

Big Push

para a Mobilidade Sustentável

Cenários para acelerar a penetração de veículos elétricos leves no Brasil

Bruno Borba



NAÇÕES UNIDAS



MINISTÉRIO DA
ECONOMIA

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



cooperação
alemã
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

 www.cepal.org/es/publications

 www.cepal.org/apps

***Big Push* para a Mobilidade Sustentável**

**Cenários para acelerar a penetração
de veículos elétricos leves no Brasil**

Bruno Borba



MINISTÉRIO DA
ECONOMIA

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



Este documento foi preparado por Bruno Borba, consultor da Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), no âmbito das atividades de cooperação entre a CEPAL e a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) 2018-2020, projeto "Sustainable development paths for middle-income countries under the 2030 Agenda for Sustainable Development in Latin America and the Caribbean". No âmbito dessa cooperação, realiza-se o projeto "Big Push para a Mobilidade Sustentável no Brasil", realizado sob a coordenação do Escritório da CEPAL no Brasil, do Ministério da Economia (ME) e do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) e com o apoio da GIZ. O documento contou com as contribuições, na apresentação, revisão e supervisão do documento, de Camila Gramkow, Oficial de Assuntos Econômicos do Escritório da CEPAL no Brasil. Colaboraram com este documento: André Serqueira Tabuquini (ME), Bruno de Almeida Ribeiro (ME), Fernando Araldi (MDR), Gustavo Victor (ME), Jens Giersdorf (GIZ), Margarete Gandini (ME) e Ricardo Zomer (ME). Também contribuíram o diretor do Escritório da CEPAL no Brasil, Carlos Henrique Fialho Mussi, e, do mesmo Escritório, Maria Pulcheria Graziani, Camila Leotti e Sofia Furtado, além de Fabio Weikert (Oficial Associado de Assuntos Econômicos da Divisão de Comércio Internacional e Integração da CEPAL), Enrique Oviedo (Oficial encarregado da Unidade de Assentamentos Humanos na Divisão de Desenvolvimento Sustentável e Assentamentos Humanos da CEPAL), Luiz Fernando Krieger Merico (Oficial de Assuntos Econômicos na Unidade de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável na Divisão de Desenvolvimento Sustentável e Assentamentos Humanos da CEPAL) e Joseluis Samaniego (Diretor da Divisão de Desenvolvimento Sustentável e Assentamentos Humanos da CEPAL).

As opiniões expressadas neste documento, que não foi submetido a revisão editorial, são de exclusiva responsabilidade do autor e podem não coincidir com as visões da CEPAL ou das instituições parceiras neste projeto.

Publicação das Nações Unidas
LC/TS.2020/50
LC/BRS/TS.2020/2
Distribuição: L
Copyright © Nações Unidas, 2020
Todos os direitos reservados
Impresso nas Nações Unidas, Santiago
S.20-00314

Esta publicação deve ser citada como: B. Borba, "Big Push para a Mobilidade Sustentável: cenários para acelerar a penetração de veículos elétricos leves no Brasil", *Documentos de Projetos* (LC/TS.2020/50; LC/BRS/TS.2020/2), Santiago, Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), 2020.

A autorização para reproduzir total ou parcialmente esta obra deve ser solicitada à Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), Divisão de Publicações e Serviços Web: publicaciones.cepal@un.org. Os Estados-membros das Nações Unidas e suas instituições governamentais podem reproduzir esta obra sem autorização prévia. Solicita-se apenas que mencionem a fonte e informem à CEPAL tal reprodução.

Índice

Prefácio Ministério da Economia	5
<i>Gustavo Ene</i>	
Prefácio Ministério do Desenvolvimento Regional	7
<i>Fernando Araldi</i>	
Prefácio CEPAL	9
<i>Carlos Mussi</i>	
Sumário executivo	11
Executive summary	13
Apresentação	15
Introdução	21
I. Políticas públicas para acelerar investimentos em veículos elétricos	25
A. A experiência internacional	25
B. O quadro de políticas no Brasil	30
II. Simulando cenários para VEs no Brasil: aspectos metodológicos	33
A. Construção de cenários	34
B. Estimativa de penetração de VEs: o Modelo de Bass	37
C. Análise econômica	39
1. Estimativa da demanda total de automóveis no horizonte de 2050	39
2. Cálculo do <i>payback</i> médio dos usuários de VEs	40
3. Estimativa do Mercado Potencial Preliminar (MPP) de VEs	42
D. Análise mercadológica	42
E. Análise técnica	44
F. Limitações do estudo	47
III. Políticas para VEs no Brasil: resultados e discussão	49
A. Projeções de vendas de veículos	49
B. Cenário de referência: principais aspectos sobre o ponto de partida	52
C. Cenários alternativos: resultados e discussão	53
IV. Conclusões	61
Bibliografia	65

Anexos	71
Anexo 1	72
Anexo 2	73
Anexo 3	75
Tabelas	
Tabela 1 Infraestrutura de recarga pública em países selecionados	24
Tabela 2 Diferentes políticas nos países selecionados	27
Tabela 3 Principais instrumentos de política alinhados ao tema da mobilidade elétrica no Brasil	31
Tabela 4 Cenários alternativos com políticas públicas para promover a participação de VEs no setor de transportes	37
Tabela 5 Variáveis consideradas nos modelos de regressão linear	39
Tabela 6 Modelo 1: estatísticas da regressão, tabela ANOVA e estatísticas dos coeficientes	50
Tabela 7 Modelo 2: estatísticas da regressão, tabela ANOVA e estatísticas dos coeficientes	50
Tabela 8 Emissão de CO ₂ dos veículos leves em cada cenário, por tipo de veículo e combustível, 2020, 2030 e 2050.....	59
Tabela 9 Consumo energético dos veículos leves em cada cenário, por tipo de veículo e combustível.....	60
Gráficos	
Gráfico 1 Evolução da frota de VEs nos principais mercados internacionais, 2013 a 2018	22
Gráfico 2 Evolução da frota de VEs no Brasil, por região e tipo, 2013 a 2019	22
Gráfico 3 Frota de VEs no Brasil, por estado e tipo, 2019	23
Gráfico 4 Redução de preço e custo de manutenção dos VEs em relação ao valor de 2020, 2020 a 2050	35
Gráfico 5 Fração máxima de mercado em função do tempo de retorno do <i>payback</i> simples.....	38
Gráfico 6 Função de distribuição de probabilidade $F(t)$ adaptada para a adoção de VEs no Brasil, 2020 a 2050	43
Gráfico 7 Intensidade de uso por tipo de veículo	45
Gráfico 8 Curva de probabilidade de sucateamento de veículos leves segundo a idade do veículo	46
Gráfico 9 Projeção do licenciamento de automóveis no Brasil, 2019 a 2050.....	51
Gráfico 10 Participação dos VEs nas vendas de automóveis nos cenários de referência, 1 e 2 no Brasil, na Noruega e na Alemanha, 2020 a 2050.....	54
Gráfico 11 Participação dos VEHP, VEB e VEH nas vendas de automóveis no Brasil nos cenários 1 e 2.....	54
Gráfico 12 Efeito de cada instrumento de política no cenário 1 sobre a participação dos VEs nas vendas de automóveis no Brasil, 2030 a 2050	55
Gráfico 13 Impacto de cada instrumento de política sobre as contas públicas no cenário 1, 2020 a 2050	56
Gráfico 14 Efeito de cada instrumento de política no cenário 2 sobre a participação dos VEs nas vendas de automóveis no Brasil, 2030 a 2050	58
Gráfico 15 Impacto de cada instrumento de política sobre as contas públicas no cenário 1, 2020 a 2050	59
Diagrama	
Diagrama 1 Fluxograma geral da metodologia	34
Mapa	
Mapa 1 Infraestrutura de recarga no Brasil, 2019.....	24

Prefácio

Ministério da Economia

A Secretaria de Desenvolvimento da Indústria, Comércio, Serviços e Inovação, do Ministério da Economia, tem como parte de sua missão institucional atuar para impulsionar o desenvolvimento e ampliar a competitividade dos diversos setores da economia brasileira, tanto na indústria, quanto no comércio e nos serviços. Para atingir este objetivo, trabalha na formulação, na implementação, na avaliação e no aprimoramento de políticas públicas voltadas ao fortalecimento desses setores.

O contexto de transformações pelas quais tem passado a sociedade exige ações dos governos, nas suas diferentes instâncias, focadas na promoção de um desenvolvimento cada vez mais sustentável. Fatores como o aumento da população mundial e o esgotamento de recursos naturais têm adicionado ainda mais desafios na busca por este desenvolvimento sustentável.

No caso do segmento industrial, o desenvolvimento é cada vez mais dependente de novas tecnologias, inovação e conhecimento. A mudança de paradigma em curso na indústria automobilística, com a substituição gradual dos motores a combustão, altamente dependentes dos combustíveis fósseis, por motores elétricos mais eficientes amplia o desafio de formular políticas públicas para este setor. Conforme já se observa em diversos países pelo mundo, a eletrificação dos veículos é uma tendência que aos poucos tem também ocorrido no Brasil, que iniciou em 2019 a fabricação de veículos com motorização híbrida.

Destaque-se que, a adoção destas novas tecnologias possui o condão de produzir efeito multiplicador dos investimentos, com a geração de empregos em toda a cadeia de valor, ganhos atrelados à saúde pública, com menos poluição, e menos tempo despendido em deslocamento, o que aumenta a produtividade do trabalho, além da redução do impacto ambiental, estando em linha com as diretrizes estratégicas do Governo Federal.

Ainda, o processo de construção de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento envolve a tomada de decisão para a alocação eficiente de recursos escassos, sejam eles humanos, materiais, financeiros, ou mesmo de informação. Para políticas voltadas ao segmento industrial não é diferente, as decisões de políticas devem estar fundamentadas em evidências, construídas a partir de estudos técnicos e dados relevantes e confiáveis.

Por essa razão, a Secretaria de Desenvolvimento da Indústria, Comércio, Serviços e Inovação estabeleceu, em 2019, parceria com a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), para a realização do estudo “Cenários para acelerar a penetração de veículos elétricos leves”, que aprofunda a discussão e traz elementos para fomentar o debate sobre esta transição tecnológica em curso na indústria automobilística, debate este que se insere na discussão maior acerca de um desenvolvimento econômico mais sustentável para o País. O estudo foi realizado no âmbito do projeto “*Big Push* para a Mobilidade Sustentável no Brasil”, da CEPAL, que busca apresentar evidências para subsidiar políticas públicas que contribuam para o desenvolvimento da mobilidade urbana sustentável no País, com foco em transportes urbanos individuais de baixa emissão de gases de efeito estufa.

Os resultados apresentados pelo estudo são insumos indispensáveis para embasar o processo de formulação de políticas públicas pelo Ministério da Economia ganhando ainda mais importância em face da rápida migração da indústria automobilística mundial para novas formas de propulsão. Este estudo não encerra o esforço do Ministério da Economia na busca pelo desenvolvimento do tema, mas certamente reforça a base de informações e conhecimentos essenciais ao debate, e demonstra que seguimos firmes em nossa missão de desenhar políticas públicas cada vez mais efetivas rumo ao desenvolvimento sustentável de nosso País.

Gustavo Ene

Secretário de Desenvolvimento da Indústria, Comércio, Serviços e Inovação
Secretaria Especial de Produtividade, Emprego e Competitividade
Ministério da Economia

Prefácio

Ministério do Desenvolvimento Regional

O avanço na Política Nacional de Mobilidade Urbana no Brasil requer ações do Poder Público em todas as suas esferas. É por meio de medidas efetivas que os deslocamentos da população se tornarão mais acessíveis, inclusivos e seguros.

O desenvolvimento econômico das cidades e do país depende da boa circulação, pelo espaço urbano, de pessoas e cargas. O planejamento de mobilidade urbana deve pensar, sempre, no cidadão e na sua interação com a cidade, na promoção do acesso a tudo o que sua cidade pode oferecer.

Congestionamentos, altas taxas de emissão de poluentes e crescentes emissões de gases de efeito estufa, fazem parte de um quadro amplo de externalidades do setor, relacionados a problemas ambientais e de saúde da população, mesmo que o uso de combustíveis renováveis seja significativo no país.

Nesse sentido, implementarmos uma Mobilidade Sustentável no país, vise ao o bem-estar dos cidadãos e ao amplo acesso às oportunidades econômicas e sociais nas cidades (emprego, serviços de saúde, educação, lazer) deve ser o objetivo de todos.

Projetos como o *Big Push* para a Mobilidade Sustentável nos apresentam uma oportunidade de trazer para discussão modelos mais sustentáveis de se locomover, com baixa emissão de gases do efeito estufa e poluentes locais. Também de promover o desenvolvimento sustentável para o país.

Neste documento pode-se verificar o comportamento do mercado de veículos elétricos através de cenários que contam com a aplicação de incentivos. Com isto, podemos verificar o comportamento de políticas para o aumento de penetração destes veículos ao longo dos anos.

Para orientar o planejamento e as ações desenvolvidas no país, o Ministério do Desenvolvimento Regional apresenta este relatório, produto da parceria estabelecida entre a Secretaria Nacional de Mobilidade e Serviços Urbanos e a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL).

Com a certeza de estarmos evoluindo no debate sobre a utilização crescente de transportes públicos pela população brasileira, e, principalmente, trabalhando para oferecer maior qualidade nos deslocamentos urbanos das pessoas, espero que esta publicação contribua para que cidades e instituições levem mais qualidade de vida para a sociedade.

Fernando Araldi

Coordenador de Articulação e Gestão
Secretaria Nacional de Mobilidade e Serviços Urbanos
Ministério do Desenvolvimento Regional

Prefácio CEPAL

A Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) das Nações Unidas recentemente completou sete décadas de existência, durante as quais vem estudando e propondo políticas para o desenvolvimento da região. No Brasil, a CEPAL está formalmente representada desde 1960 e tem se engajado em atividades de debate, pesquisa e cooperação técnica para formulação, acompanhamento e avaliação de programas e ações para o desenvolvimento econômico, social e ambiental. Nesse sentido, o Escritório da CEPAL no Brasil atua em cooperação com vários órgãos do governo federal na realização de análises, assistência técnica, capacitação, organização de eventos e diálogos estratégicos para troca de experiências e aprendizado entre seus pares latino-americanos e caribenhos, além de apoiar estados e municípios, associações profissionais, universidades e sociedade civil.

Nos últimos anos, temos nos empenhado em estruturar uma proposta renovada, articulada em torno de um grande impulso (*big push*) para a sustentabilidade, para apoiar os países da região na construção de estilos de desenvolvimento mais sustentáveis. O *Big Push* para a Sustentabilidade é uma abordagem baseada na coordenação de políticas para mobilizar e acelerar investimentos sustentáveis, que produzam um ciclo virtuoso de crescimento econômico, geração de emprego e renda e redução de desigualdades e brechas estruturais, ao mesmo tempo que mantém e regenera a base de recursos naturais da qual o desenvolvimento depende.

Vimos trabalhando nessa abordagem em um momento oportuno, no qual a preocupação com a recuperação da atividade econômica em bases sustentáveis se instalou no Brasil e no mundo. Como diz o Secretário-Geral das Nações Unidas, António Guterres, com as ações corretas, a pandemia de COVID-19 pode marcar o renascimento da sociedade como a conhecemos hoje, para uma sociedade na qual protegemos as gerações presentes e futuras, com base na Agenda 2030 e seus 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Como uma abordagem prática para traduzir essa visão em ações na região, o *Big Push* para a Sustentabilidade não deixará ninguém para trás e deve servir para construir sociedades mais igualitárias e inclusivas, mais resilientes diante de ameaças de pandemias, mudanças climáticas e muitos outros desafios que enfrentamos.

A mobilidade sustentável representa uma das grandes oportunidades para um *Big Push* para a Sustentabilidade na região da América Latina e do Caribe. A reversão do círculo vicioso de ineficiências econômicas criadas por uma mobilidade precária —de poluição e emissão de gases do efeito estufa até impactos sobre a saúde, a qualidade de vida, a produtividade e o custo logístico sistêmico— é um caminho claro para a construção de estilos de desenvolvimento mais sustentáveis economicamente, socialmente e ambientalmente. As opções de transporte sustentável existentes não apenas contribuem para construir infraestruturas e cidades resilientes, sustentáveis e modernas, mas também trazem grandes benefícios imediatos para a saúde da população, para a redução das desigualdades, para a melhoria da competitividade sistêmica da economia e para a mitigação da mudança climática.

Nesse contexto, temos o prazer de apresentar esta publicação, intitulada *Big Push para a Mobilidade Sustentável: cenários para acelerar a penetração de veículos elétricos leves no Brasil*, que traz evidências sobre a efetividade de diferentes combinações de instrumentos de incentivo ao uso de veículos elétricos no Brasil. A publicação é fruto do projeto “*Big Push* para a Mobilidade Sustentável no Brasil”, realizado em parceria com o Ministério da Economia e o Ministério do Desenvolvimento Regional, apoiado por meio do programa de cooperação técnica da CEPAL com a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), agência de cooperação alemã.

A CEPAL expressa seu agradecimento ao Ministério da Economia e ao Ministério do Desenvolvimento Regional pelo trabalho muito frutífero e pela confiança colocada nessa cooperação. A Comissão segue à disposição e empenhada para continuar aprofundando o trabalho em colaboração e parceria com o Brasil.

Sem mais preâmbulos, convido cordialmente o leitor a mergulhar nestas páginas com o fim de ampliar sua compreensão sobre as barreiras, as oportunidades, as melhores práticas internacionais e os possíveis resultados de cenários de políticas voltadas para incentivar o uso de veículos elétricos no Brasil, em conformidade com os esforços rumo a um *Big Push* para a Sustentabilidade no Brasil nos contextos atuais da sociedade, da economia e do meio ambiente, que claramente exigem um novo estilo de desenvolvimento com igualdade e sustentabilidade.

Carlos Mussi

Diretor do Escritório da CEPAL no Brasil
Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe

Sumário executivo

Este documento foi desenvolvido no âmbito do projeto “*Big Push* para a Mobilidade Sustentável no Brasil” com o objetivo de investigar cenários de políticas de incentivo para acelerar a difusão de veículos elétricos leves (VEs) no Brasil, com base na experiência internacional e nas particularidades do mercado automotivo brasileiro. Os cenários propostos neste estudo foram elaborados a partir de um levantamento extenso de políticas de incentivo aplicadas em diversos países e abrangem mecanismos voltados para a redução do custo incremental do VE e o aumento da infraestrutura de recarga no país. A referida análise é realizada no horizonte temporal do presente até 2050, permitindo avaliar no contexto brasileiro de longo-prazo a influência dos principais instrumentos de incentivo de VEs utilizados mundialmente, bem como estimar o impacto dessas medidas em termos de emissão de gases de efeito estufa e consumo energético da frota de veículos leves. Portanto, este estudo possibilita auxiliar na formulação de políticas públicas para impulsionar a adesão nacional de veículos de baixa emissão de carbono, atuando em consonância com um conjunto amplo de mecanismos para promover a mobilidade sustentável no país.

A metodologia desenvolvida para a análise de longo prazo envolve a projeção de VEs ao longo do período estudado. Essa projeção é realizada em duas etapas. Em primeiro lugar, o licenciamento do total de veículos leves no Brasil é estimado por meio de dois modelos de regressão linear, considerando-se indicadores macroeconômicos e sociais. Entre esses indicadores, destacam-se a influência da economia compartilhada no setor de transportes e uma mudança no perfil populacional, com predominância da população idosa. Na segunda etapa, é estimada a parcela de mercado de VEs através do modelo de Bass de difusão de tecnologias. Em especial, são consideradas modificações nesse modelo que permitem estimar a difusão de VEs levando-se em conta a influência econômica das políticas dos cenários propostos. A projeção de VEs considera ainda fatores essenciais como intensidade de uso dos veículos, eficiência veicular, vendas de veículos leves e perfil de sucateamento da frota, além de uma vasta base de dados dos veículos mais vendidos no país.

Além do cenário de referência, são elaborados dois cenários alternativos de políticas de incentivo para VEs, sendo que o cenário 1 engloba subsídios fornecidos pelo governo, enquanto o cenário 2 inclui políticas financiadas pela indústria automotiva. Em ambos os cenários, considera-se o aumento da infraestrutura de recarga, que é um dos principais entraves para a difusão de VEs no Brasil. De fato, essa política apresenta o desempenho mais expressivo em termos de estímulo à penetração de VEs na frota nos resultados dos cenários propostos. Em particular, no cenário 1 ressalta-se que as políticas voltadas

para a redução do custo de aquisição dos VEs, tais como redução do custo incremental e do IPI, têm maior impacto na difusão em relação às políticas voltadas à diminuição de custos operacionais, tais como redução de IPVA e tributação de carbono. Por outro lado, no cenário 2 a política de mandato de veículo com emissão zero (VEZ) se destaca entre as demais, somente estimulando um número menor de vendas de VEs do que a política de infraestrutura de recarga. Cabe salientar que os mecanismos que apresentaram uma contribuição reduzida no volume de vendas de VEs, como o tributo de carbono e o aumento do preço do veículo de Motor à Combustão Interna (MCI), podem servir como ferramenta de ajuste fiscal do governo devido ao potencial de arrecadação em tributos, ressaltando-se a importância de uma ampla coordenação de ações no sentido de estimular a mobilidade sustentável.

Os resultados revelam que as principais políticas de incentivo podem estimular a participação dos VEs em até 20% das vendas de automóveis de 2050 no Brasil, um aumento expressivo em relação aos 3,8% estimados no cenário de referência, em que não se considera a influência dessas medidas. No entanto, entende-se que essa participação é ainda baixa em relação a países como a Noruega —com previsão de uma parcela de VEs de 89% nas vendas em 2050— sobretudo devido ao elevado preço dos VEs no Brasil durante todo o período. Em termos de frota veicular, os mecanismos de incentivo podem proporcionar um incremento de cerca de 2,2 milhões de VEs na frota brasileira no período estudado, com destaque para a política de infraestrutura de recarga, responsável por 1,3 milhão desse total. Com respeito às diferentes tecnologias que integram o segmento de VEs, destaca-se um crescimento mais acelerado do veículo elétrico híbrido (VEH) na participação de vendas de automóveis, podendo ultrapassar 60% das vendas em 2050. Em relação às emissões de CO₂ no setor automotivo, os cenários propostos apontam para uma redução pouco significativa (de 7%) em 2050 em relação ao cenário de referência, já que se admite a manutenção do uso do etanol ao longo do horizonte estudado. No entanto, ressalta-se que a entrada de VEs pode contribuir com a redução de poluentes atmosféricos locais no perímetro urbano, favorecendo a qualidade de vida da população das cidades, além de desestimular o uso de combustíveis fósseis.

A principal barreira para a difusão de VEs no Brasil até 2050 deve continuar sendo o elevado preço dos VEs, mantendo-os inacessíveis para a maioria da população. Em particular, medidas que utilizam recursos públicos para financiar os VEs recaem sobre toda a sociedade (já que é a sociedade quem paga os tributos usados para financiar essas medidas), podendo levar a opinião pública a pressionar o governo para reduzir ou interromper os subsídios fornecidos. Dessa forma, as políticas que estimulem tecnologias mais eficientes como os VEs devem integrar um conjunto mais amplo de políticas coordenadas para a mobilidade sustentável, em linha com a abordagem do *Big Push* para a Sustentabilidade. Essa gama de políticas deve envolver medidas de caráter democrático que promovam prioritariamente o transporte coletivo sustentável e a incorporação de diferentes modais de transporte, contemplando a camada majoritária da população.

Executive summary

This document was prepared within the scope of the “*Big Push for Sustainable Mobility in Brazil*” project with the objective of investigating scenarios of incentive policies to accelerate the diffusion of electric personal vehicles (EVs) in Brazil, based on the international experience and the specificities of the Brazilian automotive market. The scenarios proposed in this study build on an extensive survey of incentive policies in diverse countries and involve mechanisms that aim to reduce EV’s incremental costs and increase the charging infrastructure in the country. The period of analysis starts in the present and ends in 2050, allowing to assess from a long-term perspective the effects of implementing in Brazil the main EV incentive instruments used worldwide, as well as the impacts of these policies in terms of greenhouse gas emissions and energy consumption of the personal vehicle fleet. Therefore, this work can support the formulation of public policies to boost the penetration of low-carbon vehicles, in coordination with a broad mix of mechanisms to promote sustainable mobility in the country.

The methodology employed for the long-term analysis involves the EV forecast over the period studied. This forecast is performed in two stages. First, the licensing of total passenger cars in Brazil is estimated using two linear regression models, considering macroeconomic and social indicators. Among these indicators, the present work highlighted those related to the influence of the shared economy in the transport sector and to the demographic transition, with a predominance of the elderly population. In the second stage, the EV market share is estimated using the Bass model. In particular, modifications of this model were developed to allow estimating the EV diffusion taking into account the economic influence of the policies of the proposed scenarios. The EV forecast also considers essential factors such as vehicle use intensity, vehicle efficiency, passenger car sales and fleet scraping profile, as well as a comprehensive database of the best-selling passenger cars in the country.

In addition to the reference scenario, two alternative scenarios of EV incentive policies are developed. Scenario 1 simulates subsidies provided by the government, while scenario 2 focusses on policies financed by the automotive industry itself. Both scenarios consider the increase in charging infrastructure, which is one of the main barriers to the EV diffusion in Brazil. In fact, this policy achieves the most expressive performance in terms of EV stimulation in the results of the proposed scenarios. In particular, in scenario 1, policies aimed at reducing the EV acquisition cost, such as reducing incremental cost and taxes over industrialized products, have a greater impact on EV diffusion than policies aimed at reducing operational costs, such as motor vehicle property tax reduction and carbon taxation. On the

other hand, the Zero-Emission Vehicle Mandate (ZEV) stands out in scenario 2, only stimulating a lower number of EV sales than the charging infrastructure policy. In addition, the mechanisms that presented a minor contribution in EV sales volume, such as the carbon taxation and the increase in the price of the Internal Combustion Engine (ICE) vehicle, can serve as a government fiscal adjustment tool due to their potential for raising tax revenue, which underlines the importance of a wide coordination of measures in order to stimulate sustainable mobility.

The results show that the main incentive policies can stimulate the EV participation by up to 20% of the car sales in Brazil in 2050, an expressive rise in relation to the reference scenario where this estimate is 3.8% and in which the influence of these policies is not considered. However, this participation is still small in relation to countries such as Norway—which has an estimated EV share of sales of 89% in 2050—mainly due to EV high prices in Brazil throughout the period of analysis. Regarding the vehicle fleet, the incentive mechanisms can provide an increase of about 2.2 million EVs in the Brazilian fleet in the period studied, from which the charging infrastructure policy alone is responsible for inducing the uptake of 1.3 million additional EVs. With respect to the different technologies that integrate the EV segment, a more rapid growth of the hybrid electric vehicle (HEV) stands out in the share of car sales, which can exceed 60% of sales in 2050. Regarding CO₂ emissions in the automotive sector, the proposed scenarios point to a modest reduction of 7% in 2050 in relation to the reference scenario, since an increase in the use of ethanol is assumed over the period of analysis. Even so, the EV entry can contribute to the reduction local harmful pollutants in the urban perimeter, improving the quality of life of the population in the cities, as well as discouraging the use of fossil fuels.

High EV prices are likely to remain the major barrier for EV diffusion in Brazil by 2050, which implies these will continue to be inaccessible to the majority of the population. In particular, policies that allocate public resources to finance EV have an impact on the entire society (as it is society who is paying taxes used to raise these funds), which can lead public opinion to pressure the government to reduce or interrupt the subsidies provided. Hence, policies that encourage more efficient technologies such as EV should be integrated within a broader mix of coordinated policies for sustainable mobility, in line with the approach of the *Big Push* for Sustainability. This mix of policies should involve actions based on democratic principles that primarily promote sustainable public transport along with the incorporation of different modes of transport, thereby addressing the majority of the population.

Apresentação

Um *Big Push* para a Mobilidade Sustentável no Brasil

Atualmente, a conjuntura em que o Brasil e o mundo se encontram é marcada pela busca da recuperação do dinamismo da atividade econômica e da qualidade de vida das pessoas. Os caminhos para essa recuperação têm sido crescentemente objeto de debate, uma vez que, aos aspectos conjunturais, somam-se os desafios estruturais dos quais depende a própria sustentabilidade de longo prazo do desenvolvimento, incluindo os limites planetários, a emergência climática e a ineficiência da desigualdade. Reconhecendo que o mundo no qual nos encontramos requer um novo estilo de desenvolvimento, a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) das Nações Unidas desenvolveu uma abordagem para apoiar os países da região na construção de estilos de desenvolvimento mais sustentáveis, chamada *Big Push* para a Sustentabilidade. Essa abordagem representa uma coordenação de políticas (públicas e privadas, nacionais e subnacionais, setoriais, fiscais, regulatórias, financeiras, de planejamento etc.) que alavanquem investimentos nacionais e estrangeiros para produzir um círculo virtuoso de crescimento econômico, geração de emprego e renda, redução de desigualdades e lacunas estruturais e promoção da sustentabilidade ambiental (CEPAL/FES 2019). Nessa abordagem, os volumosos investimentos necessários para a transição para um modelo econômico resiliente, de baixo carbono, inclusivo e sustentável são colocados como uma oportunidade de gerar um grande impulso (*big push*) para um novo ciclo de crescimento econômico e de promoção da igualdade, contribuindo para a construção de um desenvolvimento mais sustentável, no seu tripé econômico, social e ambiental. O *Big Push* para a Sustentabilidade pode ser o eixo norteador da recuperação econômica com sustentabilidade.

