução nos custos de fabricação, os automóveis, antes considerados artigos de luxo, passaram a ser acessíveis para grande parte da população. Segundo Lobo (2015, p.2), esse sistema pode ser descrito sob três pontos de vista diferentes:

“i) o econômico: a produção em massa e a capacidade crescente do consumo da população e a redução de custos de produção, possibilitavam a obtenção de lucros via volume de vendas; ii) o tecnológico: caracterizado pelo sistema Fordista através das participações restritas de colaboradores na fabricação do produto, onde o colaborador fica responsável por uma pequena parte do processo e tinha acesso restrito às tecnologias, somente as necessárias para a realização de cada etapa, e de uma produção rígida e dos produtos totalmente padronizados; e iii) o social: base de sucesso do sistema Fordista, que propiciou mais emprego, redistribuição de renda e aumentou o consumo de carros da população”.

Esses métodos de produção foram de grande importância para toda a indústria, pois reformulou a forma de organização no trabalho. Freitas (2012) cita até mesmo que o novo padrão de produção de Ford teve consequências no sistema capitalista, pois criou “um estilo de vida e, junto com ele, um novo tipo de homem que, em alguma medida, perdura até os dias de hoje” (Freitas, 2012 p.71).

Com a implementação do sistema Fordista no mercado a venda dos automóveis tomou um rumo significativo, o carro elétrico, que até então, tinha uma ótima saída no mercado, deu lugar aos automóveis movidos à combustão interna que, no mesmo período, apresentaram um aumento nas vendas bem superior em relação ao apresentado nas vendas de carros elétricos (Schiavi,

2020). O que fez com que aos poucos o automóvel elétrico sumisse dos mercados e o motor a combustão ganhasse mais espaço (Cowan; Hultén, 1996).

Após a Segunda Guerra Mundial a indústria automobilística continuou se expandindo, ela dispersou-se de forma significativa para a Europa e outros continentes (Casotti; Goldenstein, 2008). O Japão se destacou por instalar centros de inovações gerenciais e produtivos, na segunda metade do século XX, ocasionando a Terceira Revolução Industrial (Casotti; Goldenstein, 2008).

O aumento considerável da indústria automobilística, no decorrer na segunda década do século XX, introduziu novos modelos de organização, novas formas de montagem de veículos e formulou novas estratégias de vendas, e, principalmente, novas estratégias de pesquisa, desenvolvimento e inovações necessárias para garantir o sucesso da indústria moderna (Casotti; Goldenstein, 2008). A indústria automobilística viveu um período de constantes processos de consolidações, de incorporações, fusões, joint ventures e parcerias comerciais de diversas naturezas.

Todavia, com a primeira grande crise do petróleo, em 1973, o barril de petróleo teve um aumento de preço considerável, o que impactou diretamente a gasolina. Essa crise levou diversos países a repensarem suas políticas em relação aos combustíveis fósseis. Havia clara necessidade de maior independência no fornecimento desses insumos e de desenvolvimento de tecnologias alternativas de propulsão, entre essas a elétrica (Matulka, 2014). Surgiram também, nesse período, debates e acordos políticos voltados para a questão ambiental e para a saúde pública, devido à preocupação com as emissões de poluentes (CO_2) transmitidos pela fumaça que os motores de combustão interna soltavam no ar (Barassa, 2015).

Diante desses fatos, novas pesquisas surgiram em prol do carro movido a eletricidade e diversos países se reúnem para discutir as consequências frente ao meio ambiente e para com a saúde da sociedade em geral (Schiavi, 2020). Este encontro ficou conhecido como a Primeira Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente, em 1972, originando o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, responsável por debater os problemas ambientais no mundo (Barassa, 2015). Este grupo era representado por alguns países europeus, os

Estados Unidos e o Japão, que passaram a se reunir e discutir o retorno da produção dos veículos elétricos, principalmente os automóveis.

O Japão foi um dos pioneiros em estruturar e assumir a posição de condutor do desenvolvimento dos veículos elétricos, passando a implementar ações de políticas que envolviam os automóveis elétricos no começo da década de 1970 (Schiavi, 2020). Nos Estados Unidos, em 1976, foi promulgado o Electric and Hybrid Vehicle Research, Development, and Demonstration Act, que autorizou o Ministério de Energia a apoiar projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em veículos híbridos e elétricos (Vaz et. al., 2015).

No Brasil, o desenvolvimento de veículos elétricos foi tímido, pois o principal foco da política pública à época foi o Programa Nacional do Álcool (Proálcool)⁵. Nesse período, o destaque foi o protótipo nacional Gurgel Itaipu, com motor elétrico de 3,2 kW (4,2 cv), velocidade máxima de 50 km/h e autonomia entre 60 km e 80 km (Vaz et. al., 2015). Contudo, as limitações de performance, o preço acima das opções tradicionais e o fim do embargo dos países da Opep contribuíram para um novo período de esquecimento do veículo elétrico até os anos 1990 (Vaz et. al., 2015).

Entretanto, como a RIO-92, evento da Organização das Nações Unidas (ONU), houve um aumento da conscientização global em busca de uma melhoria da qualidade do ar nas cidades, da redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e da substituição de combustíveis fósseis por energias alternativas (VAZ et. al., 2015). Como exemplo do retorno da importância do veículo elétrico para as questões ambientais, em 1997, é lançado no Japão o primeiro veículo híbrido produzido em massa, o Toyota Prius. Barassa (2015, p. 32) destaca que o Japão é um grande exemplo da trajetória dos veículos elétricos, frente às dificuldades encontradas para a sua produção e da tentativa em extinguir do mercado os veículos a combustão interna:

O pioneirismo em trabalhar com as tecnologias relacionadas ao veículo elétrico fez com que as principais empresas japonesas desfrutassem de uma vanguarda tecnológica que se estende até a metade da segunda década do século XXI.

⁵ Criado em 14 de novembro de 1975 pelo Decreto 76.593.

Nos anos 2000, o preço do petróleo voltou a subir e alcançou níveis superiores aos do embargo dos anos 1970, impactando, novamente, nos preços dos combustíveis. Fato esse que contribuiu de forma significativa para incentivar ainda mais a eletrificação veicular (Goldenstein; Azevedo, 2006). No Brasil, apenas de 2000 a 2010, o mercado automotivo cresceu 136%, com grande participação dos veículos flex-fuel, que se tornaram os mais licenciados entre os leves⁶ (Vaz et. al., 2015). Em 2019, o país era o oitavo maior fabricante de automóveis do mundo e o sexto maior mercado automóvel, considerando os registros de automóveis novos (STATISTA, 2021a). Como centro de produção, o país abriga grandes empresas globais de automóveis, como Volkswagen e General Motors. E mais recentemente, fabricantes dedicados de veículos elétricos localizaram-se no país, como a chinesa BYD (Konda, 2022).

Todavia, a maior parte das vendas de veículos elétricos no Brasil, atualmente, consistem em veículos importados (Consoni et al., 2019). No que diz respeito aos investimentos em infraestruturas, existem algumas iniciativas do setor privado. A Volvo Cars começou a instalar postos de carregamento em centros comerciais em 2020, pretendendo instalar entre 500 e 700 postos no primeiro ano. A BMW planeja instalar 180 postos de recarga em 2022. A Zletric está instalando postos de recarga nos estacionamento e pretende construir 400 postos em 2022 (Konda, 2022). Além dos projetos privados planejados, há mais de 30 projetos apoiados com US\$ 118 milhões pela Aneel, possibilitando uma melhora significativa na infraestrutura de carregamento até 2025 (Bland, 2020).

Entretanto, as políticas de incentivo à P&D, ainda são poucas, e a atual rede de inovação favorece o desenvolvimento incremental de veículos de combustão interna e a etanol (Wolffenbüttel, 2020). Além disso, as políticas de biocombustíveis sólidos e de longo prazo racionalizam as políticas governamentais menos progressivas para veículos elétricos. No entanto, o programa RenovaBio busca incentivar a combinação de veículos elétricos híbridos com biocombustível (Consoni et al., 2019; Wolffenbüttel, 2020).

⁶ Veículos leves, segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea), são os automóveis e os comerciais leves.

2.2 Os Impactos Ambientais da adoção de Carros Elétricos

As preocupações em torno das mudanças climáticas como orientação global de política no âmbito das Nações Unidas acarretaram uma série de transformações nos setores diretamente relacionados às emissões de GEEs, como os de energia e transporte. De acordo com os cenários do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2022), a temperatura global só estará estabilizada quando as emissões de dióxido de carbono (CO₂) atingirem um cenário de emissões líquidas zero (net zero emissions – NZEs).

Entretanto, atualmente, as fontes de energia de base fóssil ainda continuam a ser a forma de energia mais utilizada para atender à crescente demanda de energia (Dik, A. et al., 2022). Dessa forma, para cumprir os compromissos de alcançar o pico de carbono até 2050 os principais países fabricantes de automóveis necessitam de medidas urgentes para agilizar a eletrificação da sua produção, venda e frota, tendo em vista a participação do setor de transportes nas emissões de CO₂.

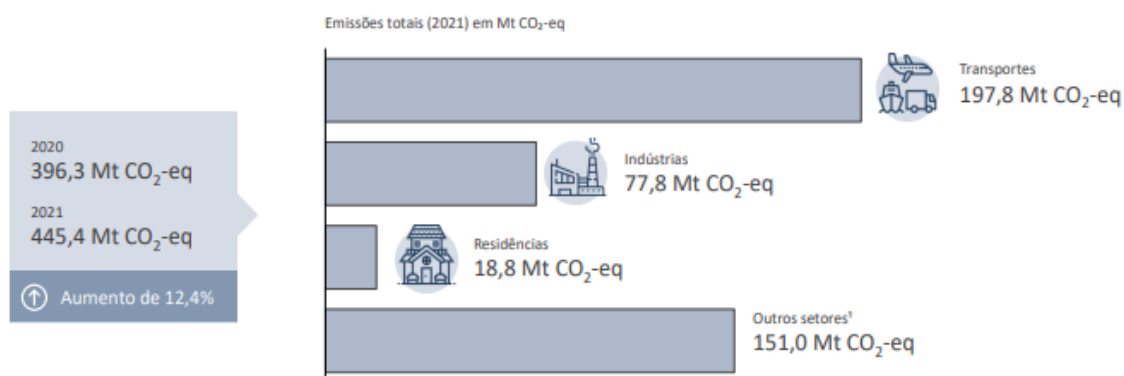
Tal como salientado pela Agência Europeia da Energia, o setor dos transportes representa uma das principais fontes de pressão ambiental. Em 2020, o transporte foi responsável por mais de um quarto das emissões totais de GEE – destas, o transporte rodoviário produziu mais de 70% dessas emissões (EEA, 2020). O Brasil emitiu 2,4 bilhões de toneladas brutas de gases de efeito estufa em 2021, um aumento de 12,2% em relação a 2020, quando o país havia emitido 2,1 bilhões de toneladas (Potenza et al, 2023). É o maior aumento de emissões em quase duas décadas, superado apenas por 2003, quando as emissões cresceram 20% e atingiram seu pico histórico. A aceleração é mais do que duas vezes superior à média mundial estimada para o mesmo ano (Potenza et al, 2023).

Quando analisamos o ranking dos maiores emissores, o Brasil é o sétimo maior emissor de gases de efeito estufa do mundo, com 3% do total mundial, atrás de China (25,2%), EUA (12%), Índia (7%), União Europeia (6,6%), Rússia (4,1%) e Indonésia (4%), podendo até superar a Indonésia, uma vez que, houve recentemente uma redução do desmatamento neste país e a série de dados

globais só vai até 2019 (Potenza et al, 2023). O setor de transporte, no Brasil, respondeu por 13% das emissões nacionais de GEE em 2020 e foi a terceira maior fonte de emissões depois da agricultura (35%) e da mudança no uso da terra (27%) (World Resources Institute, 2023).

Os automóveis são a segunda categoria de veículo que mais emite gases de efeito estufa, tendo sido responsáveis por 31% das emissões do setor de transporte em 2021, ficando atrás apenas dos caminhões, que representaram 42% do montante emitido (Potenza,220 et al, 2023). Já com relação à emissão de CO₂ (gás responsável por 60% do efeito estufa), segundo um estudo da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021), em 2021 no Brasil, o total de emissões de CO₂ antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu 445,4 milhões de toneladas de CO₂, desse total a maior parte é de responsabilidade do setor de transporte (GRAFICO 1).

GRÁFICO 1 - Total de emissões de CO₂ antrópicas associadas à matriz energética brasileira



Fonte: Extraído do EPE, 2021

Nesse sentido, verifica-se que desde o início da década de 1990, a partir da Cúpula da Terra das Nações Unidas e até a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, a sustentabilidade do setor de transportes tem se tornado cada vez mais um tema central. Especificamente, a agenda 2030 afirma que:

"(...) sistemas de transporte sustentáveis, juntamente com o acesso universal a serviços de energia acessíveis, confiáveis, sustentáveis e modernos, infraestrutura de qualidade e resiliente e outras políticas que aumentem as capacidades produtivas, construiriam bases econômicas sólidas para todos os países" (ONU, 2015, p. 27 – tradução nossa).

Esses objetivos foram discutidos recentemente na COP26 para facilitar a transição para meios de transporte com emissão zero como ferramenta para ajudar a reduzir o aquecimento global. Nesse cenário, a adoção de veículos elétricos a bateria⁷ (BEVs) representa uma oportunidade que pode contribuir para os objetivos mencionados. Atualmente, existem inúmeras iniciativas para mudar de veículos elétricos baseados em combustíveis fósseis para veículos elétricos a bateria (BEVs). A União Europeia, por exemplo, pretende atingir uma quota de mais de 80% de veículos elétricos entre o total de veículos até 2030 (Guzović et. al., 2022).

Vários estudos sobre os benefícios ambientais da adoção de VE mostraram que eles estão diretamente ligados às fontes de energia utilizadas tanto para a fabricação dos veículos (ou seja, baterias e componentes

⁷ Existem os veículos elétricos puros (BVEs, da sigla em inglês para Battery Electric Vehicles), cuja fonte principal de energia é a eletricidade proveniente de fontes externas (a rede elétrica, por exemplo). A eletricidade é armazenada em uma bateria interna, que alimenta o motor elétrico e propulsiona as rodas (Delgado et al., 2017).

Como estes veículos usam exclusivamente a eletricidade como combustível, são considerados veículos all-electric. Todos os BVEs são plug-in electric vehicles (PVE), dado que a eletricidade é fornecida por uma fonte externa (ligado na tomada) (Delgado et al., 2017).

Dentro dos PVEs também se incluem alguns VEs híbridos, que são aqueles que utilizam ambos os motores elétricos e à combustão interna para propulsão. Os elétricos híbridos são de três tipos: i) híbrido puro (HVE, da sigla em inglês Hybrid Electric Vehicle). O motor principal que propulsiona o veículo é à combustão interna; ii) híbrido Plug-in (PHVE, da sigla em inglês Plug-in Hybrid Electric Vehicle), cujo motor à combustão interna também é o principal, mas eles podem, além disso, receber eletricidade diretamente de uma fonte externa; e iii) híbrido de longo alcance (E-RVE, da sigla em inglês Extended Range Electric Vehicle), é um híbrido do tipo em série: o motor principal é o elétrico – que é alimentado diretamente por uma fonte elétrica externa (Delgado et al., 2017).

eletrônicos) como para o fornecimento de energia aos veículos (Jeon et al., 2020; Cao et al., 2021; Alp et al., 2022). Diante disso, vários autores sugeriram considerar tanto o consumo de energia durante o processo de fabricação quanto a energia utilizada pelos veículos na estrada para avaliar a viabilidade ambiental da adoção de VEs, evitando a superestimação ou subestimação dos parâmetros de emissão (Hoekstra, 2019; Hawkins et al., 2013).

