

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM POLÍTICAS PÚBLICAS, ESTRATÉGIAS E
DESENVOLVIMENTO

MATHEUS GUERRA VIEIRA

Título do Trabalho: Políticas públicas e modelos de negócios para veículos elétricos

Subtítulo do trabalho: A experiência alemã

Dissertação de mestrado

Outubro de 2021



UFRJ
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM POLÍTICAS PÚBLICAS, ESTRATÉGIAS E
DESENVOLVIMENTO

MATHEUS GUERRA VIEIRA

Título do Trabalho: Políticas públicas e modelos de negócios para veículos elétricos

Subtítulo do trabalho: A experiência alemã

Rio de Janeiro

2021

MATHEUS GUERRA VIEIRA

Políticas públicas e modelos de negócios para veículos elétricos
A experiência alemã

Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação PPEd da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do Mestre em Políticas Públicas, Estratégia e Desenvolvimento.

Orientador (a): Nivalde José de Castro

Rio de Janeiro

2021

Ficha catalográfica

V658p

Vieira, Matheus Guerra

Políticas públicas e modelos de negócios para veículos elétricos: a experiência alemã / Matheus Vieira Guerra. – Rio de Janeiro, 2021.

127 f.: il.

Inclui bibliografia: pág. 114.

Dissertação (Mestrado acadêmico) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa da Pós-Graduação em Políticas Públicas, 2021.

Orientador: Nivalde José de Castro

1. Economia. 2. Pesquisa e desenvolvimento. 3. Setor elétrico. 4. Setor elétrico no Brasil. I. Castro, Nivalde José de. II. Título.

CDU 621.311(81)

CDD 333

MATHEUS GUERRA VIEIRA

**POLÍTICAS PÚBLICAS E MODELOS DE NEGÓCIOS PARA VEÍCULOS
ELÉTRICOS**

A Experiência Alemã

Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação PPEd da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do Mestre em Políticas Públicas, Estratégia e Desenvolvimento.

Rio de Janeiro, 15 de outubro de 2021.

Prof. Dr. Nivalde José de Castro
Orientador (a)

Prof. Dr. Renata Lebre La Rovere
Membro interno

Prof. Dr. Thereza Cristina Nogueira de Aquino
Membro externo

Em memória de Luis Claudio Starling Vieira.

AGRADECIMENTOS

À minha família, minha mãe Marcia e meus irmãos Maximilliam, Andressa e Leonardo.

A Luis Claudio Starling Vieira, aonde estiver.

Aos meus companheiros de UFRJ Ana Católica, Antônio Lima, André Alves, Carlos Oliveira, Caroline Chantre, Daniel Ribeiro, Daniel Viana, Diego Almeida, Diogo Salles, Fabiano Lacombe, Murilo de Miranda, Pedro Vardiero e Yuri Coloneze.

À Lillian Monteath e Camila Ludovique, uma linha especial para duas pessoas especiais.

À CAPES, pelo apoio financeiro nesta pesquisa.

*“In the clearing stands a boxer, and a fighter by
his trade
And he carries the reminders
Of every glove that laid him down or cut him
’Til he cried out in his anger and his shame
“I am leaving, I am leaving”, but the fighter still
remains.” (Paul Simon).*

RESUMO

Os veículos elétricos consistem em uma tecnologia de alto potencial inovador, capaz de auxiliar na descarbonização de um dos setores que mais contribuem para a poluição global, o setor de transportes. No entanto, a sua difusão ainda é dificultada pelo alto custo de aquisição, limitação tecnológica e necessidade de criação de uma infraestrutura de carregamento adequada. Neste contexto, é necessário entender o papel das políticas públicas para auxílio do desenvolvimento desde segmento, além de analisar a necessidade de adaptação dos modelos de negócio ao novo paradigma inovador do mercado de veículos elétricos. A presente pesquisa, pretende realizar uma análise qualitativa das políticas públicas de incentivo ao mercado de veículos elétricos na Alemanha, e os modelos de negócio que são aplicados atualmente.

Palavras-chave: veículos elétricos, políticas públicas, recursos energéticos distribuídos, modelos de negócio, inovação

ABSTRACT

The electric vehicles consist in a highly innovative technology, able to support the decarbonisation process in the transport sector, one of the main responsables for the global pollution. However, the diffusion process is hampered by the current high acquiring costs, technology limitation and necessary investments in the charging infrastructure segment. Therefore, is quintessential to understand the importance of public policies to aid the development of this market, and the requirements to adapt the current business models towards the new paradigm promoted by electric vehicles. This paper aims to carry a qualitative analysis on Germany's public policies and its current employed business models.