A mobilidade é uma área chave para o desenvolvimento. A rapidez, o custo, a segurança e a eficiência com os quais as pessoas e os produtos podem ser locomovidos são aspectos centrais da competitividade sistêmica de um país. Há muito tempo a CEPAL vem apontando que no mercado internacional competem não apenas empresas, mas na realidade são confrontados sistemas produtivos, estruturas educacionais, científicas e tecnológicas, infraestruturas de transporte, de energia e telecomunicações, entre outros (Fajnzylber, 1988). É nesse sentido que a competitividade se dá como resultado de um processo sistêmico, no qual o transporte de pessoas e de mercadorias exerce papel central, especialmente em países de dimensões continentais, como é o caso do Brasil. A infraestrutura de transporte determina quão integrado está o território. Na América Latina e no Caribe, os padrões predominantes de infraestrutura de transporte consolidam as disparidades regionais. A infraestrutura logística, por exemplo, segue um modelo de

enclave, que tem se articulado em torno da exploração e exportação de alguns poucos recursos naturais extrativos, gerando limitados encadeamentos produtivos, reduzindo as possibilidades de diversificação produtiva e provocando a marginalização econômica e social das regiões e das atividades que não estão diretamente vinculadas àqueles recursos (Muñoz e Perez, 2017). Com o tempo, a malha de transportes se atualizou em termos de capacidade e qualidade, mas a conectividade dos territórios dentro de cada país ou entre os países da região continua sendo insuficiente (CEPAL, 2018). Consequentemente, consolida-se a fragmentação das conexões internas e entre os países de região, provocando assimetrias entre o campo e a cidade, concentração da pobreza em certas áreas e ineficiências econômicas e ambientais. Nos espaços urbanos, nota-se que muitas cidades da região sofreram, especialmente a partir de 1950, uma expansão urbana muito rápida, que levou ao crescimento exponencial do número de veículos motorizados concomitante a um processo desordenado de ocupação territorial (Vasconcelos, 2019). Com isso, o padrão da mobilidade nos centros urbanos latino-americanos tem levado à segregação espacial, congestionamento e tempo excessivo despendido na locomoção, que recaem especialmente sobre as pessoas que vivem em áreas periféricas.

No Brasil, similarmente ao padrão regional, o transporte sobre rodas exerce um papel expressivo na locomoção de pessoas e de mercadorias. De todas as viagens realizadas pelas pessoas no país, 53,8% são sobre rodas, sendo 29,7% em transporte individual motorizado (automóveis e motocicletas) e 24,2% em transporte coletivo (ônibus; ANTP, 2020). A matriz de transporte de cargas também é muito dependente do transporte sobre rodas, já que o transporte rodoviário é responsável por 65% da movimentação de cargas no país em termos de toneladas-quilômetros úteis (EPL, 2018). Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT), 59% da extensão de rodovias no país apresenta problemas, o que leva a um aumento médio dos custos operacionais dos veículos (incluindo manutenção veicular, consumo de combustível, lubrificantes, pneus e freios) de 28,5% no Brasil (CNT, 2019). A baixa conectividade e qualidade da infraestrutura de transporte brasileira enfraquece sua competitividade sistêmica. O Brasil encontra-se na 71ª posição geral do *ranking* de competitividade global do Fórum Econômico Mundial, que inclui 141 países, sendo que no quesito infraestrutura de transportes, o país está na 85ª posição (FEM, 2019). O setor de transportes é o maior consumidor de energia do país (32,7%), seguido da indústria (31,7%), segundo EPE (2019). Apesar de um aumento da participação das fontes renováveis no setor de transportes (de 15% em 2012 para 23,2% em 2018), o consumo de energia nesse setor é essencialmente fóssil, sendo o óleo diesel e a gasolina responsáveis por, respectivamente, 43,6% e 25,8% de seu consumo energético no país (ibid.). Consequentemente, o setor de transportes é o responsável pela maior parte das emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira, com 46,3% do total (ibid.).

Esse padrão de mobilidade se traduz em uma série de ineficiências econômicas, sociais e ambientais para o país. Os danos ambientais, além de prejudicar a fauna e a flora, apresentam efeitos adversos também do ponto de vista socioeconômico. Nas cidades, a poluição e a contaminação atmosférica a partir de gases emitidos dos sistemas a combustão interna no transporte (tais como óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre, material particulado, fumaça preta, monóxido de carbono, entre outros) têm sido associadas ao aumento de doenças respiratórias e cardiovasculares, câncer e disfunções reprodutivas (OMS, 2011). A movimentação das pessoas em veículos motorizados representa, no Brasil, um custo anual de cerca de R\$ 22,9 bilhões associado à poluição atmosférica (ANTP, 2020). Estima-se que, somente na cidade de São Paulo, quatro mil pessoas morrem por ano por problemas causados pela poluição do ar, gerando custos equivalentes a US\$ 1,5 bilhão ao Estado (Vaz e outros, 2015). Ademais, os acidentes de trânsito estão entre as principais causas de mortes no país, levando a mais de 23 mil vítimas fatais por ano (ANTP, 2020). O tráfego rodoviário é a maior causa de ruído na maioria das cidades e a poluição sonora está relacionada a agravamento dos níveis de estresse, aumento da pressão arterial e distúrbios do sono, entre outros impactos danosos sobre a saúde (OMS, 2011). No Brasil, o custo anual dos acidentes é estimado em R\$ 115,4 bilhões, enquanto o custo anual do ruído é estimado em R\$ 4,1 bilhões (ANTP, 2020).

A infraestrutura de mobilidade determina a eficiência do acesso das pessoas a oportunidades de emprego, serviços de saúde e educação, atividades culturais e de lazer. Um estudo recente, baseado em

estimativas de acessibilidade por modos de transporte ativo (a pé e de bicicleta) para as vinte maiores cidades do Brasil e por transporte público para sete grandes cidades (São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Recife, Fortaleza, Porto Alegre e Curitiba), realizado no marco do Projeto Acesso a Oportunidades¹, mostrou que há alta acessibilidade nas áreas centrais das cidades, enquanto as áreas periféricas são caracterizadas por desertos de oportunidades (Pereira e outros, 2019). As disparidades centro-periferia nas cidades, somada à baixa conectividade, apresentam implicações sobre as diversas manifestações da desigualdade. Por exemplo, o estudo aponta que as regiões centrais concentram equipamentos de saúde de alta complexidade, o que faz com que a população negra, geralmente moradora da periferia e menos servida de infraestrutura de mobilidade, tenha níveis de acessibilidade mais reduzidos em relação à população branca (ibid). Ainda, a disponibilidade e o custo de serviços de transporte para as regiões centrais das cidades, onde tendem a se concentrar as melhores oportunidades de empregos, podem obstaculizar a participação de residentes na periferia no mercado de trabalho formal. Ou seja, o padrão de mobilidade prevalente no Brasil tende a consolidar desigualdades de raça e de renda.

A atual infraestrutura de mobilidade urbana apresenta impactos especialmente adversos sobre as mulheres. Em geral, as mulheres apresentam um padrão de deslocamento distinto dos homens, que vão além dos objetivos laborais e que incluem deslocamentos relacionados à economia do cuidado (Casas, Lara e Espinosa, 2019). Com maior frequência que os homens, as mulheres realizam viagens acompanhadas de crianças ou pessoas com dificuldades de locomoção e idosos, além de estarem equipadas com bagagem e compras. Isso implica que, ao contrário de viagens concentradas e de longa a média distância comumente realizadas pelos homens, as mulheres realizam viagens fragmentadas e mais curtas, com múltiplas paradas no trajeto, horários variáveis e em função de múltiplos objetivos, incluindo os laborais e aqueles relacionados à realização de suas tarefas sociais e domésticas (ibid.). Esse padrão de deslocamento torna-se especialmente desafiador quando não se tem acesso a veículo pessoal. De fato, as mulheres têm menos probabilidade de possuir um carro e/ou de ter habilitação para dirigir que os homens (Uteng, 2011). Isso torna as mulheres mais dependentes do transporte público que os homens. Em Belo Horizonte, por exemplo, 6% das mulheres usam carro para ir trabalhar, em comparação com 23% dos homens (ibid.). As mulheres são as principais usuárias do transporte público, cuja situação contribui de maneira decisiva para a extenuação da capacidade física das mulheres, ampliando o cansaço gerado pela sobrecarga de trabalho (ITDP, 2018). Um levantamento realizado com mulheres em seis localidades de quatro estados brasileiros (Rio de Janeiro, São Paulo, Rio Grande do Norte e Pernambuco) apontou que 77,8% têm medo de esperar o transporte sozinha (por razões que incluem assalto, assédio e estupro) e que 43,8% já sofreu assédio dentro do transporte público (ActionAid, 2014). Ademais, a falta de acessibilidade à infraestrutura de mobilidade adequada leva as mulheres a voltar para casa mais cedo devido a questões de segurança, perdendo assim oportunidades de negócios, de emprego, de lazer e de educação (Uteng, 2011; ActionAid, 2014; CEPAL, 2019). Isto é, o padrão atual de mobilidade no Brasil tem contribuído, também, para consolidar as desigualdades de gênero no país.

Os dados apresentados são simbólicos da expressão territorial das ineficiências dos atuais estilos de desenvolvimento latino-americanos traduzidas no padrão de mobilidade. As diversas formas de manifestação da desigualdade (de renda, de raça e de gênero, dentre outras) e que se expressam em discrepâncias territoriais, agravadas por uma baixa conectividade, são causadoras de ineficiências na economia, que se autorreforçam. A desigualdade deteriora o ambiente institucional, de políticas e de esforços, fragilizando a inovação e a construção de capacidades necessárias para o desenvolvimento (CEPAL, 2018). Por exemplo, a ineficiência limita a difusão na sociedade de educação e de capacidades gerando entraves à inovação, cria barreiras à criatividade e ao esforço devido a discriminações de diversas naturezas e inibe a superação da cultura do privilégio, que trava a ascensão de novos agentes, setores e ideias (ibid.). O caso das mulheres que perdem oportunidades de capacitação e de empregos, consequentemente reduzindo produtividade e renda, por temerem por sua segurança ao usar transporte público à noite, ilustra esse argumento. Além disso, as desigualdades persistentes inibem a criação de um mercado interno de maior escala, impedindo o desenvolvimento de cadeias econômicas inteiras

¹ Projeto Acesso a Oportunidades – <https://www.ipea.gov.br/acessoopportunidades>.

que requerem uma escala mínima para viabilizar sua operação e, com isso, a geração de empregos que remuneram melhor, de maior produtividade e em melhores condições de trabalho.

A mobilidade sustentável representa uma das grandes oportunidades para um *Big Push* para a Sustentabilidade na região da América Latina e do Caribe (Vasconcelos, 2019). A reversão do círculo vicioso de ineficiências econômicas criadas por uma mobilidade ineficiente —de poluição e emissão de gases do efeito estufa (GEE) até impactos sobre a saúde, a qualidade de vida, a produtividade e o custo logístico sistêmico— é um caminho claro para a construção de estilos de desenvolvimento mais sustentáveis econômica, social e ambientalmente. Para isso, é necessário articular de forma simultânea diversos fatores e coordenar ações em múltiplos setores, prestando a devida atenção às necessidades de grupos distintos de usuários de serviços de transporte, incluindo variáveis como renda, raça, gênero, etárias, étnicas, dentre outras, enquanto se produzem transformações produtivas e sociais rumo a uma mobilidade mais sustentável no tripé econômico, social e ambiental (Casas, Lara e Espinosa, 2019). As opções existentes de transporte sustentável não apenas contribuem para mitigar a mudança climática, mas também trazem grandes benefícios imediatos para a saúde da população, para a redução das desigualdades e para melhoria da competitividade sistêmica da economia do país.

O cardápio de opções para a mobilidade sustentável é extenso e tem se ampliado com o desenvolvimento tecnológico, incluindo as novas tecnologias de mobilidade urbana (patinetes elétricos, bicicletas compartilhadas e aplicativos de carona solidária, por exemplo), a mobilidade ativa (deslocamentos a pé ou de bicicleta, por exemplo), os diversos tipos disponíveis de transporte coletivo (veículo leve sobre trilhos –VLT, Transporte Rápido de Ônibus – BRT da sigla em inglês, metrô, entre outros), os combustíveis avançados (e.g. etanol de segunda geração, biodiesel, bioquerosene de aviação, eletrocombustíveis renováveis), logística sustentável (otimização de rotas, *smart roads*, eletrificação da frota de caminhões, *crowdshipping*, transporte sobre trilhos, etc.), veículos autônomos etc. Esses exemplos ilustram a relevância crescente da eletrificação e da conectividade dos veículos, o que indica que o setor de transportes deve passar por grandes transformações nos próximos anos. Não existe uma única combinação ideal dessas opções, já que cada situação é única e particular.

No contexto do *Big Push* para a Sustentabilidade, destaca-se que os investimentos devem ser complementares e coordenados rumo à construção de um padrão de mobilidade mais sustentável, resiliente e baixo em carbono e, simultaneamente, mais inclusivo e promotor da competitividade sistêmica da economia. De forma geral, a estratégia de investimentos deve priorizar a eficiência e a cobertura do transporte público (tais como ônibus, trem e metrô), estimular a mobilidade ativa (favorecendo redes de transporte para pedestres e ciclistas), fomentar sistemas compactos que aumentem a densidade e a diversidade de usos dos espaços (especialmente os urbanos) e promover a adoção de tecnologias veiculares e de combustíveis menos poluentes (e.g. eletrificação da frota, biocombustíveis etc.). Um *Big Push* para a Mobilidade Sustentável requer que os investimentos realizados não apenas considerem as crescentes demandas por locomoção de pessoas e de mercadorias, mas que sejam parte de um marco mais compreensivo e coordenado de planejamento territorial, que integre a visão das pessoas sobre o modelo de desenvolvimento desejado. Nas cidades, a combinação adequada de investimentos em opções complementares de mobilidade urbana sustentável a cada situação específica passa por contemplar a ineficiência da desigualdade em suas diferentes manifestações (condição socioeconômica, racial, étnica, de gênero etc.), buscando efetivamente criar soluções que permitam às pessoas acessar com eficiência e segurança as oportunidades de emprego, serviços de educação e saúde, lazer etc.

Investir em mobilidade sustentável pode ser um grande impulso para a sustentabilidade devido a seus potenciais impactos positivos em múltiplas dimensões. Do ponto de vista econômico, os investimentos nessa área induzem crescimento econômico e geração de empregos, por meio do efeito multiplicador dos investimentos na cadeia de valor. O Brasil, ao já apresentar capacidades produtivas e tecnológicas instaladas no setor de transportes (de automóveis, ônibus, caminhões etc.), é um caso típico desse tipo de benefício econômico, pois esses ganhos ao longo da cadeia podem ser retidos no próprio país (ao invés de se direcionarem para fora, como é o caso de muitos países que não possuem capacidades

industriais internas). A indústria automotiva brasileira, por exemplo, tem representado em torno de 5% do Produto Interno Bruto (PIB) do país e 20% do PIB industrial brasileiro nos últimos anos, empregando 500 mil pessoas diretamente e 1,3 milhões de pessoas indiretamente e conferindo ao Brasil a posição de décimo produtor mundial e o oitavo mercado consumidor de automóveis do mundo (Daudt e Willcox, 2018). Além disso, investir em mobilidade sustentável contribui para uma maior eficiência logística, que confere menores custos sistêmicos à economia do país, brindando maior produtividade e competitividade a diversos setores.

No âmbito ambiental, investimentos em mobilidade sustentável reduzem a degradação ambiental, a poluição e a deterioração do capital natural, ao reduzir emissões de GEE e de contaminantes atmosféricos locais, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar urbano e da saúde das pessoas. No quesito saúde, salientam-se os investimentos em mobilidade ativa, que podem contribuir para aumentar expressivamente os níveis de atividade física e ajudar a prevenir uma série de doenças crônicas, incluindo doenças cardíacas, alguns tipos de câncer e diabetes tipo 2 (OMS, 2011). Investimentos em mobilidade sustentável também significam maior conectividade no território e inclusão social. Ao provocar uma maior integração do território urbano, esses investimentos, em especial na expansão da cobertura e aumento da eficiência do transporte coletivo, permitem uma maior inclusão de pessoas de baixa renda, de negros, de mulheres e de pessoas com dificuldade de locomoção (por exemplo, idosos). Esses investimentos também melhoram a eficiência do gasto público, ao contribuir para a redução de incidência de doenças, diminuição do tempo despendido em deslocamento e melhoria da qualidade de vida, que resultam em redução de gastos na saúde pública. Além disso, investir em maior infraestrutura de conectividade para aumentar o acesso a serviços de transporte, contribui significativamente para reduzir brechas estruturais e desigualdades, ao permitir maior acessibilidade a oportunidades por grupos sociais que têm residido nas periferias urbanas.

Nos países da América Latina e do Caribe, a eletrificação dos veículos rodoviários surge como uma opção relevante para superar o problema da poluição atmosférica, dada a elevada participação do setor nas emissões de GEE e outros contaminantes atmosféricos locais. Estima-se que, no Brasil, a substituição dos ônibus e micro-ônibus por modelos elétricos, considerando-se toda a geração de energia para carregamento desses ônibus, alcançaria uma redução de 91,4% (ou 17,44 milhões de toneladas) das emissões de dióxido de carbono (CO₂) emitido por esses veículos (Lima e outros, 2019). Ressalta-se, contudo, que a eletrificação massiva da frota de veículos pessoais e coletivos somente se traduzirá em redução de emissões de GEE se a energia elétrica que os alimenta provier de fontes sustentáveis de energia. O Brasil encontra-se em posição privilegiada nesse sentido, já que 74% de sua energia elétrica provém de fontes limpas e renováveis e o país ainda apresenta grande potencial para ampliar a participação de energia eólica e solar (ibid.). Ademais, como praticamente não gera emissões de poluentes locais, a eletrificação da frota pode contribuir decisivamente para redução de doenças respiratórias e cardiovasculares. Ainda, por serem mais silenciosos e apresentarem menos vibrações, os veículos elétricos oferecem maior conforto aos usuários e reduzem a poluição sonora e as doenças relacionadas ao excesso de ruídos nas cidades. A eletrificação dos veículos leves pessoais (e.g. carros) deve ser parte da solução, ainda que residual, especialmente no contexto latino-americano, no qual se espera que a taxa de motorização siga aumentando conforme se eleva o PIB per capita dos países da região (CEPAL, 2018).

O projeto *Big Push* para a Mobilidade Sustentável no Brasil, coordenado pela CEPAL, pelo Ministério da Economia e pelo Ministério do Desenvolvimento Regional, com o apoio da Cooperação Técnica Alemã (por intermédio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit – GIZ), busca apresentar evidências para subsidiar políticas públicas que contribuam para o desenvolvimento da mobilidade sustentável no país, com foco em veículos elétricos pessoais, tais como o Programa Rota 2030, a Política Nacional de Mobilidade Urbana e o Programa Avançar Cidades – Mobilidade. O foco do projeto em veículos elétricos pessoais em particular visa a complementar outras iniciativas e projetos no Brasil que têm como foco o transporte coletivo, tais como o Promob-e², ou a mobilidade ativa, como por exemplo o Programa

² Projeto Mobilidade Elétrica e Propulsão Eficiente (Promob-e): promobe.com.br.

de Mobilidade a Pé³. Esse foco foi identificado a partir de uma lacuna acerca da pesquisa sobre o tema no Brasil. Destaca-se que a eletrificação de automóveis pessoais é um componente importante de uma estratégia de *Big Push* para a Sustentabilidade no Brasil, pois, embora não seja prioritário em termos de investimentos públicos, faz parte dessa estratégia tomar em conta ações direcionadas para esse tipo de veículo como uma dentre as opções a serem combinadas para a mobilidade sustentável no país.

O presente trabalho é fruto das atividades do projeto *Big Push* para a Mobilidade Sustentável no Brasil, iniciadas em meados de 2019. Foram realizadas reuniões técnicas entre os coordenadores do projeto e o consultor, Bruno Borba, para orientar os trabalhos e identificar os cenários de interesse. Esse processo resultou em um relatório preliminar, apresentando a construção dos cenários, o desenvolvimento da metodologia e as estimativas preliminares dos resultados. O relatório preliminar foi apresentado no *workshop* “*Big Push* para a Mobilidade Sustentável no Brasil”, realizado no Ministério da Economia em novembro de 2019. O *workshop* teve o duplo objetivo de (i) apresentar e discutir a metodologia e os resultados preliminares de cenários de instrumentos de políticas públicas para acelerar a penetração de veículos elétricos pessoais no Brasil e (ii) construir convergências e complementaridades com outros projetos e iniciativas relevantes no contexto da mobilidade sustentável no Brasil, focados na eletromobilidade do transporte coletivo, mobilidade ativa e transporte de carga sustentável. Mais de 50 representantes do governo brasileiro, do setor privado (automotivo, de baterias, de motores elétricos, de componentes de veículos etc.), do setor financeiro e de especialistas em mobilidade sustentável contribuíram para a troca de experiências, aprendizagem entre pares, validação dos resultados do projeto e discussões sobre o tema (ver lista de participantes no anexo 1. As ricas discussões desse *workshop* geraram insumos fundamentais para o relatório final, que é apresentado no presente documento. Portanto, este documento é resultado de um esforço coletivo e das contribuições de diversas pessoas que atuam com o tema de alguma maneira.

Espera-se que o projeto *Big Push* para a Mobilidade Sustentável no Brasil, em coordenação com demais projetos e iniciativas, possa ajudar a criar as bases para um *Big Push* para a Mobilidade Sustentável no Brasil, ao contribuir para o aprimoramento do quadro regulatório e legal para a promoção da mobilidade sustentável, inserção ampliada de tecnologias sustentáveis na matriz de transportes e para uma compreensão ampliada dos instrumentos de políticas utilizados em diferentes países para promover a mobilidade sustentável, do potencial de instrumentos alternativos de políticas de contribuir para o aumento substancial de investimentos em veículos elétricos no Brasil e de seus impactos associados em termos de custos econômicos, consumo energético e emissão de GEE. Esses resultados devem ser interpretados com cautela, já que o setor automotivo é um setor em rápida transformação e, conforme é argumentado no documento, seus impactos devem ser pensados como parte de uma estratégia coordenada de investimentos complementares e que priorizem outras opções de mobilidade sustentável, especialmente o transporte coletivo e a mobilidade ativa.

³ Programa Mobilidade a Pé: <https://itdpbrasil.org/programas/mobilidade-a-pe/>.

Introdução

O objetivo deste relatório é apresentar os resultados e a metodologia do projeto *Big Push* para Mobilidade Sustentável no Brasil, com foco na construção de cenários de incentivos a veículos elétricos (VEs) no Brasil e um horizonte de análise até 2050. O estudo se inicia com uma contextualização nacional e internacional dos veículos elétricos, incluindo o grau de penetração desse tipo de veículo na frota e as principais barreiras para acelerar sua difusão, o que é objeto da presente Introdução. Discute-se, então, o papel das políticas públicas para aumentar a participação dos VEs no mercado automotivo. Na seção I, são avaliadas as principais políticas implementadas em seis países (Noruega, Estados Unidos, Canadá, China, Japão e Holanda), além de uma análise do quadro de políticas públicas relevantes para VEs no Brasil. Esse levantamento serve de base para a elaboração de cenários alternativos para a disseminação dos VEs no Brasil, de modo que os instrumentos de políticas que são simulados são baseados em evidências sobre sua efetividade. Dessa forma, a construção dos cenários e considerações metodológicas são apresentadas na seção II. Os resultados da simulação desses cenários são quantificados, em termos de penetração na venda de veículos leves e seus impactos associados sobre o consumo energético e as emissões de gases de efeito estufa (GEE), e discutidos na seção III. Por fim, as principais lições aprendidas e considerações finais são apresentadas na seção IV.

Os veículos elétricos podem ser divididos em veículos elétricos híbridos (VEH), veículos elétricos híbridos *plug-in* (VEHP) e os veículos elétricos puros ou a bateria (VEB). A principal diferença entre esses veículos é que, para os dois últimos, a bateria pode ser recarregada externamente (Poullikkas, 2015), enquanto no primeiro, a energia entregue ao motor elétrico é produzida pelo gerador a combustão interna e pela frenagem regenerativa. Neste estudo, tanto os veículos elétricos híbridos *plug-in* quanto veículos elétricos puros (a bateria) são chamados apenas de veículos elétricos (VEs).

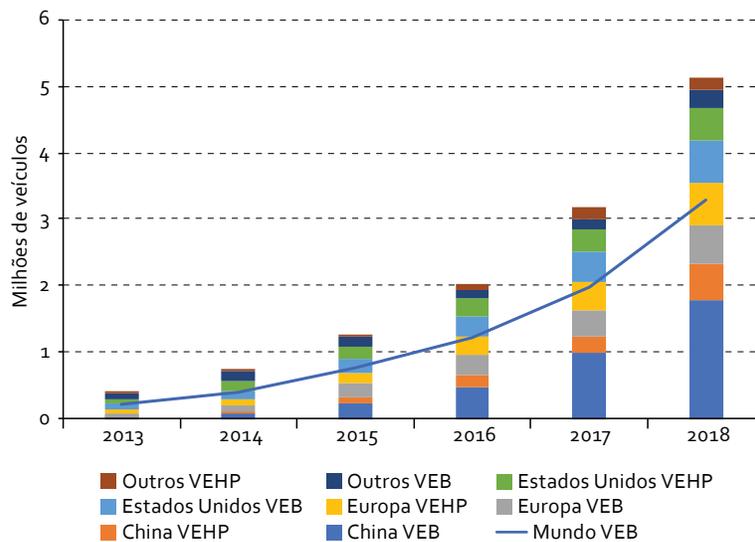
A frota global de VEs aumentou consideravelmente nos últimos anos, conforme gráfico 1. Em 2018, o país que mais contribuiu com esse crescimento foi a China, com venda superior a 750 mil unidades, seguido pelos Estados Unidos da América (EUA) com venda de, aproximadamente, 250 mil veículos. Dentro da Europa, as vendas de VEs alcançaram 200 mil veículos, com destaque para a Noruega, que vendeu mais de 40 mil veículos em 2018 (IEA, 2019).

No Brasil, em 2018, de acordo com (DENATRAN, 2019), foram licenciados 304 VEs, equivalentes a aproximadamente 0,015% do licenciamento total de automóveis e comerciais leves do país. Até junho de 2019, os licenciamentos acumulados no ano somaram 167 VEs (47 VEHP e 120 VEB), equivalente a 0,017% do licenciamento total de veículos leves no período. Destaca-se que os VEH⁴ possuem participação

⁴ Destaque para o Toyota Prius.

mais expressiva no mercado em relação aos VEs. A frota total de VEH, em 2019, é de 11.661 e os veículos licenciados até junho de 2019 representam 0,21% do licenciamento anual. É importante destacar a localização da frota de VEs no país, onde a maioria está na região Sudeste, com destaque para o estado de São Paulo, com 1.941 VEs, em 2019, vide gráfico 2. Outros estados possuem uma parcela significativa da frota de VEs são Paraná, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Rio de Janeiro, com 346, 169, 139, 122 e 103 VEs, respectivamente, em, 2019, conforme o gráfico 3.

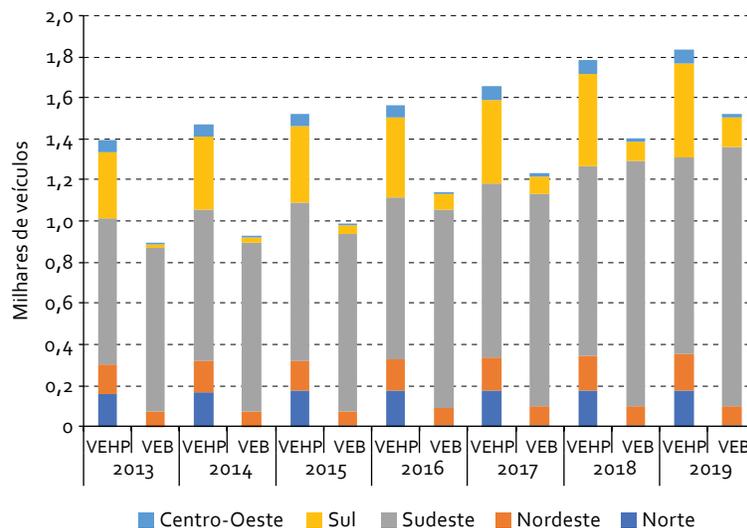
Gráfico 1
Evolução da frota de VEs nos principais mercados internacionais, 2013 a 2018
(Em milhões de veículos)



Fonte: Elaboração própria com base em IEA (2019).

Nota: VEHP – veículos elétricos híbridos plug-in; VEB – veículos elétricos puros ou a bateria.

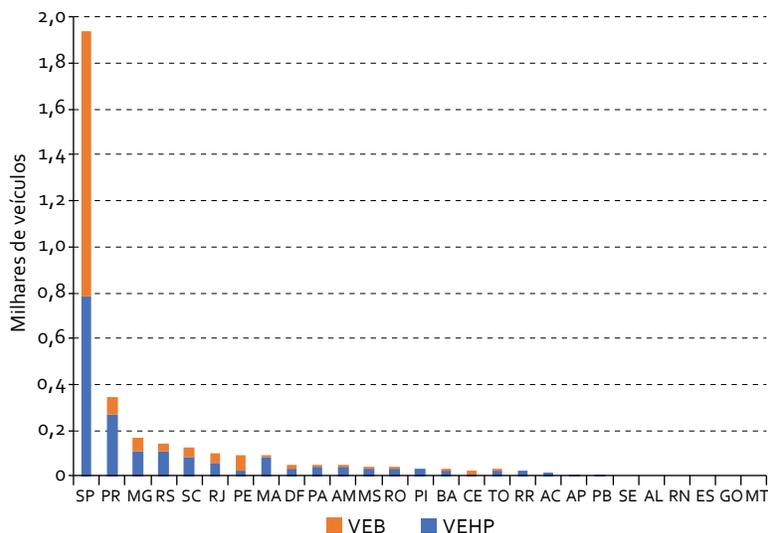
Gráfico 2
Evolução da frota de VEs no Brasil, por região e tipo, 2013 a 2019
(Em milhares de veículos)



Fonte: Elaboração própria com base em DENATRAN (2019).

Nota: VEHP – veículos elétricos híbridos *plug-in*; VEB – veículos elétricos puros ou a bateria.

Gráfico 3
Frota de VEs no Brasil, por estado e tipo, 2019
 (Em milhares de veículos)



Fonte: Elaboração própria com base em DENATRAN (2019).