Ademais, Pipitone et al. (2021) estimaram o impacto dos veículos de combustão interna (ICEVs) e dos BEVs nas emissões de GEE ao longo dos seus ciclos de vida e concluíram que a fabricação de um BEV bem como as fontes de energia utilizadas para o alimentar durante a sua utilização conduzem a uma libertação de 109,6 g/km de CO₂, o que equivale a 41,4% menos do que as emissões libertadas por um veículo de combustão interna (ICEV). No entanto, este benefício ambiental dependente da matriz energética. Consistente com isso, Siragusa et al. (2020) consideraram todo o ciclo de vida de um veículo (aquisição e processamento de matérias-primas e componentes, manutenção e descarte), adotando o método de análise do ciclo de vida⁸ (ACV) para estimar as emissões de GEE, constataram que a adoção de VEs permite uma redução das emissões de GEE que varia de 17 a 54% em relação ao número de quilômetros percorridos.

Um estudo elaborado Mera et. al. (2023), buscou realizar uma comparação das emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida (ACV) de carros de passeio a combustão e elétricos no Brasil com motor de combustão interna flex (ICEVs) e veículos elétricos a bateria (BEVs) usando veículos novos médios nas categorias compacto, médio e SUV compacto. O estudo constatou que as emissões do ciclo de vida dos ICEVs variam amplamente com o combustível utilizado: com gasolina C, etanol ou uma mistura de dois combustíveis. Isso implica que, para uma avaliação representativa de suas emissões, as proporções médias de gasolina C (na sua composição contém 27%, em volume, de etanol anidro) e etanol no mercado precisam ser consideradas (Mera et. al., 2023).

⁸ É um método para a avaliação dos sistemas de produção ou serviços que considera os aspectos ambientais em todas as fases da sua vida, estabelecendo vínculos entre esses aspectos e categorias de impacto potencial, ligados: ao consumo de recursos naturais, à saúde humana e à ecologia (Siragusa et al., 2020).

Além disso, baseado na matriz elétrica brasileira, as emissões do ciclo de vida dos BEVs atuais são aproximadamente 65% a 67% menores que dos ICEVs flex, e ainda com potencial de se aproximar de emissões zero nos modelos futuros. Já os estudos com elétricos movidos a célula de combustível a hidrogênio (FCEVs - *de fuel cell electric vehicles*) mostram uma redução nas emissões de GEE de 46% a 66%, mas somente quando são utilizados com hidrogênio verde baseado em eletricidade renovável (caso contrário, se for a base de gás natural, essa redução passa a ser de aproximadamente 14%). Os híbridos e híbridos plug-in, ao contrário, mostram apenas uma redução limitada nas emissões de GEE (redução de apenas 3%) e não alcançam emissões zero a longo prazo. Essas descobertas refletem as mesmas tendências observadas em análises anteriores do ICCT de veículos na China, Europa, Índia e Estados Unidos (Mera et. al., 2023).

Outros estudos avaliaram a viabilidade da adoção de VBEs em termos de poluição atmosférica como os GEE, considerando apenas as fontes de energia utilizadas para recarregar as suas baterias. Wang et. al. (2021) concluíram que, embora os VBE tenham uma taxa de consumo de energia inferior à dos VHE não plug-in e dos automóveis a diesel, as emissões de CO₂ ao longo do ciclo de vida são altamente variáveis e dependem também da matriz energética.

Segundo Wallisson Freitas et al. (2017), os veículos elétricos para serem de fato menos poluentes dependerá, principalmente, da origem da energia que os alimenta durante a recarga. Tendo em vista que, se a energia dos carros elétricos for gerada por uma usina a carvão ou a petróleo, a poluição desprendida no processo de produção dessa matriz energética será maior do que a poluição gerada no motor do carro convencional (Wallisson et al., 2017). Todavia, os autores enfatizam que, se a energia for gerada por fontes renováveis como solar ou eólica, a emissão de gases poluentes se torna bem menor do que a de um veículo com motor movido a combustíveis fósseis.

De fato, em países como a Noruega, onde 98% da energia provém de fontes renováveis, as emissões de CO₂ dos VE são significativamente inferiores às dos ICEV. Entretanto, na China, onde se utiliza muito carvão para produzir eletricidade, os VE são mais poluentes. Estes resultados sublinham a necessidade de desenvolver combinações de produção de energia limpa para

apoiar o desenvolvimento e a difusão dos automóveis eléctricos (Galatiá et. al., 2023).

Segundo Freitas et al. (2017), outros fatores importantes para análise, além da matriz energética, são as questões voltadas às baterias dos carros. Para os autores, os resíduos que são gerados na fabricação da bateria utilizada no carro eléctrico são bastante poluentes, por esse motivo eles sugerem que são necessário investimentos para o desenvolvimento de bateria compatível com o intuito do carro eléctrico, isto é, produzir menos poluentes na atmosfera, e ser reciclável. Esse pensamento também embarca a questão do descarte, pois o impacto no meio ambiente seria menor com uma bateria ecológica.

Segundo Freitas apesar de possuir uma maior eficiência energética, quando comparados ao de combustão interna, os motores eléctricos apresentam alguns pontos críticos como a autonomia e o desgaste das baterias:

“Freitas et al. (2017) realizam uma comparação entre os motores eléctricos e os motores à combustão interna e demonstram que os motores eléctricos possuem uma maior eficiência energética, porém, os carros eléctricos se limitam em questão de autonomia, percorrendo uma quilometragem menor do que a de um carro com o tanque cheio. Outro fator negativo do carro eléctrico seria a degradação da bateria, que ocorre rapidamente “perdendo pelo menos 10% de sua capacidade de carga em um ano, e se tornando inutilizada em 4 ou 5 anos” (Freitas et al. 2017 p.8)”.

Consistente com isso, outros autores como Yang et al. (2021) também sugeriram considerar o desgaste da bateria na avaliação dos benefícios dos VEs em comparação com os ICEVs. Eles realizaram um estudo em diferentes regiões dos EUA analisando a degradação da bateria do VBE sob diferentes condições de utilização durante um período de 5 e 10 anos. Os seus resultados foram os seguintes: i) uma redução na capacidade de carga da bateria, levando a um aumento no consumo de energia do VE; ii) um aumento nas emissões de GEE devido à possibilidade de substituir o conjunto de baterias; iii) uma redução simultânea das vantagens económicas e ambientais quando comparadas com a utilização de veículos ligeiros de passageiros (Yang et al., 2021).

Outrossim, Lopes destaca que os veículos eléctricos teriam outras vantagens que não estariam ligadas à matriz energética, como o deslocamento da poluição dos grandes centros:

“Os veículos elétricos, independentemente do tipo de geração da energia do motor elétrico, ainda teriam uma vantagem, que envolve a sua circulação na cidade. Pois ele transfere a poluição transmitida nos grandes centros da cidade para determinados locais, pois nas grandes cidades principalmente existe a grande circulação de veículos que ao longo do trajeto emitem os gases poluentes que são prejudiciais à saúde humana. E, se a energia dos veículos elétricos fosse fabricada em lugares distantes das grandes cidades, poderia diminuir a poluição nesses locais, ou seja, acarretaria um impacto positivo na saúde das pessoas que vivem ou circulam nos grandes centros urbanos (Lopes, 2021, p. 49).”

Dessa forma, destaca-se, a partir das perspectivas apresentadas, que o carro elétrico possui um efeito positivo na sociedade e, dependendo da energia utilizada, pode acarretar a diminuição dos gases GEE. Além disso, a reciclagem ou transferência da capacidade não utilizada das baterias para outro setor pode reduzir significativamente o impacto ambiental, com a consequente redução de resíduos nocivos). Ao mesmo tempo, como a quantidade de lítio na natureza é muito limitada, a reciclagem dessas baterias permitiria a recuperação de materiais importantes (Wesseh; Lin, 2022). Por esses motivos percebe-se, nos últimos anos, um aumento considerável de incentivos à adesão do carro elétrico pela população por parte dos seus respectivos governantes, que buscam alcançar objetivos que são propostos em conferências para a diminuição dos gases poluentes na atmosfera.

2.3 O Potencial do Mercado dos Veículos Elétricos

Mercado global de veículos elétricos tem demonstrado um rápido crescimento na última década, com o número total de veículos elétricos leves e pesados atingindo 10 milhões e 1 milhão, respectivamente, no final de 2020 (Mckerracher et al, 2021). Além disso, a perspectiva de mercado é que os VEs representem 58% das vendas de carros novos até 2040 (Mckerracher et al, 2020). Prevê-se também que 8% do estoque total global de veículos, que é de aproximadamente 116 milhões, seja composto de PHVEs e BVEs até 2030. A UK National Grid (Hirst et al., 2021) também estima que o número de VEs leves no Reino Unido chegará a 36 milhões até 2040.

Da mesma forma, a IEA (Bigra et al., 2021) estima que houve 3 milhões de VEs adicionais registrados em todo o mundo em 2020, dos quais a

participação de BVEs foi cerca de 66% maior que a de PHVEs (Bigra et al., 2021). O número de novos BVEs registrados também foi estimado em 4 milhões até o final de 2021, o que é quase o dobro do número de VEs registrados em 2020 (Bigra et al., 2021).

O mercado mundial de veículos elétricos, atualmente, é dominado pela China, Estados Unidos (EUA) e Europa Dik et al., 2022. O mercado chinês foi responsável por mais de 50% das vendas globais (1,06 milhão de VEs), seguido pela Europa (561.000 VEs) e EUA (327.000 VEs) em 2019 (Abergel et al., 2020). O mercado europeu, no entanto, está se desenvolvendo a um ritmo mais rápido; em 2020, o número de VEs vendidos na Europa aumentou para 1,4 milhão, em comparação com a China (1,2 milhão de VEs) e os EUA (295.000 VEs). Na Europa, a participação de mercado alemão de VEs é a maior, com novos registros de 395.000, seguida pela França (185.000 VEs) e Reino Unido (176.000 VEs) (Bigra et al., 2021).

Ademais, essa expansão do mercado de VE também está permitindo a inovação na fabricação com a introdução de novos modelos Dik et al., 2022. Até o momento, existem cerca de 370 modelos de VE diferentes de várias empresas automotivas tradicionais e novos participantes (Bigra et al., 2021). Na Europa, por exemplo, o número de novos modelos de veículos elétricos em 2020 dobrou em relação ao ano anterior (Bigra et al., 2021).

Ao analisarmos o mercado de veículos elétricos por marcas, percebemos que a participação de mercado da Tesla é a maior e está projetada para manter seu forte crescimento atual Dik et al., 2022. O número de VEs da Tesla produzidos em 2020 foi de 509.737 carros; no entanto, até o final de 2021, a produção foi projetada para aumentar para mais de 627.350 unidades. Além disso, em 2021, o Model 3 e o Model Y da Tesla ficaram em primeiro e terceiro lugar, respectivamente, em número de carros vendidos (Tesla, 2021).

Na Europa, o Grupo Volkswagen, que possui Porsche, Bugatti, Skoda, Lamborghini e SEAT, também é uma marca forte com o maior crescimento no mercado de veículos elétricos Dik et al., 2022. O grupo fez um grande investimento na fabricação de VEs e, em 2021, aumentou sua participação no mercado mundial, ficando em segundo lugar atrás da Tesla (Irle, 2021). O grupo

também vendeu um total de 293.100 unidades de BVE no terceiro trimestre de 2021, aumentando suas vendas globais de BVE em 138% em relação a 2020 (Volkswagen, 2021).

Já nos EUA, o grupo General Motors (GM) tem um forte plano de investimento de US\$ 35 bilhões em mobilidade elétrica, com o objetivo de introduzir 30 novos modelos de VE até 2025 (Riley, 2019). No primeiro semestre de 2021, os BVEs representaram 221.000 unidades das vendas de veículos elétricos da GM. Além disso, VEs de tamanho pequeno fornecidos pela SGMW, uma joint venture entre GM, SAIC Motor Corporation Limited e Liuzhou Wuling Motors Co Limited, ganharam participação de mercado desde o seu início em 2002, com vendas totais de 180.000 VEs em 2021 (Irle, 2021).

Apesar da grande expansão das vendas, o mercado de VE ainda está em sua fase inicial, com muitos novos participantes a cada ano, o que estimulará a concorrência e impulsionará a inovação que pode levar ao surgimento de novos fabricantes (Dik et al., 2022).

2.4 Desafios do Mercado de Massa de VEs

Ao analisamos a introdução dos VEs no mercado de massa, verificamos a existências de alguns desafios, como: infraestruturas de recarga; padronização de componentes; o tempo de recarga das baterias; a autonomia limitada e a baixa densidade de energia das baterias; o custo e a acessibilidade dos VEs; os impactos da fabricação e reciclagem dos VEs; Impacto da absorção de VEs na capacidade da rede elétrica.

Inicialmente, destaca-se que devido à baixa autonomia dos VEs, o número reduzido de estações de recarga torna-se preocupante, ainda mais quando levamos em consideração o uso desses veículos em viagens longas onde as estações de recarga podem ser mais escassas. Em 2020, estima-se que o número de estações de carregamento eram de aproximadamente 10,8 milhões, das quais 9,5 milhões eram carregadores lentos instalados em residências e locais de trabalho (Dik et al., 2022).

Atualmente, há um esforço conjunto em muitos países desenvolvidos para abordar essa preocupação e disponibilizar estações de recarga plug-in em estacionamentos públicos, postos de gasolina e locais de trabalho (Bigra et al., 2021). Por exemplo, no Reino Unido, o número de carregadores plug-in de VE públicos aumentou quase 13 vezes desde 2015, atingindo 25.927 pontos de carregamento distribuídos por todo o país. Além disso, no final de 2021, um quinto dessas instalações de carregamento eram carregadores do tipo rápido (DFT, 2021).

Outro desafio importante a superar é a falta de um processo de produção mais padronizado. Diferente da indústria automobilística convencional, onde os principais fabricantes usam componentes e peças padronizados, como um bico de combustível universal, a indústria VE ainda está em um estágio inicial de desenvolvimento, e atualmente há muitos fabricantes e cada um possui seus próprios padrões de fabricação e especificações de componentes (Dik et al., 2022). Portanto, faz-se necessário adotar novas estruturas de políticas para o setor, com vista a incentivar a colaboração e a padronização dos processos de fabricação para minimizar os gargalos no fornecimento de componentes. Um exemplo óbvio são os muitos tipos de carregadores de bateria VE (lento, rápido e rápido) e as configurações físicas dos conectores plug-in que variam entre fabricantes e países (Dik et al., 2022).