Apesar das vendas mundiais dos VEs terem aumentado nos últimos anos, a participação no mercado ainda é pequena em alguns países devido a diversos tipos de barreiras, tais como: custo, autonomia, tempo de recarga, infraestrutura de recarga e desinformação (Fearnley e outros, 2015). Embora os custos totais do veículo ainda sejam elevados, à medida que a tecnologia das baterias melhora, o custo por quilômetro percorrido (\$/km) diminui e a autonomia do veículo aumenta (Cattaneo, 2018) indicando que, no longo prazo, tanto o custo quanto a autonomia podem deixar de ser impeditivos para o crescimento no mercado. Não obstante, as incertezas associadas à durabilidade da bateria ainda são umas das principais barreiras para a adesão dos VEs (McDermott, 2017).

Outro aspecto que dificulta a disseminação no mercado dos VEs está relacionado ao tempo de recarga. Enquanto um automóvel de Motor a Combustão Interna (MCI) leva alguns minutos para completar a recarga total do tanque de combustível, a recarga rápida (carrega até 80% da bateria) do VE pode levar de 20 a 40 minutos. Além disso, o elevado tempo de recarga exige que a área de uma estação de recarga seja até 10 vezes maior do que a de um posto de combustível convencional, para suportar o mesmo número de veículos (Fearnley e outros, 2015). Em grandes cidades, onde geralmente ocorre uma valorização do metro quadrado (m²), pode haver dificuldades em encontrar boas localizações para estações de recarga rápida com espaço suficiente. Ademais, as barreiras para a infraestrutura de recarga ainda incluem: custo dos equipamentos, conexão com a rede elétrica e interoperabilidade. Por fim, outro fator importante na disseminação do VE é a informação. Aumentar a conscientização e familiaridade de como os VEs funcionam, além de difundir as políticas de incentivos aos consumidores, é fundamental para sustentar um mercado robusto (Cattaneo, 2018; Jin e Slowik, 2017).

Em termos de infraestrutura de recarga, o Brasil conta com alguns postos de recarga instalados por empresas particulares e por distribuidoras de energia (CPFL Energia, 2019; Celesc, 2015). O *Plug Share* —site colaborativo voltado ao mapeamento da infraestrutura internacional de carregamento— estima que haja, aproximadamente, 250 pontos de recarga públicos instalados no Brasil, concentrados nas regiões Sul e Sudeste do país, vide mapa 1, em que os postos amarelo são de recarga rápida e os verdes de recarga lenta (Plugshare, 2019). No âmbito mundial, a quantidade total de infraestrutura de recarga, incluindo carregadores particulares, é de aproximadamente 3,5 milhões de pontos (IEA, 2018).

A tabela 1 apresenta alguns dos países com maior concentração de infraestrutura de recarga pública.

A construção de cenários de políticas de incentivo a veículos elétricos no Brasil, desenvolvida no presente estudo, pode servir de insumo para a formulação de instrumentos de política pública voltados a acelerar a penetração de VEs, contribuindo para a mitigação de emissões de GEE no setor transportes.

Mapa 1
Infraestrutura de recarga no Brasil, 2019



Fonte: Plugshare (2019).

Nota: Os limites e os nomes que figuram neste mapa não implicam o apoio ou a anuência oficial das Nações Unidas.

Tabela 1
Infraestrutura de recarga pública em países selecionados
(Em número de carregadores)

	Tipos de carregadores públicos		
	Rápido	Lento	Total
Estados Unidos	5 384	35 089	40 473
Japão	5 990	17 260	23 254
China	52 778	88 476	141 254
Alemanha	1 403	16 550	17 953
França	14 621	1 231	15 852
Noruega	1 052	7 105	8 157
Holanda	612	26 008	26 620

Fonte: Elaboração própria com base em Consoni e outros (2018) e NEA (2016).

I. Políticas públicas para acelerar investimentos em veículos elétricos

O papel das políticas públicas é fundamental para aumentar a participação dos VEs no mercado automotivo (Cattaneo, 2018; Jin e Slowik, 2017). Verifica-se, contudo, que diferentes políticas apresentaram impactos distintos em determinadas regiões. Sendo assim, torna-se fundamental a compreensão do papel das políticas públicas no incentivo aos VEs. Nesta seção, são revisadas as experiências internacionais das principais políticas implementadas em seis países (Noruega, Estados Unidos, Canadá, China, Japão e Holanda) e é apresentado o quadro de políticas públicas relevantes para VEs no Brasil. As políticas públicas de incentivo para promover o uso de VEs podem ser categorizadas em cinco grupos diferentes: medidas econômicas-fiscais e financeiras; regulatórias; infraestrutura de recarga; planejamento urbano e de transportes; e informação e comunicação (Barczak e Duarte, 2012; Wang, Tang e Pan, 2019; Bose Styczynski e Hughes, 2019).

A. A experiência internacional

Como atualmente os VEs possuem custo de aquisição elevado, em comparação com os veículos convencionais, especialmente no Brasil, torna-se importante o uso de políticas públicas, em especial as medidas econômicas-fiscais e financeiras, para a comercialização em massa dos veículos. A Noruega, por exemplo, único país a atingir 45% de penetração de VE, alcançou tal marca com significativos subsídios que efetivamente tornaram o VE mais barato do que o veículo a gasolina (Carley e outros, 2019). Estas medidas visam promover uma mudança no comportamento da sociedade através de planos que essencialmente: penalizam os veículos de MCI e/ou beneficiam os VEs. As principais medidas envolvem tanto aumento, para veículos MCI, quanto redução, para os VEs, de: impostos, tarifas, licenciamento dos veículos e valor do seguro.

No entanto, subsidiar os VEs não deve ser a única política que visa aumentar a participação de mercado. Tornar o preço da eletricidade para os VEs mais competitivo que o combustível dos MCI também é uma estratégia de aumento de vendas, haja vista que o baixo preço da gasolina nos Estados Unidos, por exemplo, pode ser uma justificativa para o baixo crescimento da taxa de vendas dos VEs, comparado com as taxas da Europa (Carley e outros, 2019). Nesse sentido, as medidas regulatórias seguem o enfoque da

política de comando e controle, tendo por objetivo fundamental a determinação de especificações, normas e padrões, visando à proibição ou restrição de atividades potencialmente poluidoras. Entre as principais estão os mandatos de veículos de emissão zero e isenção de tributação de teste de emissão de gases.

Atualmente, cerca de 80% das recargas dos VEs são realizadas nas residências ou no local de trabalho. Dessa forma, a instalação de estações de recarga é considerada crucial para fornecer aos motoristas confiança suficiente para abandonar os modelos de veículos com MCI (BloombergNEF, 2019; IEA, 2018). Assim sendo, as medidas de infraestrutura de recarga envolvem ações que visam aprimorar a tecnologia dos VEs. As propostas podem incentivar fabricantes a desenvolver novos modelos de baterias para aumentar a autonomia dos VEs, como também carregadores mais potentes e seguros, para reduzir o tempo de espera da recarga e tornar o VE mais atrativo.

As medidas de planejamento urbano e de transportes têm como objetivo incentivar o uso dos VEs através de comodidades no trânsito, como, por exemplo, acesso às faixas de ônibus e veículos de alta ocupação (High Occupancy Vehicles – HOV). Esta medida pode ser bem efetiva em grandes cidades, onde os congestionamentos costumam ser diários. Outra ação que beneficia os usuários de VEs é alocação de vagas de estacionamentos exclusivas. O objetivo dessa política é aumentar a vantagem relativa dos VEs em comparação com os MCI, especialmente em locais onde o estacionamento é caro e limitado (Egnér e Trosvik, 2018). Contudo, cabe destacar que tal proposta pode possuir um efeito colateral, com o desestímulo ao uso do transporte público. Ademais, se inclui nessa categoria medida de redução de pedágios.

Medidas de comunicação e informação atuam na efetividade das outras medidas. Dessa forma, pode-se esperar que o aumento da visibilidade e da informação em relação aos VEs aumentem suas vendas (Egnér e Trosvik, 2018). Campanhas educativas e de sensibilização são especialmente importantes para países em desenvolvimento, pois têm um baixo custo de investimento e alto impacto na divulgação nos assuntos relacionados ao transporte sustentável (Barczak e Duarte, 2012). Por outro lado, mesmo que uma medida regulatória possa não ser politicamente viável nos próximos anos, outras medidas poderiam ser tomadas a fim de melhorar a informação e a visibilidade dos VEs. Por exemplo, utilizar frotas de VEs compartilhados poderia ser um meio efetivo de aumentar o conhecimento, já que isso permitiria que as pessoas ganhassem experiência com VEs (Mounce e Nelson, 2019). Outra medida relativamente simples para aumentar a visibilidade dos VEs, já implementada na Noruega, é a utilização de placas de veículos especiais para os VEs (Figenbaum e outros, 2013).

A tabela 2 apresenta o impacto no crescimento dos VEs de diferentes políticas aplicadas nos países selecionados. Os impactos no mercado, em termos de vendas de VEs, são definidos como alto, baixo, sem impacto e não avaliado. Em linhas gerais, as políticas de redução de imposto de compra, mandato de veículo com emissão zero, tributação por emissão de carbono e suporte financeiro para estações de recarga são as que possuem maior impacto mercadológico (He e outros, 2018; Axsen, Goldberg e Melton, 2016; Cattaneo, 2018; Fearnley e outros, 2015; NEA, 2016; Steinbacher, Goes e Jörling, 2018; JAMA, 2010; EVAAP, 2003; ACEA, 2011; Wang, Tang e Pan, 2019; Yang e outros, 2014; Figenbaum e outros, 2013; McDermott, 2017; Carley e outros, 2019; Qian, Grisolia e Soopramanien, 2019). Destaca-se que países em que a política apresenta impacto não avaliado podem incluir dois aspectos: a política não ter sido efetivamente implementada no país ou não ter sido avaliada neste estudo.

Tabela 2
Diferentes políticas nos países selecionados

Categoria	Política						
		Noruega	Estados Unidos	Canadá	China	Japão	Holanda
Econômicas-fiscais e financeiras	Redução de imposto de registro ^a	✓	x	x	✓	✓	✓
	Redução de imposto de compra ^b	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
	Redução no licenciamento anual	✓	✓	x	-	x	✓✓
	Redução de imposto de carros empresariais	-	x	x	x	x	✓✓
	Tributação por emissão de carbono	✓✓	x	✓✓	x	x	✓
	Aumento do imposto de circulação de MCI	x	-	-	x	x	x
	Redução do seguro	x	x	x	-	x	x
Regulatórias	Mandato de veículo com emissão zero	x	✓✓	✓✓	x	✓	x
	Isenção de tributação de teste de emissão de gases	x	✓	-	x	x	x
	Frota governamental	x	✓	x	x	x	x
Infraestrutura de recarga	Suporte financeiro para estações de recarga	✓	✓✓	-	✓	✓	✓✓
	Estação de recarga rápida	✓	x	x	x	x	✓
	Regulamentação predial	x	x	✓	x	x	x
Planejamento urbano e de transportes	Acesso a faixa de ônibus e HOV	✓✓	✓	-	✓	x	✓
	Redução em estacionamento	✓	-	x	✓	✓	✓
	Redução de pedágio	✓✓	-	x	-	✓	✓

Fonte: Elaboração própria.

Nota: ✓✓ alto impacto, ✓ baixo impacto, - sem impacto, x não avaliado.

^a Imposto para registrar o veículo na região (estado/país) de domicílio do proprietário. No Brasil, é conhecido como taxa de emplacamento.

^b Inclui descontos, taxas de crédito e isenções.

Os Estados Unidos é o país pioneiro na promoção de VEs, com criação de mecanismos de incentivo desde a década de 1970, com destaque para o estado da Califórnia. As medidas que apresentaram maior impacto nas vendas dos VEs no mercado americano foram: incentivos fiscais⁵ tanto na compra dos VEs quanto na construção de postos públicos de recarga e mandatos de veículos com emissão zero (Cattaneo, 2018). Os valores dos incentivos para compra de VEs variam de 500 a 6.000 dólares, de acordo com o tipo de veículo, sendo a maioria em torno de 2.000 dólares. Na categoria infraestrutura de recarga, o país também teve incentivos significativos, com lançamento de sete programas voltados para o desenvolvimento de postos públicos de recarga, que permitiu passar de 47 carregadores públicos do tipo lento e 373 do tipo rápido em 2009, para 5.384 carregadores públicos do tipo lento e 35.089 do tipo rápido, em 2017 (Consoni e outros, 2018). Um dos programas de destaque foi o *Workplace Charging Challenge*, implementado entre 2013 e 2017, que instalou cerca de 7.500 postos de recarga (lentos e rápidos) em instalações governamentais (U.S DOE, 2019a). Destaca-se, por fim, que os mandatos de veículos com emissão zero teve papel de destaque na promoção de VEs no país. A regulação exige que as montadoras que vendem mais de 4.500 veículos por ano disponibilizem uma parcela de veículos não poluentes para venda⁶ (incluindo VE). A parcela das vendas, em 2018, era de 4,5% e cresce de forma gradativa ao longo dos anos, chegando até 22% em 2025 (U.S DOE, 2019b). As outras políticas avaliadas apresentaram impacto baixo ou inexistente na difusão dos VEs.

⁵ Incluem descontos, taxas de crédito e isenções.

⁶ A quantidade de veículos a ser disponibilizada se refere a quantidade de veículos produzida/vendida pela montadora.

Na Noruega, por sua vez, a primeira política fiscal foi de isenção do imposto de compra de VEs, no início da década de 1990, e, posteriormente, o Imposto sobre Valor Agregado (IVA⁷) do veículo foi retirado (o imposto era de 25% sobre o valor do produto). Outra medida que impulsionou a venda de VEs foi o aumento do preço dos veículos de MCI, de forma proporcional à emissão de gases do efeito estufa, realizados a partir de ensaios⁸. Ademais, o país também possui forte política em relação à emissão de carbono, com o preço da gasolina sendo um dos mais caros do mundo (Bloomberg, 2019). De fato, as políticas fiscais tiveram alto impacto na penetração de VEs no mercado norueguês, assim como as políticas regionais também tiveram papel importante, como por exemplo, o acesso dos veículos a faixas de ônibus e pedágio gratuito (Fearnley e outros, 2015; Steinbacher, Goes e Jörling, 2018). Contudo, os incentivos nacionais foram mais efetivos e duradouros para o mercado em relação aos incentivos locais e regionais. Sendo assim, o governo aplicou políticas estaduais no âmbito federal, como por exemplo a permissão dos VEs acessarem faixa de ônibus e a redução do valor de estacionamentos e pedágios para VEs. Estes incentivos reduzem o custo anual de um VE, o que contribuiu para o aumento de vendas. Ademais, expandir as políticas para o âmbito federal reduziu o risco para os agentes do mercado, como por exemplo as importadoras de veículos, o que demonstra um dos fatores de sucesso dos VEs na Noruega (Fearnley e outros, 2015). Ademais, em 2017, havia 7.105 e 1.052 postos de recarga lenta e rápida, respectivamente (Consoni e outros, 2018). Assim, mesmo com recargas frequentes, é possível se locomover com os VEs por todo o país.

Apesar do mercado crescente no Canadá, a participação dos VEs na venda de veículos leves ainda é reduzida. As políticas nacionais com maior efetividade para o estímulo aos VE foram: mandatos de veículos com emissão zero, incentivos fiscais⁹ e tributação por emissão de carbono (Axsen, Goldberg e Melton, 2016). Os mandatos de veículo com emissão zero seguem o padrão norte-americano, em que fábricas que vendem mais de 4.500 veículos devem oferecer uma parcela de VEs para venda (Melton e outros, 2017). Destaca-se que os governos municipais também representaram um papel importante, com implementação de políticas voltadas para infraestrutura de recarga dos veículos.

Na China, as políticas de estímulo aos VEs estavam presentes desde 1991, porém eram marginais. A partir dos anos 2000, as estruturas políticas passaram a aumentar e fomentar o mercado dos VEs. Os subsídios são oferecidos tanto pelo governo federal, quanto pelo governo local. No âmbito federal, o benefício é dado de acordo com a capacidade da bateria dos veículos, que podem variar de 31.500 a 54.000 yuans (4.400 a 7.500 dólares) (He e outros, 2018). Porém, a soma dos benefícios não pode ultrapassar 50% do valor do veículo. Apesar dos subsídios oferecidos na compra dos VEs, o recente aumento na venda de VEs no país também está atrelado à limitação de registro de veículos de MCI. Em 2011, foi implementado um sistema de loteria para licenciamento de novos veículos de MCI. Em Pequim, por exemplo, o limite de novos licenciamentos é de 240.000 veículos por ano (Yang e outros, 2014). A baixa disponibilidade de licenças aumentou o valor monetário oculto do veículo de MCI para até 130 mil yuans chineses (cerca de 19 mil dólares), cerca de 19% a mais que o VE mais vendido na época (He e outros, 2018). Ademais, políticas voltadas para a infraestrutura de recarga também foram efetivas, pois acompanharam o crescimento do mercado chinês, que em 2017, possuía 88.476 postos de recarga lenta e 52.778 postos de recarga rápida (Consoni e outros, 2018; Qian, Grisolia e Soopramanien, 2019).

O Japão se destaca pelo pioneirismo na participação na indústria e no mercado de VEs, com o Toyota Prius. A primeira política de incentivo ao uso dos VEs foi aplicada em 1998, em que o governo oferecia subsídios de até 50% do custo incremental¹⁰ (EVAAP, 2003). O subsídio, além de ser oferecido na compra de veículos novos, também é oferecido para consumidores que usam o carro antigo como parte do pagamento (programa de sucateamento). Para veículos novos, o subsídio é de 100.000 yen (aproximadamente 900 dólares) e, para consumidores com carros com mais de 13 anos, o valor é de

⁷ No Brasil é conhecido como Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviço (ICMS).

⁸ Na Noruega, um veículo de MCI convencional, que emite 109 g/km de CO₂ tem uma taxa adicional de NOK 31.827. Equivalente a 11% do valor do veículo (Steinbacher, Goes e Jörling, 2018).

⁹ Desconto de 2.500 a 5.000 dólares canadense (Governo do Canadá, 2019).

¹⁰ Diferença de preço entre um veículo de MCI e VE.

250.000 yen (aproximadamente 2.300 dólares) (JAMA, 2010, 2009). Cumpre mencionar que o país tentou implementar um mandato de emissão zero em 1996, porém o projeto sofreu atraso de 5 anos, além de não conseguir atender as metas exigidas pelo programa (2% das vendas de veículos) nos anos seguintes, por limitações da indústria (Mytelka e Boyle, 2008).

A Holanda vem apresentando um rápido crescimento nos registros de VEs nos últimos anos. De 2017 para 2018, por exemplo, houve um aumento de aproximadamente 20% no licenciamento de VEs no país (NEA, 2019). Os números podem ser associados às políticas fiscais, principalmente pelo subsídio oferecido pelo governo tanto para uso privado quanto empresarial (3.000 e 5.000 euros para VEs usados e novos, respectivamente) (NEA, 2016). Além disso, o governo ofereceu isenção do imposto de registro e pedágios, resultando uma economia de 5.324 euros, em quatro anos, para VEs privados e 19.000 euros para VEs corporativos, em cinco anos (ACEA, 2011). As políticas voltadas a infraestrutura de recarga também tiveram um alto impacto nas vendas de VEs (NEA, 2017). Além do governo oferecer recarga gratuita em postos públicos, ainda é oferecido subsídio de 1.450 euros para instalação de carregadores domésticos. Dessa forma, atualmente, o país é o maior em quantidade de carregadores na União Europeia, com (26%) pontos de recarga (ACEA, 2019).

Nota-se que as políticas de caráter fiscal são as mais recorrentes e que apresentam maior impacto na penetração dos VEs (Wang, Tang e Pan, 2019). Contudo, analisar tais políticas de forma isolada não justifica o crescimento das vendas de VEs no mundo. Cada país analisado possui uma singularidade, com uma determinada política que propiciou um aumento da participação de mercado dos VEs. Os principais destaques das medidas adotadas em cada país são:

- Oferecer mais políticas a nível nacional impulsionou o mercado norueguês, pois trouxe segurança para o mercado investir. Além disso, os veículos são penalizados por emissão de carbono e o preço da gasolina no país é o mais alto do mundo;
- Nos Estados Unidos, excluindo a Califórnia, mandatos de veículo com emissão zero foi a política que apresentou maior impacto nas vendas de VEs;
- A principal característica do Canadá está em penalizar veículos por emissão de carbono;
- Na China, estratégias para reduzir as vendas de veículo de MCI, somadas a política de subsídios de VEs se mostram eficientes;
- Os altos subsídios para VEs comerciais e recarga gratuita são fatores importantes para a difusão dos VEs na Holanda;
- O programa de sucateamento do Japão foi um estímulo para as vendas dos VEs, além da preocupação do país com as mudanças climáticas.

O aumento na parcela dos VEs no mercado geralmente está associado a alta disponibilidade de infraestrutura de recarga e renda nacional per capita. O alto preço do combustível fóssil também aumenta o custo operacional dos veículos de MCI, gerando uma correlação positiva com a participação de mercado dos VEs (Wang, Tang e Pan, 2019). Fatores sociodemográficos, como nível educacional e preocupação com o meio ambiente, também influenciam positivamente o mercado de VEs. É importante destacar, contudo, que a remoção prematura de políticas impacta diretamente nas vendas. O estado de Geórgia, nos Estados Unidos, por exemplo, removeu a taxa de crédito de 5.000 dólares, em 2015, e teve uma redução nas vendas mensais de aproximadamente 80% (Cattaneo, 2018).

B. O quadro de políticas no Brasil

No mercado brasileiro, a baixa participação dos VEs, em comparação com os principais mercados mundiais, se deve ao reduzido número de políticas públicas específicas de incentivo à venda de VEs no país. De fato, nas últimas décadas, o foco das políticas públicas do setor de transportes nacional esteve relacionado com o uso de biocombustíveis como recurso energético alternativo aos combustíveis fósseis. Diferentes subsídios financeiros concedidos pelo Estado ao setor sucroalcooleiro no final do século XIX, por meio do Programa Nacional do Alcool (Freitas, 2013), permitiram consolidar o país como um dos principais mercados de biocombustíveis no setor de transportes mundial. Mais recentemente, a fim de contribuir com os objetivos da Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP 21), realizado em Paris, em 2015, o Brasil assumiu voluntariamente compromissos para reduzir a emissão de gases do efeito estufa e se comprometeu em aumentar a participação dos combustíveis renováveis (incluindo o biodiesel e etanol) na matriz energética do país para 18% (MMA, 2017). Contudo, não há políticas específicas para os VEs no Brasil previstas nos termos do Acordo de Paris, assinado na COP 21 (MMA, 2017).

Um dos programas nacionais de maior destaque é o ROTA 2030, que estabelece metas de eficiência energética no setor automotivo (Congresso Nacional, 2018). Uma das ações prevê a redução de impostos para veículos híbridos flexíveis, assim como há uma redução de impostos para veículos mais eficientes. Além disso, outro benefício do programa é que as empresas cadastradas poderão fazer deduções nos impostos de renda de pessoa jurídica e contribuição social sobre o lucro líquido do mesmo valor do que for aplicado em P&D (ME, 2019a). Outro programa importante para o Brasil foi o Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores (Inovar-Auto), vigente entre 2013 e 2017 (Inovar-Auto, 2017). O programa teve como objetivo criar condições para o aumento de competitividade no setor automotivo através de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e desconto no Imposto federal sobre Produtos Industrializados (IPI). Os principais instrumentos de política alinhados ao tema da mobilidade elétrica no Brasil são resumidos na tabela 3.

Um projeto de destaque brasileiro é o Projeto Sistemas de Propulsão Eficiente (PROMOB-e). O PROMOB-e é uma cooperação técnica, executada pelo Ministério da Economia do Brasil em parceria com o Ministério Federal de Cooperação Econômica e Desenvolvimento (BMZ) da Alemanha, que busca contribuir para a consolidação da mobilidade elétrica no país (PROMOB-e, 2019).

Com relação à tributação do país, recentemente os VEs receberam uma categoria única na tabela de incidência do IPI, possuindo uma alíquota de 7% a 18% (varia de acordo com a eficiência energética e peso do veículo), anteriormente categorizado como "Outros", com alíquota de 25% (Governo Brasileiro, 2018b). Destaca-se que essa mudança foi prejudicial para alguns veículos híbridos, que ficaram mais caros: em 2018, o BMW i3¹¹ por exemplo, tinha 7% de alíquota e passou para 17% de IPI. O imposto federal de importação (II) também foi alterado, em 2015, permitindo a redução de 35% para 0% do imposto sobre importação de VEs e veículos a hidrogênio no país¹² (Consoni e outros, 2019). Esta alteração permitiu a redução no preço dos VEs no país. Atualmente o modelo mais acessível é o Renault Zoe que custa 149.900 reais, no mercado nacional (Renault, 2018). A título de comparação, no Reino Unido o preço do Renault Zoe é de 21.920 libras (Renault, 2019), incluindo o crédito oferecido pelo governo, de 35% do valor do veículo (até 3.500 libras) (Governo do Reino Unido, 2019). Recentemente, de acordo com a Lei 13.755/2018, taxistas e pessoas com deficiência poderão comprar veículos híbridos e elétricos novos com isenção de IPI e IOF (Imposto sobre Operações Financeiras) (Governo Brasileiro, 2018a). Outro imposto incidente nos VEs é o ICMS, que varia por estado e não tem distinção por tipo de veículo. No Rio de Janeiro, por exemplo, a alíquota é de 12% (Estado do Rio de Janeiro, 2019). Por fim, o imposto Pis/Cofins sobre veículos novos (sem distinção por tipo de veículo) é de 9,25% (Governo Brasileiro, 2002).

¹¹ Em 2018, o BMW i3 comercializado no Brasil possuía extensor de autonomia com um MCI de 2 cilindros. Para fins tributários, este veículo era enquadrado como híbrido.

¹² Cabe destacar que este tipo de política pode gerar efeitos adversos sobre a construção de capacidades e desenvolvimento tecnológico no país para essas tecnologias, o que não seria desejável do ponto de vista do *Big Push* para a Sustentabilidade.

Tabela 3
Principais instrumentos de política alinhados ao tema da mobilidade elétrica no Brasil

Instrumento	Nome do programa, projeto ou política pública
Incentivos à produção local	(1986–): Programa de Controle da Poluição do Ar para Veículos Automotores (PROCONVE) (2008–): Programa de Etiquetagem Veicular (2011–): Programa BNDES Fundo Clima (2013–2017): Inovar Auto (2016): Resolução CAMEX nº 34, de abril de 2016 (2018) Lei nº 13 755, de 10 de dezembro de 2018 - institui o Programa Rota 2030 – Mobilidade e Logística
Apoio ao desenvolvimento científico e tecnológico	(2002): Programa Brasileiro de Sistemas de Célula a Combustível (FINEP) (2003–2016): Projetos de Pesquisa (CNPq) relacionados a VEs (2005–2007): Fortalecimento do Centro de Desenvolvimento em Energia e Veículos (FINEP) (2008–2018): Projetos de P&D Aneel relacionados a VEs ¹⁰ (2010–2016): Financiamentos no âmbito do Fundo Setorial CT–Energia (FINEP) (2011 –2015): Chamada do Sibratec (2011–2013): Programa BNDES de Sustentação do Investimento (2011–): Fundo Tecnológico (FUNTEC) (2012–): Normatizações da ABNT relacionadas a VEs (2018) Lei nº 13 755, de 10 de dezembro de 2018 - institui o Programa Rota 2030 – Mobilidade e Logística
Apoio à infraestrutura de recarga	(2013–): Inova Energia – Linha de financiamento incluiu projetos-piloto de sistemas de recarga para VEs (2016): Consulta Pública Aneel sobre a necessidade de regulamentação dos aspectos relativos ao fornecimento de energia elétrica a VEs (2018): Regulação Aneel para o fornecimento do serviço de recarga de energia elétrica para VEs (2018) Lei nº 13.755, de 10 de dezembro de 2018 - institui o Programa Rota 2030 – Mobilidade e Logística (2018) Lançamento da consulta pública nº 19/2018 para contribuições à chamada de Projeto de P&D Estratégico nº 22/2018: "Desenvolvimento de Soluções em Mobilidade Elétrica Eficiente".
Incentivos para o consumo	(2015): Resolução CAMEX nº 97 – redução de imposto de importação VE (2016): Resolução CAMEX de redução de imposto de importação para VE para transporte de mercadorias (2018) Lei nº 13.755, de 10 de dezembro de 2018 - institui o Programa Rota 2030 – Mobilidade e Logística Estadual/Municipal (2014–): Isenções estaduais de IPVA de VEs (RS, MA, PI, CE, RN, PE, SE) e alíquotas diferenciadas (MS, SP, RJ) (2015): Isenção de rodízio em São Paulo

Fonte: Elaboração própria com base em Consoni e outros (2019).

Com relação ao imposto estadual sobre a propriedade de veículos automotores (IPVA), os proprietários de VEs são isentos em 7 estados brasileiros e a alíquota é diferenciada em 3 estados (ABVE, 2014; Consoni e outros, 2019). Em São Paulo, por exemplo, a alíquota para VEs é de 3,0% do valor venal, enquanto no Rio de Janeiro é de 1,5% para veículos híbridos, e de 0,5% para VEs (Consoni e outros, 2019). Como forma de estimular as vendas de VEs no município de São Paulo, os proprietários dos VEs emplacados no município terão a devolução de 50% do valor pago do IPVA¹³, restrita aos cinco primeiros anos de tributação do veículo, a partir do preenchimento de requerimento específico. Tal fato se deve à Lei 15.997/2014, que estabelece a política municipal de incentivo ao uso de VEs. Além da devolução de 50% do IPVA, a lei prevê a isenção do rodízio municipal (Consoni e outros, 2018).

¹³ Apesar de ser um imposto estadual, a prefeitura de SP fica com a metade do valor do imposto pago por veículos emplacados no município, sendo este o percentual devolvido aos proprietários dos VEs.

No que diz respeito à comercialização de energia para recarga de VEs, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) abriu uma consulta pública¹⁴, que foi finalizada em junho de 2018, para discutir possível reestruturação do modelo de mercado de infraestrutura de recarga de veículos elétricos no país. A ANEEL optou por uma regulamentação mínima para a infraestrutura de postos de recarga permitindo a exploração por distribuidoras e também por terceiros. Os postos de recarga foram categorizados como atividade acessória complementar não cabendo à ANEEL regulamentar sua tarifação. Para a instalação de novos postos, deve-se comunicar à distribuidora apenas se ocorrer algum dos três cenários a seguir: solicitação de fornecimento inicial, aumento de carga ou alteração de nível de tensão de fornecimento (ANEEL, 2019). Há também em tramitação no governo federal o projeto de lei nº 3895/2012, que, se aprovado, criará a atividade de revenda varejista de eletricidade para abastecimento de VEs, que poderá ser exercida por concessionária ou permissionária do serviço público de distribuição de energia elétrica ou por revendedor varejista de eletricidade registrado na ANEEL. O revendedor varejista poderá produzir, total ou parcialmente, a energia elétrica que comercialize (Câmara dos Deputados, 2012b). Outro projeto de lei em andamento é o nº 4751/2012, que institui a obrigatoriedade das concessionárias de serviços de distribuição de energia elétrica instalarem pontos de recarga de baterias de VEs junto às vagas de estacionamentos públicas que venham a ser disponibilizadas para este fim pelas autoridades locais (Câmara dos Deputados, 2012a).

Sendo assim, a ausência de metas e objetivos específicos para a mobilidade elétrica no país fica evidente na análise dos planos e programas nacionais que, por definição, são relacionados à temática, tais como a Política Nacional sobre Mudança do Clima, iniciada em 2008; o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, de 2016; ou o Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores – Inovar-Auto (2013-2017). Estas ações, que são de grande envergadura, sequer citam os VEs como seu objeto direto ou como parte da solução para os problemas que buscam amenizar (Consoni e outros, 2018).

¹⁴ A discussão acerca do tema da Audiência Pública 002/2016 teve continuidade na Audiência Pública 029/2017.

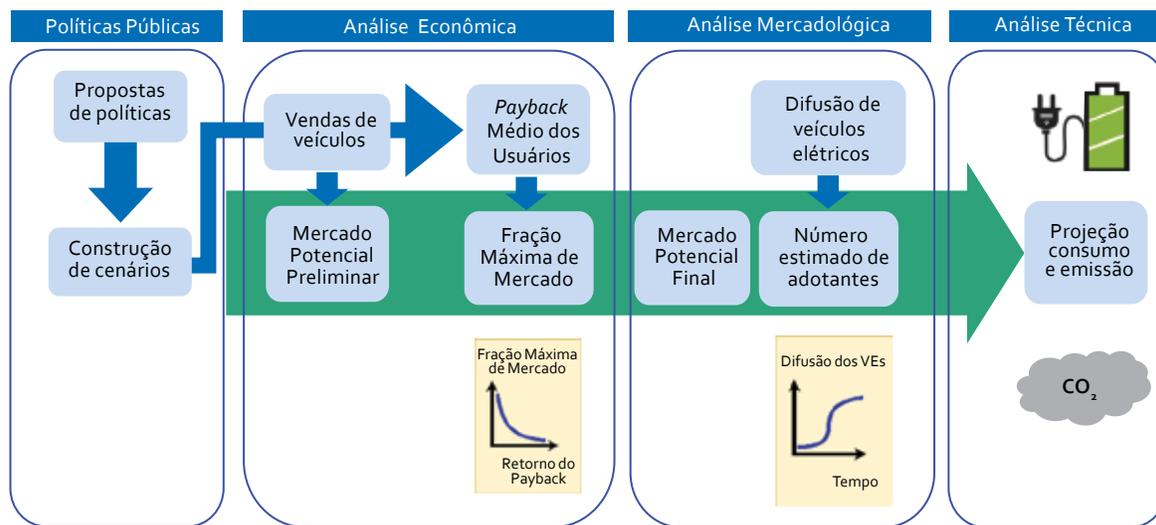
II. Simulando cenários para VEs no Brasil: aspectos metodológicos

A metodologia para este projeto está baseada na construção de cenários de políticas de incentivo a veículos de baixa emissão de carbono no Brasil, com foco em veículos leves elétricos, utilizados no transporte pessoal. Além do desenho de cenários de instrumentos de políticas públicas para encorajar a penetração desses veículos, também foi realizado um exercício de quantificação e análise dos impactos econômicos, sociais, energéticos e ambientais dos cenários propostos, os quais oferecem um conjunto de evidências sobre os impactos esperados para informar recomendações de políticas para um *Big Push* para a Mobilidade Sustentável no Brasil. O horizonte de análise é 2050 e as estimativas geradas pelo presente projeto incluem o consumo energético, emissões de GEE, crescimento da frota, viabilidade financeira do projeto de investimento, incentivos econômicos, demanda potencial por tipo de veículo, etc.

A metodologia empregada no presente estudo está dividida em quatro etapas principais, sendo elas: Levantamento de Políticas Públicas para a construção dos cenários, Análise Econômica, Análise Mercadológica e Análise Técnica (ver no diagrama 1 para o fluxograma simplificado da metodologia).

Na primeira etapa, são construídos cenários de referência e os cenários alternativos para a entrada de veículos leves elétricos no Brasil, a partir da proposta de políticas públicas. Na segunda e terceira etapas, estima-se a penetração de veículos elétricos no Brasil no horizonte 2050, considerando-se cenários alternativos propostos. A partir das penetrações estimadas em cada cenário, na última etapa é realizada a análise técnica, com o cálculo do consumo energético e das emissões evitadas.

Diagrama 1
Fluxograma geral da metodologia



Fonte: Elaboração própria.

A. Construção de cenários

Neste estudo, são desenvolvidos três cenários para capturar os impactos de diferentes combinações de instrumentos de políticas públicas para incentivar os VEs sobre a evolução do consumo energético e das emissões de gases de efeito estufa no segmento de passageiro (transporte de veículos leves) no horizonte temporal do presente até 2050 no Brasil.

O primeiro cenário, denominado **cenário de referência**, apresenta características de base de mercado, de forma que não são consideradas mudanças significativas na trajetória das variáveis-chave do modelo no horizonte de análise, sendo mantidas as tendências setoriais atuais. Assim sendo, as principais variáveis de análise desta projeção são mantidas constantes ou são atreladas ao crescimento econômico e populacional, caracterizando um cenário tendencial com reduzida mudança estrutural do segmento de veículos leves do país.

Neste estudo, o comportamento histórico das principais variáveis-chave de simulação, tais como intensidade de uso dos veículos, eficiência veicular, vendas de veículos leves e probabilidade de sucateamento da frota, segue como base os estudos oficiais do setor, como os publicados pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) e Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN). Para a análise econômica e mercadológica (ver seções C e D, respectivamente) é utilizada base de dados com os 50 veículos leves mais vendidos no país, em 2018, segundo a Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores (FENABRAVE, 2019), disponível no anexo 2¹⁵. Esses veículos representam 93% da frota vendida no ano.

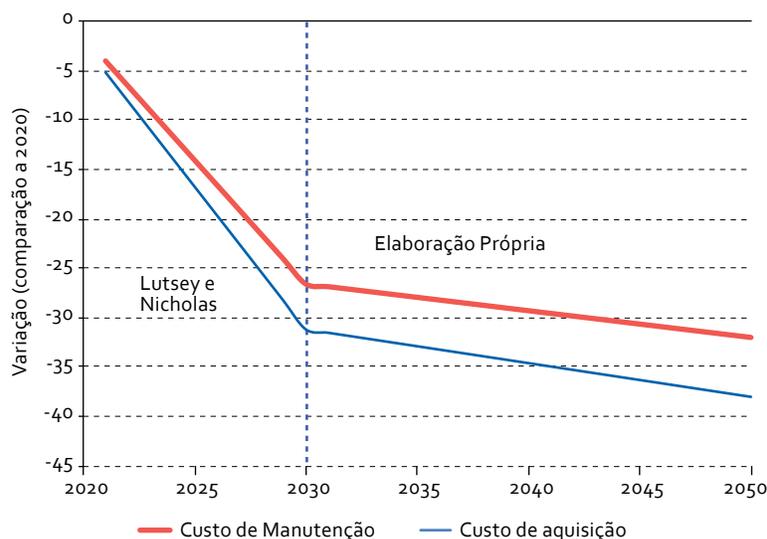
Destaca-se, contudo, que mudanças comportamentais já em curso no setor de transportes são consideradas neste cenário, como, por exemplo, a alteração das vendas de veículos leves devido ao maior uso de economia compartilhada e o envelhecimento populacional do país. Esta característica é a principal justificativa para o uso de um cenário referência próprio, ao invés de trabalhar com um cenário de referência produzido em estudos oficiais de órgãos do setor, tais como os estudos da EPE, que não levam em consideração estas alterações estruturais no segmento, em especial no que tange às vendas de veículos leves. Além disso,

¹⁵ São utilizados os seguintes dados na simulação: marca e modelo dos veículos; quantidade de veículos vendidos; preço do veículo; eficiência energética no modo gasolina e etanol em perímetro urbano e rodoviário; consumo anual de gasolina e etanol; gastos anuais com IPVA, revisão e seguro; preço da gasolina, etanol e energia elétrica; distância média anual percorrida.

é considerado o aumento anual de 1% na eficiência energética dos veículos de MCI ao longo dos anos em todos os cenários. Assim, a eficiência energética média dos veículos, no modo gasolina, sobe de 13 km/L para 17 km/L entre 2020 e 2050. Nota-se que a eficiência energética dos motores elétricos tem se mostrado bastante superior em relação aos MCI, sendo que os motores puramente elétricos apresentam eficiência total em torno de 59% a 62%, enquanto os de combustão interna, de 17 a 21% (Vaz e outros, 2015).

No cenário de referência, considera-se também a introdução, de forma marginal, de veículos leves híbridos no horizonte 2050, seguindo a tendência oficial do governo, conforme (EPE, 2018c). Considera-se, também, que as tecnologias avançadas de veículos automotivos, que incluem os veículos elétricos puros e *plug-in*, apresentam uma redução no custo de aquisição e manutenção, de forma mais acentuada até 2030 (Lutsey e Nicholas, 2019), conforme indicado no gráfico 4. A redução dos custos está associada, principalmente, à evolução da tecnologia das baterias e consequentemente, ao seu preço. Dessa forma, o custo de aquisição e manutenção dos VEs tende a diminuir ao longo dos anos.

Gráfico 4
Redução de preço e custo de manutenção dos VEs em relação ao valor de 2020, 2020 a 2050
(Em porcentagem)



Fonte: Elaboração própria com base em Lutsey e Nicholas (2019).

Os demais cenários, denominados cenários alternativos, contemplam propostas de políticas públicas para o setor transportes de veículos leves, com foco na mobilidade sustentável. Cumpre notar que a análise de políticas requer o diagnóstico preciso dos problemas e a identificação dos objetivos a serem perseguidos. É necessário, portanto, esclarecer quais são os obstáculos que devem ser enfrentados. No Brasil, os dois principais obstáculos, conforme discutido na seção I, são o elevado custo de aquisição de veículo e a baixa infraestrutura de recarga. Nesse sentido, políticas públicas no setor de transportes desempenham um papel fundamental na formação e no rumo do mercado.

Neste trabalho, são simulados dois cenários alternativos que consideram a aplicação das principais experiências internacionais, em termos de políticas públicas para o setor que tem se demonstrado efetivas. Cada um destes conjuntos considera mudanças mercadológicas no segmento, a partir da maior participação de VEs nas vendas de veículos leves no país, como consequência de políticas públicas voltadas para redução do custo incremental do VE e aumento da infraestrutura de recarga no país. Para tal, são utilizadas técnicas de difusão tecnológica em função do retorno financeiro com a aquisição do veículo elétrico em comparação com o veículo com MCI. As políticas são implementadas a partir de 2025 e permanecem até 2050, com possibilidade de metas diferentes para estes períodos.

A tabela 4 exibe o resumo dos cenários alternativos propostos. No conjunto de instrumentos de políticas públicas contemplado pelo **cenário 1**, busca-se avaliar o impacto, em termos de vendas de veículos leves, da aplicação de subsídios para redução dos custos de aquisição e operação do veículo elétrico no Brasil e é considerada a tributação de carbono. A tributação de carbono representa um tributo aplicado aos combustíveis fósseis com base na quantidade de dióxido de carbono liberado durante a conversão de energia, podendo ser aplicada no seu uso final, ou no processo de produção do combustível. Neste estudo, considera-se a aplicação do tributo no uso final exclusivamente do setor transportes, a partir do aumento do preço de aquisição da gasolina nos postos de combustíveis. O objetivo dessa tributação nesse cenário é buscar a neutralidade fiscal¹⁶ em termos de receitas e custos públicos para todo o período analisado, de forma que o orçamento público não perca arrecadação e nem se imputem custos adicionais à economia em termos da carga tributária total, mecanismo conhecido como *feebate*¹⁷. O tributo sobre carbono aos combustíveis fósseis é aplicado no instrumento de política 1a, sendo previsto um aumento de 1% do preço da gasolina para 2025, que cresce linearmente até um patamar de 3%, em 2050¹⁸. Os valores aplicados estão em sintonia com a tributação existente no mercado canadense (Harrison, 2019). Nesse caso, aumentar o custo de operação do veículo à combustão no país pode aumentar a competitividade relativa dos VEs. Além da tributação de carbono, simula-se o instrumento de política 1b, que prevê a redução de 100% do IPVA em 2025, que permanece até 2050, porém com uma redução menor, de 75%. Esse modelo segue a proposta de expandir a política de isenção de IPVA para VEs, presente em alguns estados brasileiros, para o âmbito nacional. Já o instrumento de política 1c trata da redução de IPI de 100% e 75% para os períodos de 2025 e 2050, respectivamente, nos moldes da Lei 13.755/2018, exclusiva para taxistas e deficientes. O instrumento de política 1d contempla, no curto prazo, a redução do custo incremental do VE em relação ao veículo com MCI, de forma similar ao modelo japonês. Esse subsídio é de 50% em todo o período estudado.

O conjunto de propostas do **cenário 2** considera instrumentos de políticas em que o mercado e os consumidores arcam de forma direta com os custos de difundir a tecnologia de VEs, sem a introdução de subsídios para VEs por parte do governo. O instrumento de política 2a considera o aumento do custo dos veículos com MCI, usando tributação proporcional à eficiência dos veículos, no formato do programa norueguês. Assume-se que, em 2025, veículos de MCI com eficiência menor do que 14 quilômetros por litro (km/L) terão acréscimo de 5% no valor do veículo para cada 1 km/L a menos que a referência. Da mesma forma, em 2050, o aumento previsto é de 15% e a eficiência veicular de referência passa para 17 km/L. Dessa forma, caso a eficiência no modo gasolina do veículo seja menor do que a meta de eficiência energética no ano, o preço do veículo de MCI, no ano seguinte, tem um acréscimo proporcional à diferença entre as eficiências. Caso contrário, o preço do veículo não sofre acréscimo em relação ao ano anterior. Assim, é possível identificar se o sobre-preço do veículo com MCI impacta nas vendas de VEs no país. A receita adicional com esta tributação poderia ser aplicada para estimular a difusão dos veículos, em especial na parte de infraestrutura de recarga, mas, no presente estudo, não se assume a aplicação desse recurso arrecadado. Essa e outras possibilidades de aplicação podem ser consideradas em estudos futuros. Já o instrumento de política 2b prevê a obrigatoriedade de comercialização de veículos elétricos, em diferentes patamares, da parcela de venda total de veículos leves de cada montadora, no formato do mandato de veículo com emissão zero (VEZ) americano. São considerados 4,5% e 20% de parcela de vendas para 2025 e 2050, respectivamente.

¹⁶ A neutralidade fiscal refere-se à estimativa da alíquota da tributação de carbono a fim de garantir que a receita e gastos públicos sejam iguais, considerando-se todo o período estudado, desconsiderando taxa de desconto e inflação. Ou seja, a neutralidade é analisada do ponto de vista do horizonte temporal de análise do estudo, não sendo buscada de forma anual. Trata-se de uma suposição metodológica para evitar volatilidade nas alíquotas anuais e consequentes instabilidades econômicas.

¹⁷ *Feebate* é uma conjunção entre as palavras taxa (*fee*), referindo-se à tributação dos combustíveis, e abatimento (*rebate*), referindo-se ao abatimento fiscal sobre veículos elétricos. Ou seja, trata-se de um cenário autofinanciado, em que a receita da tributação é usada para fornecer o subsídio fiscal ao veículo elétrico.

¹⁸ Equivalente a, aproximadamente, 4 e 12 dólares por tonelada de CO₂ para 2025 e 2050, respectivamente.

Por fim, em ambos os cenários 1 e 2, são previstas políticas voltadas para o aumento da infraestrutura de recarga de VEs, com maior suporte financeiro para estações de recarga, de forma a aumentar o número de postos públicos para recarga no país, de 0,07/1.000.000 habitantes, para 150/1.000.000 habitantes, equivalente à densidade de infraestrutura de recarga chinesa atual. Essa medida permite identificar o impacto do aumento da infraestrutura de recarga em termos de vendas de veículos elétricos.

Tabela 4
Cenários alternativos com políticas públicas para promover a participação de VEs no setor de transportes

Cenário alternativo	Instrumento de política	Definição	Impacto direto no cálculo			Referência
			Impacto previsto	2025	2050	
1	a	Aplicação de tributo de carbono aos combustíveis fósseis	Aumento do custo de combustível	1%	3%	Aumento de 3% a 11% no preço da gasolina (Canadá)
	b	Redução no IPVA	Redução no custo de aquisição e operação dos VEs	100%	75%	Redução de 100% no IPVA (Brasil)
	c	Redução no IPI		100%	75%	Redução de 100% no IPI (Brasil)
	d	Subsídio no custo incremental do VE		50%	50%	Subsídio de até 50% do custo incremental (Japão)
2	a	Tributação proporcional à emissão dos veículos de MCI	Aumento do preço dos veículos de MCI	1%/14 km/l	L 5%/17km/L	Aumento de 11% no preço do veículo (Noruega)
	b	Mandato de veículo com emissão zero	Aumento da parcela de mercado dos VEs	4,50%	20%	Parcela das vendas totais de 4,5% a 22% (EUA)

Fonte: Elaboração própria.

Esses cenários são simulados a partir da metodologia descrita a seguir.

B. Estimação de penetração de VEs: o Modelo de Bass

A estimativa da penetração de VEs no horizonte de 2050, realizada nas etapas 2 e 3, segue a seguinte lógica: primeiramente, é realizada uma regressão linear para se prever a demanda total de automóveis ao longo do tempo. Em seguida, estima-se a parcela de VEs dentro do mercado total de automóveis utilizando-se o modelo de difusão de tecnologias formulado em 1969 por Bass (Bass, 1969), considerando-se as modificações propostas em 2009 por Beck (R. W. Beck, 2009). Segundo Beck, a difusão de determinadas tecnologias pode ser influenciada substancialmente por políticas econômicas. Dessa forma, são desenvolvidos cenários econômicos plausíveis a fim de se prever de maneira mais adequada o número de adotantes de veículos elétricos nos próximos anos. O modelo de Bass possui ampla aplicação em diversas áreas, inclusive em engenharia elétrica, sendo utilizado na análise de difusão de tecnologias como sistemas fotovoltaicos residenciais, veículos elétricos, energia nuclear e energia eólica (She e outros, 2019; dos Santos, Canha e Bernardon, 2018). Em especial, o modelo proposto por Beck é usado por instituições públicas como a norte-americana National Renewable Energy Laboratory (NREL) (Denholm e outros, 2009; Sigrin e outros, 2016) e as brasileiras Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (EPE, 2018b) e ANEEL (ANEEL, 2017) para a difusão de sistemas fotovoltaicos.

Matematicamente, o modelo de Bass representa a taxa de penetração da inovação no mercado em função do tempo, de maneira que a função de distribuição de probabilidade $F(t)$ de um potencial adotante em realizar a adoção no tempo é dada pela equação (1), onde e e β são os coeficientes de inovação (influência externa ao processo de difusão) e de imitação ou efeito boca-a-boca (influência interna ao

processo de difusão), respectivamente. Por fim, o número acumulado de adotantes $N(t)$ previsto a cada ano é obtido através da equação (2), onde MPF é o mercado potencial final, o qual corresponde a uma fração fixa do mercado potencial preliminar (MPP). No caso do veículo elétrico, o corresponde ao conjunto de consumidores que teriam condições econômicas de obterem o veículo elétrico. Por outro lado, o MPF corresponde a um subconjunto do MPP em que os consumidores, além de possuírem condições mínimas de instalação, também teriam interesse em adotar a tecnologia.

Na metodologia do presente trabalho também é considerada uma modificação ao modelo de Bass proposta por Beck (R. W. Beck, 2009). Essa modificação considera o fator MPF como função do tempo de *payback* simples, e não mais como uma constante, assumindo-se que fatores econômicos como incentivos públicos podem alterar significativamente a adoção de algumas tecnologias, como os veículos elétricos. Assim, o modelo de difusão de tecnologias permite estimar a adoção de veículos elétricos, sendo possível considerar cenários com políticas econômicas diversas. Esses cenários são considerados nessa metodologia no cálculo do *payback* médio dos usuários, como mostra o gráfico 5.

O gráfico 5 exhibe duas curvas empíricas da Fração Máxima de Mercado (1) obtidas em (Kastovich e outros, 1982; (NCI), 2008). A partir desses perfis, foi desenvolvida a equação (3) para estimar a em função do tempo médio de *payback* simples em anos e da sensibilidade do *payback* simples. Observa-se no gráfico 5, que o perfil médio das curvas empíricas se aproxima daquele representado pela equação (3) para um igual a 0,3. Após o cálculo da , obtém-se o valor do , através da equação (4). Por fim, é possível estimar o número de adotantes pela equação (4), considerando-se que o varia em função do tempo de *payback*.

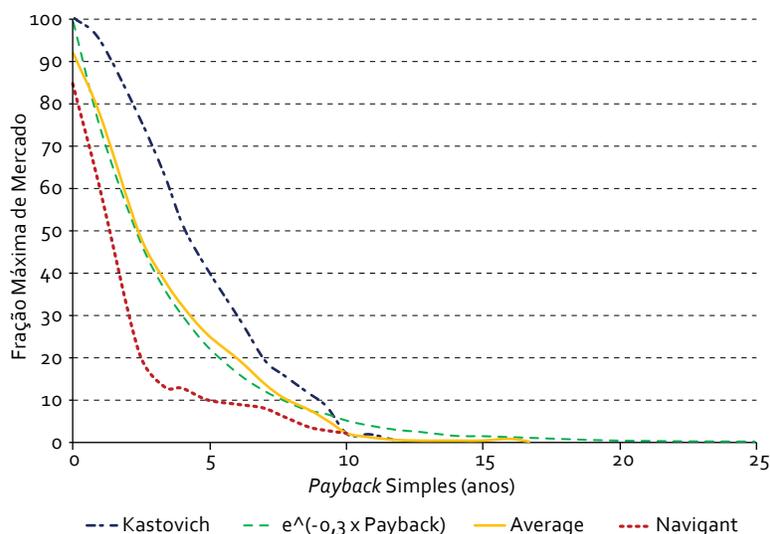
$$F(t) = \begin{cases} 1 - e^{-(p+q)t} & t > 0 \\ 1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t} & q > 0 \end{cases}, \quad p > 0 \quad (1)$$

$$N(t) = MPF \times F(t) \quad (2)$$

$$FMM = e^{-S \times PB} \quad (3)$$

$$MPF = FMM \times MPP \quad (4)$$

Gráfico 5
Fração máxima de mercado em função do tempo de retorno do *payback* simples
(Em porcentagem)



C. Análise econômica

Nessa seção é apresentada a análise econômica para se estimar os parâmetros de entrada do modelo de difusão de Bass. Também é considerado o impacto das políticas públicas na formulação matemática do modelo. Esse modelo é utilizado na próxima etapa (análise mercadológica) para a projeção da frota de VEs ao longo do tempo. Os objetivos pontuais dessa seção são apresentar a abordagem metodológica empregada para:

- estimar a demanda total de automóveis no horizonte de 2050;
- calcular o *payback* médio dos usuários de VEs;
- estimar o Mercado Potencial Preliminar (MPP) de VEs

1. Estimação da demanda total de automóveis no horizonte de 2050

O número de VEs que devem ser adotados no longo prazo corresponde a uma parcela do mercado composto pela quantidade total de veículos leves no país. Portanto, para projetar os VEs ao longo do tempo, é necessário prever primeiramente a quantidade total de automóveis para o horizonte desejado. Essa previsão é realizada através de uma regressão linear utilizando dois modelos distintos:

- **Modelo 1**, que considera a influência da economia compartilhada no setor de transportes, a exemplo dos serviços oferecidos pela Uber, UberPool, BlaBlaCar e 99. Os serviços de economia compartilhada são representados pela variável explanatória “ocupação de transporte, armazenamento e correios” que representa as alterações na taxa de ocupação (população empregada) no grupamento transporte, armazenagem e correio. De acordo com (IBGE, 2019a), as alterações nos últimos anos neste parâmetro se caracterizam principalmente pelo aumento dos motoristas de aplicativos, apesar da PNAD contínua não fazer esse tipo de distinção na pesquisa.
- **Modelo 2**, que considera uma mudança de perfil populacional, com predominância da população idosa. A mudança de perfil populacional é representada pela variável explanatória “população com 60 anos ou mais”.

Os modelos são testados separadamente para evitar problemas relacionados à multicolinearidade. Em ambos os modelos, a variável dependente considerada é o “licenciamento de automóveis” e as demais variáveis explanatórias são o “PIB real” e a “taxa de juros (SELIC)”, como mostra a tabela 5.

Tabela 5
Variáveis consideradas nos modelos de regressão linear

Modelo 1	Modelo 2
Licenciamento de Automóveis	Licenciamento de Automóveis
PIB Real	PIB Real
Taxa de juros (SELIC)	Taxa de juros (SELIC)
Ocupação de Transporte, Armazenamento, Correios	População com 60 anos ou mais

Fonte: Elaboração própria.

Os modelos de regressão propostos estão dispostos no formato log-linear, tal que tanto o regressando quanto os regressores são expressos em forma logarítmica. Nesse formato, cada coeficiente angular mede a elasticidade (parcial) do regressando em relação ao respectivo regressor. Em outras palavras, o coeficiente angular de um dado regressor indica a variação percentual do regressando em relação a esse regressor, mantendo-se os demais regressores constantes. As equações (5) e (6) representam o modelo matemático dos modelos 1 e 2, respectivamente.

$$\ln \hat{Y}_{1,t} = \beta_{1,0} + \ln \beta_{1,1} A_t + \ln \beta_{1,2} B_t + \ln \beta_{1,3} C_t \quad (5)$$

$$\ln \hat{Y}_{2,t} = \beta_{2,0} + \ln \beta_{2,1} A_t + \ln \beta_{2,2} B_t + \ln \beta_{2,3} D_t \quad (6)$$

sendo:

$\hat{Y}_{1,t}$ e $\hat{Y}_{2,t}$ correspondem ao “licenciamento de automóveis” estimado pelos modelos 1 e 2, respectivamente, para o instante t ;

A_t corresponde ao “PIB real” no instante t ;

B_t corresponde à “taxa de juros (SELIC)” no instante t ;

C_t corresponde à “ocupação de transporte, armazenamento e correios” no instante t ;

D_t corresponde à “população com 60 ou mais” no instante t .

$\beta_{1,0}$ e $\beta_{2,0}$ são os interceptos dos modelos 1 e 2, respectivamente;

$\beta_{1,1}$, $\beta_{1,2}$ e $\beta_{1,3}$ são os coeficientes parciais de regressão das variáveis A , B e C , respectivamente, estimados pelo modelo 1;

$\beta_{2,1}$, $\beta_{2,2}$ e $\beta_{2,3}$ são os coeficientes parciais de regressão das variáveis A , B e C , respectivamente, estimados pelo modelo 2.

A determinação dos coeficientes angulares e lineares dos modelos de regressão propostos é realizada a partir de séries históricas trimestrais de 2000 a 2018. Os dados mensais do número de automóveis licenciados são obtidos de (ANFAVEA, 2019) e adaptados para valores trimestrais. Os dados trimestrais de PIB real em valores correntes são extraídos de (IBGE, 2019b) enquanto os dados de variações trimestrais reais do PIB provêm de (IPEADATA, 2019). Os dados da taxa de juros (SELIC) acumulada no mês são obtidos de (BCB, 2019a) e adaptados para valores trimestrais. Os dados trimestrais de “ocupação de transporte, armazenamento e correios” (em milhares de pessoas) provêm da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) Contínua (IBGE, 2019c), sendo que os dados que antecedem o 3º trimestre de 2012 são mantidos iguais a esse trimestre, assumindo-se que nesse período a influência de serviços de economia compartilhada não é significativa. Os dados mensais da porcentagem da “população com 60 anos ou mais” são extraídos de (IBGE, 2013, 2018) e adaptados para valores trimestrais.

2. Cálculo do *payback* médio dos usuários de VEs

O *payback* do VE é dado pelo tempo de retorno do investimento, comparado a um veículo base. Neste estudo, utiliza-se como base dados dos 50 veículos leves mais vendidos em 2018 no país e adota-se o modelo Renault Zoe como VE de referência para comparação. Como métrica de avaliação, é utilizada a média ponderada dos *paybacks* aceitáveis, em que os pesos da média são dados pelo número de unidades vendidas, conforme indica a equação (7). Em que $PB_i(t)$ é o *payback* simples do veículo i no ano t ; n é o número de modelos de veículos com *payback* menor do que *payback* aceitável (i.e. 7 anos); e $n_{vendidas}^i$ é o número de unidades vendidas do veículo i .