Um terceiro desafio a superar é o tempo de recarga das baterias. Em comparação com os veículos convencionais, onde o reabastecimento é um processo rápido, a melhor tecnologia de carregamento de baterias VE ainda é lenta (Dik et al., 2022). Estima-se que os carregadores lentos, usados em residências ou locais de trabalho individuais, leva em média até 10 horas para carregar totalmente uma bateria de VE. Já os carregadores rápidos, encontrados em locais públicos, como supermercados, estacionamentos e áreas de lazer, podem atingir o carregamento completo em torno de uma hora (Dik et al., 2022). Segundo autor os carregadores rápidos de bateria estão *“se tornando comum; no entanto, a tecnologia continua cara e não é adequada para todos os VEs ou todos os locais”* (Dik et al., 2022, p. 11, tradução nossa).

Ademais, outro grande desafio para a introdução dos VEs no mercado de massa é a autonomia limitada de VEs, que está associada principalmente à baixa

densidade de energia das baterias de VEs (Dik et al., 2022). Atualmente, existem programas de pesquisa significativos que estão sendo implementados pela indústria e acadêmicos para desenvolver novos materiais para aumentar a densidade de energia da bateria e reduzir o custo (Dik et al., 2022). Hoje, as baterias de íon de lítio, que entraram no mercado no início da década de 1990, têm a maior participação de mercado devido à sua alta eficiência e densidade de energia, capacidade de carga rápida e longa vida útil (Mirzaeian et. Al., 2021).

No entanto, a desvantagem das baterias de íon de lítio é o alto custo do minério de lítio, tornando as perspectivas comerciais de longo prazo insustentáveis (Mirzaeian et. al., 2021). Segundo Dik et. al., esses entraves incentivaram novos projetos com a finalidade de reduzir tanto o tempo da recarga quanto o desgaste das baterias (Dik et al., 2022, p. 12):

“This has led many researchers to consider introducing novel designs, such as replacing graphite electrodes with a cheap silicon material to increase Li-ion batteries’ energy density, decrease charging time, and reduce degradation (Almarzooqi et al., 2019; Sol, 2020). For example, Wang et al.(Wang et al., 2020) observed that replacing the anode of a Li-ion battery with silicon can increase the energy density and lifespan of the battery.”

Um quinto desafio que podemos destacar é como relação ao custo e acessibilidade dos VEs. Atualmente, o custo dos VEs é superior ao dos carros a gasolina ou diesel equivalentes. Todavia, segundo Dik et al. (2022), à medida que o mercado de veículos elétricos se expande, o custo de fabricação tenderá a diminuir por meio tanto da padronização de processos quanto da racionalização das cadeias de suprimentos de componentes. Entretanto, de acordo com os autores, uma parte significativa da redução no custo de um VE ainda dependerá da disponibilidade de metais valiosos usados na fabricação de baterias e outros componentes (Dik et al., 2022).

Como resultado do aumento da participação das baterias de íons de lítio no mercado de veículos elétricos, projeta-se que a demanda mundial por lítio aumentará de 65 quilotons (kton) em 2000 para 530 kton em 2025 (Swiss Resource Capital AG, 2019). Além disso, o fato que alguns desses metais de terras raras críticos serem extraídos de forma insustentável e de locais limitados

em regiões instáveis do mundo, cria-se uma necessidade urgente de desenvolver processos eficientes de reciclagem e recuperação desses materiais, que contribuirão para a redução dos custos dos VEs (Dik et al., 2022).

Segundo Dik et al (2022), um desafio importante a ser solucionado é redução das emissões de carbono geradas na fabricação e reciclagem dos VEs. De acordo como os autores, há uma grande preocupação com a matriz energética utilizada tanto para a recarga das baterias quanto para a fabricação dos veículos. Como abordado anteriormente, dependendo da fonte que gerará a energia elétrica, a recarga e até mesmo o processo de fabricação poderá reduzir o efeito benéfico dos VEs. Os autores ao analisarem estudos de pesquisadores, como Knobloch et al. (2020), Kurland (2019) e Cox et al. (2018), identificaram que a energia elétrica utilizada na fabricação de VEs podem ser maiores quando comprada a fabricação de veículos ICE:

“Similar to ICE vehicles, the EV manufacturing industry includes high energy-consuming processes, such as minings and assembly processes for the EVs and their components, such as batteries and motors. Although this situation varies depending on the variety of energy sources used, under the global average electricity production rates, EVs may cause higher manufacturing emissions than conventional ICE vehicles due to high energy consumption in battery production processes (Knobloch et al. 2020 e Cox et al., 2018). Kurland (2019), for instance, noted that the use of electrical energy is between 50 and 65 kWh per kWh battery in a Li-ion battery cell production facility. However, in this study, the electrical energy required for mining processes was not taken into account. In addition, Cox et al. (2018) showed that high-capacity batteries cause 40% more life cycle emissions compared to low-capacity batteries (Dik et al., 2022, p. 13)”.

Todavia, um estudo de Hall e Lutsey (2018) enfatizou que essa alta emissão na fabricação de VE pode ser reduzida em 2 anos em comparação com as emissões operacionais dos veículos ICE. Ainda segundo Dik et al., um estudo feito por Bieker (2021) realizou uma avaliação do ciclo de vida de veículos VEs e ICE, com o objetivo de comparar tanto a energia utilizada na produção, quanto as emissões de GEE geradas. Nesse estudo foi constatado que as emissões de GEE do ciclo de vida dos BVEs seriam bem menores em comparação com os veículos ICE, além disso, seria possível, até 2030, uma redução de 20% nas emissões gerada na produção de baterias:

“To compare the energy used in the production of EVs and ICE vehicles, and the GHG emissions generated, in another study, Bieker (Bieker, 2021) conducted a life-cycle assessment. The researcher claimed that producing a BEV battery with a capacity of 45 kWh in Europe may result in 2.7 tCO₂ of GHG emissions, and the production of a Li-ion battery with an NMC811-graphite cathode would cause 20% less GHG emissions by 2030. Another notable result of the study is that the life cycle emissions of BEVs cause 63–69% less GHG emissions compared to petroleum vehicles (Dik et al., 2022, p. 14).”

Além disso, há uma outra preocupação como o número crescente de VEs: as baterias usadas podem se tornar um problema de resíduos ambientais devido a produtos químicos perigosos dentro delas. De acordo com os cenários de desenvolvimento sustentável da IEA (Mckerracher et al, 2020), supõe-se que a capacidade das baterias Li-ion gastas pelos VEs atingirá 10,1 GWh em 2025 e 1089,6 GWh em 2040. Portanto, mecanismos de gestão de resíduos, como a reciclagem de resíduos baterias com vida útil, devem ser incentivadas e regulamentadas (Dik et al., 2022). A demanda por baterias de íon-lítio está aumentando conforme aumenta o número de VEs, logo, há, cada vez mais, a necessidade desses metais raros. Desse modo, se esses resíduos de bateria puderem ser reciclados e reutilizados, eles podem se tornar uma grande oportunidade devido aos metais preciosos que contêm, como lítio (Li), níquel (Ni) e cobalto (Co) (Dik et al., 2022).

Entretanto, a atual taxa global de reciclagem de matéria-prima é de apenas 1.301 kt/ano (Saiyid, 2021). Muitas técnicas, como abordagens pirometalúrgicas (fusão), hidrometalúrgica (lixiviação) e de reciclagem direta, foram introduzidas para reciclar baterias de íons de lítio; no entanto, uma técnica abrangente que pode reciclar todos os tipos de bateria ainda não foi descoberta (Gaines et al., 2018). Segundo Dik et al. (Dik et al., 2022, p. 14), apesar de ser uma grande oportunidade a reciclagem das baterias esbarra em problemas de custos:

“Although it is seen that battery recycling is a promising opportunity to recover precious metals and, therefore, a reduction in GHG emissions, their use remains limited due to some challenges. One of the biggest challenges of the recycling industry is the problem of cost. A recycling facility involves high investment costs and can only be economical with high-capacity batteries or large quantities of batteries arriving at the facility (Rohr et al., 2017).”

Ademais, Gaines et al. (2018) destacaram que há outras dificuldades no processo de reciclagem das baterias já gastas, como: a coleta e a remoção; riscos de incêndios nos transportes; e aumento de custos devido uma maior regulamentação legal dos processos. O estudo também indicou que metais e fluoretos prejudiciais à saúde podem ser liberados durante o derretimento das baterias na instalação, o que torna perigosos os processos de reciclagem (Gaines et al., 2018). Assim, o processo de reciclagem ainda demanda maiores discussões e análises.

O sétimo desafio analisado nesse trabalho, trata-se do impacto da absorção de VEs na capacidade da rede elétrica. O número crescente de VEs no mercado acarretará uma demanda energética cada vez maior, assim, há uma grande preocupação dos impactos que essa carga adicional trará na rede elétrica (Dik et al., 2022).

De acordo com estimativas da BNEF (Mckerracher et al, 2020), globalmente, uma indústria de transporte totalmente descarbonizada poderia adicionar cerca de 8.500 TWh de consumo de eletricidade até 2050, ou seja, um aumento de até 25% no consumo. Segundo Dik et al. (2022), adicionar tal demanda na rede sem desenvolver mecanismos adequados de gerenciamento de energia pode levar à sobrecarga da rede e reduzir a confiabilidade e a qualidade do fornecimento de energia.

Um estudo realizado por Papadopoulos et al. (2011) examinou como o carregamento de VEs pode afetar o perfil de demanda de energia da rede no Reino Unido até 2030. O estudo mostra que, em comparação com o cenário de linha de base sem VEs, a alta absorção de VEs dobrará a demanda de energia da rede no pico de demanda noturno, ao longo do ano. No entanto, aumentar a carga durante o período de pico é uma situação indesejável para a rede, pois requer energia relativamente alta em um curto espaço de tempo, podendo incorrer em custos adicionais devido à perda de carga e qualidade de energia (Ueckerdt; Kempener, 2015).

Um estudo de Clement et al. (2009) investigou o impacto do carregamento controlado e não controlado de baterias de VEs na qualidade de energia da rede e nas perdas em diferentes níveis de aceitação do mercado. Constatou-se que

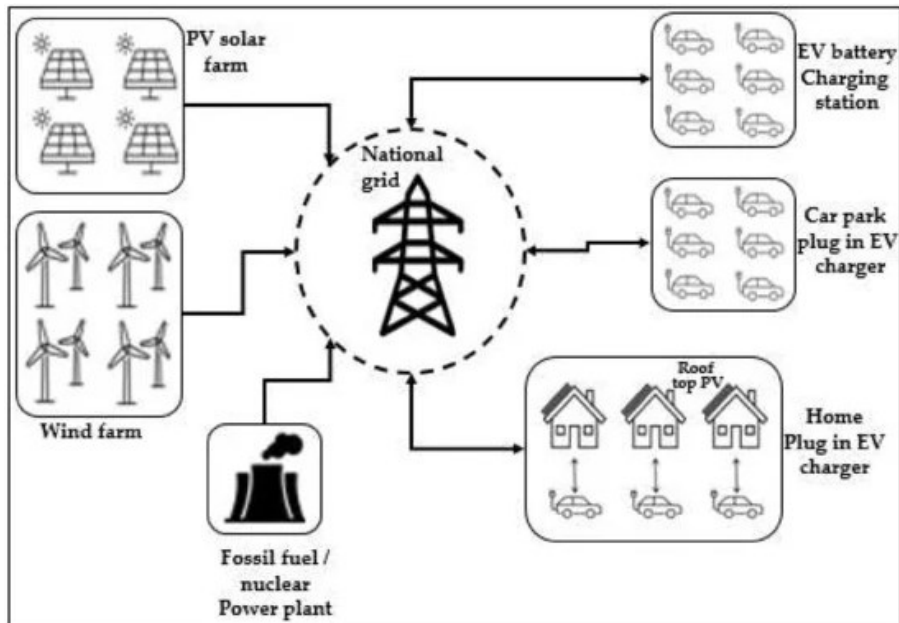
o fornecimento de tensão da rede pode se desviar mais do que a norma máxima aceita de 10%. Portanto, para lidar com esse desafio, faz-se necessário um estudo mais aprofundado de como desenvolver a rede elétrica em busca de maior flexibilidade como a capacidade de reserva e de uma resposta rápida quando necessária (Dik et al., 2022).

Diante desses desafios surge o conceito de Vehicle-to-Grid (V2G), com o avanço da tecnologia de recarga dos VEs, o processo de carregamento inteligente permitirá aos proprietários carregar seus carros quando há pouca demanda e devolver energia à rede elétrica em períodos de alta demanda. O conceito de usar VEs para recarga quando a geração de ER é alta e descarga quando a demanda de pico é alta foi proposta por Kempton e Letendre em 1997 (Dik et al., 2022).

Um estudo de Toniato et al. (2021), teve como objetivo modelar a redução na demanda de pico de carga para carregamento de uma frota de 138 e-buses habilitados para V2G em um depósito. Os autores verificaram que usando a tecnologia V2G, a carga de pico pode ser reduzida em até 83%.

Um esboço esquemático básico dessa interação de carregamento e descarregamento de VEs com a rede, também conhecido como V2G, é mostrado na abaixo (FIGURA 1):

FIGURA 1: Layout esquemático da arquitetura V2G



FONTE: (Dik et al., 2022).

Além disso, Dik et al., destacam que a tecnologia V2G pode ser usada para serviços auxiliares, como arbitragem de energia, redução de carga de pico, reserva giratória, regulação e suporte de fontes de energias renováveis (RE), proporcionando benefícios para redes, fabricantes de VE, clientes de VE, fornecedores de energia, operadores de rede etc. (Dik et al., 2022).

Dessa forma, ressalta-se que, além dos benefícios monetários, os VEs, alinhados a tecnologia do V2G e a partir de fontes energéticas renováveis, têm condão de ser uma forte alternativa para amenizar os problemas da emissão de GEE. Uma descoberta notável do estudo de Sioshansi e Denholm (2009) é que a substituição de 1% de uma frota de veículos elétricos por veículos elétricos que oferecem serviço V2G pode reduzir as emissões de CO₂ do gerador em 25%.

Hoehne e Chester (2016), que investigou os efeitos ambientais de fornecer um equilíbrio de demanda e oferta na rede usando as baterias de PHVEs com V2G, revelou que a estratégia de carregamento inteligente projetada tem o potencial de reduzir as emissões de carbono em 59% no uso do modo

V2G. Os autores também indicaram que o uso da tecnologia V2G terá um resultado, de fato, ampliado utilizado matriz energética mais limpas.