O valor do *payback* simples ($PB_i(t)$) é dado pela equação (8), em que $P_{MCI}^i(t)$ e $P_{VE}(t)$ são os preços do veículo i de MCI e do VE, em função do tempo, respectivamente, e $C_{O\&M}^{VE}(t)$ e $C_{O\&M}^{MCI}(t)$ são os custos de manutenção do VE e do veículo de MCI i , ao longo do tempo, respectivamente. É importante salientar que a diferença entre $P_{VE}(t)$ e $P_{MCI}^i(t)$ é denominada de custo incremental, sendo $D_i(t)$ o valor de desconto do custo incremental, em reais, presente no conjunto de políticas no cenário alternativo 1d, dado pela equação (9), em que $T_i(t)$ é o percentual de desconto do custo incremental considerado. Caso o desconto no custo incremental, seja maior que o valor máximo de desconto L , em reais, o desconto $D_i(t)$ assume o valor de L . Caso o contrário, o desconto $D_i(t)$ assume o valor do desconto do custo incremental, conforme indicado na equação (10).

A equação (11) apresenta a variação no $P_{MCI}^i(t)$ prevista pelo conjunto de políticas previstas no cenário alternativo 2a proposto, em que considera aumento do preço dos veículos com MCI de acordo com a eficiência energética do veículo. Caso a eficiência no modo gasolina do veículo i no ano t ($Eff_g^i(t)$) seja menor do que a meta de eficiência energética no ano t no modo gasolina ($Eff_m(t)$), o preço do veículo de MCI i no ano $t + 1$ ($P_{MCI}^i(t + 1)$) tem um acréscimo no preço do veículo, relativo à diferença entre as eficiências. Caso contrário, o preço do veículo é igual ao do ano anterior. Cabe ressaltar que caso a política de aumento de preço do veículo de MCI não seja implementada, o $P_{MCI}^i(t)$ é constante até o final do horizonte de tempo estudado.

A equação (12) apresenta a redução natural do preço do VE juntamente com a política de incentivo fiscal de redução do IPI do VE, presente no cenário alternativo 1c proposto, em que T_{IPI} representa o valor do IPI, em %, em relação ao valor do VE, é o percentual de desconto de acordo com a política proposta e $R_p^{VE}(t)$ é o percentual de redução de preço de aquisição do veículo, variante no tempo, conforme gráfico 4.

A equação (13) apresenta o cálculo do custo de operação e manutenção dos veículos de MCI e elétrico, em que, C_{IPVA} é o custo anual com IPVA, C_s é o custo anual com seguro, C_{RA} é o custo anual de revisão e é o custo anual com combustível, variante no tempo. É importante destacar que o conjunto de políticas propostas no cenário alternativo 1b prevê redução no IPVA dos VEs, em %, dados pelo tributo $T_{IPVA}(t)$. Em adicional há uma redução natural ($R_M^{VE}(t)$) em partes dos custos de manutenção dos VEs (Lutsey e Nicholas, 2019). O custo com combustível $C_c^v(t)$ é detalhado na equação (14), em que, Eff_{gl} , Eff_e , Eff_{ele} e são as eficiências dos motores no modo gasolina, etanol e eletricidade, respectivamente. As eficiências dos veículos de MCI são variantes no tempo, pois consideram a melhoria de 1% ao ano, prevista por (EPE, 2018c). Por outro lado, essa premissa não foi adotada para os VEs, pois entende-se que o motor já possui eficiência elevada. α , β e γ são as parcelas em que os veículos operam no modo gasolina, etanol e eletricidade. É importante destacar que, caso o veículo seja de MCI, $\alpha + \beta = 1$, caso seja elétrico, $\alpha + \beta + \gamma = 1$. Os valores das parcelas do modo de operação seguem a previsão do governo (EPE, 2018c). $P_g(t)$, P_e e P_{kWh} são os preços da gasolina, etanol e energia, respectivamente. Não são consideradas variações nos preços do etanol e da energia elétrica.

Por fim, a equação (15) apresenta a variação no preço da gasolina, quando considerada a de tributação de carbono $T_{car}(t)$, presente no cenário alternativo 1a. Vale destacar que, caso a política de tributação de carbono não seja aplicada, o $C_M^{MCI}(t)$ é constante até 2050.

$$PB(t) = \frac{\sum_i^n (PB_i(t) n_{vendas}^i)}{\sum_i^n n_{vendas}^i} \quad (7)$$

$$PB_i(t) = \frac{P_{VE}(t) - P_{MCI}^i(t) - D_i(t)}{C_{O\&M}^{MCI}(t) - C_{O\&M}^{VE}(t)} \quad (8)$$

$$D_i(t) = (P_{MCI}^i(t) - P_{VE}(t)) T_i(t) \quad (9)$$

$$D_i(t) = \begin{cases} D_i(t), & D_i(t) \leq L \\ L, & D_i(t) > L \end{cases} \quad (10)$$

$$P_{MCI}^i(t + 1) = \begin{cases} P_{MCI}^i(t) (1 + T_{MCI} (Eff_m(t) - Eff_g^i(t) < Eff_m(t)) \\ P_{MCI}^i(t), & Eff_g^i(t) \geq Eff_m(t) \end{cases} \quad (11)$$

$$P_{VE}(t + 1) = P_{VE}(t) (1 - T_{IPI} D_{IPI}(t)) (1 + R_p^{VE}(t)) \quad (12)$$

$$C_{O\&M}^v(t) = \begin{cases} C_{IPVA} + C_s + C_{RA} + C_c^v(t), v = MCI \\ C_{IPVA}(1+T_{IPVA}(t))(1+R_p^{VE}(t)) + C_s + C_{RA}(1+R_M^{VE}(t)) + C_c^v(t), v = VE \end{cases} \quad (13)$$

$$C_c^v(t) = \begin{cases} Eff_g(t)\alpha(t)P_g(t) + Eff_e(t)\beta(t)P_e)D_i, v = MCI \\ Eff_g\alpha(t)P_g(t) + Eff_e\beta(t)P_e + Eff_{ele}\gamma(t)P_{kWh})D_i, v = VE \end{cases} \quad (14)$$

$$P_g(t+1) = P_g(t) + T_{car}(t) \quad (15)$$

3. Estimação do Mercado Potencial Preliminar (MPP) de VEs

O $MPP(t)$ engloba todos os consumidores que teriam condições econômicas mínimas de arcarem com os custos do veículo elétrico. Dessa forma, assume-se que o $MPP(t)$ possa ser estimado pela equação (16). Em que $n_{vendidas}^i$ é o número de veículos de MCI vendidos com *payback* aceitável e $n_{vendidas}^{total}$ é a quantidade total de veículos de MCI vendidos. Espera-se que a $MPP(t)$ varie com o tempo, uma vez que a redução natural do preço dos VEs altera o *payback* e, mais clientes terão a possibilidade de adquirir o VE. Ademais, as políticas fiscais propostas nos cenários alternativos alteram diretamente o *payback* e, conseqüentemente, alteram o $MPP(t)$.

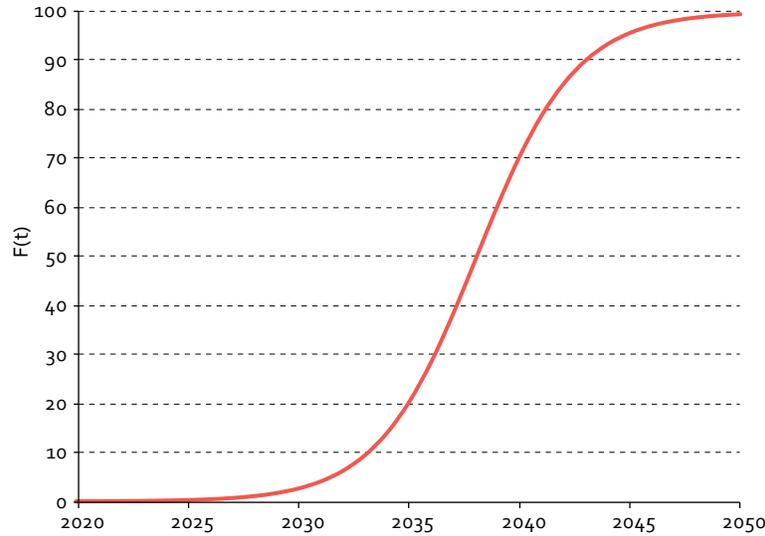
$$MPP(t) = \frac{n_{vendidas}^i}{n_{vendidas}^{total}} \quad (16)$$

D. Análise mercadológica

Nessa seção, são discutidas as premissas adotadas para a aplicação do modelo de difusão de Bass para o setor brasileiro de VEs. O gráfico 6 exibe a função de distribuição de probabilidade $F(t)$ do modelo de Bass, estimada através da equação (1). Os valores adotados para os coeficientes de inovação (p) e imitação (q) são 0,0000365 e 0,447, respectivamente, com base em um modelo estatístico de VEs dos E.U.A. de 1999 a 2008 (Massiani e Gohs, 2015). Observa-se que o gráfico 6 está em consonância com a previsão do governo (EPE, 2018c), o qual assume que a inserção de VEs não terá significância estatística até 2030. Além disso, os valores adotados para p e q estão dentro da mesma ordem de grandeza dos valores estimados¹⁹ em um estudo recente brasileiro que também utiliza o modelo de Bass para analisar a difusão de VEs no país (Benvenuti, Ribeiro e Uriona, 2017).

¹⁹ O estudo (Benvenuti, Ribeiro e Uriona, 2017) estima os coeficientes $p = 0.0000585$ e $q = 0.2422$ para a difusão de VEs no Brasil.

Gráfico 6
Função de distribuição de probabilidade $F(t)$ adaptada para a adoção de VEs no Brasil, 2020 a 2050
 (Em porcentagem)



Fonte: Elaboração própria.

A política de mandato VEZ, considerada no cenário alternativo 2b, prevê que parte das vendas de veículos leves deve ser de VEs. As montadoras de veículos serão multadas caso não atendam a meta de vendas de VEs. A parcela das vendas totais de VEs a serem vendidas, considerando a política de mandato VEZ ($P_{VEZ}(t)$), é dada pela média ponderada da parcela de VEZ de cada fabricante, conforme indica a equação (17), em que m é a quantidade total de montadoras de veículos leves analisada; $n_{vendidas}^i$ é o número de unidades vendidas pela montadora i ; tax_{VEZ}^i é a parcela de vendas de VEs que a montadora i no ano t deve atender; $n_{vendidas}^{total}$ é a quantidade total de unidades vendidas. A política de mandato VEZ tem impacto direto na curva de difusão, pois obriga as montadoras de veículos a venderem uma quantidade de VEs. Consequentemente a política afeta o $MPF(t)$, entretanto, ela não sobrepõe a parcela dos consumidores que já possuem condições econômicas de comprar um VE. Dessa forma, caso o de VEZ seja menor do que a parcela gerada pelo *payback*, o $MPF(t)$ é dada $MPF(t)$ do *payback*, caso o contrário, a $MPF(t)$ é dada pela $MPF(t)$ do VEZ, conforme indica a equação (18).

$$P_{VEZ}(t) = \frac{\sum_{i=1}^m n_{vendidas}^i \times tax_{VEZ}^i(t)}{n_{vendidas}^{total}} \quad (17)$$

$$MPF(t) = \begin{cases} MPF(t), & MPF(t) > P_{VEZ}(t) \\ P_{VEZ}(t), & MPF(t) < P_{VEZ}(t) \end{cases} \quad (18)$$

Por fim, a infraestrutura de recarga é um dos grandes entraves para o aumento da difusão dos VEs. Porém, ainda não é claro qual é o seu real impacto nas vendas de veículos (Hall e Lutsey, 2017). Nesse sentido, é utilizada a modelagem proposta por (Casas e outros, 2018), em que a infraestrutura de recarga tem impacto direto no mercado potencial final, conforme apresentado na equação (19), que indica a formulação do $MPF(t)$ atualizado. Adota-se que $IR(t)$ cresce linearmente até atingir 150 carregadores/1.000.000 habitantes, em 2050.

$$MPF(t) = FMM \times MPP \times IR(t) \quad (19)$$

E. Análise técnica

Nessa seção são descritas as formulações para o cálculo do consumo de combustível, emissão de gases de efeito estufa, assim como da projeção da frota de veículos leves no Brasil. Todos os veículos de MCI da base de dados são do tipo *flex-fuel*, podendo utilizar álcool ou gasolina como combustível. Sendo assim, a eficiência do motor é calculada para cada modelo de veículo e por tipo de combustível (m), através da média dos consumos específicos em meio urbano (C_m^U) e rodoviário (C_m^R), conforme a equação (20). Com relação aos VEs (puramente elétrico e híbrido plug-in), assume-se que esta tecnologia possui o mesmo consumo de combustível independente do meio (urbano ou rodoviário). A equação (21) apresenta a formulação matemática da eficiência nos modos de operação do motor.

$$Eff_m = \left(\frac{C_m^U + C_m^R}{2} \right)^{-1}, m = \begin{cases} \text{gasolina} \\ \text{álcool} \end{cases} \quad (20)$$

$$Eff_m = c_m^{-1}, m = \begin{cases} \text{gasolina} \\ \text{álcool} \\ \text{elétrico} \end{cases} \quad (21)$$

O consumo energético é determinado a partir da metodologia *bottom-up* paramétrica da demanda energética do setor de transporte apresentada por (Correia, 1996), e utilizada por (MMA, 2005), que relaciona o consumo de combustível, dado pela equação (14), e a frota de veículos conforme apresentada pela equação (22).

$$C_t^v(t) = \sum_{i=1}^k C_c^v(t) \quad (22)$$

Em que $C_t^v(t)$ representa o consumo total da frota por unidade de tempo; $C_c^v(t)$ é consumo anual de combustível, em litros por quilômetro (L/km) para gasolina e etanol e quilowatt-hora por quilômetro (kWh/km) para energia elétrica; e k é o total de veículos.

Assim sendo, fracionando-se a população de veículos por tipo de combustível obtém-se o consumo para um período de um ano, representado pela equação (23).

$$C_m(t) = F_m(t) C_c^v(t) \quad (23)$$

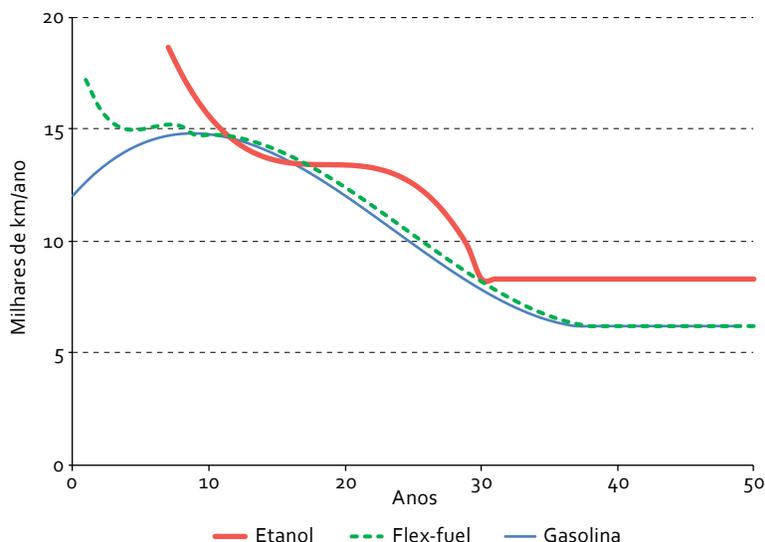
Em que $C_m(t)$ representa o consumo total da frota de veículos por tipo de combustível no ano t ; $F_m(t)$ é a frota de veículos por tipo de combustível no ano t ; $C_c^v(t)$ é o consumo de combustível da frota em L/km no ano t ; m representa os tipos de combustíveis.

A atividade veicular é determinada pelas projeções da frota, da quilometragem média percorrida e do fator médio de ocupação dos veículos de acordo com a equação (24).

$$A(t) = F_m(t) D_i O(t) \quad (24)$$

Em que $A(t)$ representa o efeito atividade no ano (passageiro-quilômetro); D_i é a distância média percorrida pela frota no ano i ; $O(t)$ é o fator de ocupação (passageiro por veículo). Para esse estudo, é utilizada a intensidade de uso anual de acordo com (CETESB, 2017), conforme indica o gráfico 7. Destaca-se que, para esse estudo, a intensidade de uso dos VEs é igual à dos veículos de MCI *flex-fuel*.

Gráfico 7
Intensidade de uso por tipo de veículo
 (Em milhares de km/ano)



Fonte: Elaboração própria com base em CETESB (2017).

As emissões veiculares de gases de efeito estufa são calculadas de acordo com a abordagem descendente de (Eggleston e outros, 2006), representada pela equação (25).

$$E(t) = C_m(t)FE \quad (25)$$

Em que $E(t)$ representa a emissão total de gases de efeito estufa no ano t ; $C_m(t)$ é o consumo total da frota no ano t ; FE é o fator de emissão em quilogramas de dióxido de carbono (CO_2) por litro.

Todavia, como este estudo irá avaliar o impacto da penetração dos VEs no Brasil, e a eletricidade, apesar de localmente livre de emissões (um aspecto positivo para a qualidade do ar local, especialmente nas áreas urbanas), dependendo do tipo de geração elétrica que estiver sendo utilizada, podem ser emitidos gases de efeito estufa em outros locais. Dessa forma, para uma análise mais precisa, os cálculos de emissões devem ser feitos considerando todo o ciclo de vida do combustível. Essa forma de análise deve ser feita não apenas para o consumo de eletricidade, mas para todos os combustíveis, considerando as emissões ao longo da cadeia (produção, distribuição e uso final).

Para determinar as emissões totais dos combustíveis líquidos, será considerado que as emissões veiculares representam 85% das emissões da cadeia. Esse valor é baseado em (IEA, 2004), que afirma que as emissões veiculares representam de 84% a 88% das emissões totais. Com relação às emissões dos VEs, que incluem VEPH e VEB, é considerada apenas a emissão associada à geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil, conforme (MCTIC, 2019).

Quanto às emissões de dióxido de carbono (CO_2) derivadas do álcool hidratado e do álcool anidro será assumido que todo o carbono emitido é reabsorvido durante a fotossíntese no cultivo da biomassa (cana-de-açúcar). No entanto, de acordo com (Macedo, Leal e Silva, 2004), existe uma baixa emissão de CO_2 na fase de produção do álcool, próximo de 10% de emissão que o mesmo volume de gasolina emitiria, já que são utilizados de 8 a 10% de energia fóssil para produzir álcool. Entretanto, para simplificação do modelo, esse valor foi desconsiderado. A implicação metodológica é que a análise se torna conservadora em termos do impacto da eletrificação da frota, uma vez que pode estar subestimando as emissões do álcool.

Destarte, as principais variáveis-chave de simulação são:

- A frota de veículos;
- O desempenho energético médio da frota;
- A quilometragem média anual percorrida pelos veículos;
- O fator de ocupação médio;
- O fator de emissão de gases de efeito estufa da gasolina.

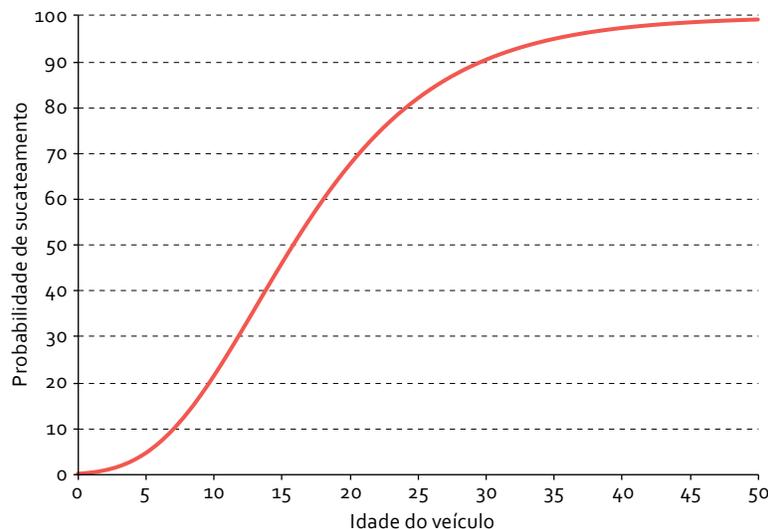
Cabe destacar que o crescimento e perfil da frota nacional de veículos automotores encontram-se sob influência de diversos fatores. Como destaca (Moraes, 2005), além da demografia, do PIB e do poder aquisitivo, outros fatores como a infraestrutura disponível, a cultura, o estilo de vida, incentivos e políticas adotadas e o grau de industrialização determinam o seu crescimento, que por sua vez é crucial para o desenvolvimento do país. Por esse lado, verifica-se que a forma como a frota evolui repercutirá preponderantemente na qualidade de vida da população, na dinâmica e competitividade do comércio, no consumo de combustíveis, no impacto ambiental, etc.

Neste trabalho, opta-se por estimar a evolução da frota de veículos, dividida por categorias, a partir de metodologia estatística, que segue como base a projeção das vendas de veículos e a probabilidade de sucateamento dos veículos por idade, conforme a equação (26). A probabilidade de sucateamento de um veículo, que determina seu período de sobrevivência, é função de fatores como os preços dos veículos no mercado secundário, o valor da sucata, o custo de manutenção e a probabilidade de necessidade de reparo (sendo essa função da taxa de utilização do veículo, da probabilidade de acidentes, etc.) (Correia., 1996).

$$F_t = \sum_{x=1957}^t Z(x) - [1 - Y(x)] \quad (26)$$

Em que F_t representa a frota no ano dos veículos; $Z(x)$ é a venda acumulada dos veículos, desde o ano de 1957 que foi o primeiro ano de registro de venda de veículos no Brasil, até o ano t ; $Y(x)$ é a função distribuição acumulada, ou seja, é o percentual de veículos vendidos no ano x que foram sucateados. Os parâmetros utilizados seguem como base o estudo de (MMA, 2014), conforme apresentado no gráfico 8. Estima-se que este perfil de sucateamento não sofrerá alteração ao longo do horizonte de análise.

Gráfico 8
Curva de probabilidade de sucateamento de veículos leves segundo a idade do veículo
(Em porcentagem)



Fonte: Elaboração própria com base em MMA (2014).

Para fins de projeção das vendas de veículos, conforme apresentado na seção C.1, além da elasticidade renda da demanda, que tem o Produto Interno Bruto utilizado como *proxy*, é analisado o impacto do envelhecimento populacional e economia compartilhada na venda de veículos. Cumpre destacar que estas variáveis, em especial a economia compartilhada, podem também afetar outros parâmetros do modelo de simulação, como a distância média percorrida e o fator de ocupação dos veículos. Entretanto, a falta de dados abertos ao público torna a compreensão desses possíveis impactos mais difícil de ser analisada, não sendo considerada neste estudo.

À guisa de exemplificação, alguns estudos analisaram aspectos pontuais e identificaram que a economia compartilhada pode tanto aumentar como diminuir a distância percorrida dos veículos. Por um lado, a economia compartilhada podem ajudar a reduzir o tempo de procura por vagas de estacionamento (Anderson, 2014). Por outro lado, os motoristas de aplicativos devem dirigir até o local de encontro com os passageiros (Clewlow e Mishra, 2017; Schaller, 2017). Entretanto, verifica-se que, em geral, os estudos indicam que a distância percorrida aumenta²⁰ e, caso esses serviços continuem a crescer em disponibilidade e popularidade, as mudanças nos padrões de viagens podem ser substanciais (Alemi e outros, 2018).

F. Limitações do estudo

O setor automotivo se encontra em um período de transição, de maneira que a construção de cenários de longo prazo para a demanda de automóveis torna-se uma tarefa complexa, estando as premissas de entrada dos modelos de projeção sujeitas a diversas incertezas, fazendo com que as suposições consideradas no trabalho possam se alterar ao longo dos anos.

Essa transição compreende, fundamentalmente, um novo modelo econômico de uso dos veículos com o aumento dos serviços de economia compartilhada como alternativa ao transporte público e ao veículo próprio. De fato, verifica-se atualmente uma mudança da característica central do setor automotivo, que deixando de ser uma indústria de fornecimento de produto para tornar-se uma indústria de serviço e deslocamento. Esse quadro tem se mostrado mais acentuado em especial no perfil mais jovem da população.

Soma-se a isso o fato de que, neste estudo, para considerar a influência da economia compartilhada no setor automotivo, utiliza-se no modelo 1 (apresentado na seção C.1), dados oriundos da PNAD contínua, cuja base de dados é recente. Portanto, embora haja indícios de que a economia compartilhada deva influenciar o setor automotivo nos próximos anos no Brasil, ainda não é possível afirmar quantitativamente como será essa tendência devido ao baixo volume de dados.

Por outro lado, no caso de uma redução acentuada do licenciamento de automóveis, é possível que o governo implemente políticas emergenciais para manter o setor automotivo aquecido, uma vez que esse segmento possui uma participação significativa de 22% do PIB industrial (ME, 2019b). Estas medidas podem incluir redução de tributos, programas de sucateamento de veículos, etc. Todavia, estas dinâmicas não são consideradas neste trabalho e são áreas para desenvolvimentos futuros.

Ademais, essas alterações no modo de utilização do veículo trazem novos desafios para estudos de longo prazo do setor, uma vez que essa nova dinâmica pode afetar não apenas a venda de novos veículos, como outros parâmetros do setor como, por exemplo, o perfil de sucateamento da frota, devido à maior circulação dos veículos usados para fins de economia compartilhada, ou à distância média percorrida pelos veículos. Contudo, em função dificuldade de interpretação destes impactos, essas alterações são não consideradas neste estudo.

²⁰ Geralmente associado às viagens sem passageiro.

III. Políticas para VEs no Brasil: resultados e discussão

Nessa seção, são apresentados e discutidos os resultados das simulações dos cenários de incentivo a veículos elétricos no Brasil desenvolvidos na seção II. São abordados, no horizonte de análise 2050: projeção das vendas de veículos leves a partir dos diferentes modelos propostos; difusão tecnológica dos VEs no país, considerando-se cenários alternativos de políticas públicas para o setor; consumo energético e emissão de dióxido de carbono (CO₂).

A. Projeções de vendas de veículos

Com relação à projeção das vendas de veículos leves no país, a metodologia se baseou em dois modelos de regressão. Ambos modelos consideram o poder explicativo da atividade econômica (PIB) e da taxa de juros da economia (Selic) sobre as vendas futuras, mas o modelo 1 considera também a influência da economia compartilhada no setor de transportes enquanto o modelo 2 aborda a influência da transição demográfica, ou seja, da tendência de envelhecimento da população brasileira no período. A relação entre as vendas de veículos e essas variáveis, dadas pelos coeficientes angulares dos modelos, foram determinados a partir de séries históricas, com base nos dados de licenciamento de veículos, PIB, taxa de juros, serviços de transporte e idade da população (ver considerações metodológicas na seção II).

As tabelas 6 e 7 revelam os valores dos coeficientes e estatísticas de regressão dos modelos 1 e 2, respectivamente. Observa-se que o R-Quadrado para ambos os modelos está acima de 0,90, indicando que as variações das variáveis explanatórias explicam em mais de 90% a variação da variável dependente. Além disso, para um intervalo de confiança de 95%, o F de significação em ambos os modelos é inferior a 0,05, indicando que as variáveis explanatórias influenciam conjuntamente a variável dependente (rejeita-se a hipótese nula de não-significância conjunta das variáveis independentes). O valor-P para cada coeficiente de cada modelo também é inferior a 0,05, indicando que cada variável explanatória influencia individualmente a variável dependente (rejeita-se a hipótese nula de não-significância individual das variáveis independentes). Em conjunto, esses resultados apontam para a robustez estatística dos modelos testados no presente estudo.

Os valores dos coeficientes angulares $\beta_{1,1}$ e $\beta_{1,2}$ indicam uma correlação positiva entre o “PIB real” e o “licenciamento de automóveis”, enquanto as demais elasticidades indicam uma correlação negativa entre os respectivos regressores e o “licenciamento de automóveis”. Ou seja, esse resultado aponta que o crescimento econômico se relaciona positivamente com as vendas de veículos, enquanto se verifica uma relação inversa entre vendas e as demais variáveis (i.e. juros, economia compartilhada e envelhecimento populacional).

Tabela 6
Modelo 1: estatísticas da regressão, tabela ANOVA e estatísticas dos coeficientes

Estatística de regressão						
R múltiplo	0.954816568		Erro padrão	0.105912569		
R-Quadrado	0.911674678		Observações	76		
R-quadrado ajustado	0.907994456					

ANOVA						
	gl	SQ	MQ	F	F de significação	
Regressão	3	8.336.469.401	2.778.823.134	2.477.227.557	7,49E-33	
Resíduo	72	0.807658001	0.011217472			
Total	75	9.144.127.402				

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores
$\beta_{1,0}$ - intercepto	43.18198546	2.837449936	15.21858938	3.38505E-24	37.52563239	48.83833853
$\beta_{1,1}$ - PIB Real	0.404463614	0.030543778	13.24209511	5.60578E-21	0.343575705	0.465351522
$\beta_{1,2}$ - Taxa de juros (SELIC)	-0.462534271	0.058173459	-7.950950184	1.89315E-11	-0.578500941	-0.346567601
$\beta_{1,3}$ - Ocupação de Transporte, Armazenamento, Correios	-4.216744378	0.350018794	-12.04719418	6.28179E-19	-4.914494092	-3.518994664

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 7
Modelo 2: estatísticas da regressão, tabela ANOVA e estatísticas dos coeficientes

Estatística de regressão						
R múltiplo	0.960621532		Erro padrão	0.099021883		
R-Quadrado	0.922793727		Observações	76		
R-quadrado ajustado	0.919576799					

ANOVA						
	gl	SQ	MQ	F	F de significação	
Regressão	3	8.438.143.403	2.812.714.468	2.868.555.692	5,94E-35	
Resíduo	72	0.705983998	0.009805333			
Total	75	9.144.127.402				

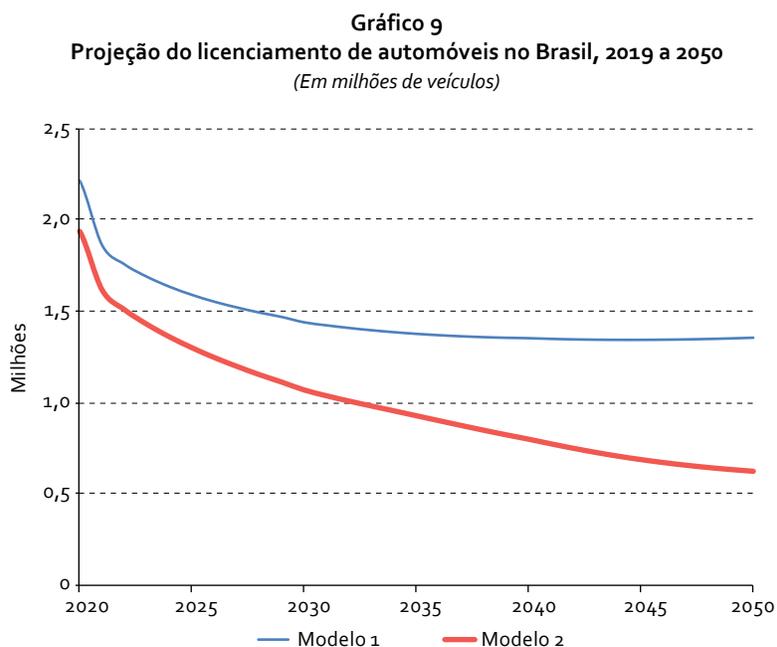
	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores
$\beta_{2,0}$ - intercepto	8.508.673.282	0.428907354	1.983.802.143	6,68E-26	7.653.662.098	9.363.684.466
$\beta_{2,1}$ - PIB Real	0.78847625	0.046083146	1.710.986.153	4,47E-22	0.696611177	0.880341323
$\beta_{2,2}$ - Taxa de juros (SELIC)	-0.448207968	0.054260686	-8.260.270.939	5,01E-07	-0.556374668	-0.340041267
$\beta_{2,3}$ - População com 60 anos ou mais	-2.517.752.295	0.189564149	-1.328.179.568	4,81E-16	-289.564.152	-2.139.863.071

Fonte: Elaboração própria.

A partir da determinação dos coeficientes de regressão dos modelos 1 e 2, é possível projetar o licenciamento de automóveis no horizonte de 2019 a 2050, considerando-se valores previstos das respectivas variáveis explanatórias no período estudado. Dessa forma, a previsão do PIB real é realizada a partir de estimativas das bases de dados de (BCB, 2019b; Itaú, 2019; IPEADATA, 2018; EPE, 2018e). Já para a previsão da taxa de juros (Selic), utilizam-se as projeções das referências (BCB, 2019c, 2019d; IFI, 2019) e assume-se um valor constante de 8% a partir de 2030. Por outro lado, como não há nenhuma projeção disponível da variável "ocupação de transporte, armazenamento e correios", é elaborada uma projeção a partir da série histórica anual da PNAD Contínua (IBGE, 2019d), assumindo-se que a série cresça segundo uma taxa decrescente de decaimento, tal que o valor de 2050 atinja 120% do valor de 2018. Por fim, a projeção anual da "população com 60 anos ou mais" é extraída diretamente da base do IBGE (IBGE, 2018).

O gráfico 9 revela a projeção do licenciamento de automóveis ao longo do período analisado. Observa-se que ambos os modelos de projeção do licenciamento de automóveis no Brasil, detalhados na seção C.1, projetam um decaimento da variável estimada ao longo do tempo, sendo o modelo 2 o mais agressivo. Em ambos os casos, a forte correlação negativa do licenciamento dos automóveis com as variáveis relacionadas ao envelhecimento populacional e ao crescimento do uso compartilhado de veículos indica uma redução no licenciamento dos automóveis nos próximos anos. Destaca-se, também, que esse resultado é influenciado pela baixa expectativa de crescimento do PIB nos próximos anos, inferior a 1%, em 2019. Por fim, para o ano de 2019, as projeções se mostram aderentes aos valores verificados no licenciamento de automóveis no país, que, no final de dezembro de 2019 era de 2,26 milhões de veículos acumulados no ano (ANFAVEA, 2019).

Todavia, conforme discutido na seção F, estes resultados devem ser interpretados com cautela, pois as projeções apresentadas no gráfico 9 são estimativas baseadas em um setor em transição, não sendo possível afirmar que o licenciamento de automóveis deve necessariamente reduzir ao longo do horizonte estudado.



Fonte: Elaboração própria.

Nota: Modelo 1 – Considera os efeitos da economia compartilhada no setor de transportes; Modelo 2 – Considera os efeitos do envelhecimento populacional.

Com relação à difusão dos VEs, algumas premissas são adotadas para determinar as vendas de VEs, independentemente do cenário, tais como:

- O *payback* aceitável para adquirir um VE é de 7 anos, para todo o período estudado;
- Assume-se que distância anual média percorrida para cada veículo é de 14.300 km, de acordo com levantamento realizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para o ano de 2017 (CETESB, 2017). Considera-se que este valor se mantém constante até o fim do período estudado;
- Adota-se os valores fixos de R\$ 3,60 e R\$ 0,57/kWh para o preço do litro etanol e energia elétrica, respectivamente, até 2050; A gasolina tem valor inicial, em 2018, de R\$ 4,32 por litro, com adicional da tributação de carbono ao longo dos anos, no cenário alternativo;
- Segundo relatórios da EPE, espera-se que a participação do VEH nas vendas totais de veículos leves cresça linearmente até 4,2%, em 2030, e cresça exponencialmente até 61%, em 2050 (EPE, 2018a);
- Como a participação dos veículos a gasolina nas vendas totais nos últimos anos se manteve em torno de 4%, considera-se que este valor permanece constante até 2050;
- A participação dos veículos *flex-fuel* nas vendas totais é dada pelo complemento da soma das participações dos veículos a gasolina, elétricos e híbridos;
- A composição da participação dos VEs, em 2018, é de 56% de VEHP e 44% de VEB. Como espera-se que o custo dos VEs reduza com o tempo, e o custo está associado ao preço da bateria, assume-se que o VEB tenha maior participação em 2050 (presumida em 80%);
- OVE usado como base de comparação é o Renault Zoe, com preço de mercado R\$ 134.525,00.

B. Cenário de referência: principais aspectos sobre o ponto de partida

O cenário de referência não considera nenhum tipo de política de incentivo ao uso dos VEs. Entretanto, conforme citado anteriormente, espera-se que o custo de aquisição e manutenção dos VEs se reduza com o passar dos anos, principalmente com a evolução da tecnologia das baterias. Segundo (Lutsey e Nicholas, 2019) o preço do VE e o custo de manutenção em 2030 podem reduzir em até 31% e 27%, respectivamente, em relação a 2020. Neste trabalho, assume-se que entre 2030 e 2050 a redução é linear, tanto para o preço do VE quanto para o custo de manutenção, alcançando 38% e 32%, respectivamente, dos valores de 2020. Dessa forma, o preço do Renault Zoe (VE base adotado nesse estudo) passa de aproximadamente 134 mil reais, em 2020, para aproximadamente 83 mil reais, em 2050, enquanto que o custo operacional passa de R\$ 8.584 por ano, em 2020, para R\$ 7.323 por ano, em 2050. Esse quadro econômico, e na ausência de políticas para acelerar a penetração de VEs no Brasil, o cenário de referência aponta para uma penetração marginal de VEs, que se limitaria a 3,8% da frota de automóveis no país até 2050.

Também se espera que a ausência de políticas públicas para o aumento de infraestrutura de recarga no país se mantenha nos próximos anos. Contudo, presume-se que empresas particulares e distribuidoras de energia elétrica realizem investimentos no setor, dado que a infraestrutura atual foi construída por esses agentes. Nesse sentido, espera-se que a infraestrutura de recarga atinja a marca de 45 carregadores/1.000.000 habitantes. Esse investimento reduzido em infraestrutura de recarga limita a difusão dos VEs no país. Ademais, o investimento em carregadores públicos é uma estratégia importante para aumentar a vendas dos VEs, especialmente em países onde o custo de aquisição do VE ainda é caro, como o Brasil. Uma infraestrutura de recarga capaz de atender a demanda de recarga dos VEs pode evitar a necessidade de instalar carregadores residenciais. Dessa forma, o custo total de propriedade acaba sendo reduzido, o que pode impulsionar as vendas.

Destaca-se que este trabalho realiza estimativas de projeções apenas dos VEs (VEHP e VEB). As estimativas de vendas dos VEH são baseadas em estudos da EPE, que prevê que as vendas de VEH representarão 61% das vendas totais de veículos leves, em 2050.

Com relação aos veículos convencionais, projeta-se um aumento de eficiência no modo gasolina de 1% ao ano. A eficiência média sobe de 13 km/L, em 2020, para 17km/L, em 2050. O aumento de eficiência dos veículos de MCI reduz o custo de operação desta tecnologia, tornando mais uma barreira para a entrada dos VEs, ainda que os VEs apresentem eficiência energética significativamente superior aos veículos de MCI.

C. Cenários alternativos: resultados e discussão

O cenário alternativo 1 abrange políticas voltadas ao incentivo fiscal do governo, com políticas de incentivo por meio de subsídios e reduções de tributos sobre VEs, além de um tributo sobre carbono. São incluídos os seguintes instrumentos de políticas nesse cenário: redução do IPVA, do IPI e do custo incremental e aplicação de um tributo sobre emissão de carbono, para o período entre 2025 e 2050 (ver seção II para mais detalhes). Os parâmetros aplicados para cada instrumento de política variam linearmente ao longo do período estudado e são exibidos na tabela 4. É utilizada a premissa de elevar políticas estaduais existentes para nível federal, conforme feito pela Noruega. Nesse sentido, adota-se a isenção do IPVA, que já existe em alguns estados, para todo o país. De forma semelhante, entende-se que é possível expandir a Lei 13.755/2018, exclusiva para taxistas e deficientes, para toda a população brasileira com o intuito de isentar todos os VEs do IPI. Já o custo incremental segue o modelo japonês, com redução de até 50% com limite máximo de desconto de 10.000 reais. Por fim, o tributo sobre carbono segue o modelo canadense (Harrison, 2019). Ademais, assume-se que, a partir de políticas específicas para melhorias de infraestrutura, o país consiga atingir a marca de 150 carregadores para cada 1.000.000 de habitantes.

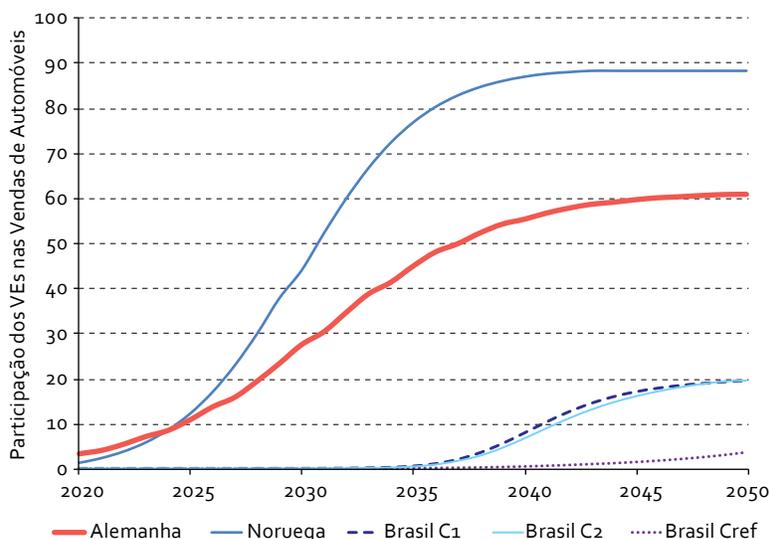
Já o cenário alternativo 2 simula instrumentos de políticas de obrigatoriedade de comercialização dos VEs no país e políticas voltadas para o aumento do preço final dos veículos a MCI. Esse conjunto de instrumentos isenta o governo dos subsídios fiscais para a difusão dos VEs. Por outro lado, esse custo cai sobre as montadoras —por conta do instrumento de mandato obrigatório— e, de forma mais agressiva que no cenário alternativo 1, aos consumidores —por conta da elevação dos preços dos veículos a MCI. Em sintonia com o modelo americano, é considerado o mandato de Veículos com Emissão Zero (VEZ), que se refere a uma obrigatoriedade de vendas de VEs pelas montadoras de 4,5%, em 2025, com aumento linear até 20% em 2050. Já a política de aumento do preço do veículo de MCI é baseada no modelo Norueguês. Adota-se como eficiência referência o valor de 14 km/L e 17 km/L para 2025 e 2050, respectivamente. Para cada 1 km/L não atingido na eficiência de referência, o aumento no preço do MCI é de 5% para 2025 e 15% para 2050. Por fim, similar ao cenário alternativo 1, assume-se que o país consiga atingir a marca de 150 carregadores para cada 1.000.000 de habitantes.

O gráfico 10 apresenta a curva de difusão de VEs nos cenários 1 e 2 que resulta deste trabalho. Para fins de comparação, são apresentadas as difusões esperadas para Noruega e Alemanha até 2050, segundo relatório da New Climate Institute (Casas e outros, 2018). Atualmente, a Noruega tem a maior participação nas vendas de VEs, com 45% das vendas de veículos leves (Carley e outros, 2019). O elevado crescimento na participação dos últimos anos se dá por conta de políticas implementadas, principalmente, por meio de incentivos relacionados a redução de impostos de compra, tributação de carbono, acesso a faixa de ônibus e redução de pedágios. A expectativa é que, em 2025, 100% das vendas de veículos leves sejam de emissão zero (Governo da Noruega, 2019). Já o governo alemão tem como meta atingir 1 milhão de VEs em 2020, através de três principais medidas financeiras: subsídios para compra de VEs, expansão da infraestrutura de recarga e compra de VEs para autoridades públicas (Governo Alemão, 2019).

No Brasil, segundo as simulações realizadas, as participações dos VEs nas vendas alcançam, aproximadamente, 20% em 2050, nos dois cenários alternativos. A maior barreira para a difusão de VEs no Brasil permanece sendo o elevado preço dos VEs. Mesmo considerando-se uma redução gradativa do preço em até 38% em 2050, o valor de aquisição do VE (aproximadamente R\$ 83.000,00) ainda se mantém inacessível para a maioria da população ao longo de todo horizonte estudado. Essa redução de preço deve tornar os VEs competitivos entre os carros de luxo apenas, mas não entre os populares.

O gráfico 11 apresenta a evolução da difusão segmentada pelas tecnologias de VEHP, VEB e VEH nos cenários alternativos 1 e 2. Destaca-se que a difusão dos VEHPs e VEBs são calculados nesse estudo, enquanto que a participação dos VEHs, são baseadas nas previsões da EPE (EPE, 2018a), que estimam crescimento exponencial da tecnologia a partir de 2030. Esse crescimento ocorre, pois há maior adesão dos usuários a esta tecnologia, devido a uma série de fatores socioeconômicos e tecnológicos.

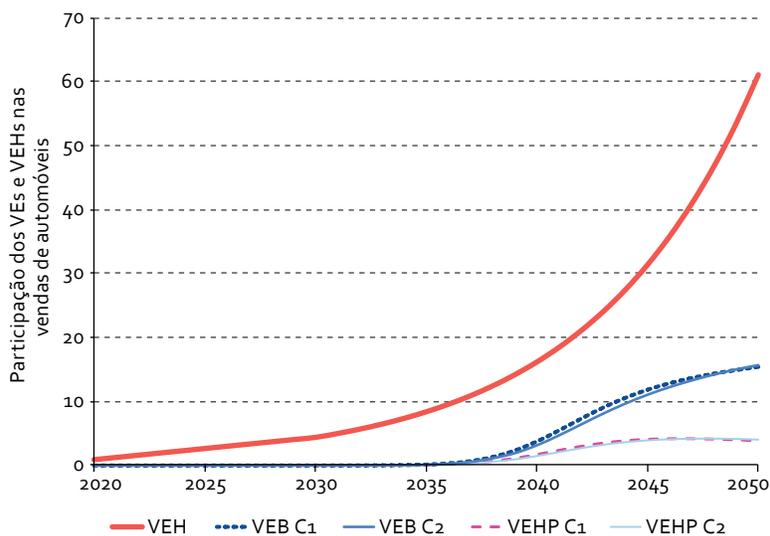
Gráfico 10
Participação dos VEs nas vendas de automóveis nos cenários de referência, 1 e 2 no Brasil, na Noruega e na Alemanha, 2020 a 2050
(Em porcentagem)



Fonte: Elaboração própria com base em Casas e outros (2018).

Nota: Cref – cenário de referência; C1 – Cenário 1; C2 – Cenário 2.

Gráfico 11
Participação dos VEHP, VEB e VEH nas vendas de automóveis no Brasil nos cenários 1 e 2
(Em porcentagem)



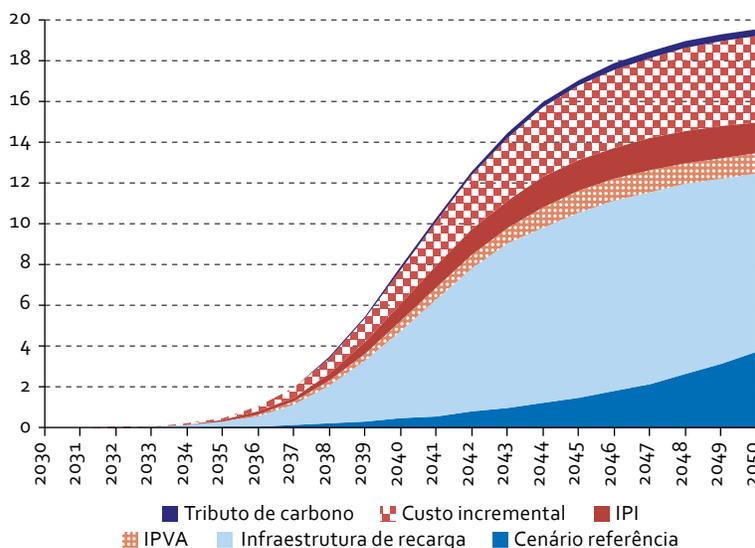
Fonte: Elaboração própria.

Nota: VEHP – Veículo elétrico híbrido plug-in; VEB – Veículo elétrico a bateria; VEH – veículo elétrico híbrido; C1 – Cenário 1; C2 – Cenário 2.

O gráfico 12 apresenta o efeito isolado de cada política na difusão do cenário 1, considerando o modelo 1. É importante ressaltar que as políticas são correlacionadas, então a representação é uma aproximação do efeito individual de cada política. Nesse cenário, as políticas para estimular o mercado de VEs recaem sobre o governo —por intermédio de subsídios— e, indiretamente, sobre a população em geral —que arcaria com ônus do tributo sobre carbono. Observa-se que a infraestrutura de recarga tem uma participação elevada em relação às outras políticas. De fato, um dos entraves para a difusão dos VEs é a existência de locais de recarga. Ademais, as políticas voltadas para a redução do custo de aquisição dos VEs, tais como redução do custo incremental e do IPI (porém com impacto reduzido) tem maior impacto na difusão em relação às políticas voltadas aos custos operacionais, tais como política de redução de IPVA e tributação de carbono. Isso acontece, pois o preço de aquisição do VE no Brasil é elevado, mas o custo de operação é relativamente baixo. Então, as políticas voltadas para esse meio tendem a ter maior impacto. Destaca-se que o tributo de carbono tem contribuição reduzida, porém, esta política serve como ferramenta de ajuste fiscal do governo. Esse resultado se relaciona com a abordagem do *Big Push* para a Sustentabilidade, já que reforça a importância da coordenação de investimentos em áreas complementares para a efetividade de cada investimento isoladamente. Ou seja, acelerar investimentos em VEs requer que sejam promovidos investimentos em infraestrutura de recarga de forma coordenada.

Assim, tendo como base o modelo 1 (focado na influência da economia compartilhada no setor de transportes), as políticas de estímulo ao VE permitem um incremento, em relação ao cenário referência, de cerca de 2,2 milhões de VEs na frota veicular brasileira no período de 2019-2050, sendo a política de infraestrutura de recarga responsável por 1,3 milhão deste total. Já com base no modelo 2 (que enfatiza a transição demográfica rumo a um maior envelhecimento populacional e que resulta em uma maior redução das vendas de veículos leves no Brasil), tem-se uma inserção de VEs na frota veicular no período de 2019-2050, de aproximadamente 1,1 milhão de veículos. Esses resultados indicam que, mesmo em um contexto de tendência de menores vendas de automóveis, poder-se-ia obter vendas crescentes de veículos elétricos desde que sejam promovidas políticas para incentivá-los.

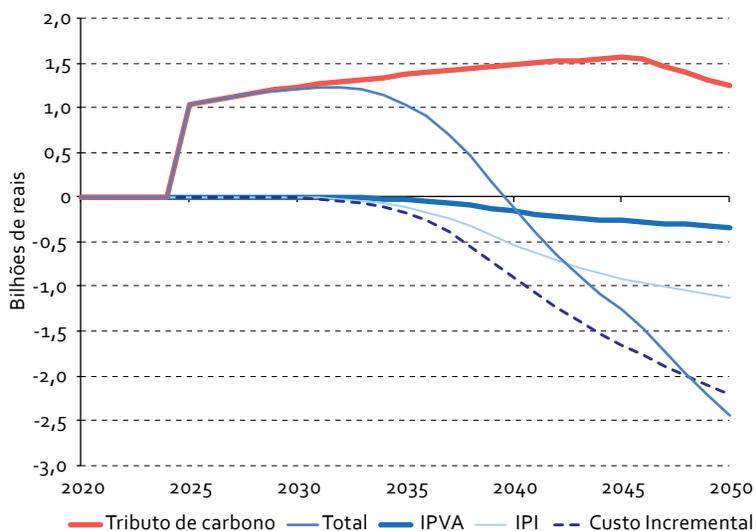
Gráfico 12
Efeito de cada instrumento de política no cenário 1 sobre a participação dos VEs nas vendas de automóveis no Brasil, 2030 a 2050
(Em porcentagem)



Fonte: Elaboração própria.

O gráfico 13 apresenta a contribuição individual de cada política na receita do governo, no cenário 1, tomando como referência o modelo 1 de projeção de licenciamento de veículos. O governo teria um ganho líquido de receita de 14,8 bilhões de reais até 2039 devido à tributação sobre o carbono. A alíquota do tributo sobre carbono necessária para a neutralidade fiscal no período analisado, não considerando taxa de desconto ou inflação, inicia-se em 4 dólares por tonelada de CO₂ (US\$/tCO₂) em 2025 e alcança 12 US\$/tCO₂ em 2050, respectivamente. O tributo provoca o aumento de 1% do preço da gasolina para 2025, que cresce linearmente até um patamar de 3%, em 2050. Essas alíquotas são próximas dos preços já praticados por mecanismos de precificação de carbono mundialmente, que se encontram na média de 2 US\$/tCO₂ (Ramstein e outros, 2019). Diante do preço de carbono apontado como necessário para alcançar os compromissos do Acordo de Paris, de cerca de 75 US\$/tCO₂ (FMI, 2019), as alíquotas simuladas podem ser consideradas muito baixas. Já para os períodos seguintes, há um déficit orçamentário devido à entrada de mais VEs e, em consequência, aumento de subsídios oferecidos pelo governo. Contudo, o déficit é compensando com o superávit dos anos iniciais por construção, devido à suposição de neutralidade fiscal ao longo do período analisado. Há, contudo um valor residual, por questões de arredondamento da alíquota aplicada, que representa um superávit orçamentário total para o governo de 756 milhões de reais no período em que as políticas são aplicadas (2025-2050). Entretanto, um pequeno aumento no tributo de carbono pode ser o suficiente para aumentar ou diminuir a arrecadação do governo, dado que essa política é aplicada a toda frota veicular, enquanto as outras políticas são baseadas nas vendas de veículos novos.

Gráfico 13
Impacto de cada instrumento de política sobre as contas públicas no cenário 1, 2020 a 2050
(Em bilhões de reais)



Fonte: Elaboração própria.

Nota: Considerou-se o Modelo 1.

É importante destacar que para a tributação de carbono apresentar aumento significativo nas vendas de VEs, seria necessário a aplicação de alíquotas significativamente superior à utilizada neste estudo. Para exemplificar, considerando uma alíquota de 15% e 50% em 2025 e 2050, respectivamente, a difusão aumentaria em 5%, em 2050, adicionando 373 mil VEs na frota veicular, em relação aos valores das alíquotas do cenário 1. Ou seja, seria necessário aumentar o preço da gasolina em 50% para obter um aumento de 5% das vendas de VEs no país.

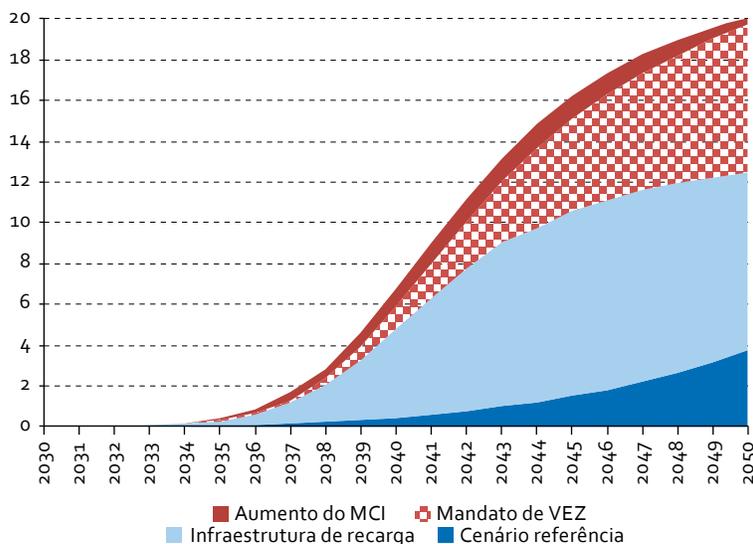
Ressalta-se que as políticas adotadas pelo governo no cenário 1 são regressivas do ponto de vista distributivo e podem tornar-se impopulares perante a opinião pública, uma vez que o elevado preço dos VEs deve mantê-los inacessíveis para a maioria da população ao longo do horizonte 2050. Ou seja, nessa situação, a população como um todo pagaria, por intermédio do tributo sobre carbono, o subsídio para os veículos serem adquiridos por uma parcela reduzida e de maior poder aquisitivo da população. Com isso, é possível que essa impopularidade freie a atuação governamental, impactando os subsídios públicos destinados ao fomento de VEs. Essa consideração reforça a importância de se coordenar políticas de incentivo aos VEs com políticas de incentivo ao transporte coletivo sustentável, como a eletrificação dos ônibus, que apresenta potencial de inclusão social muito maior.

Destaca-se que a contribuição das políticas tendo como base o modelo 2 de projeção de licenciamento de veículos novos apresenta comportamento similar, variando apenas a magnitude do impacto sobre as receitas. No modelo 2, o governo arrecada aproximadamente 9 bilhões de reais ao final do período estudado. Isso acontece, pois as vendas deste modelo são menores, logo os subsídios também são menores. Contudo, como o tributo de carbono é aplicado em toda a frota, os ganhos desta política são similares ao do modelo 1 e assim, mais uma vez, indicando que o tributo pode ser aplicado como uma forma de ajuste orçamentário.

O gráfico 14 apresenta o impacto individual de cada política na difusão de VEs no cenário 2. Assim como no cenário 1, as políticas também são correlacionadas. Logo, os efeitos individuais de cada política são estimativas aproximadas. Nesse cenário, a pressão para desenvolver o mercado de VEs se estabelece em torno das montadoras e dos consumidores que pretendem comprar veículos novos. Similarmente ao cenário 1, a política de infraestrutura de recarga tem maior impacto na difusão, enquanto a política de mandato de VEZ tem contribuição significativa. Tal comportamento é esperado, dado que a política obriga as montadoras a comercializarem uma parcela pré-estabelecida de VEs. Por outro lado, a política de aumento do preço dos veículos de MCI apresenta impacto reduzido, mas é justificada pela eficiência de referência adotada para aplicação da política de aumento de preço. Ou seja, como a política proposta considera uma eficiência de referência para haver tributação dos veículos oscilando de 14 a 17 km/L ao longo dos anos, e são considerados ganhos de eficiência dos veículos a MCI no país, a política apresenta maior impacto sobre veículos considerados “de luxo”, que geralmente possuem baixa eficiência de consumo energético. Porém, esses veículos representam uma parcela pequena das vendas, o que justifica o impacto reduzido na difusão considerando esta política. Nesse sentido, ao contrário dos instrumentos de políticas simulados no cenário 1, o cenário 2 seria menos regressivo, já que o ônus recairia majoritariamente para veículos de luxo consumidos por parcelas de renda mais elevada da população.

Assim, com base no modelo 1 de projeção do licenciamento de veículos novos, as políticas de infraestrutura de recarga, mandato de VEZ e aumento do MCI adicionam, em relação ao cenário referência, cerca de 1,2 milhões, 660 mil e 154 mil VEs na frota veicular no período de 2019 a 2050, respectivamente, totalizando 2,1 milhões de VEs. Já o modelo 2 de licenciamento de veículos novos, as políticas consideradas adicionam aproximadamente 1,1 milhão de VEs novos na frota veicular no período de 2019-2050. Novamente, ressalta-se que, com a introdução de políticas de incentivos, os VEs podem ter suas vendas aumentadas apesar de uma tendência geral de redução das vendas totais de automóveis no país nas próximas décadas.

Gráfico 14
Efeito de cada instrumento de política no cenário 2 sobre a participação dos VEs nas vendas de automóveis no Brasil, 2030 a 2050
 (Em porcentagem)

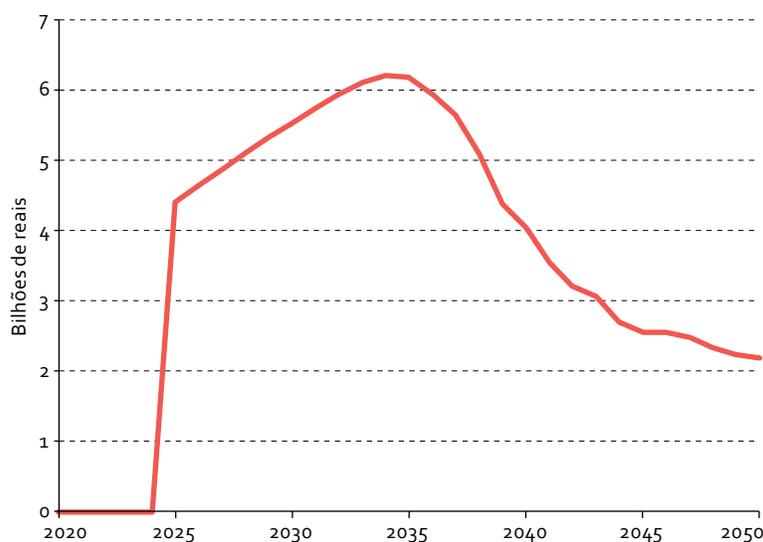


Fonte: Elaboração própria.