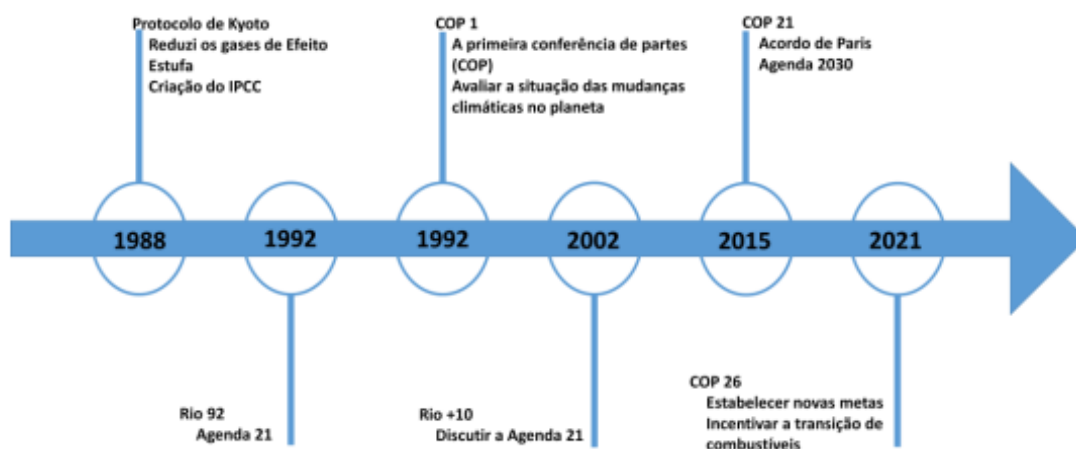
CAPÍTULO 3 - PROGRAMA ROTA 2030

3.1 Política Industrial recente no Setor Automobilístico – Programa Rota 2030 e a promoção de veículos elétricos

Na Segunda metade do século XX, vários países começaram a se preocupar com os impactos ambientais devido, principalmente, o uso crescente de combustíveis fósseis. Diante desse fato, surgiram, ao longo do tempo, vários acordos e conferências internacionais que buscaram tratar desse tema. Podemos elencar o Protocolo de Quioto, em 1992, como a primeira referência à redução das emissões de GEE e conseqüentemente dos seus efeitos, propôs objetivos, especialmente aos países desenvolvidos, para conter a emissão desses gases. As Conferências das Partes, especialmente o Acordo de Paris (COP21) foi o primeiro acordo universal a definir medidas para reduzir os efeitos das alterações climáticas (Chomsky; Pollin, 2020).

O COP26 reforçou o discurso para reduzir a emissão de GEE na atmosfera e descarbonização da atividade industrial, incluindo a utilização de combustíveis fósseis para veículos. Além disso, provocou uma mudança de postura desses países e segmentos industriais com o objetivo de permitir uma adaptação às políticas climáticas mais rigorosas (Brozynski; Leibowicz, 2018). A Figura 2 abaixo mostra uma linha temporal de acordos e conferências internacionais.

FIGURA 2 - Linha do tempo com os principais Acordos Internacionais sobre o tema.



Fonte: Extraído de Brito et al., 2023

Como forma de conseguir atingir os objetivos dos acordos para redução das emissões de GEE serão necessários grandes esforços em busca de tecnologias de baixo carbono. Essas tecnologias deverão ser abrangentes para atender a vários setores da economia, como o setor de energia e transportes. Com relação ao setor de transporte, este é um dos setores que mais contribuem para emissão de GEE. No Brasil o setor de transportes do Brasil respondeu por 13% das emissões nacionais de GEE em 2020 (World Resources Institute, 2023). Além disso, o transporte rodoviário é responsável por 94% da demanda de energia no setor de transportes, sendo 46% de veículos leves (Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2023). Tal fato ocorre, pois, a energia utilizada no nesse setor é na sua maioria advinda de combustíveis fósseis (Shafiei et al. 2017). Portanto, tornam-se fundamentais os incentivos a tecnologias disruptivas, como é o caso dos veículos elétricos (Shafiei et al. 2017).

Nesse contexto, na década de 1970, o Brasil, criou o programa Proálcool que tinha como objetivo reduzir a dependência do petróleo à época majoritariamente importado por meio de investimentos no desenvolvimento de biocombustíveis. O Proálcool, como programa de política industrial, conseguiu coordenar o setor agrícola, indústrias de produção de combustível, firmas produtoras de motores que conseguiram se adaptar à nova tecnologia. Apesar

de não ser o objetivo principal desse programa, indiretamente o Proálcool foi uma política que propiciou uma tecnologia que possibilitava a redução da emissão de GEE (Brito et al. 2023).

Além disso, esses êxitos alcançados com os biocombustíveis que permeiam os projetos de política industrial direcionados ao setor automotivo persistem ainda nos dias de hoje. Os ganhos de eficiência energética que tomaram conta dos mercados desde a década de 1970 continuam a figurar nas tratativas que buscam potencializar o setor e fazê-lo se desenvolver, com os biocombustíveis sempre inclusos nestes programas (Brito et al. 2023).

Mais recentemente, por meio de políticas públicas, como o PROCONVE, o programa Inovar-Auto, estabelecido entre 2013 e 2017, e o Rota 2030 (atual), buscou-se incentivar as indústrias de automóvel e as de autopeças a produzirem veículos e equipamentos com maior eficiência energética e menos emissões.

O quadro 1 sintetiza as ações realizadas para fomento aos veículos elétricos e de nova energia de 1986 até 2022.

Quadro 1: Políticas de Incentivo aos veículos de nova energia no Brasil (1986-2022)

1986	Proconve
2002	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA/ FINEP - prog células a combustível
2005	Regulamentos sobre a obrigatoriedade do Biodiesel
2008	Programa de Etiquetagem Veicular
2007	Documento: Ações para energias renováveis no Brasil
2011	Fundo Clima BNDES
2012	<i>Regulamentações ABNT para os veículos elétricos</i>
2012-2017	<i>Inovar Auto</i>
2013	Sustentação do Investimetro - BNDES/ INOVA ENERGIA
2015-2018	<i>Redução de Impostos aos VE's (Resolução 97) CAMEX</i>
2016	<i>Resolução CAMEX (reduz impostos sobre VE's/ CT energia - FINEP</i>
2017	<i>Regulamentações da ANEEL para infraestrutura aos VE's</i>
2018	<i>Rota 2030</i>
2018	<i>Resolução ANEEL - Normative Resolution 819 on procedures and conditions for carrying out electric vehicle recharging activities</i>
2018	Financing Instruments for Energy Efficiency Cities in Brazil (FinBRAZEEC) - Projetos de PeD da ANEEL
2006-2022	Projetos de pesquisa CNPq/CAPES/Agencias estaduais

Fonte: Extraído de Pereira Neto, A, 2023.

O Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores (INOVAR-AUTO, criado a partir da lei federal nº 12.715) tinha por objetivo apoiar o desenvolvimento tecnológico, inovação, segurança, qualidade dos veículos e maior eficiência energética, por meio de um pacote de incentivos e isenções fiscais (redução de até 30% no IPI para investimento de P&D, em TIB, engenharia de produção e capacitação de fornecedores) (Claro Junior; Santos, 2020).

Segundo Schapiro (2017), o Inovar-Auto buscava atrair novos investimentos e aumentar o conteúdo doméstico da produção automobilística, sobretudo no segmento de autopeças. Além disso, na visão de Claro Junior e Santos (2020), ele também objetivava promover uma evolução no padrão produtivo, para se aproximar ou equalizar aos padrões internacionais, voltando-se, assim, para a pauta de aumento da exportação da indústria automobilística:

“O programa direcionava incentivos tributários beneficiando a realização de novos investimentos, o incremento do padrão tecnológico dos veículos e de suas peças e componentes, além do aumento na segurança e eficiência energética. Em contrapartida, as empresas deveriam se comprometer com algumas metas específicas. (Claro Junior; Santos, p. 116, 2020)”.

Durante o programa o Inovar-Auto, os investimentos em inovação tecnológica tiveram um grande destaque quando se comparados a planos anteriores, pois superaram o montante de US\$ 10 bilhões, seja na fabricação de novos modelos para atender as demandas do programa na questão segurança ou na fabricação de motores mais eficientes do ponto de vista energético (Leão; Goulart, 2012).

Não obstante, quando analisamos o Inovar-Auto quanto ao incentivo ao desenvolvimento de veículos elétricos percebe-se que o programa pouco fomentou a indústria a se mover frente a produção de veículos de nova energia, sendo eles elétricos, células a combustível ou hidrogênio. A política concentrou-se no fortalecimento de competências já adquiridas, como o fomento a melhoria na eficiência dos motores flex que utilizam o biocombustível em sua plataforma (Pereira Neto, A., 2023). Todavia, um dos poucos incentivos a esses tipos de veículos que se pode destacar foi a adoção de uma proposta tarifária que

incentivou a introdução de veículos elétricos importados na frota nacional, reduzindo tarifas que antes eram de 35% para zero (Brasil, 2012).

Além disso, esse programa ao trazer metas de melhoria na eficiência energética, incentivou indiretamente o mercado de veículos elétricos, uma vez que quanto mais se investe em avanços na eficiência energética, mais latente se torna a necessidade de incluir módulos elétricos que melhoram ainda mais esta eficiência. Segundo Pereira (2013), a inclusão do benefício fiscal aos elétricos é um primeiro passo para a formação de uma opinião pública favorável à incursão deste tipo de tecnologia e da infraestrutura necessária para recebê-la no Brasil. Ademais, foi uma primeira tentativa de trazer os veículos híbridos e elétricos ao mercado nacional, mesmo que exclusivamente importados (Riato, 2016).

Os pontos apresentados anteriormente sobre as políticas recentes, como a Inovar-Auto, têm apenas como objetivo contextualizar o foco desse trabalho, que é analisar a Política Rota 2030 buscando identificar as políticas industriais que busquem alternativas de baixo carbono, em especial as que promovam os veículos elétricos. A Lei nº 13.755, de 10 de dezembro de 2018, fruto da conversão da Medida Provisória nº 843, de 05 de julho de 2018, instituiu o programa de longo prazo, conhecido como Rota-2030- Mobilidade e Logística, com os seguintes objetivos:

“apoiar o desenvolvimento tecnológico, a competitividade, a inovação, a segurança veicular, a proteção ao meio ambiente, a eficiência energética e a qualidade de automóveis, de caminhões, de ônibus, de chassis com motor e de autopeças” (Brasil, 2018, p.1).

Segundo Pereira Neto (2023), o Rota 2030 foi idealizado para ser uma política de longo prazo⁹ (de 2018 a 2033), divididos em três ciclos quinquenais, sendo o primeiro começando em 1º de dezembro de 2018 e terminando em 30 de novembro de 2023. Todavia, a tendência liberalizante do governo e a política crescente de reduzir gastos, fez com que o Rota 2030 fosse implementado em uma outra estrutura de governança, menos articulado e menos dotado de capacidades orçamentárias, sendo constituído inteiramente nas isenções fiscais.

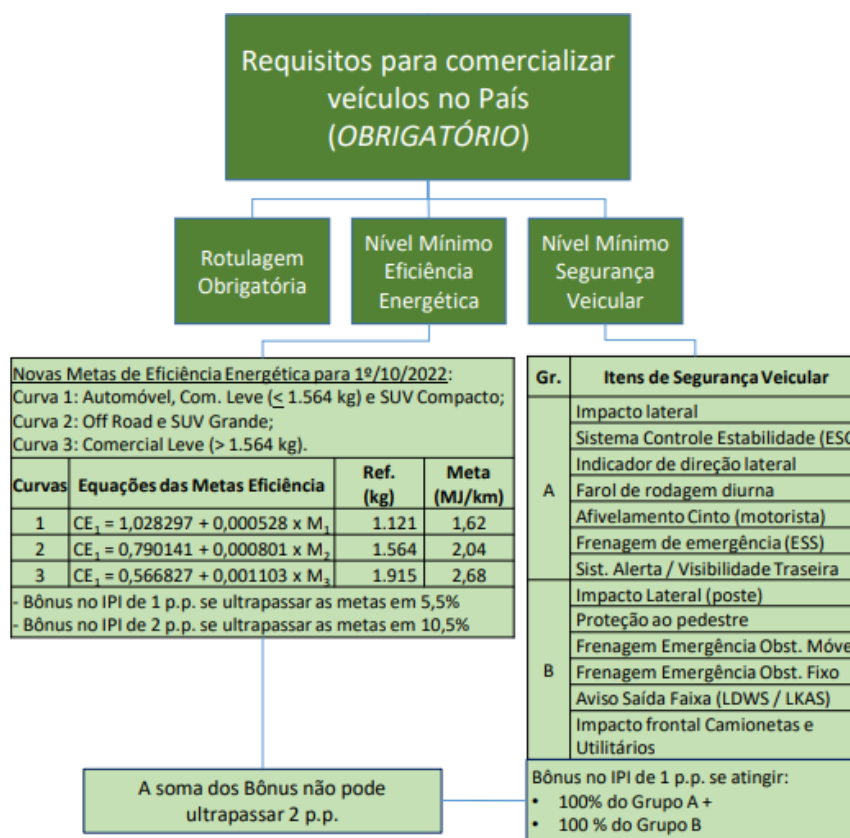
⁹ Apesar de definido como um programa de longo prazo, o Rota 2030 que se iniciou em 2019 ainda não apresenta relatórios de acompanhamento suficientes para uma análise mais precisa dos impactos.

A proposta do governo é fazer com que a duração da política industrial vá além dos períodos de quatro em quatro anos, e se aproxime dos ciclos empresariais necessários para a tomada de decisão. Para que as empresas possam se adaptar e programar os seus investimentos no Brasil e se preparar para cumprir com suas metas (Claro Junior; Santos, 2020).

O programa Rota 2030 criou um grupo de acompanhamento composto por membros do Ministério da Fazenda, da Indústria, Comércio Exterior e Serviço e do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, que deve publicar, anualmente, um relatório de avaliação contendo os resultados técnicos e econômicos, a fim de demonstrar os impactos decorrentes dos dispêndios direcionados ao programa, em áreas como produção, emprego, investimentos, inovação e agregação de valor do ramo automobilístico (Claro Junior; Santos, 2020). Além disso, esse grupo também é responsável por selecionar as instituições que irão receber os recursos previstos pelo Regime de Autopeças Não Produzidas.

O Rota 2030, dispôs, em capítulos próprios, sobre três pilares: (i) requisitos obrigatórios e sanções administrativas para comercialização e importação de veículos novos no país; (ii) Programa Rota 2030 - Mobilidade e Logística (doravante “Rota 2030”); (iii) Regime de Autopeças Não Produzidas. O primeiro pilar dispõe sobre os requisitos mínimos obrigatórios para a comercialização de automóveis no Brasil, por meio de três critérios: i) rotulagem obrigatória; ii) adotar nível mínimo de eficiência energética; e iii) adotar nível mínimo de segurança veicular (Brasil, 2018). Na figura 3 é possível verificar detalhadamente os Requisitos mínimos para a comercialização de veículos segundo o Rota 2030.

Figura 3 – Requisitos para comercialização de veículos pelo Programa Rota 2030



FONTE: Extraído do site ANFAVEA, 2023.

Com relação ao primeiro critério, este determina que todos os veículos, incluindo leves e pesados, devem participar do Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV), tabela do Inmetro que classifica os veículos de acordo com a eficiência energética e informa consumo de combustível e emissão de CO₂ (ANFAVEA, 2023).