O gráfico 15 apresenta a receita do governo no cenário 2, com base no modelo 1 de licenciamento de veículos novos que enfatiza a influência da economia compartilhada no setor de transportes. É importante destacar que o modelo contabiliza apenas as alterações de arrecadação ou subsídios fornecidos pelo governo com as políticas consideradas. Em relação à política de mandato de VEZ, a arrecadação do governo não é estimada, pois trata-se de uma obrigação da montadora, que deve assegurar que parte das vendas totais sejam de VEs. Isso pode ocasionar uma variação no preço do VE e por consequência, impactar na arrecadação de tributos, tornando o modelo complexo para prever a quantia arrecadada pelo governo, derivada das vendas. Cumpre enfatizar que a aplicação prática de políticas como o mandato de VEZ pode acarretar, por um lado, desestímulos e perdas econômicas para as montadoras. Por outro lado, regulações bem desenhadas podem induzir inovação e desenvolvimento tecnológico que levam a ganhos competitivos, argumento conhecido como Hipótese de Porter (Porter e Linde, 1995). Já a política de aumento do preço do veículo a MCI traz ganhos crescentes ao governo até 2034, já que representa um tributo que gera receitas adicionais ao governo, depois o ganho reduz-se até 2050. Isso acontece, pois o peso desta política cai sobre os consumidores de veículos com baixa eficiência, geralmente mais caros e com menor escala de vendas. Logo, o mercado destes veículos tende a migrar para os VEs e assim a política perde a eficiência arrecadatória ao longo dos anos, mas se reafirma enquanto política efetiva na indução de VEs. Por fim, os ganhos de receita com as políticas do cenário 2 apresentam o mesmo comportamento quando utilizados os parâmetros do modelo 2 de licenciamento de veículos novos. O governo arrecada, aproximadamente, 112 e 74 bilhões de reais, nos modelos 1 e 2, respectivamente, nesse cenário. Com o intuito de promover uma mobilidade sustentável, parte da receita arrecadada poderia ser investida em outros modais de transporte, com ênfase no transporte público.

A projeção das emissões totais de dióxido de carbono (CO_2) pelos veículos leves nos cenários considerados para o período de 2020 a 2050 é apresentada na tabela 8. Essas projeções incluem toda a cadeia de produção do combustível e não apenas o consumo final, o que torna sua comparabilidade mais robusta, já que as emissões do consumo final de eletricidade são insignificantes mas as emissões da geração da eletricidade são relevantes. É importante destacar que as emissões de CO_2 derivadas do álcool hidratado e do álcool anidro não foram contabilizadas, pois assumiu-se que todo o carbono emitido é reabsorvido durante a fotossíntese no cultivo da biomassa (cana-de-açúcar). Entretanto, destaca-se que tal suposição pode ser considerada otimista, pois é assumido que não há queima da palha da cana-de-açúcar nos canaviais e que não há plantação de cana-de-açúcar em áreas desmatadas. Essas considerações podem subestimar o potencial de mitigação dos VEs.

Gráfico 15
Impacto de cada instrumento de política sobre as contas públicas no cenário 1, 2020 a 2050
(Em bilhões de reais)



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 8
Emissão de CO₂ dos veículos leves em cada cenário, por tipo de veículo e combustível, 2020, 2030 e 2050
(Em mil toneladas de CO₂)

Tipo de veículo	Tipo de combustível	2020		2030		2050		
		Cref	Cref	C1	C2	Cref	C1	C2
Gasolina	Gasolina	79 919	61 553	61 552	61 552	32 579	29 531	29 735
	<i>Flex-fuel</i>	56 224	52 945	52 994	52 994	29 455	26 407	26 661
VEH		93	746	746	746	9 498	9 498	9 498
VEPH		10	15	15	15	31	259	241
VEs	Eletricidade	10	16	16	16	85	755	710
Total		136 256	115 275	115 323	115 323	71 648	66 450	66 845

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Cref – Cenário de referência; C1 – Cenário 1; C2 – Cenário 2.

Como a penetração dos VEs em 2030 é marginal, a redução na emissão de CO₂ é praticamente nula nesse horizonte. Já em 2050, a redução é de aproximadamente 7%, em relação ao cenário referência. A redução acumulada de CO₂ em 2050 é de aproximadamente 6,5 mega-toneladas de CO₂ em comparação com o cenário referência. Destaca-se que, mesmo com o uso de políticas mais agressivas de estímulo aos VEs no país, a redução das emissões é baixa, quando comparada com padrões internacionais, devido à expectativa de aumento do uso de etanol no país no setor transportes. Cumpre mencionar que as estimativas de uso de etanol pelos veículos *flex-fuel*, que representam a principal parcela da venda de veículos leves no país, seguem as premissas dos estudos da (EPE, 2018d), que consideram um aumento do uso do etanol nos próximos anos, oscilando entre patamares de 40% e 50% ao longo do horizonte de análise. Esse quadro, somado à redução das vendas de veículos leves considerando o modelo de regressão linear adotado, estabelecem uma tendência de redução das emissões de CO₂ no cenário referência de quase 38%, em 2050 comparativamente com 2020.

Por fim, a tabela 9 apresenta o impacto, em cada cenário, sobre o consumo energético (em kilo-toneladas-equivalentes de petróleo – ktep) de acordo com os tipos de veículos e combustível. A redução do consumo de energia é similar em ambos os cenários alternativos, porque ambos cenários 1 e 2 levam a um aumento similar de VEs na frota de automóveis. Em 2030, tendo em vista que a penetração de VEs é baixa, não há impacto na redução do consumo em relação ao cenário referência. Em 2050, a redução do consumo de energia é de aproximadamente 5% nos cenários alternativos em relação ao cenário referência. Em 2050, os veículos *flex-fuel* representam cerca de 65% da frota total de veículos e consomem aproximadamente 72% da energia. Por outro lado, os VEs, que representam cerca de 8% da frota (nos cenários alternativos 1 e 2), consomem por volta de 2,9% da energia produzida para a locomoção, cerca de 3,2 vezes a menos que os *flex-fuel*. Isso resulta em uma redução do consumo de combustíveis líquidos para o país.

Tabela 9
Consumo energético dos veículos leves em cada cenário, por tipo de veículo e combustível
(Em ktep)

Tipo de veículo	Tipo de combustível	2020	2030		2050			
		Cref	Cref	C1	C2	Cref	C1	C2
Gasolina	Gasolina	5 501	1 998	1 998	1 998	725	725	725
<i>Flex-fuel</i>		24 607	22 585	22 584	22 585	12 832	11 502	11 591
VEH		50	367	367	367	4 148	4 148	4 148
VEPH		6	10	10	10	22	185	173
VEs	Eletricidade	2	4	4	4	34	305	288
Total		30 166	24 964	24 963	24 964	17 761	16 865	16 925

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Cref – Cenário referência; C1 – Cenário 1; C2 – Cenário 2.

Entretanto, é importante destacar que a migração do uso de combustíveis líquidos para a energia elétrica deve ser vista com cautela. Como os VEs irão se integrar a uma rede elétrica existente, os agentes do setor elétrico devem realizar um planejamento adequado para atender a nova carga, tal como aumento da geração ou técnicas de recarga inteligente para evitar o aumento do consumo em horário de pico.

IV. Conclusões

Fruto do projeto *Big Push* para a Mobilidade Sustentável no Brasil, o presente estudo parte do levantamento e discussão das principais políticas públicas adotadas em diversos países para o fomento aos VEs leves e do quadro de políticas relevantes no Brasil, para construção de cenários de diferentes conjuntos de instrumentos de políticas de incentivo a VEs, baseados nas melhores práticas internacionais e nas especificidades do contexto nacional. Para tal, são desenvolvidos cenários de longo prazo (até 2050) para o licenciamento de novos veículos no país, considerando o impacto de diferentes instrumentos de políticas públicas para estimular os VEs no país, e são identificados os impactos associados, em termos de emissão de gases de efeito estufa e consumo energético. Destaca-se que outros benefícios associados à eletrificação dos veículos leves no país não são analisados, tais como o impacto na qualidade do ar nas cidades e outros impactos discutidos na apresentação.

O presente estudo representa uma contribuição pontual em um contexto mais amplo para o setor de transporte e a área de mobilidade nacional, que, na busca de maior eficiência da frota e redução das emissões de gases de efeito estufa, deve considerar as políticas para promover a eletrificação dos veículos leves como parte de uma abordagem integrada, que também inclua políticas voltadas para todos os diferentes modais e formas de transporte, em especial o transporte coletivo (não analisado neste trabalho), em linha com a abordagem do *Big Push* para a Sustentabilidade.

Cumpre destacar que o setor automotivo passa por significativas mudanças e, nos próximos anos, deve ocorrer uma transformação radical na forma de utilização dos veículos, o que impõe significativa dificuldade na construção de cenários de longo prazo para o setor. Dessa forma, os resultados apresentados neste trabalho devem ser vistos como indicações de possíveis caminhos para o setor, não devendo ser interpretado como um futuro engessado.

Neste trabalho, são elaborados, além do cenário de referência, dois cenários alternativos para verificar o impacto das políticas na penetração de VEs no horizonte temporal até 2050. O cenário 1 engloba subsídios fornecidos pelo governo, sendo eles: redução no IPVA e IPI do VE; subsídio no custo incremental do VE; e aplicação de tributo de carbono aos combustíveis fósseis. Já o cenário 2 é caracterizado por políticas financiadas pela indústria automotiva, tal como o mandato de VEZ, além de políticas voltadas para desestimular a compra de novos veículos de MCI, com uma tributação proporcional à emissão dos veículos de MCI. Em ambos os cenários são previstas políticas para o aumento da infraestrutura de recarga.

A projeção de VEs no Brasil no horizonte 2050 é realizada em duas etapas. Primeiramente, estima-se o licenciamento de veículos leves no Brasil através de dois modelos de regressão linear considerando-se indicadores macroeconômicos e sociais. Em particular, o modelo 1 de projeção do licenciamento de veículos novos considera a influência da economia compartilhada no setor de transportes, enquanto o modelo 2 considera a mudança no perfil populacional, com predominância da população idosa. Em seguida, utiliza-se o modelo de difusão de Bass para projetar a parcela de mercado dos VEs, considerando-se as particularidades de cada política dos cenários alternativos.

Os resultados de ambos os modelos de regressão linear apontam para um decréscimo do licenciamento de automóveis ao longo dos anos, sendo o modelo 2 o mais agressivo, ao partir de cerca de 2 milhões de veículos licenciados em 2019 para pouco mais de 615 mil veículos licenciados em 2050. Entretanto, ressalta-se que essas estimativas devam ser interpretadas com cautela, uma vez que se trata de uma perspectiva de longo prazo sobre um setor em transição. Além disso, os modelos não consideram nenhuma política pública para manter o setor automotivo aquecido no caso de uma redução significativa do licenciamento de veículos.

Os resultados dos cenários alternativos propostos indicam uma participação dos VEs em torno de 20% nas vendas de automóveis em 2050, contrastando com os 3,8% previstos para esse mesmo ano no cenário de referência. Ou seja, o conjunto de políticas propostas no trabalho estimulariam o aumento das vendas de VEs no país. Contudo, esse aumento pode ser considerado reduzido, se comparado com outros países pioneiros no desenvolvimento tecnológico dos VEs, como Alemanha, com previsão de participação das vendas em 61%, em 2050, e Noruega, que deve atingir 88%, em 2050. Tal fato se deve ao elevado custo de entrada da tecnologia no país, representando uma importante barreira a ser superada, e ao fato de países como Alemanha e Noruega apresentarem políticas robustas para VEs. Cabe salientar que o modelo permite considerar políticas mais agressivas para elevar a difusão dos VEs, entretanto, as alíquotas das políticas dos cenários alternativos foram calibradas com base em históricos de medidas nacionais e internacionais. Sendo assim, extrapolar tais medidas podem resultar em aumento de gastos públicos e causar um desconforto social e mercadológico.

De fato, os VEs para mobilidade privada devem ser vistos como parte de uma política nacional mais ampla de sustentabilidade do setor transportes, de mobilidade e de planejamento urbano e territorial. Analisados de forma isolada, os VEs não causam transformação estrutural no setor, mesmo com a aplicação de políticas mais agressivas de estímulos à venda desse tipo de veículo.

Destaca-se que cerca de 60% do incremento das vendas de VEs previstas entre 2025 e 2050 no Brasil para ambos os cenários alternativos pode ser atribuído à política voltada expansão da infraestrutura de recarga. Ou seja, o papel desta medida torna-se crucial para a entrada e consolidação de VEs no país. Esse resultado consolida a importância da coordenação de políticas para investimentos sustentáveis, em linha com o *Big Push* para a Sustentabilidade, ao apontar que a principal forma de acelerar investimentos em VEs é acelerar investimentos em infraestrutura de recarga. Em relação a outros instrumentos de políticas de incentivo a VEs simulados, a contribuição das políticas de subsídio nos impostos de compra se destaca em relação à política de redução do custo de operação do VE, conforme se observa no cenário 1. Tal fato é justificado pelo preço elevado do VE, tornando-o um dos maiores entraves na difusão da tecnologia. Também é observado que a política de tributação de carbono tem efeito marginal sobre a indução de VEs no Brasil, porém foi considerada uma alíquota relativamente baixa. Parte desse efeito é justificado pelo aumento do consumo de etanol que, segundo projeções da EPE, podem representar 50% do consumo de combustíveis líquidos nos veículos *flex-fuel*. Contudo, caso houvesse uma participação maior da gasolina no consumo de combustíveis, os ganhos associados a tributação de carbono²¹ seriam mais relevantes. Por fim, no cenário 2, a política de mandato de VEZ contribui com cerca de 30% do incremento das vendas de VEs, enquanto o aumento do custo de veículos a MCI contribui com aproximadamente 7% das novas vendas de VEs. Porém, uma vez que o aumento do preço dos veículos a MCI afeta apenas os veículos

²¹ Nesse caso, além dos ganhos com o aumento das vendas dos VEs, seriam observados impacto mais significativos na redução da emissão de CO₂ e no consumo de energia do país.

com baixa eficiência, esta política tende a perder eficiência arrecadatória e na difusão dos VEs ao longo dos anos, conforme veículos menos eficientes deixam de ser vendidos. Para aumentar a contribuição nas vendas por essa política, é necessário aumentar a eficiência de referência a fim de atingir uma parcela maior de veículos. Contudo, tal medida deve ser tomada com cautela, pois elevar os preços dos veículos, incluindo os populares, sem fornecer algum tipo de incentivo financeiro para a aquisição dos VEs podendo prejudicar a classe com menor poder aquisitivo.

Em termos de arrecadação, a adoção de medidas de incentivo rendeu ao governo uma arrecadação de 0,7 bilhão de reais no cenário 1, considerando o modelo 1 de projeção de licenciamento de veículos novos. Neste cenário, as políticas de redução no IPVA, IPI e de subsídio no custo incremental do VE são fornecidas por meio de recursos públicos, enquanto a aplicação de tributo de carbono aos combustíveis fósseis permite uma receita ao governo, abatendo os gastos de outras políticas de incentivo. Por outro lado, o governo poderia arrecadar próximo de 110 bilhões de reais adicionais no cenário 2. Nesse cenário 2, de maior arrecadação do governo, as medidas de estímulo ao VE são obtidas a partir de obrigatoriedade de comercialização de veículos e aumento de preço dos veículos com MCI mais ineficientes. Ou seja, os gastos financeiros para incentivo da tecnologia ficam a cargo da indústria automotiva e os consumidores com maior poder aquisitivo.

Destaca-se que as políticas adotadas por ambos os cenários alternativos acabam sendo regressivas do ponto de vista distributivo, pois favorecem uma camada minoritária da população que possui maior poder aquisitivo para acessar VEs. Em outras palavras, mesmo aplicando-se no contexto brasileiro as políticas públicas mais efetivas para a difusão de VEs leves no mundo, o elevado preço dos VEs pode continuar mantendo-os inacessíveis para grande parte da população brasileira ao longo do horizonte estudado. Em especial, as medidas adotadas no cenário 1 utilizam recursos públicos para incentivar os VEs que são financiados por um tributo sobre carbono que recai sobre toda a sociedade, podendo levar a opinião pública a pressionar o governo para reduzir ou interromper os subsídios fornecidos. Esse resultado reforça a importância de se considerarem políticas para VEs em um contexto mais amplo de políticas coordenadas para a mobilidade sustentável, que inclua prioritariamente o transporte coletivo sustentável.

Com relação às emissões de CO₂ no setor automotivo, considerando a cadeia de produção dos combustíveis, o impacto com a entrada dos VEs é da ordem de 7%, em relação ao cenário referência. Esse impacto não é significativo, pois a construção do cenário referência neste estudo leva em conta a permanência das vendas dos veículos *flex-fuel* nos próximos anos, e o aumento do uso do etanol, como combustível principal. Ao assumir que, do ponto de vista da cadeia, as emissões do etanol são neutras do ponto de vista de emissões, este estudo pode estar subestimado o potencial de mitigação de VEs. Contudo, outros benefícios associados com a entrada dos VEs devem ser considerados como insumos para decisão pelos agentes envolvidos, tais como a redução das emissões de poluentes locais, melhorando a qualidade de vida da população das cidades, e redução do uso de combustível fóssil, melhorando a segurança energética do país. Ademais, a atual transição do setor automotivo pode ser vista como uma oportunidade de desenvolvimento tecnológico, em especial para o Brasil, que possui indústria e capacidade instalada para produção dos veículos e dos insumos associados. Ou seja, o país poderia buscar o pioneirismo tecnológico, tornando-se, inclusive, possível exportador.

Por fim, em termos de desenvolvimento sustentável, ressalta-se que a mobilidade urbana deve considerar, além de tecnologias mais eficientes e com menor emissão de GEE, a integração dos diferentes modais de transporte, com ênfase no transporte público. Nesse sentido, convém priorizar políticas públicas de caráter democrático, que afetem positivamente a locomoção da maioria da população. Em linha com a abordagem do *Big Push* para a Sustentabilidade, somente um conjunto coordenado e articulado de políticas poderá efetivamente destravar a escala e a combinação de investimentos necessários para se construir um estilo de desenvolvimento mais sustentável no tripé econômico, social e ambiental.

Bibliografia

- ABVE (Associação Brasileira do Veículo Elétrico) (2014), "IPVA - Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores para veículos elétricos" [online], São Paulo, dezembro <http://www.abve.org.br/diversos/15/legislacao> [data de consulta: 28 de dezembro de 2017].
- ACEA (European Automobile Manufacturers' Association) (2019), "Interactive map: Correlation between electric car sales and availability of charging points" [online] <https://www.acea.be/statistics/article/interactive-map-correlation-between-electric-car-sales-and-the-availability> [data de consulta: 12 de julho de 2019].
- _____(2011), "Overview of purchase and tax incentives for electric vehicles in the EU" [online] <https://pt.calameo.com/read/0006753497713167968c3> [data de consulta: 14 de março, 2011].
- ActionAid (2014), *Linha de Base: Campanha Cidades Seguras para Mulheres*, agosto.
- Alemi, Farzad e outros (2018), "What influences travelers to use Uber? Exploring the factors affecting the adoption of on-demand ride services in California", *Travel Behaviour and Society*, vol. 13, outubro.
- Anderson, Donald (2014), "Not just a taxi? For-profit ridesharing, driver strategies, and VMT", *Transportation*, vol. 41, N° 5, setembro.
- ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) (2019), "Audiência 029/2017", *Agência Nacional de Energia Elétrica* [online] <https://www.aneel.gov.br/audiencias-publicas> [data de consulta: 28 de agosto de 2019].
- _____(2017), *Nota Técnica N° 0056/2017-SRD/ANEEL*, 24 de maio.
- ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores) (2019), "Séries mensais, a partir de janeiro/1957, de autoveículos por segmento (automóveis, comerciais leves, caminhões, ônibus, total) de produção; licenciamento de nacionais, importados e total; exportações em unidades" [online] Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores http://www.anfavea.com.br/docs/SeriesTemporais_Autoveiculos.xlsm [data de consulta: 21 de outubro de 2019].
- ANTP (Associação Nacional de Transportes Públicos) (2020), "Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Público - Simob/ANTP", *Relatório geral 2017*, janeiro.
- Axsen, Jonn, Goldberg, Suzanne e Melton, Noel (2016), *Canada's Electric Vehicle Policy Report Card*, Simon Fraser University, novembro.
- Barczak, Rafael e Fábio Duarte (2012), "Impactos ambientais da mobilidade urbana: cinco categorias de medidas mitigadoras", *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, vol. 4, N° 1, junho.
- Bass, Frank (1969), "A New Product Growth for Model Consumer Durables", *Management Science*, vol. 15, N° 5, janeiro.
- BCB (Banco Central do Brasil) (2019a), "SGS-Sistema Gerenciador de Séries Temporais - v2.1, Código 4390, Taxa de Juros-Selic acumulada no mês" [online] <https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizarseries/localizarSeries.do?method=prepararTelaLocalizarSeries> [data de consulta: 28 de agosto de 2019].

- ____ (2019b), "SGS-Sistema Gerenciador de Séries Temporais-v2.1, Código 1208, Produto interno bruto em R\$ do último ano" [online] <https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizarseries/localizarSeries.do?method=prepararTelaLocalizarSeries> [data de consulta: 28 de agosto de 2019].
- ____ (2019c), "Histórico das taxas de juros fixadas pelo Copom e evolução da taxa Selic" [online] <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros> [data de consulta: 28 de agosto de 2019].
- ____ (2019d), "Focus-Relatório de Mercado-Expectativas de Mercado-11/10/2019" [online] <https://www.bcb.gov.br/content/focus/focus/R20191011.pdf> [data de consulta: 28 de agosto de 2019].
- Benvenuti, Livia, Arthur Ribeiro e Maurício Uriona (2017), "Long term diffusion dynamics of alternative fuel vehicles in Brazil", *Journal of Cleaner Production*, vol. 164, outubro.
- Bloomberg (2019), "Gasoline Prices Around the World: The Real Cost of Filling Up" [online] <https://www.bloomberg.com/graphics/gas-prices/#20192:United-States:USD:g> [data de consulta: 23 de agosto de 2019].
- BloombergNEF (2019), *Electric Vehicle Outlook 2019*, março.
- Bose Styczynski, Annika e Llewelyn Hughes (2019), "Public policy strategies for next-generation vehicle technologies: An overview of leading markets", *Environmental Innovation and Societal Transitions*, vol. 31, junho.
- Câmara dos Deputados (2012a), "Projeto de Lei Nº 4751" [online] <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=560671> [data de consulta: 22 de dezembro de 2017].
- ____ (2012b), "Projeto de Lei Nº 3895", [online] <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=545232> [data de consulta: 22 de dezembro de 2017].
- Carley, Sanya e outros (2019), "Overcoming the shortcomings of U.S. plug-in electric vehicle policies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 113, outubro.
- Carros na Web (2019), "Carros na Web" [online] <https://www.carrosnaweb.com.br/> [data de consulta: 3 de abril de 2020].
- Casas, Maria José e outros (2018), *Electric vehicles policy impact quantification tool*, NewClimate Institute, agosto.
- Casas, Marina, Cindy Lara e Carlos Espinosa (2019), "Determinantes de género en las políticas de movilidad urbana en América Latina", *Boletín FAL*, Nº 371.
- Cattaneo, Lia (2018), *Plug-In Electric Vehicles- Evaluating the Effectiveness of State Policies for Increasing Deployment*, Estados Unidos, junho.
- Celesc (Centrais Elétricas de Santa Catarina) (2015), "Eletroposto Celesc" [online] <http://www.eletropostocelesc.com/> [data de consulta: 21 de agosto de 2019].
- CEPAL (Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe) (2018a), *La ineficiencia de la desigualdad (LC/SES.37/3-P)*, Santiago.
- CEPAL/FES (Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe) / (Fundação Friedrich Ebert Stiftung) (2019), "Big Push Ambiental: Investimentos coordenados para um estilo de desenvolvimento sustentável", *Perspectivas*, Nº 20, (LC/BRS/TS.2019/1 e LC/TS.2019/14), São Paulo.
- CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) (2017), *Emissões Veiculares no Estado de São Paulo*, São Paulo, dezembro.
- Clewwell, Regina e Gouri Mishra (2017), "Disruptive Transportation: The Adoption, Utilization, and Impacts of Ride-Hailing in the United States", No. UCD-ITS-RR-17-07, Davis, California, Institute of Transportation Studies, outubro.
- CNT (Confederação Nacional do Transporte) (2019), *Pesquisa CNT de Rodovias 2019*, CNT, Serviço Social do Transporte (SEST) e Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte (SENAT), Brasília.
- Congresso Nacional (2018), "Programa Rota 2030" [online] <https://www.congressonacional.leg.br/materias/medidas-provisorias/-/mpv/133866> [data de consulta: 20 de julho de 2018].
- Consoni, Flávia e outros (2019), *Roadmap tecnológico para veículos elétricos leves no Brasil*, Brasília, Ministério da Economia do Brasil, junho.
- ____ (2018), *Estudo de Governança e Políticas Públicas para Veículos Elétricos*, Brasil, PROMOB-e, fevereiro.
- Correia, E.L. (1996), "Efeitos Técnico-Econômicos Sobre a Demanda de Combustíveis no Brasil", Rio de Janeiro.
- CPFL Energia (2019), "Mapa Eletropostos", [online] <https://www.cpfl.com.br/sites/mobilidade-eletrica/Pages/default.aspx> [data de consulta: 28 de agosto de 2019].
- Daudt, Gabriel e Luiz Daniel Willcox (2018), "Indústria Automotiva", *Visão 2035: Brasil, país desenvolvido: agendas setoriais para alcance da meta*, Fernando Puga e Lavínia Castro (coord.), Rio de Janeiro, BNDES.
- DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito) (2019), "Estatísticas - Frota de Veículos" [online] Ministério da Infraestrutura <https://www.denatran.gov.br/component/content/article/115-portal-denatran/8552-estat%C3%ADsticas-frota-de-ve%C3%ADculos-os-denatran.html> [data de consulta: 28 de agosto de 2019].

- Denholm, Paul, Drury, Easan e Robert Margolis (2009), "The Solar Deployment System (SolarDS) Model: Documentation and Sample Results", *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, [online] Colorado, setembro <https://www.nrel.gov/docs/fy10osti/45832.pdf> [data de consulta: 1 de janeiro de 2019].
- Eggleston, Simon e outros (2006), *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*, Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan.
- Egnér, Filippa e Lina Trosvik (2018), "Electric vehicle adoption in Sweden and the impact of local policy instruments", *Energy Policy*, vol. 121, outubro.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética) (2018a), *Eletromobilidade e Biocombustíveis*, Ministério de Minas e Energia, dezembro.
- _____ (2018b), *Nota Técnica N° EPE-DEA-NT-028/2018, Modelo de Mercado da Micro e Minigeração Distribuída (4MD): Metodologia – Versão PDE 2027*, Ministério de Minas e Energia, novembro.
- _____ (2018c), *Demanda de energia dos veículos leves: 2018-2030*, Rio de Janeiro, outubro.
- _____ (2018d), *Projeções de Oferta e Demanda de Etanol, Gasolina, Biodiesel e Diesel: O Planejamento Energético da Matriz Veicular do Brasil até 2030*, Sindaçucar, Recife, 26 de março.
- _____ (2018e), *Relatório Parcial 2 - Cenários de Demanda para o PNE 2050*, Ministério de Minas e Energia, dezembro.
- _____ (2019), *Balanço Energético Nacional 2019*, Relatório síntese – Ano base 2018, maio, Rio de Janeiro.
- EPL (Empresa de Planejamento Logístico) (2018), *Plano Nacional de Logística 2025*, Relatório Executivo, Brasília, junho.
- Estado do Rio de Janeiro (2019), "Cálculo do ICMS de veículos novos" [online] Secretaria do Estado de Fazenda do Rio de Janeiro www.fazenda.rj.gov.br/sefaz/faces/oracle/webcenter/sitestructure/render.jsp?data_source=UCMServer%23dDocName%3A80959&_afLoop=58841459451246&_afWindowMode=o&_afWindowId=name&_adf.ctrl-state=pg1tclom_105 [data de consulta: 28 de agosto de 2019].
- EVAAP (Electric Vehicle Association of Asia Pacific) (2003), *Incentives for EV & HEV*, JARI, outubro.
- Fajnzylber, Fernando (1988), "Competitividad internacional: evolución y lecciones", *Revista CEPAL*, N° 36.
- Fearnley, Nils e outros (2015), *E-vehicle policies and incentives - assessment and Elbilinsentiver – evaluating og anbefalinger recommendations*, Institute of Transport Economics, Oslo, agosto.
- FEM (Fórum Econômico Mundial) (2019), *The Global Competitiveness Report 2019*, Genebra.
- FENABRAVE (Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores) (2019), FENABRAVE [online] <http://www3.fenabrave.org.br:8082/plus/> [data de consulta: 28 de agosto de 2019].
- Figenbaum, Erik e Marika Kolbenstvedt (2013), *Electromobility in Norway: experiences and opportunities with electric vehicles*, Institute of Transport Economics, Oslo, novembro.
- FMI (Fundo Monetário Internacional) (2019), *Fiscal monitor: how to mitigate climate change*. Washington, outubro.
- Freitas, Elisa (2013), "Território, Poder e Biocombustíveis: As ações do Estado brasileiro no processo de regulação territorial para a produção de recursos energéticos alternativos", tese de doutorado em Geografia Humana, Universidade de São Paulo.
- Governo Alemão (2019), "Regulatory environment and incentives for using electric vehicles and developing a charging infrastructure", [online] Federal Ministry for Economic Affa and Energy <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Artikel/Industry/regulatory-environment-and-incentives-for-using-electric-vehicles.html> [data de consulta: 31 de março de 2020].
- Governo Brasileiro (2018a), *Requisitos obrigatórios para a comercialização de veículos no Brasil*, dezembro.
- _____ (2018b), *Alíquotas do Imposto sobre Produtos Industrializados - IPI incidente sobre veículos equipados com motores híbridos e elétricos*, julho.
- _____ (2002), *Incidência das contribuições para os Programas de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PIS/Pasep) e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (Cofins)*, julho.
- Governo da Noruega (2019), "Norway is electric", *Government.no*, [online] <https://www.regjeringen.no/en/topics/transport-and-communications/veg/faktaartikler-vei-og-ts/norway-is-electric/id2677481/> [data de consulta: 31 de março de 2020].
- Governo do Canadá (2019), "Zero-emission vehicles", *tc.gc.ca*, [online] <https://www.tc.gc.ca/en/services/road/innovative-technologies/zero-emission-vehicles.html> [data de consulta: 22 de agosto de 2019].
- Governo do Reino Unido (2019), "Low-emission vehicles eligible for a plug-in grant", *GOV.UK*, [online] <https://www.gov.uk/plug-in-car-van-grants> [data de consulta: 21 de agosto de 2019].
- Hall, Dale e Nic Lutsey (2017), "Emerging best practices for electric vehicle charging infrastructure", *The International Council on Clean Transportation*, outubro.
- He, Hui e outros (2018), "Assessment of electric car promotion policies in chinese cities", *The International Council on Clean Transportation*, outubro.

- Harrison, Kathryn. (2019), "Here's what the carbon tax means for you", *The Conversation*, [online] <https://theconversation.com/heres-what-the-carbon-tax-means-for-you-114671> [data de consulta: 22 de agosto de 2019].
- IBGE (2019a), "PNAD Contínua: taxa de desocupação é de 11,6% e taxa de subutilização é de 23,9% no trimestre encerrado em dezembro de 2018", *Agência IBGE Notícias* [online] <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/23651-pnad-continua-taxa-de-desocupacao-e-de-11-6-e-taxa-de-subutilizacao-e-de-23-9-no-trimestre-encerrado-em-dezembro-de-2018>.
- _____(2019b), "Sistema de Contas Nacionais Trimestrais-SCNT" [online] <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9300-contas-nacionais-trimestrais.html?=&t=series-historicas> [data de consulta: 22 de agosto de 2019].
- _____(2019c), "Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua-PNAD Contínua, Tabelas Resumo, Tabela 1.1" [online] ftp://ftp.ibge.gov.br/Trabalho_e_Rendimento/Pesquisa_Nacional_por_Amostra_de_Domicilios_continua/Trimestral/Tabelas/2019/2019_2_trimestre/pnadc_201902_tabelas_resumo.zip [data de consulta: 22 de agosto de 2019].
- _____(2019d), "Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua-PNAD Contínua, Retrospectiva 2012-2018", [online] ftp://ftp.ibge.gov.br/Trabalho_e_Rendimento/Pesquisa_Nacional_por_Amostra_de_Domicilios_continua/Principais_destaque_PNAD_continua_2012_2018/PNAD_continua_retrospectiva_2012_2018.xlsx [data de consulta: 22 de agosto de 2019].
- _____(2018), "Projeções da População por sexo e idade (2018)-Projeções 2010-2060", *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*, [online] <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109>.
- _____(2013), "Projeções da População por sexo e idade (2013)-Brasil: 2000-2060 e Unidades da Federação - 2000-2030", [online] ftp://ftp.ibge.gov.br/Projecao_da_Populacao/Projecao_da_Populacao_2013/projecoes_2013_populacao_xls.zip [data de consulta: 22 de agosto de 2019].
- IEA (International Energy Agency) (2019), *Global EV Outlook 2019: Scaling-up the transition to electric mobility*, OCDE, junho.
- _____(2018), "Global EV Outlook", *Technology Report*, maio.
- _____(2004), *Oil Crises and Climate Challenges: 30 Years of Energy Use in IEA Countries*, OCDE, março.
- IFI (Instituição Fiscal Independente) (2019), "RAF - Relatório de Acompanhamento Fiscal-15/05/2019, Nº 28" [online] https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/557346/RAF28_MAI02019.pdf [data de consulta: 22 de agosto de 2019].
- Inovar-Auto (2017), "Sistema de Acompanhamento do Inovar-Auto" [online] http://inovarauto.mdic.gov.br/InovarAuto/public/login.jsp?_adf.ctrl-state=pfmv81bol_19 [data de consulta: 23 de agosto de 2019].
- IPEADATA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) (2019), "Produto Interno Bruto (PIB) real a preços de mercado. Variação percentual em relação ao mesmo período do ano anterior", [online] <http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=38414> [data de consulta: 28 de agosto de 2019].
- _____(2018), "Carta de Conjuntura - Nota Técnica, Cenários macroeconômicos para o período 2020-2031", [online] http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/conjuntura/181129_cc41_nota_tecnica.pdf [data de consulta: 22 de agosto de 2019].
- Itaú (2019), "Análise Econômicas - Projeções - Longo Prazo, Setembro 2019" [online] <https://www.itaubba.com.br/itaubba-pt/analises-economicas/projecoes/longo-prazo-setembro-2019> [data de consulta: 22 de agosto de 2019].
- ITDP (Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento) (2018), *O acesso de mulheres e crianças à cidade*, janeiro.
- Mattos, João Bastos e Eduardo Luiz Correia (1996), "Uma nova estimativa da frota de veículos automotivos no Brasil", *Anais do II Congresso Brasileiro de Energia*, Rio de Janeiro.
- Kastovich, J. C. e outros (1982), "Advanced Electric Heat Pump Market and Business Analysis. ORNL/Sub/79-2471/1", *Prepared under subcontract for Oak Ridge National Laboratory by Westinghouse Electric Corp. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory*. Westinghouse Electric Corp. Oak Ridge, Tennessee.
- JAMA (Japan Automobile Manufacturers Association) (2010), *Fact sheet-japanese government incentives for the purchase of environmentally friendly vehicles*, Tóquio.
- _____(2009), *Japan's measures to withstand impact of global crisis on its automotive industry-JAMA shares at the 4th Indonesia International Automotive Conference*, Tóquio.

- Jin, Ligzhi e Peter Slowik (2017), "Literature review of electric vehicle consumer awareness and outreach activities", *The International Council on Clean Transportation*, 21 de março.
- Lima, George, Gabriel Silva e Genezio Neto (2019), "Mobilidade elétrica: o ônibus elétrico aplicado ao transporte público no Brasil", *Revista dos Transportes Públicos-ANTP*, Ano 41.
- Lutsey, Nic e Michael Nicholas (2019), "Update on electric vehicle costs in the United States through 2030", *The International Council on Clean Transportation*, 2 de abril.
- Macedo, Isaías de Carvalho, Manoel Regis Lima Verde Leal e João Eduardo Azevedo Ramos Silva (2004), *Balanço das Emissões de Gases do Efeito Estufa na Produção e no Uso do Etanol no Brasil*, Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo.
- Massiani, Jérôme e Andreas Gohs (2015), "The choice of Bass model coefficients to forecast diffusion for innovative products: An empirical investigation for new automotive technologies", *Research in Transportation Economics*, vol. 50, agosto.
- McDermott, Ethan G. (2017), "Examining the effects of policy interventions on increasing electric vehicle adoption in California", *Master's Projects and Capstones*, University of San Francisco.
- MCTIC (Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações) (2019), "Método de análise de despacho" [online] https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_despacho.html [data de consulta: 22 de agosto de 2019].
- ME (Ministério da Economia) (2019a), "Rota 2030 - Mobilidade e Logística" [online] <http://www.mdic.gov.br/index.php/competitividade-industrial/setor-automotivo/rota2030> [data de consulta: 22 de agosto de 2019].
- _____(2019b), "Setor Automotivo, Brasil" [online] <http://www.mdic.gov.br/index.php/competitividade-industrial/setor-automotivo> [data de consulta: 28 de novembro de 2019].
- Melton, Noel e outros (2017), *Canada's ZEV Policy Handbook*, Canada, Simon Fraser University, dezembro.
- MMA (Ministério do Meio Ambiente) (2017), "Acordo de Paris" [online] <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris> [data de consulta: 28 de dezembro de 2017].
- _____(2014), *2º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários*, janeiro.
- _____(2005), *Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários*, janeiro.
- Moraes, Natália Gonçalves de (2005), "Avaliação das Tendências da Demanda de Energia no Setor de Transportes no Brasil", dissertação de mestrado, *Programa de Planejamento Energético da Universidade Federal do Rio de Janeiro*, abril.
- Mounce, Richard e John D. Nelson (2019), "On the potential for one-way electric vehicle car-sharing in future mobility systems", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 120, fevereiro.
- Muñoz, Cristina e Gabriel Pérez (2017), "Reflexiones sobre el rol de la logística en la explotación sostenible de los recursos naturales en América Latina y el Caribe", *Boletín FAL*, N° 357, Santiago, Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), maio.
- Mytelka, Lynn K. e Grant Boyle (eds.) (2008), *Making choices about hydrogen: transport issues for developing countries*, Ottawa: Tokyo ; New York, International Development Research Centre ; United Nations University Press.
- NCI (Navigant Consulting Inc.) (2008), "Rooftop Photovoltaics Market Penetration Scenarios", *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, [online] <https://www.nrel.gov/docs/fy08osti/42306.pdf> [data de consulta: 1 de janeiro de 2019].
- NEA (Netherlands Enterprise Agency) (2019), *Statistics Electric Vehicles in the Netherlands*, Netherlands Enterprise Agency, outubro.
- _____(2017), *Vision on the Charging Infrastructure for Electric Transport*, Ministry of Economic Affairs: The Hague, The Netherlands.
- _____(2016), *Electric transport in the Netherlands*, Ministry of Economic Affairs: The Hague, The Netherlands.
- OMS (Organização Mundial da Saúde) (2011), *Health co-benefits of climate change mitigation-Transport sector*, Genebra.
- Pereira, Rafael e outros (2019), "Desigualdades socioespaciais de acesso a oportunidades nas cidades brasileiras", *Texto para Discussão IPEA*, N° 2353, Brasília.
- Plugshare (2019), "Plugshare" [online] <https://www.plugshare.com> [data de consulta: 22 de agosto de 2019].
- Porter, Michael E. e Class van der Linde (1995), "Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship", *Journal of Economic Perspectives*, vol. 9, N° 4, novembro.
- Poullikkas, Andreas (2015), "Sustainable options for electric vehicle technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, janeiro.

- PROMOB-e (2019), "PROMOB-e - Mobilidade Elétrica" [online] <http://www.promobe.com.br/> [data de consulta: 22 de agosto de 2019].
- Qian, Lixian, Jose M. Grisolia e Didier Soopramanien (2019), "The impact of service and government-policy attributes on consumer preferences for electric vehicles in China", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 122, abril.
- R. W. Beck (2009), "Distributed Renewable Energy Operating Impacts and Valuation Study. Prepared for Arizona Public Service", Arizona Public Service, [online] <https://appsrv.pace.edu/VOSCOE/?do=DownloadFile&res=J8PAM033116121012> [data de consulta: 1 de janeiro de 2019].
- Ramstein, Celine e outros (2019), *State and Trends of Carbon Pricing 2019*, The World Bank, junho.
- Renault (2019), "Preço Zoe", [online] <https://www.renault.co.uk/vehicles/new-vehicles/zoe.html> [data de consulta: 1 de janeiro de 2019].
- _____(2018), "Renault Zoe chega ao Brasil com preços a partir de R\$ 149.900", [online] <https://www.renault.com.br/universo-renault/noticias/2018/novembro/renault-zoe-chega-ao-brasil.html> [data de consulta: 22 de agosto de 2019].
- dos Santos, Laura, L. Canha e D. P. Bernardon (2018), "Projection of the diffusion of photovoltaic systems in residential low voltage consumers", *Renewable Energy*, vol. 116, fevereiro.
- Schaller, Bruce (2017), "Empty Seats, Full Streets - Fixing Manhattan's Traffic Problem", Schaller Consulting, 21 de dezembro.
- She, Zen-Yu e outros (2019), "An analysis of the wind power development factors by Generalized Bass Model: A case study of China's eight bases", *Journal of Cleaner Production*, vol. 231, setembro.
- Sigrin e outros (2016), "The Distributed Generation Market Demand Model (DGen): Documentation", *NREL/TP-6A20-65231. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, [online] <http://www.nrel.gov/docs/fy16osti/65231.pdf> [data de consulta: 6 de junho de 2019].
- Steinbacher, Karoline, Minke Goes e Korinna Jörling (2018), "Incentives for Electric Vehicles in Norway", Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), 3 de setembro.
- U.S DOE (United States Department of Energy) (2019a), "Workplace Charging for Plug-In Electric Vehicles", *Alternative Fuels Data Center*, [online] https://afdc.energy.gov/fuels/electricity_charging_workplace.html [data de consulta: 22 de agosto de 2019].
- _____(2019b), "Zero Emission Vehicle (ZEV) Production Requirements", *Alternative Fuels Data Center*, [online] <https://afdc.energy.gov/laws/4249> [data de consulta: 22 de agosto de 2019].
- Uteng, Tanu Priya (2011), "Gender and mobility in the developing world", *Background Paper*, World Bank Development Report 2012: gender equality and development, fevereiro.
- Vaz, Luiz F. H., Daniel C. Barros e Bernardo H. R. Castro (2015), "Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento", *BNDES Setorial*, Nº 41.
- Vasconcelos, Eduardo (2019), "Contribuciones a un gran impulso ambiental para América Latina y el Caribe: movilidad urbana sostenible", *Documentos de Proyectos*, (LC/TS.2019/2), Santiago, Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL).
- Wang, Ning, Linhao Tang e Huizhong Pan (2019), "A global comparison and assessment of incentive policy on electric vehicle promotion", *Sustainable Cities and Society*, vol. 44, janeiro.
- Yang, J. e outros (2014), "A review of Beijing's vehicle registration lottery: Short-term effects on vehicle growth and fuel consumption", *Energy Policy*, vol. 75, dezembro.

Anexos

Anexo 1
Lista de participantes no Workshop *Big Push* para a Mobilidade Sustentável no Brasil, realizado em 26/11/2019, em Brasília

Nome	Organização	Nome	Organização
Edgardo Carceres	ABRADEE	Ana Nassar	ITDP
Ricardo Guiggisberg	ABVE	Victor Valente	KfW
Arthur Oliveira	BID	Dante Hollanda	MCTIC
Roberta Carolina	BID	Jairo Coura	MCTIC
Saulo Marquezini	BMW	Alan S. de Albuquerque	Mercedes Benz
Gabriel Daudt	BNDES	Carlos Eduardo Lemos	Mercedes Benz
Luiz Daniel Willcox	BNDES	Fernando Araldi	Min. Des. Regional
Pedro Sacramento	CAOA	Marcell Alexandre de O. Costa	Min. Des. Regional
Camila Gramkow	CEPAL	Ricardo Caiado de Alvarenga	Min. Des. Regional
Camila Leotti	CEPAL	André Sequeira Tabuquini	Min. Economia
Carlos Mussi	CEPAL	Antonio Juliani	Min. Economia
Pedro Brandão	CEPAL	Bruno de Almeida Ribeiro	Min. Economia
Sofia Furtado	CEPAL	Gustavo Víctor	Min. Economia
Jose Luis Samaniego	CEPAL	Marcelo Vasconcelos de Araújo Lima	Min. Economia
Emilly Caroline Costa e Silva	CGEE	Paulo C. Avila	Min. Economia
Marcelo Poppe	CGEE	Ricardo Zomer	Min. Economia
Erica Vieira Marcos	CNT	Túlio Ribeiro	Min. Economia
Marcela Mazzoni	Embrapii	Flavio Presezniak	Nissan
Rachel Martins Henriques	EPE	Filipe Cardoso	NTU
Francine Botti	Ford	Gardênia Ádla	Sindipeças
Jens Giersdorf	GIZ	Gustavo Maranhao de Oliveira e Lima	Toyota
Adriano Grieco	GM	Bruno Borba	UFF
Juliano Mendes	Grupo Moura	André Trintini	VWCO
Lorena Gonçalves Brasil	IABS	Fernanda C. Souza	VWCO
Nilo Saccaro	IPEA	Wagner Setti	WEG
Rafael Pereira	IPEA	João Pedro Bazzu	Não informado

Anexo 2 Lista dos 50 veículos leves mais vendidos no Brasil em 2018

Marca	Modelo	Unidades	Preço	Eficiência Motor à Combustão Interna (km/L)				Consumo Anual (L)		Custo Anual com Combustível (R\$)	IPVA	Revisão		Valor do Seguro (R\$)	
				Urbano		Rodoviário		Gasolina	Etanol			km	revisão		R\$/km
				Gasolina	Etanol	Gasolina	Etanol	Gasolina	Etanol						
Toyota	Hilux SW4	13 481	R\$ 134 843	6,7	4,6	8,1	5,6	683,6	991,9	R\$ 6 523,25	R\$ 5 394	50 000	3 776	0,0755	R\$ 5 070
Jeep	Compass	60 284	R\$ 121 177	8,8	6,1	10,8	7,5	516,2	743,9	R\$ 4 907,50	R\$ 4 847	50 000	2 907	0,0581	R\$ 4 556
VW	Tiguan	5 771	R\$ 113 077	10,1	6,8	11,7	8	464,1	683,6	R\$ 4 465,37	R\$ 4 523	60 000	2 156	0,0359	R\$ 3 822
Toyota	Corolla	59 062	R\$ 99 390	10,6	7,2	12,6	8,8	436,1	632,3	R\$ 4 159,85	R\$ 3 976	50 000	2 738	0,0548	R\$ 3 737
Hyundai	ix35	8 525	R\$ 89 671	8,7	6	10,3	7,2	532,5	766,5	R\$ 5 059,06	R\$ 3 587	60 000	5 952	0,0992	R\$ 3 372
Honda	Civic	25 492	R\$ 85 690	10,5	7,2	13	8,9	430,5	628,4	R\$ 4 121,66	R\$ 3 428	50 000	3 346	0,0669	R\$ 2 896
Honda	HR-V	47 959	R\$ 85 520	11	7,7	12,3	8,6	434,2	620,7	R\$ 4 109,87	R\$ 3 421	50 000	3 328	0,0666	R\$ 3 216
Chevrolet	Cruze Sedan	19 828	R\$ 82 865	11,2	7,6	14	9,6	401,5	588,2	R\$ 3 851,55	R\$ 3 315	60 000	3 044	0,0507	R\$ 3 116
Chevrolet	Tracker	26 100	R\$ 76 769	10,6	7,3	11,7	8,2	453,7	652,7	R\$ 4 309,29	R\$ 3 071	50 000	2 792	0,0558	R\$ 2 887
Renault	Captur	26 504	R\$ 74 652	10,5	7,3	11,7	8,1	455,7	657	R\$ 4 333,38	R\$ 2 986	50 000	2 778	0,0556	R\$ 2 807
Honda	WR-V	14 979	R\$ 71 205	11,7	8,1	12,4	8,8	419,8	598,7	R\$ 3 968,28	R\$ 2 848	50 000	3 739	0,0748	R\$ 2 677
Ford	Ecosport	34 497	R\$ 69 735	11,6	8,3	13,1	9	409,6	584,8	R\$ 3 874,41	R\$ 2 789	60 000	4 598	0,0766	R\$ 2 622
Hyundai	Greta	48 976	R\$ 66 812	10,4	7,6	11,7	8,2	457,8	640,3	R\$ 4 282,41	R\$ 2 672	50 000	2 572	0,0514	R\$ 2 512
Chevrolet	Spin	25 192	R\$ 65 120	10,1	6,9	12	8,4	457,8	661,3	R\$ 4 357,74	R\$ 2 605	50 000	2 260	0,0452	R\$ 2 449
Nissan	Kicks	46 812	R\$ 61 757	11,1	7,8	13	9	419,8	602,2	R\$ 3 981,11	R\$ 2 470	50 000	2 395	0,0479	R\$ 2 322
Chevrolet	Cobalt	21 488	R\$ 61 645	11,1	7,6	14,4	10	396,8	574,8	R\$ 3 783,02	R\$ 2 466	60 000	3 484	0,0581	R\$ 2 318
Toyota	Yaris Sedan	13 974	R\$ 60 460	12	8,3	14,6	10,1	380,3	549,9	R\$ 3 622,18	R\$ 2 418	50 000	2 408	0,0482	R\$ 2 044
Jeep	Renegade	46 334	R\$ 60 416	10	6,9	12	8,6	459,9	652,7	R\$ 4 336,01	R\$ 2 417	50 000	2 715	0,0543	R\$ 2 042
Pegout	2008	9 745	R\$ 59 988	10,2	7,3	11,6	8,2	464,1	652,7	R\$ 4 354,24	R\$ 2 400	60 000	4 615	0,0769	R\$ 2 256
Toyota	Yaris Hatch	18 584	R\$ 58 855	12,1	8,4	14,2	10	384,7	549,9	R\$ 3 640,92	R\$ 2 354	50 000	2 408	0,0482	R\$ 1 989
Toyota	Etios Sedan	21 207	R\$ 58 016	12,2	8,4	14,9	10,4	373,3	538,2	R\$ 3 549,76	R\$ 2 321	60 000	3 056	0,0509	R\$ 2 181
Toyota	Etios Hatch	27 847	R\$ 57 035	11,9	8,1	13,2	9,2	403,1	584,8	R\$ 3 846,22	R\$ 2 281	50 000	2 324	0,0465	R\$ 2 145
VW	Fox/Cross Fox	39 260	R\$ 55 031	10,3	7,4	10,9	8,2	477,2	648,5	R\$ 4 395,90	R\$ 2 201	60 000	3 635	0,0606	R\$ 2 069
Honda	City	14 900	R\$ 54 419	12,4	8,6	14,6	10,3	374,7	535,3	R\$ 3 545,48	R\$ 2 177	50 000	3 596	0,0719	R\$ 1 839

Anexo 2 (conclusão)

Marca	Modelo	Unidades	Preço	Eficiência Motor à Combustão Interna (km/L)						Consumo Anual (L)		Custo Anual com Combustível (R\$)	IPVA	Revisão		Valor do Seguro (R\$)
				Urbano		Rodoviário		Gasolina	Etanol	km	revisão			R\$/km		
				Gasolina	Etanol	Gasolina	Etanol									
				Gasolina	Etanol	Gasolina	Etanol	km	revisão	R\$/km						
Chevrolet	Onix	210 458	R\$ 53 436	12,4	8,3	13,8	9,4	386,2	571,6	R\$ 3 725,55	R\$ 2 137	60 000	3 404	0,0567	R\$ 2 009	
VW	Virtus	41 634	R\$ 52 735	11,9	8,2	13,8	9,5	393,7	571,6	R\$ 3 757,99	R\$ 2 109	60 000	3 421	0,057	R\$ 1 782	
Honda	Fit	27 359	R\$ 51 532	11,6	8,3	13,6	9,5	401,5	568,4	R\$ 3 780,17	R\$ 2 061	50 000	3 596	0,0719	R\$ 1 938	
Chevrolet	Prisma	71 735	R\$ 51 239	11,7	8	14,6	10	384,7	562,1	R\$ 3 684,91	R\$ 2 050	50 000	2 264	0,0453	R\$ 1 732	
Renault	Duster	23 579	R\$ 50 634	10,3	7,1	10,8	7,9	479,5	674,5	R\$ 4 499,06	R\$ 2 025	50 000	2 777	0,0555	R\$ 1 904	
Ford	Ka Sedan	39 027	R\$ 47 854	11,7	8,1	13,8	9,6	396,8	571,6	R\$ 3 771,33	R\$ 1 914	60 000	3 635	0,0606	R\$ 1 799	
VW	Up	20 563	R\$ 47 205	14,1	9,6	16	11,1	336,1	488,8	R\$ 3 211,23	R\$ 1 888	60 000	3 711	0,0619	R\$ 1 775	
Fiat	Gronos	29 307	R\$ 46 844	12,4	8,5	14,8	10,3	372	538,2	R\$ 3 543,83	R\$ 1 875	50 000	2 676	0,0535	R\$ 1 585	
VW	Polo	69 584	R\$ 45 920	12,9	8,8	14,3	10	372	538,2	R\$ 3 543,83	R\$ 1 837	50 000	3 052	0,061	R\$ 1 727	
Ford	Fiesta	14 505	R\$ 45 200	12	8,2	14,6	10	380,3	555,9	R\$ 3 643,94	R\$ 1 808	50 000	3 397	0,0679	R\$ 1 700	
Hyundai	HB20S	32 155	R\$ 44 254	11,4	8,5	13	9,4	414,6	565,2	R\$ 3 825,59	R\$ 1 770	50 000	2 307	0,0461	R\$ 1 664	
Hyundai	HB20	105 506	R\$ 44 174	12,5	8,5	14,1	9,9	380,3	549,9	R\$ 3 622,18	R\$ 1 767	60 000	3 197	0,0533	R\$ 1 661	
Citroen	C3	6 378	R\$ 43 488	13,2	9,3	14,8	10,1	361,3	521,5	R\$ 3 438,01	R\$ 1 740	60 000	3 522	0,0587	R\$ 1 635	
Pegout	208	7 092	R\$ 41 854	15,1	10,9	16,9	11,7	316,2	447,7	R\$ 2 977,11	R\$ 1 674	60 000	4 615	0,0769	R\$ 1 574	
Nissan	Versa	27 993	R\$ 40 796	12,9	8,8	15,3	10,5	358,8	524,2	R\$ 3 436,67	R\$ 1 632	50 000	2 365	0,0473	R\$ 1 534	
VW	Voyage	32 863	R\$ 39 823	12,9	8,7	15,4	10,5	357,5	526,9	R\$ 3 441,03	R\$ 1 593	50 000	3 020	0,0604	R\$ 1 497	
Fiat	Argo	63 011	R\$ 38 908	14,2	9,9	15,1	10,7	345,3	491,1	R\$ 3 259,41	R\$ 1 556	50 000	2 628	0,0526	R\$ 1 463	
Fiat	Sienna	17 470	R\$ 38 769	11,2	7,9	13,6	9,5	408	581,5	R\$ 3 855,18	R\$ 1 551	50 000	2 472	0,0494	R\$ 1 458	
Renault	Kwid	67 320	R\$ 36 400	14,9	10,3	15,6	10,8	331,7	479,5	R\$ 3 158,83	R\$ 1 456	50 000	2 267	0,0453	R\$ 1 369	
Renault	Logan	22 471	R\$ 36 216	13,8	9,3	14,5	10	357,5	524,2	R\$ 3 431,20	R\$ 1 449	50 000	2 628	0,0526	R\$ 1 362	
Ford	Ka	103 286	R\$ 35 988	13,5	9,2	15,7	10,8	346,5	505,9	R\$ 3 317,56	R\$ 1 440	60 000	3 635	0,0606	R\$ 1 353	
Renault	Sandero	52 401	R\$ 34 780	14,1	9,5	14,1	9,6	358,8	529,7	R\$ 3 456,43	R\$ 1 391	50 000	2 628	0,0526	R\$ 1 308	
VW	Gol	77 612	R\$ 34 690	12,9	8,8	14,5	10,3	369,2	529,7	R\$ 3 501,68	R\$ 1 388	60 000	3 619	0,0603	R\$ 1 304	
Fiat	Mobi	49 491	R\$ 34 151	13,7	9,6	16,1	11,3	339,5	484,1	R\$ 3 209,01	R\$ 1 366	50 000	2 508	0,0502	R\$ 1 284	
Nissan	March	11 947	R\$ 34 144	12,9	8,8	15	10,4	362,6	526,9	R\$ 3 463,16	R\$ 1 366	60 000	2 984	0,0497	R\$ 1 284	
Fiat	Uno	15 151	R\$ 32 563	13,1	9,2	15,1	10,4	358,8	516,2	R\$ 3 407,79	R\$ 1 303	50 000	2 960	0,0592	R\$ 1 224	

Fonte: Elaboração própria com base em FENABRAVE (2019) e Carros na Web (2019).

Anexo 3

Parâmetros do veículo elétrico utilizado como referência

Marca	Modelo	Preço	Eficiência do motor			Consumo de combustível			Custo com combustível	IPVA	Revisão		Seguro	
			Gasolina	Etanol	Elétrico	Gasolina	Etanol	Elétrico			revisão	km		R\$/km
Renault	Zoe	R\$ 134 425	0	0	0,137	0	0	1 954	R\$ 1 114	R\$ 2 688	50 000	2 620	0,9524	R\$ 4 033

Fonte: Elaboração própria com base em Carros na Web (2019).

Atualmente, a conjuntura em que o Brasil e o mundo se encontram é marcada pela busca da recuperação do dinamismo da atividade econômica e da qualidade de vida das pessoas. Nesse contexto, a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) das Nações Unidas vem desenvolvendo o *Big Push* para a Sustentabilidade, que é uma abordagem renovada para apoiar os países da região na construção de estilos de desenvolvimento mais sustentáveis, baseada na coordenação de políticas para promover investimentos transformadores do estilo de desenvolvimento.

O Escritório da CEPAL em Brasília, em parceria com o Ministério da Economia e o Ministério do Desenvolvimento Regional, desenvolveu o projeto *Big Push* para a Mobilidade Sustentável no Brasil, com o objetivo principal de apresentar evidências para subsidiar políticas públicas que contribuam para o desenvolvimento da mobilidade sustentável no país, com foco em veículos elétricos pessoais. O mergulho nas páginas desta publicação permitirá ao leitor ampliar sua compreensão sobre as barreiras, as oportunidades, as melhores práticas internacionais e os cenários de políticas voltadas para incentivar o uso de veículos elétricos no Brasil, em conformidade com os esforços rumo a um *Big Push* para a Sustentabilidade no Brasil.