Já o segundo critério define um nível mínimo de eficiência energética a atender, baseado na média da eficiência dos veículos comercializados em 12 meses. Na primeira fase para comprovação foi prevista para outubro de 2022 e estabeleceu redução de 11% de consumo de combustível em relação aos níveis alcançados com o Inovar-Auto, vigentes em 2017. Dessa forma, para um fabricante de veículo leve cuja massa média dos veículos comercializados é de 1.121 kg, por exemplo, a meta de eficiência energética é de 1,62 MJ/km (curva

1). Modelos off-road e SUVs com área projetada superior a 8 m² estão em outra categoria. Nesse caso, a meta para um fabricante que tenha tido uma massa média comercializada de 1.564 kg é de 2,04 MJ/km (curva 2). Há ainda uma terceira categoria para comerciais leves acima de 1.564 kg. Assim, para um fabricante deste modelo cuja massa média dos veículos comercializados é de 1.915 kg, a meta é de 2,68 MJ/km (curva 3) (Brasil, 2018).

Ademais, o programa prevê bônus de 1 ponto porcentual no IPI para fabricantes que superarem a meta em 5,5%, incentivo que sobe para 2 pontos porcentuais se a meta for superada em 10,5%. Em caso de não cumprimento dos patamares, há multa de R\$ 50,00 para cada 0,01 MJ/km além da meta obrigatória, multiplicado pela quantidade de veículos comercializados desde o início do Programa. No que se refere a veículos pesados, os critérios para avaliação de eficiência energética são baseados no programa europeu Vecto (Vehicle Energy Consumption Calculation Tool), em vigor desde 2019 para aferir consumo e emissões de CO₂. O primeiro ciclo terminou em 2022. O segundo vai de 2023 a 2027, enquanto o terceiro começa em 2028 e termina em 2032 (Brasil, 2018).

Por sua vez, o terceiro critério, determina a necessidade de atender a um nível mínimo de requisitos, estabelecido de acordo com regulamentações do Contran. Nesse caso, o Programa Rota 2030 aborda temas relativos ao desempenho estrutural e às tecnologias voltadas à assistência aos motoristas. A cada ano, o fabricante tem de incorporar alguns itens de segurança, que foram divididos em três grupos. Em 2022, fabricantes e importadores precisam adotar no mínimo 65% dos dispositivos do Grupo A, porcentual que sobe para 75% em 2023. A partir daí, o aumento é de 5 pontos porcentuais a cada ano, até 2026. Veículos que de série forem equipados com 100% dos itens do Grupo A e ao menos 6 do Grupo B ou C poderão obter 1 ponto porcentual de redução no IPI, desde que atinjam a meta de eficiência energética. Os descontos não são cumulativos com os do IPI (Brasil, 2018).

Um dos objetivos com a ênfase na tecnologia voltada à segurança é diminuir ou até eliminar a diferença existente em termos de regulamentação em relação a outros países, especialmente aos da América do Sul. Com a adoção escalonada desses dispositivos, as empresas têm maior previsibilidade e

conseguem sincronizar com as filiais vizinhas a adoção conjunta de sistemas, o que gera ganho de escala na produção e maior intercambialidade de produtos entre as nações (ANFAVEA, 2023).

O segundo pilar do programa Rota 2030 refere-se à adoção de instrumentos de política industrial pelo lado da oferta como forma de incentivar o desenvolvimento tecnológico, a competitividade, a inovação, a segurança veicular, a proteção ao meio ambiente, a eficiência energética e a qualidade de automóveis, de caminhões, de ônibus, de chassis com motor e de autopeças (Brasil, 2018). Por sua vez, o programa está pautado em atingir alguns objetivos importantes para o setor, sendo eles (Brasil, 2018):

- Integração da indústria automotiva brasileira às cadeias globais de valor, através do aumento da competitividade da indústria automotiva nacional;
- Aumento dos investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação no País;
- Incremento da eficiência energética, desempenho estrutural e da disponibilidade de tecnologias assistivas à direção dos veículos comercializados no País;
- Estimular a produção de novas tecnologias e inovações, de acordo com as tendências tecnológicas globais;
- Promover o uso de biocombustíveis e de formas alternativas de propulsão e valorizar a matriz energética brasileira;
- Automatização do processo de manufatura e incremento da produtividade das indústrias para mobilidade e logística;

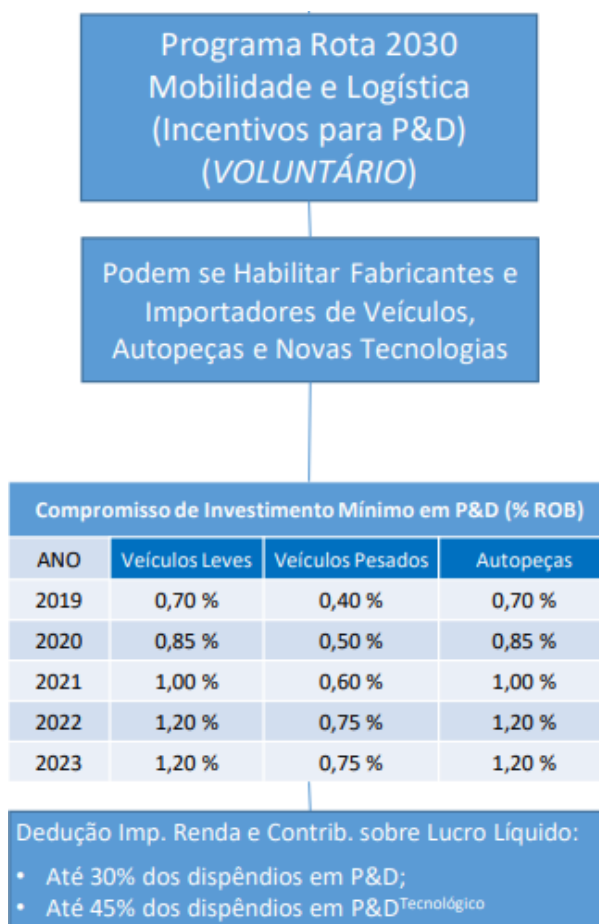
O plano envolve e determina aspectos como segurança, economia, valores dos automóveis fabricados no país. Entre esses aspectos, destaca-se: itens de segurança obrigatórios nos próximos anos; novas tecnologias a serem desenvolvidas de forma obrigatória e novas metas de eficiência energética. De modo geral, podem se habilitar no Programa Rota 2030 empresas que produzam, no País, certos tipos de veículos, autopeças ou sistemas estratégicos ou que tenham projeto de desenvolvimento e produção tecnológica aprovado para a produção, no País, de novos produtos ou de novos modelos de produtos já existentes, inclusive veículos com tecnologias de propulsão alternativas à combustão (Brasil, 2018).

Até o final do ano de 2020, encontravam-se habilitadas no Programa Rota 2030 um total de 69 empresas, sendo 12 empresas habilitadas na modalidade fabricantes de automóveis (das quais 6 produzem veículos pesados), 56 habilitadas na modalidade fabricante de autopeças e 1 habilitada na modalidade projeto de desenvolvimento e produção tecnológica (Grupo de Acompanhamento do Programa ROTA 2030, 2021).

Além disso, o Rota 2030 prevê incentivos fiscais a empresas que investirem em pesquisa e desenvolvimento. Como benefício empresas poderão fazer jus a dedução do Imposto sobre a Renda das Pessoas Jurídicas – IRPJ e sobre a Contribuição Social sobre o Lucro Líquido – CSLL devidos, proporcional ao volume de dispêndios realizados, no país, em P&D. Nesse caso, será possível deduzir do Imposto devido o valor correspondente à aplicação da alíquota e adicional do IRPJ e da alíquota da CSLL sobre até 30% dos dispêndios realizados no País com pesquisa e desenvolvimento (ou 45% em se tratando de dispêndios estratégicos), desde que estes sejam classificáveis como despesas operacionais pela legislação do IRPJ (Brasil, 2018).

De acordo com o previsto na Medida Provisória nº 843/2018, o benefício corresponde a um retorno que pode variar entre 10,2% e 12,5% do valor dos dispêndios realizados. O programa divide fabricantes e importadores em três categorias (veículos leves, pesados e autopeças). No caso de veículos leves, por exemplo, o investimento mínimo foi estabelecido em 0,5% em 2018, e a partir daí foi subindo gradativamente. Para 2022 e 2023, ele foi fixado em 1,2%. O segmento de autopeças segue os mesmos valores. Já para os pesados, o investimento é menor (0,75%) (ANFAVEA, 2023). Na Figura 4 é possível ver de forma esquematizada os compromissos e incentivos do programa.

Figura 4 – Compromissos e Incentivos do Programa Rota 2030



Fonte: ANFAVEA, 2023.

Segundo o Relatório Anual do Programa Rota 2030, apesar dos resultados de 2020 terem sido fortemente impactados pela pandemia do coronavírus, os dados referentes aos dispêndios com P&D realizados pelas empresas habilitadas nesse ano demonstram que, na média, as empresas habilitadas superaram o requisito mínimo exigível para cada categoria (Figura 5) (Grupo de Acompanhamento do Programa ROTA 2030, 2021).

Figura 5 – Dispêndios de P&D realizados pelas empresas habilitadas em 2020

Habilitações Rota 2030 – Mobilidade e Logística	Nº de Empresas	Dispêndios realizados (R\$)	Meta (% ROB ¹)	Realizado (% ROB ¹) 2020	Realizado (% ROB) 2019
Fabricantes de Automóveis e Comerciais Leves	6	2.751.866.864,96	0,85%	2,99%	2,62%
Fabricantes de Caminhões, Ônibus e Chassis com Motor	6	365.762.241,94	0,50%	1,00%	1,06%
Fabricantes Autopeças, Sistemas Estratégicos ou Soluções para a Mobilidade e Logística	56	488.468.516,13	0,85%	2,02%	1,44%
TOTAL	69	3.606.097.623,03	-	2,37%	2,07%

Fonte: Grupo de Acompanhamento do Programa ROTA 2030, 2021

Além disso, com as informações obtidas nos Memoriais também é possível acompanhar a receita operacional bruta descontada, base de cálculo dos dispêndios¹⁰ mínimos obrigatórios, bem como os volumes de dispêndios classificáveis como despesa operacionais pela legislação do IRPJ, e de dispêndios estratégicos, informações importantes para se mensurar o volume financeiro do incentivo fiscal concedido pelo Programa Rota 2030 (Grupo de Acompanhamento do Programa ROTA 2030, 2021).

De acordo como o relatório de 2020, o benefício fiscal que pode ser utilizado pelas empresas habilitadas, para investimento em P&D ficou bem abaixo do valor estimado no Demonstrativo de Gastos de Tributários publicado pela Receita Federal do Brasil¹¹. Para o ano de 2020 foi estimado gasto de R\$ 786.511.750 em IRPJ e R\$ 283.144.230 em CSLL, totalizando R\$ 1.069.655.980. Já o valor máximo de incentivo apurado, com base nas informações prestadas pelas empresas habilitadas, foi de R\$ 265.933.414,73, o

¹⁰ Para fins do Programa Rota 2030, são considerados dispêndios estratégicos aqueles com manufatura avançada, conectividade, sistemas estratégicos, soluções estratégicas para a mobilidade e logística, novas tecnologias de propulsão ou autonomia veicular e suas autopeças, desenvolvimento de ferramental, moldes e modelos, nanotecnologia, pesquisadores exclusivos, big data, sistemas analíticos e preditivos (data analytics) e inteligência artificial.

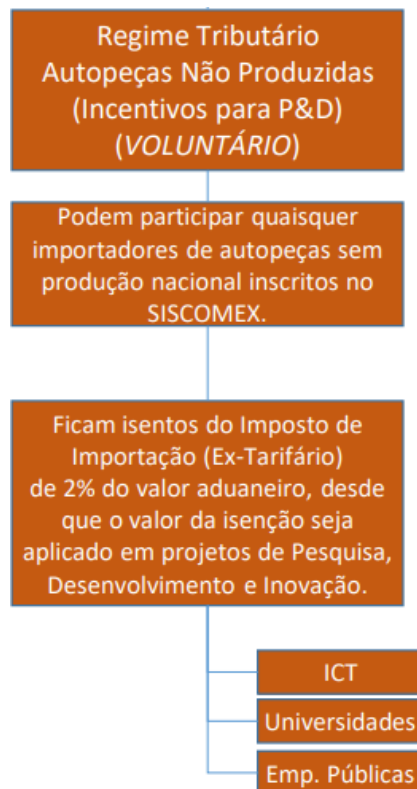
¹¹ O abatimento do IRPJ e CSLL a pagar é condicionado à existência de lucro no exercício.

que corresponde a 25% do valor estimado, sendo um reflexo da crise sanitária com coronavírus (Grupo de Acompanhamento do Programa ROTA 2030, 2021).

Ainda de acordo com o Grupo de Acompanhamento, o setor automobilístico nacional viu-se desafiado, em 2020, com o fechamento de fábricas e os novos protocolos sanitários, que apresentaram queda de 31,6% na produção de autoveículos, deixando a indústria automobilística com uma ociosidade técnica de aproximadamente 3 milhões de unidades. Além disso, as exportações nesse período foram de 324.330 unidades, consideradas as piores desde 2002. Já quando se considera em valores, a receita do setor foi de US\$ 7,4 bilhões, o que equivale a menos da metade dos US\$ 15,9 bilhões exportados em 2017 (Grupo de Acompanhamento do Programa ROTA 2030, 2021).

Por fim, o terceiro pilar do Rota 2030 diz respeito ao regime tributário de autopeças não produzidas localmente. Em vez de recolher o imposto de importação, empresas inscritas no Siscomex (Sistema Integrado de Comércio Exterior) podem destinar 2% do valor aduaneiro para investimento em pesquisa e desenvolvimento local, por meio de institutos independentes, voltados ao setor automotivo. A Figura 6 esquematiza esses incentivos.

Figura 6 – Incentivos ao setor de Autopeças não Produzidas



FONTE: Extraído do site ANFAVEA, 2023.

Os valores arrecadados serão alocados em programas prioritários que foram credenciados pela Portaria nº 2.519, de 18 de setembro de 2019, da Secretaria Especial de Produtividade, Emprego e Competitividade. A empresa importadora pode decidir em que área pretende investir o valor, mas não tem controle sobre qual instituição receberá o montante. É possível canalizar recursos a áreas como ferramentaria (ferramental e moldes), segurança veicular, biocombustíveis e propulsão (categorias sob responsabilidade da FUNDEP), mobilidade e logística (EMBRAPII) e alavancagem de alianças para o setor automotivo (SENAI). A função desses órgãos é direcionar os recursos a institutos de pesquisa, desenvolvimento, centros de tecnologia e universidades de todo o Brasil para o financiamento de trabalhos pré-aprovados, conforme critérios definidos (Grupo de Acompanhamento do Programa ROTA 2030, 2021).

O Grupo de Acompanhamento ao analisar os indicadores e metas, através, principalmente, do resultado preliminar, no último relatório de acompanhamento do programa, disponibilizado em dezembro de 2021, apresentou a seguinte perspectiva:

“Em relação à redução na participação de fabricantes de veículos (firmas que optaram não aderir ao Rota 2030), entende-se que decorra de fatores como o ambiente de incertezas vivenciado pela indústria automobilística global, marcado por fusões de grandes grupos de fabricantes, a ampla adoção das plataformas globais de veículos, que vem atuando na concentração da produção, e principalmente, das atividades de pesquisa e desenvolvimento de veículos em menos locais. Além destas incertezas, a redução do mercado estimado de veículos no país, e a redução do tamanho do incentivo fiscal do Programa Rota 2030, quando comparado com o Programa Inovar-Auto, também podem ser apontadas como um dos fatores para a não habilitação de mais fabricantes de veículos.” (Grupo de Acompanhamento do Programa ROTA 2030, 2021, p.21).

Ademais, quando analisamos o Programa Rota 2030 como um plano de longo prazo que busca, principalmente, incentivar o desenvolvimento tecnológico, a inovação e a eficiência energética, percebe-se que se trata de um plano muito simplista e desatualizado do ponto de vista da indústria automobilística global, uma vez que não busca transformar, de forma disruptiva, a sua indústria automotiva em direção ao contexto mundial da mobilidade elétrica, ao contrário, ele visa apenas a inovação incremental através da melhoria da eficiência dos motores a etanol e bicombustível (CNPEM, 2019).

A falta uma política específica para BEVs, dificulta a promoção de novas tecnologias tanto para fabricação de VE's e baterias quanto para sua infraestrutura (ponto de carregamento), tornando o Brasil cada vez mais defasado em relação às políticas industriais dos principais países que avançam na transição energética (Velandia et. Al., 2020). Logo, ao não buscar uma mudança de paradigma tecnoeconômico, o Brasil pode não conseguir aproveitar as janelas de oportunidades que essas novas tecnologias verdes estão possibilitando os países de desenvolvimento tardio (Lema et al., 2020).

Além disso, segundo Pereira Neto, (2023, p. 57), verifica-se uma falta de integração dos agentes externos como forma de criar um sistema nacional de inovação, com o envolvimento de universidades, centros de pesquisa e outras

empresas mais vinculadas aos ditos setores estratégicos, como o big data, automação, inteligência artificial, eletrificação, dentre outros:

“A falta de articulação entre agentes externos à produção automobilística, como universidades, centros de pesquisa e até outras firmas mais vinculadas aos ditos setores estratégicos, como o big data, automação, inteligência artificial, nanotecnologia, eletrificação, dentre outros, colocando todos estes desenvolvimentos a cargo das pesquisas realizadas pelas firmas automotivas, apoiando este incentivo só em deduções fiscais, não parece, ao menos nesta etapa do programa que será revisado no ano de 2023, indicar caminhos virtuosos à indústria nacional e sua inserção de sucesso nestes setores tão complexos do ponto de vista industrial e tecnológico”

Dessa forma, verificar-se que o programa se afasta das teorizações feitas por Andreoni e Chang (2019) e Oqubay et. al. (2020) quanto às necessidades das modernas políticas industriais em coordenar diferentes setores e agentes.

“...industrial policy is not about one policy, or one institutions. It is indeed about the design, implementation and enforcement of “packages of interactive measures” and their strategic coordination.” (Anderoni; Chang, 2019, p.23).

Outrossim, a falta de outros instrumentos de políticas industriais, como impostos que desestimulam a adoção de veículos de combustão interna, normas de regulação para veículos elétricos, baterias e investimentos diretos em P&D, demonstram a superficialidade do plano desenvolvido até o momento, o que pode comprometer o sucesso dos acordos firmados para redução da emissão de GEE (Velandia et. al., 2020).

Todavia, recentemente, o Poder Executivo, através da MPV 1175 (ainda depende de aprovação para converter em lei), demonstra que, possivelmente, a segunda fase do Programa Rota 2030 (terá o nome alterado para Programa Mobilidade Verde e Inovação - PROMOVI) dará maiores incentivos aos veículos verdes. O programa vai estabelecer um critério de escalonamento do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) de acordo com o nível de descarbonização, com base em índices de reciclabilidade e de eficiência energética (Valor Econômico, 2023).

Além disso, será incluído metas de eficiência energética a uma variedade maior de veículos, como motos, triciclos, caminhões e ônibus. Ainda, o objetivo da MP é direcionar os maiores incentivos para os veículos com melhor eficiência

energética dentro da meta do governo de buscar estímulos a P&D (Valor Econômico, 2023). Como trata-se, ainda, de uma MP será necessário aguardar algum tempo para verificar os desdobramentos dessa nova fase do Programa Rota 2030.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças climáticas ocupam cada vez mais espaço na agenda do desenvolvimento de diversos países. À medida que a pressão para cumprir os objetivos dos acordos ambientais assumidos, como o Acordo de Paris, continuam a crescer, as políticas industriais, principalmente, as verdes tornam-se cada vez mais necessárias para a promoção da descarbonização mundial.

A transformação verde e as mudanças paradigmáticas técnicoeconômicas relacionadas nos domínios institucionais, de mercado e tecnológicos estão possibilitando as chamadas janelas verdes de oportunidade para que as economias emergentes se tornem líderes em novas indústrias relacionadas com a sustentabilidade. Contudo, aproveitar essas janelas verdes de oportunidades não é uma tarefa fácil. Devem ser superados grandes desafios, especialmente em relação ao desenvolvimento de capacidades de produção básicas e intermediárias, que muitas vezes faltam nos países em desenvolvimento. Estas capacidades de produção devem ser reforçadas por políticas industriais verdes coordenadas.

Embora não exista claramente uma solução única para todos, é necessária uma abordagem holística, tanto em termos de instrumentos políticos como de objetivos, que, integre e maximize as repercussões socioeconômicas das transições verdes. Além disso, as características políticas, sociais e econômicas de cada país, tais como a composição inicial das suas estruturas produtivas, a dimensão do seu mercado interno, as ambições políticas, e as necessidades de desenvolvimento, influenciam profundamente a forma como os decisores políticos escolhem agir. Além de aumentar o acesso a soluções baixo carbono, as indústrias verdes podem gerar benefícios socioeconômicos mais amplos, além dos relacionados aos acordos ambientais firmados, tais como a criação de emprego qualificado e a expansão das capacidades produtivas.

A presente pesquisa buscou, a partir de um debate recente sobre o renascimento das políticas industriais, analisar os principais instrumentos de políticas utilizados e como eles podem ajudar o processo de desenvolvimento de tecnologias de baixo carbono no Brasil, principalmente como relação ao

desenvolvimento de veículos elétricos. A partir desse embasamento teórico foi possível analisar o programa Rota 2030 – programa de longo prazo brasileiro que busca entre outros objetivos apoiar o desenvolvimento tecnológico, a competitividade, a inovação em busca de uma eficiência energética para veículos leves.

Verificou-se que no primeiro ciclo do programa (o Rota 2030 é dividido em três ciclos de cinco anos cada, sendo que o primeiro ano foi 2019), o programa pouco incentivou o desenvolvimento do mercado de veículos elétricos no Brasil. Percebe-se uma tendência em manter a trajetória de desenvolvimento de tecnologias voltadas para os biocombustíveis. Fato este, que pode aumentar a defasagem tecnológica brasileira em relação aos principais países que estão direcionando suas políticas industriais para o desenvolvimento de tecnologias ligadas a veículos elétricos, principalmente os BEVs. Dessa forma, o Brasil pode perder a janela de oportunidade que a transição verde está abrindo a países em desenvolvimento.

Ademais, outro ponto que pode indicar que a rota brasileira pode não estar correta do ponto de vista da eficiência para a redução dos GEEs são os resultados de estudos recentes. Estes demonstram que o potencial de veículos que utilizam tecnologia de biocombustível tem para redução de GEE é baixo quando comparado a eficiência dos BEVs. Um estudo recente elaborado por Mera et. al. (2023), buscou realizar uma comparação das emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida (ACV) de carros de passeio a combustão e elétricos no Brasil com motor de combustão interna flex (ICEVs) e veículos elétricos a bateria (BEVs). O estudo identificou que baseado na matriz elétrica brasileira, as emissões do ciclo de vida dos BEVs atuais são aproximadamente 65% a 67% menores que dos ICEVs flex.

Além do mais, na análise do Rota 2030 esta pesquisa identificou que se trata de uma política industrial muito simplória que se pauta em poucos instrumentos de política – com concentração em incentivos fiscais e subsídios a P&D (focado em instrumentos pelo lado da oferta). Falta uma visão sistêmica que busque integrar no processo de inovação tecnológicas os diversos agentes - como envolvimento de universidades, centros de pesquisa e outras empresas mais vinculadas aos ditos setores estratégicos. Outro ponto que chama a

atenção no programa é a falta de um direcionamento mais efetivo do governo brasileiro. O Rota 2030 deixa a cargo montadoras instaladas no Brasil quais rotas tecnológicas querem explorar.

Entretanto, como o Brasil está encerrando o primeiro ciclo do Rota 2030, ainda há possibilidades de alterações de rota que propicie um realinhamento do programa ao debate recente do ressurgimento das políticas industriais. Dessa forma, aumentaria a chances de o Brasil aproveitar as janelas de oportunidades que a transição verde está abrindo.

REFERÊNCIAS

ABERGEL, T.; BUNSEN, T.; GORNER, M.; LEDUC, P.; Parceiros.; PAOLI, L.; RAGHAVAN, S.; TATTINI, J.; TETER, J.; WACHCHE, S.; e outros Global EV Outlook 2020, Entrando na década do acionamento elétrico? IEA: Paris, França, 2020.

AGHION, P., BOULANGER, J. e COHEN, E., Repensando a política industrial (nº 566), 2011.

AGHION, P.; DECHEZLEPRÊTRE, A.; HÉMOUS, D.; MARTIN, R.; REENEN, J., “Carbon Taxes, Path Dependency, and Directed Technical Change: Evidence from the Auto Industry”, *Journal of Political Economy*, Vol. 124/1, pp. 1-51, 2016.

AIGINGER, K., The "Greening" of Industrial Policy, Headwinds and a Possible Symbiosis. WIFO Working Papers, 450, 2013.

AIGINGER, K., & RODRIK, D., Rebirth of Industrial Policy and an Agenda for the Twenty-First Century. *Journal of Industry, Competition and Trade*, 20, 189-207, 2020.

ALMARZOOQI, A.; MNATSAKANYAN, A.; MURUAGA, E. Gerenciamento de baterias de íon de lítio usadas de veículos elétricos em Dubai. In Proceedings of the 2019 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2), Casablanca, Marrocos, 14–17 de outubro de 2019.

ALP, O., TAN, T., UDENIO, M., Transitioning to sustainable freight transportation by integrating fleet replacement and charging infrastructure decisions. *Omega* 109, 2022.

ALTENBURG, Tilman; PEGELS, Anna. Sustainability-oriented innovation systems: managing the green transformation, *Innovation and Development*, German Development Institute/Deutsches Institut für Entwicklungspolitik, Bonn, Germany, 19 Apr 2020.

ALTENBURG, T., ASSMANN, C., Green Industrial Policy. Concept, Policies, Country Experiences. Geneva, Bonn: UN Environment; German Development Institute / Deutsches Institut für Entwicklungspolitik (DIE), 2017.

ALTENBURG, T., RODRIK, D., Green Industrial Policy: Accelerating Structural Change towards Wealthy Green Economies, in: Green Industrial Policy. Concept, Policies, Country Experiences. UN Environment; German Development Institute / Deutsches Institut für Entwicklungspolitik (DIE)., Geneva, Bonn, 2017.

ALTENBURG, T., & PEGELS, A., Sustainability-oriented innovation systems: Managing the green transformation. *Innovation and development*, 2(1), 5–22, 2012.

ANDERSON, B.; CAMMERAAT, E.; DECHEZLEPRÊTRE, A.; DRESSLE, L.; GONNE, N.; LALANNE, G., “Policies for a climate-neutral industry: Lessons from the Netherlands”, OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 108, OECD Publishing, Paris, 2021.

ANZOLIN, G., LEBDIOUI, A., Three Dimensions of Green Industrial Policy in the Context of Climate Change and Sustainable Development. *The European Journal of Development Research* 33, 371–405, 2021.

Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. (2023). Yearbooks. <https://anfavea.com.br/site/yearbooks/?lang=en>

BAKER, S.; BLOOM, N.; DAVIS, S., “Measuring Economic Policy Uncertainty*”, *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 131/4, pp. 1593-1636, 2016.

BARASSA, E. Trajetória tecnológica do veículo elétrico: autores, políticas e esforços tecnológicos no Brasil. 2015, 106 fl. Dissertação (Mestrado em Política Científica e Tecnológica) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2015.

BARON, J. AND T. POHLMANN, “Mapping standards to patents using declarations of standard-essential patents”, *Journal of Economics & Management Strategy*, Vol. 27/3, pp. 504-534, 2018.

BIEKER, G. A global comparison of the life-cycle greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars. *Communications* 2021, 49, 847129-102.

BIGGERI, M.; FERRANNINI, A., Framing R&I for transformative change towards sustainable development in the European Union. Independent experts' report for the European Commission, DG Research and Innovation, 2020.

BIGRA, EM; CONNELLY, E.; GORNER, M.; LOWANS, C.; PAOLI, L.; TATTINI, J.; TETER, J.; LECROY, C.; MACDONNELL, O.; WELCH, D.; e outros Global EV Outlook 2021, Acelerando ambições apesar da pandemia; IEA: Paris, França, 2021.

BLAND, D., Brazil's EV infrastructure growing on public, private support [WWW Document], 2020. URL <https://www.globalfleet.com/en/technology-and-innovation/latin-america/analysis/brazils-ev-infrastructure-growing-public-private-support?a=DBL10&t%5B0%5D=Electric&t%5B1%5D=Brazil&t%5B2%5D=Latin%5B3%5D=FLleet%5D=FLleet LaTAm&curl=1>

BLOOM, N., VAN REENEN J.,; WILLIAMS, H., “A Toolkit of Policies to Promote Innovation”, Journal of Economic Perspectives, Vol. 33/3, pp. 163-184, 2019.

BRASIL. Paris Agreement. NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION (NDC). Brasília. 10, out. 2015.

_____. Paris Agreement. NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION (NDC). Brasília. 21, mar. 2022.

_____. Lei nº 13.755 de 10 de dezembro de 2018. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, Brasília, 24 dez. 2018. Seção 1, p.1.

_____. Lei nº 13.756 de 26 de dezembro de 2017. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Secretaria Geral da Presidência da República. Brasília, 26 dez. 2017.

_____. Lei nº 12.715 de 17 de setembro de 2012. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 56ª Legislatura - 4ª Sessão Legislativa Ordinária. Brasília, 18 set. 2012.

BREM, Alexandre; NYLUND, Petra A. Manobrando os obstáculos na Nova Rota da Seda: Inovação aberta, complexidade tecnológica, design dominante e o

impacto internacional da inovação chinesa. *Gestão de P&D* , v. 3, pág. 293-308, 2021.

BRITO, F. C.; SABA, H.; SOUZA, H.; BORGES, T.; ARAÚJO, M.; JORGE, E.; FILHO, A., Sustainable development: a proposal for decarbonizing vehicle fleets. *Revista Gestão e Secretariado (GeSec)*, São Paulo, SP, v. 14, n. 4, p. 4807-4816, 2023.

BROZYNSKI, M. T.; LEIBOWICZ, B. D., Decarbonizing power and transportation at the urban scale: An analysis of the Austin, Texas Community Climate Plan. *Sustainable cities and society*, 43, 41-54, 2018.

CAO, J., CHEN, X., QIU, R., HOU, S., Electric vehicle industry sustainable development with a stakeholder engagement system. *Technol. Soc.* 67, 101771, 2021.

CASOTTI, B. P.; GOLDENSTEIN, M. Panorama do setor automotivo: as mudanças estruturais da indústria e as perspectivas para o Brasil. *BNDES Setorial*, n. 28, p. 147-188, 2008.

CASTRO, Lavínia Barros de. Financiamento do desenvolvimento: experiência comparada Brasil-Coreia (1950-1980). <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/908>, 2009.

CERUTTI, A. K.; ARDENTE, F.; CONTU, S.; DONNO, D.; BECCARO, G. L., Modelling, assessing, and ranking public procurement options for a climate-friendly catering service. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 23, p. 95-115, 2018.

CHANG, Ha-Joon; ANDREONI, Antonio. Política industrial no século XXI. *Desenvolvimento e Mudança* , v. 51, n. 2, pág. 324-351, 2020.

CHERIF, Reda; HASANOV, Fuad. O retorno da política que não deve ser nomeada: Princípios da política industrial . *Fundo Monetário Internacional*, 2019.

CHOMSKY, N.; POLLIN, R. (2020). *Climate crisis and the global green new deal: The political economy of saving the planet*. Verso Books;

CLARO JUNIOR, J. A.; SANTOS, L. B. Estado E Indústria Automobilística No Brasil: Análise Das Políticas Inovar-Auto E Rota 2030. *Entre-Lugar*, v. 11, n. 21, p. 101–127, 2020.

CLEMENT-NYNS, K.; HAESSEN, E.; DRIESEN, J. O impacto do carregamento de veículos elétricos híbridos plug-in em uma rede de distribuição residencial. *IEEE Trans. Sistema de energia* 2009, 25, 371–380.

CNPEM. Eletrificação de Veículos e o Futuro do Etanol Combustível no Brasil. Separatas CNPEM. Disponível online: <http://cnpem.br/acesso-a-informacao/separatas-cnpem/> (acessado em 6 de agosto de 2023).

CONSONI, F.L., BARASSA, E., Martínez, J., Moraes, H.B., Relatório: Roadmap tecnológico para veículos elétricos leves no Brasil, 2019.

COX, B.; MUTEL, CL; BAUER, C.; MENDOZA BELTRÁN, A.; VAN VUUREN, DP Pegada ambiental incerta dos veículos elétricos a bateria atuais e futuros. *Meio Ambiente. Ciência. Tecnologia*. 2018.

COWAN, R.; HULTÉN, S. Escaping lock-in: The case of electric vehicle. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 53. 1996.

CRISCUOLO, Chiara; MENON, Carlos. Políticas ambientais e financiamento de risco no setor verde: evidências entre países. *Política Energética* , v. 83, pág. 38-56, 2015.

CRISCUOLO, C.; GONNE, N.; KITAZAWA, K.; LALANNE, G., Are industrial policy instruments effective? A review of the evidence in OECD countries, *OECD SCIENCE, TECHNOLOGY AND INDUSTRY POLICY PAPERS*, No. 128, May 2022.

DELGADO, Fernanda; COSTA, José Evaldo; FEBRARO, Júlia; DA SILVA, Tatiana. *Carros Elétricos*, FGV Energia, ano 4, n° 7, ISSN 2358-5277, maio 2017.

DFT. Estatísticas do dispositivo de carregamento de veículos elétricos: outubro de 2021 ; Estatísticas do Departamento de Transportes (DFT): Londres, Reino Unido, 2021.

DIK, A; OMER, S.; BOUKHANOUF, R. Veículos Elétricos: V2G para penetração EV rápida, segura e ecológica. *Energias*. 2022.

EDLER, J.; GOK, A.; CUNNINGHAM, P.; SHAPIRA, P., *The Impact and Effectiveness of Entrepreneurship Policy*, Edward Elgar Publishing, 2016.

EEA Report, European Environment Agency, *Air quality in Europe — 2020 report*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, ISBN 978-92-9480-292-7, 2020.

EDLER, J.; GOK, A.; CUNNINGHAM, P.; SHAPIRA, P., *Introduction: Making sense of innovation policy*, Edward Elgar Publishing, 2016.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética , BEN 2022, *Relatório Síntese* , Ano base 2021.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética , BEN 2022, *Relatório Síntese* , Ano base 2023.

FANG, J., GAO, C.; LAI, M., “Environmental Regulation and Firm Innovation: Evidence from National Specially Monitored Firms Program in China”, *Journal of CLEANER PRODUCTION*, P. 122599, 2020.

FAY, M.; HALLEGATTE, S.; VOGT-SCHILB, A.; ROZENBERG, J.; Narloch, U.; KERR, T., *Descarbonizando o desenvolvimento: três passos para um futuro com zero carbono*. Publicações do Banco Mundial, 2015.

FERRANNINI, A., Barbieri, E., BIGGERI, M.,; DI TOMMASO, MR., *Política industrial para o desenvolvimento humano sustentável na era pós-Covid19*. *Desenvolvimento mundial* , v. 137, p. 105215, 2021.

FU, X.; ZHANG J., ‘Technology transfer, indigenous innovation and leapfrogging in green technology: the solar-PV industry in China and India,’ *Journal of Chinese Economic and Business Studies*, 9(4), 329–347, 2011.

FREEMAN, C. *Technology policy and economic performance: lessons from Japan*. London: Frances Pinter, 1987.

FREEMAN, C., “The Economics of Technical Change: Critical Survey”, in *Cambridge Journal of Economics*, v.18, p.463- 514, 1994.

FREEMAN, C. The ‘National System of Innovation’ in historical perspective, *Cambridge Journal of Economics*, 19(1), pp. 5–24, 1995.

FREEMAN, Chris. A ecologização da tecnologia e dos modelos de inovação. *Previsão tecnológica e mudança social*, v. 53, n. 1, pág. 27-39, 1996.

FREITAS, J. C. N., Projeto e análise ao funcionamento de carros elétricos. 187 fl. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Universidade do Minho. Guimarães, Minho Guimarães, 187 fl., 2012.

FREITAS, Wallisson et al. Carros elétricos: O future do automobilismo? *Ciências para redução de desigualdade*, 2017. Disponível em: <https://propi.ifto.edu.br/index.php/jice/9jice/paper/viewFile/9413/4138>. Acesso em 01 de junho de 2022.

GAINES, L.; RICHA, K.; SPANGENBERGER, J. Questões-chave para a reciclagem de baterias de íons de lítio. *Sustentação Energética MRS*. 2018, 5, E14.

GALATIÁ, A.; ADAMASHVILI, N.; CRESCIMANNO, M., A feasibility analysis on adopting electric vehicles in the short food supply chain based on GHG emissions and economic costs estimations, *Sustainable Production and Consumption*, Volume 36, Pages 49-61, ISSN 2352-5509, 2023.

GHISETTI, Cláudia. Inovações ambientais e de atração da demanda: Estimando os efeitos de compras públicas inovadoras. *Previsão Tecnológica e Mudança Social*, v. 125, p. 178-187, 2017.

GOLDENSTEIN, M.; AZEVEDO, R. L. S., Combustíveis alternativos e inovações no setor automotivo: será o fim da "era do petróleo"? *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 23, p. 235- 266, mar. 2006.

GUZOVIĆ, Z., DUIC, N., PIACENTINO, A., MARKOVSKA, N., MATHIESEN, B.V., LUND, H., Recent advances in methods, policies and technologies at sustainable energy systems development. *Energy* 245, 2022.

HALL, D.; LUTSEY, N., Effects of Battery Manufacturing on Electric Vehicle Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions; The Internal Council on Clean Transportation (ICCT): Washington, DC, USA, 2018.

HALLEGATTE, Stéphane; FAY, Marianne; VOGT-SCHILB, Adrien., Green Industrial Policies: When and How. Policy Research Working Paper, The World

Bank Sustainable Development Network Office of the Chief Economist, ano 2013, n. 6677, p. 1-24, out. 2013.

HARRISON, A., MARTIN L.; NATARAJ, S., 'Green industrial policy in emerging markets,' Annual Review of Resource Economics, 9(1), 253–274, 2017.

HAWKINS, T.R., SINGH, B., MAJEAU-BETTEZ, G., STRØMMAN, A.H., Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. J. Ind. Ecol. 17 (1), 53–64, 2013.

HIRST, D.; WINNET, J.; HINSON, S. Veículos Elétricos e Infraestrutura; Biblioteca da Câmara dos Comuns: Londres, Reino Unido, pp. 5–10, 2021.

HOEHNE, CG; CHESTER, MV, Otimizando o veículo elétrico plugin e o agendamento de carga do veículo para a rede para minimizar as emissões de carbono. 115, 646–657. Energy, 2016.

HOEKSTRA, A., The underestimated potential of battery electric vehicles to reduce emissions. Joule 3 (6), 1412–1414, 2019.

HOTTENROTT, Hanna; RICHSTEIN, Roberto. Subsídios para start-ups: o instrumento político é importante?. Política de Pesquisa, v. 49, n. 1, pág. 103888, 2020.

HOWELL, Sabrina T. Financiamento da inovação: Evidências de subsídios para P&D. Revisão econômica americana , v. 4, pág. 1136-1164, 2017.

IEA. Quantidade de baterias de íon de lítio gastas de veículos elétricos e armazenamento no cenário de desenvolvimento sustentável, 2020/2040. 2021. Disponível online: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/amount-of-spent-lithium-ion-batteries-from-electric-vehicles-and-storage-in-the-sustainable-development-scenario-2020-2040> (acessado em 9 de janeiro de 2023).

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2022: mitigation of climate change. Geneva: IPCC, 2022. (Working Group III Assessment Report, n. 6).

IRLE, R. Vendas globais de veículos elétricos para 2021 H1. 2021. Disponível online: <https://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/> (acessado em 9 de dezembro de 2022).

JEON, W., CHO, S., LEE, S., Estimating the impact of electric vehicle demand response programs in a grid with varying levels of renewable energy sources: time-of-use tariff versus smart charging. *Energies* 13 (17), 4365, 2020.

KEMPTON, W.; LETENDRE, SE Veículos elétricos como nova fonte de energia para concessionárias de energia elétrica. *Transp. Res. Parte D Transp. Meio Ambiente*, p. 157–175,1997.

KONDA, P., *Catching Up in Electromobility: Windows of Opportunity, Industrial Policies, and Formative Sector Development in the Electric Vehicle Sector in China*. Aalborg Universitetsforlag, 2022.

KNOBLOCH, F.; HANSSEN, SV; LAM, A.; POLLITT, H.; SALAS, P.; CHEWPREECHA, U.; HUIJBREGTS, MA; MERCURE, JF, Reduções Líquidas de emissões de carros elétricos e bombas de calor em 59 regiões do mundo ao longo do tempo. *Nat. Sustent.* 2020

KURLAND, SD, Uso de energia para produção de baterias de íons de lítio em escala de GWh. *Meio Ambiente. Res. Comum*. 2019.

LANDINI, F.; LEMA, R.; MALERBA, F., 'Demand-led catch-up: a history-friendly model of latecomer development in the global green economy,' *Industrial and Corporate Change*, 2020.

LABRUNIE, M. L., *Políticas industriais na era da manufatura avançada: uma comparação internacional*, Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Economia da Indústria e da Tecnologia,. - 2018.

LEÃO, C; GOULART, L. O Inovar-Auto e os investimentos em P&D no setor automotivo. *INVENTTABGI*, 2012. Disponível em:< https://docplayer.com.br/609934_6-O-inovar-auto-e-os-investimentos-em-p-d-no-setor-automotivo.html>. Acesso em: 24 mai. 2023.

LEE, K., *The Art of Economic Catch-Up*. Cambridge University Press: Cambridge. UK, 2019.

LEE, K.; MALERBA, F., 'Catch-up cycles and changes in industrial leadership: windows of opportunity and responses of firms and countries in the evolution of sectoral systems,' *Research Policy*, 46(2), 338–351, 2017.

LEMA, R., HANLIN, R., HANSEN E.; NZILA, C., 'Renewable electrification and local capability formation: Linkages and interactive learning,' *Energy Policy*, 117, 326–339, 2018.

LEMA, R., FU, X., RABELLOTTI, R., Green windows of opportunity: Latecomer development in the age of transformation toward sustainability. *Industrial and Corporate Change* 29, 1193–1209, 2020.

LOBO, P. A. M. Do Sistema Fordista ao Sistema Hyundai: uma análise comparativa entre quatro sistemas de produção oriundos da indústria automotiva. *Revista Eletrônica Machado Sobrinho*, v. 10, n. 01, p. 43-53, 2015.

LOPES, Wittor, O Debate sobre a Degradação do Meio Ambiente e a Inserção do Carro Elétrico no Mercado: Um Estudo de Caso do Brasil no Pós-Protocolo de Quioto, Monografia (Curso de Graduação em Relações Internacionais) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Escola de Direito, Negócios e Comunicação, Goiânia, 2021.

LÜTKENHORST, W., ALTENBURG, T., PEGELS, A., & VIDICAN, G., Green industrial policy: Managing transformation under uncertainty. Discussion paper / Deutsches Institut für Entwicklungspolitik: 28/2014. Bonn: Dt. Inst. für Entwicklungspolitik, 2014.

MALERBA, Franco; NELSON, Richard. Learning and catching up in different sectoral systems: evidence from six industries. *Industrial and corporate change*, v. 20, n. 6, p. 1645-1675, 2011.

MARTIN, R.; MUÛLS, M.; WAGNER, U., Te impact of the European Union emissions trading scheme on regulated frms: what is the evidence afer ten years? *Rev. Environ. Econ. Policy* 10, 129–148, 2016.

MATHEWS, J., 'The renewable energies technology surge: a new techno-economic paradigm in the making?,' *Futures*, 46, 10–22, 2013.

MATHEWS, John A.; TAN, Hao. Economia: Fabricar energias renováveis para construir segurança energética. *Natureza*, v. 513, n. 7517, pág. 166-168, 2014.

MATHEWS, J., 'Schumpeter in the twenty-first century,' in *Schumpeter's Capitalism, Socialism and Democracy*, 1st edn. Routledge: New York, NY, p. 233–254, 2018.

MATHEWS, J.A., Schumpeterian economic dynamics of greening: propagation of green eco-platforms. *Journal of Evolutionary Economics* 30, 929–948, 2020.

MATHEWS, J.; OQUBAY, C. CRAMER, H.-J. CHANG & E. R. KOZULWRIGHT,. *Greening Industrial Policy*, *The Oxford Handbook of Industrial Policy* Oxford: Oxford University Press, forthcoming, 2020.

MATULKA, Rebecca. *The History of the Electric Car*. Department of Energy, 2014.

MAZZUCATO, Mariana. Financiamento da inovação: destruição criativa versus criação destrutiva. *Mudança Industrial e Corporativa*, v. 22, n. 4, pág. 851-867, 2013.

MAZZUCATO, M., CIMOLI, M., DOSI, G. LANDESMANN, M.A., PAGE, T., PIANTA, M., STIGLITZ, J.E., WALZ, R., Which Industrial Policy Does Europe Need?. *Intereconomics*, 50, 120-155, 2015.

MAZZUCATO, M., KATTEL, R. & RYAN-COLLINS, J., Challenge-Driven Innovation Policy: Towards a New Policy Toolkit. *Journal of Industry, Competition and Trade*, 20, 421-437, 2019.

MAZZUCCATO, M., The Covid-19 crisis is a chance to do capitalism differently. *The Guardian*, 18 March 2020.

MCKERRACHER, C.; IZADI-NAJAFABADI, A.; O'DONOVAN, A.; ALBANESE, N.; SOULOPOLOUS, N.; DOHERTY, D.; BOERS, M.; FISCHER, R.; CANTOR, C.; FRITH, J.; e outros *Outlook Veículo Elétrico (EVO) 2020*; BloombergNEF (BNEF): Londres, Reino Unido, 2020.

MCKERRACHER, C.; IZADI-NAJAFABADI, A.; O'DONOVAN, A.; ALBANESE, N.; SOULOPOLOUS, N.; DOHERTY, D.; BOERS, M.; FISCHER, R.; CANTOR,

C.; FRITH, J.; MI, S.; e outros Outlook Veículo Elétrico (EVO) 2021; BloombergNEF (BNEF): Londres, Reino Unido, 2021.

MERA, Z.; BIEKER, G.; REBOUÇAS A.B.; CIEPLINSKI, A., Emissões de Gee no Ciclo de Vida de Carros de Passeio a Combustão e Elétricos no Brasil, International Council on Clean Transportation, Edição: Amy Smorodin, 2023.

MIRZAEIAN, M.; ABBAS, Q.; CAÇA, MRC; GALEYEVA, A.; RAZA, R., Na-Ion Batteries. Adv. Função Mate., p. 947–958, 2021.

NAUDÉ, Wim. Política industrial: questões antigas e novas . Documento de trabalho WIDER, 2010.

NEVER, B., KEMP, R., Developing Green Technologies and Phasing them in. In Altenburg, t., e Assmann, C., Green Industrial Policy. Concept, Policies, Country Experiences (pp. 87–101). Geneva, Bonn: UN Environment; German Development Institute / Deutsches Institut für Entwicklungspolitik (DIE), 2017.

OCDE (2020a). COVID-19: Protecting people and societies, Tackling coronavirus (Covid19) – Contributing to a global effort. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development, April 2020.

OCDE (2020b). OECD Economic Outlook. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development, June 2020.

OCDE (2020c). Covid-19 and International Trade: Issues and Actions. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development, June 2020.

OQUBAY, A., CRAMER, C., CHANG, H.-J., KOZUL-WRIGHT, R., The Oxford Handbook of Industrial Policy. Oxford: Oxford University Press, forthcoming, 2020.

OLDEKOP, JA, HORNER, R., HULME, D., ADHIKARI, R., AGARWAL, B., ALFORD, M., ZHANG, YF. COVID-19 e a defesa do desenvolvimento global. Desenvolvimento mundial, 134, 105044, 2020.

PAPADOPOULOS, P.; AKIZU, O.; CIPCIGAN, LM; JENKINS, N.; ZABALA, E. Demanda de eletricidade com carros elétricos em 2030: Comparando Grã-Bretanha e Espanha. Processo. Inst. Mecânico. Eng. Parte A J. Power Energy, 225 , 551–566, 2011.

PEÑASCO, C.; ANADÓN, L. D.; VERDOLINI, E.. Revisão sistemática dos resultados e compensações de dez tipos de instrumentos políticos de descarbonização. *Natureza Mudanças Climáticas*, v. 3, pág. 257-265, 2021.

PEGELS, A., *Green industrial policy in emerging countries*. Routledge studies in ecological economics: Vol. 34. London: Routledge Taylor & Francis Group, 2014.

PEGELS, Anna; ALTENBURG, Tilman. Desenvolvimento dos retardatários num mundo “ecologizado”: Introdução à edição especial. *Desenvolvimento Mundial* , v. 135, p. 105084, 2020.

PEREIRA NETO, Alves Antero. Políticas industriais de fomento aos veículos elétricos: histórico e perspectivas para Brasil, Chile, China, Coreia do Sul e Estados Unidos. 2023. 136 p. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Uberlândia, 2023. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2023.21>

PEREZ, Carlota. Bolhas financeiras, crises e o papel do governo no desencadeamento de eras douradas. *Inovação e finanças* , p. 11-25, 2013.

PEREZ, C.; SOETE, L., ‘Catching up in technology: entry barriers and windows of opportunity,’ in G. Dosi, C. Freeman, R. R. Nelson, G. Silverberg and L. Soete (eds), *Technical Change and Economic Theory*. London: Pinter: London, UK, pp. 458–479, 1988.

PERKINS, Greg; MURMANN, Johann Peter. O que o sucesso da Tesla significa para a dinâmica futura do setor automobilístico global?. *Revisão de Gestão e Organização* , v. 14, n. 3, pág. 471-480, 2018.

PIPITONE, E., CALTABELLOTTA, S., OCCHIPINTI, L., A life cycle environmental impact comparison between traditional, hybrid, and electric vehicles in the European context. *Sustainability* 13 (19), 10992, 2021.

POTENZA, R. F.; QUINTANA, G.; CARDOSO, A.; TSAI, D.; CREMER, M.; SILVA, F.; GRACES, I.; CARVALHO, K.; COLUNA, I.; SHIMBO, J.; SILVA, C.; SOUZA, E.; ZIMBRES, B.; ALENCAR, A.; ANGELO, C.; AZEVEDO, T., *Análise das Emissões Brasileiras de e suas Implicações para as metas Climáticas do Brasil 1970–2021*, Observatório do Clima (SEEG), 2023.

PROMOB-E – Mobilidade elétrica e propulsão eficiente. Sistematização de Iniciativas de Mobilidade Elétrica no Brasil. Plataforma Nacional da Mobilidade Elétrica Brasília, nov, 2019.

PURVIS, B., MAO, Y. & ROBINSON, D., Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. *Sustainability Science*, 14, 681-695, 2019.

RABIER, L., Patents and Technical Standardisation: how to balance Competition and Innovation?, DG Trésor, 2017.

RAE, John. Automotive industry. *Encyclopædia Britannica*, 2020. Disponível em : <https://www.britannica.com/technology/automotive-industry/additional-info#history>. Acesso em: 2 dez. 2022.

REINERT, E.S., Evolutionary Economics, Classical Development Economics, and the History of Economic Policy: A Plea for Theorizing by Inclusion. Working Papers in Technology Governance and Economic Dynamics, no. 1, The Other Canon Foundation, Norway and Tallinn University of Technology, Tallinn, 2006.

RIATO, G. Inovar-Auto é ilegal, determina OMC: Brasil é condenado por protecionismo por causa do regime automotivo. *Automotivebusiness*. 2016.

RILEY, C. A grande corrida de carros elétricos está apenas começando. 2019. Disponível online: <https://edition.cnn.com/interactive/2019/08/business/electric-cars-audi-volkswagen-tesla/> (acessado em 7 de dezembro de 2022).

ROCKSTRÖM, J., STEFFEN, W., NOONE, K., PERSSON, Å., CHAPIN, F.S., LAMBIN, E.F., LENTON, T.M., SCHEFFER, M., FOLKE, C., SCHELLNHUBER, H.J., NYKVIST, B., WIT, C. A., HUGHES, T., VAN DER LEEUW, S., RODHE, H., SÖRLIN, S., SNYDER, P. K., COSTANZA, R., SVEDIN, U., FALKENMARK, M., KARLBERG, L., CORELL, R. W., FABRY, V. J., HANSEN, J., WALKER, B., LIVERMAN, D., RICHARDSON, K., CRUTZEN, P., & FOLEY, J. A., A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472–475, 2009.

RODRIK, Dani. Green industrial policy, *Oxford Review of Economic Policy*, Volume 30, Number 3, pp. 469–491, 2014.

RODRIK, D., Diagnostics before prescription, *Journal of Economic Perspectives*, 24(3), 33-44, 2013.

ROHR, S.; WAGNER, S.; BAUMANN, M.; MÜLLER, S.; LIENKAMP, M. Uma análise técnico-econômica das cadeias de valor de fim de vida para baterias de íon-lítio de veículos elétricos. In Proceedings of the 2017 Twelfth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), Monte Carlo, Mônaco, 11–13 de abril de 2017.

ROMANZOTI, N. Quem inventou o carro? Hypescience, 2013.

ROTA 2030 – Relatório Anual do Programa Rota 2030 – Mobilidade e Logística. Grupo de Acompanhamento, jul. 2021.

SAIYID, A. Aumento triplicado na reciclagem necessária para ajudar a atender a demanda de 2030 por baterias de íons de lítio para veículos elétricos. 2021. Disponível online: <https://cleanenergynews.ihsmarket.com/research-analysis/threefold-increase-in-recycling-needed-to-help-meet-2030-deman.html>.

SACHS, J. D., From Millennium Development Goals to Sustainable Development Goals. The Lancet, 379, 2206–2211, 2012.

SCHIAVI, MARCELA. Estudo das tendências e desenvolvimentos tecnológicos do carro elétrico no Brasil, Tese de Doutorado PósGraduação em Ciência, Tecnologia e Sociedade do Centro de Educação e Ciências Humanas, da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2020.

SCHAPIRO, M. G. O estado pastor e os incentivos tributários no setor automotivo. In: Revista de Economia Política, v. 37, nº2, pp. 437-455, Abr./Jun. 2017.

SHAFIEI, E., DAVIDSDOTTIR, B.; LEAVER, J.; STEFANSSON, H.; ASGEIRSSON, EI., Implicações energéticas, económicas e de custos de mitigação da transição para um sector de transportes neutro em carbono: Uma comparação baseada em simulação entre hidrogênio e eletricidade. Revista de produção mais limpa, v. 141, p. 237-247, 2017.

SIOSHANSI, R.; DENHOLM, P. Impactos das emissões e benefícios de veículos elétricos híbridos plugin e serviços de veículos para rede. Ambiente. ciência T echnol. P. 1199–1204, 2009.

SCHEFFER, M., *Critical transitions in nature and society*. Princeton University Press, 2009.

SIRAGUSA, C., Tumino, A., Mangiaracina, R., Perego, A., Electric vehicles performing last-mile delivery in B2C e-commerce: an economic and environmental assessment. *Int. J. Sustain. Transp.* 16 (1), 22–33, 2020.

SPRATT, S., *Environmental taxation and development: A scoping study*. IDS working paper: Vol. 433, 2013. Brighton: IDS. Retrieved from www.ids.ac.uk/publication/environmental-taxation-and-development-a-scoping-study.

STATISTA, 2021a. Vehicles & Road Traffic [WWW Document]. URL <https://www.statista.com/markets/419/topic/487/vehicles-road-traffic/#overview>.

STATISTA, 2021b. Mining, Metals & Minerals [WWW Document]. URL <https://www.statista.com/markets/410/topic/954/mining-metals-minerals>.

STERN, N., *The economics of climate change: The Stern review*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2007.

STIGLITZ J.E., LIN J.Y., & MONGA C., *The Rejuvenation of Industrial Policy*. Policy Research Working paper, No. 6628, Washington, D.C.: The World Bank, 2013.

STIGLITZ, J.E., & LIN, J. Y., *The Industrial Policy Revolution I: The Role of Government Beyond Ideology*. New York: Palgrave Macmillan, 2013.

SHUBBAK, M. H., 'The technological system of production and innovation: the case of photovoltaic technology in China,' *Research Policy*, 48(4), 993–1015, 2019.

SOL, P.; BISSCHOP, R.; NIU, H.; HUANG, X. Uma revisão de incêndios de bateria em veículos elétricos. *Fire Technol.* 2020.

SWISS RESOURCE CAPITAL AG., *Relatório de metais da bateria 2019: tudo o que você precisa saber sobre os metais da bateria lítio, cobalto, níquel e vanádio* ; Swiss Resource Capital AG: Herisau, Suíça, 2019.

TESLA. Relações com investidores, Tesla divulga resultados financeiros do terceiro trimestre de 2021. Disponível online: <https://ir.tesla.com/#tab-quarterly-disclosure> (acessado em 23 de dezembro de 2022).

TONIATO, E.; MEHTA, P.; MARINKOVIC, S.; TIEFENBECK, V. Minimização de pico de carga de um depósito de ebus: Impactos das condições definidas pelo usuário em algoritmos de otimização. Informe Energético. 2021.

UECKERDT, F.; KEMPENER, R. Da carga básica ao pico: as energias renováveis fornecem uma solução confiável ; Agência Internacional de Energia Renovável (IREA): Abu Dhabi, Emirados Árabes Unidos, 2015.

VALOR ECONÔMICO, Jornal, A Segunda Fase do Programa para carros sai em duas Semanas e não abrange Imposto de Importação. acessado por: <https://valor.globo.com/brasil/noticia/2023/09/21/rota-2030-sai-em-duas-semanas-e-no-abrange-imposto-de-importao-diz-mdic.ghtml>, 10 de outubro de 2023.

VELANDIA VARGAS, Jorge Enrique et al. O novo vizinho do outro lado da rua: perspectivas para a adoção de veículos elétricos a bateria no Brasil. Revista Mundial de Veículos Elétricos , v. 3, pág. 60, 2020.

VOLKSWAGEN. Grupo Volkswagen dobra entregas de veículos elétricos puros no terceiro trimestre 2021. Disponível online: <https://www.volkswagennewsroom.com/en/press-releases/volkswagen-group-doubles-deliveries-of-pure-e-vehicles-in-third-quarter-7569>.

WANG, F.; HARINDINTWALI, JD, YUAN, Z., WANG, M., WANG, F., Li, S; CHEN, JM., Tecnologias e perspectivas para alcançar a neutralidade carbônica. A Inovação , v. 2, n. 4, 2021.

WEF (2020a). Emerging Priorities and Principles for Managing the Global Economic Impact of COVID-19 - Chief Economists Outlook. Geneva: World Economic Forum, April 2020.

WEF (2020b). How to rebound stronger from COVID-19. Resilience in manufacturing and supply systems. White paper, in collaboration with Kearney. Geneva: World Economic Forum, April 2020.

WEF (2020c). The Impact of COVID-19 on the Future of Advanced Manufacturing and Production. Geneva: World Economic Forum, June, 2020.

WESSEH JR., P.K., LIN, B., A time-of-use pricing model of the electricity market considering system flexibility. *Energy Rep.* 8, 1457–1470. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.12.027>, 2022.

WOLFFENBÜTTEL, R.F., The social production of innovation: the electric automobile and innovation networks in Brazil. *Sociologias* 22, 412–417, 2020.

WOLFFENBÜTTEL, R. F. Políticas setoriais e inovação: entraves e incentivos ao automóvel elétrico no Brasil. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 21. Campinas. 2022.

YAP, X.; TRUFFER, B., Shaping selection environments for industrial catch-up and sustainability transitions: A systemic perspective on endogenizing windows of opportunity. *Research Policy* 48, 1030–1047, 2019.

YANG, F., XIE, Y., DENG, Y., YUAN, C., Temporal environmental and economic performance of electric vehicle and conventional vehicle: a comparative study on their US operations. *Resour. Conserv. Recycl.* 169, 105311., 2021.

VAZ, L., BARROS, D.; CASTRO, B., Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento, *BNDES Setorial* 41, p. 295-344, 2015.