Keywords: electric vehicles, public policies, distributed energy resources, business models, innovation

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Fontes de inovação como um sistema..... | 16 |
| Figura 2 - Performance de tecnologias de curva S..... | 17 |
| Figura 3 - Curva de difusão da inovação..... | 18 |
| Figura 4 - Ativos complementares necessários para comercializar uma inovação..... | 20 |
| Figura 5 - Externalidades negativas de produção: fabricação de aço..... | 23 |
| Figura 6 - Horário de recarga de acordo com o tipo do veículo | 32 |
| Figura 7 - Indicador <i>Well to wheels</i> | 36 |
| Figura 8 - Preço médio de baterias de íon-lítio entre 2010 e 2018 (em US\$/kWh)... | 40 |
| Figura 9 - <i>Trade-offs</i> entre as cinco principais tecnologias de bateria íon-lítio..... | 43 |
| Figura 10 - Variação dos custos para componentes de infraestrutura de recarga..... | 49 |
| Figura 11 - Conectores para recarga de um veículo elétrico (NISSAN LEAF 2018).. | 51 |
| Figura 12 - Conectores padrão para recarga nos principais mercados do mundo..... | 53 |
| Figura 13 - Capacidade instalada de geração de energia na Alemanha (2002-2020)... | 58 |
| Figura 14 - Projeção de vendas globais de veículos de acordo com tecnologia | 61 |
| Figura 15 - Linha do tempo das políticas públicas para veículos elétricos na Alemanha..... | 68 |
| Figura 16 - Número de postos de recarga rápida CCS na Europa (2014-2019)..... | 71 |
| Figura 17 - Mapa de padronização da mobilidade elétrica na Alemanha..... | 73 |
| Figura 18 - Metas de densidade energética para células de bateria de terceira geração nos países líderes no mercado internacional..... | 77 |
| Figura 19 - Gastos de P&D da indústria automotiva alemã, em milhões de euros (2011-2018)..... | 79 |
| Figura 20 - Registros anuais de veículos elétricos de plug-in na Alemanha (2010-2020)..... | 81 |
| Tabela 1 - RANKING e pontuação do desenvolvimento industrial de veículos elétricos nos países observados (Alemanha, Japão, China e EUA)..... | 83 |
| Figura 21 - Projeção da demanda de eletricidade por tecnologia de carregamento em um cenário centrado em domicílios (2020-2030)..... | 86 |
| Figura 22 - Processo de recarga de um veículo elétrico em um ponto de recarga público..... | 90 |
| Figura 23 - Custos fixos para pontos de recarga na Alemanha..... | 92 |

| | | |
|--------------------|---|-----|
| Figura 24 - | Cenários de rentabilidade de estações de recarga pública na Alemanha... | 96 |
| Figura 25 - | Ecosistema de fusões e aquisições no mercado de recarga de veículos elétricos..... | 99 |
| Figura 26 - | Curva de maturidade do mercado de veículos elétricos em comparação à outras tecnologias emergentes..... | 101 |
| Figura 27 - | Mapa de estações de recarga da IONITY pela Europa..... | 103 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| | INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 1 | PROCESSOS DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA..... | 13 |
| 1.1 | CONCEITO DE INOVAÇÃO | 13 |
| 1.2 | ATIVOS COMPLEMENTARES..... | 19 |
| 1.3 | SPILOVERS..... | 21 |
| 1.4 | EXTERNALIDADES..... | 22 |
| 2 | SITUAÇÃO TECNOLÓGICA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS..... | 26 |
| 2.1 | RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS..... | 27 |
| 2.2 | VEÍCULOS ELÉTRICOS..... | 33 |
| 2.3 | ARMAZENAMENTO DE ENERGIA E BATERIAS VEICULARES..... | 39 |
| 2.4 | INFRAESTRUTURA DE RECARGA..... | 45 |
| 2.5 | CONECTORES..... | 50 |
| 3 | POLÍTICAS PÚBLICAS PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS NA ALEMANHA | 55 |
| 3.1 | JUSTIFICATIVA | 55 |
| 3.2 | POLÍTICAS PÚBLICAS PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS NA ALEMANHA..... | 63 |
| 3.2.1 | Incentivos para Veículos Elétricos | 65 |
| 3.2.2 | Padronização Tecnológica | 68 |
| 3.2.3 | Pesquisa e desenvolvimento | 73 |
| 3.2.4 | Resultados | 80 |
| 4 | MODELOS DE NEGÓCIO PARA INFRAESTRUTURA DE RECARGA NA ALEMANHA | 85 |
| 4.1 | REGULAÇÃO DE INFRAESTRUTURA DE RECARGA NA ALEMANHA. | 86 |
| 4.2 | ESTRUTURA DO MERCADO DE RECARGA NA ALEMANHA..... | 89 |
| 4.2.1 | Custos de instalação de um ponto de recarga | 91 |
| 4.2.2 | Modelos de negócio para infraestrutura de recarga..... | 93 |
| 4.3 | MODELOS DE NEGÓCIO ALTERNATIVOS PARA INFRAESTRUTURA DE RECARGA | 97 |
| 4.4 | ESTUDO DE CASO: IONITY E FORTUM CHARGE & DRIVE | 102 |
| 4.4.1 | IONITY | 102 |

| | |
|--|------------|
| 4.4.2 Fortum Charge & Drive | 105 |
| CONCLUSÃO..... | 110 |
| REFERÊNCIAS..... | 113 |

INTRODUÇÃO

A combinação do desenvolvimento tecnológico com o surgimento de novas demandas por parte de consumidores e fornecedores é fator responsável na criação de novos produtos, e modelos de negócios. Este processo de inovação pode possuir caráter marginal, com a introdução de um novo produto similar ao seu antecessor, com impactos moderados sobre o mercado, mas também pode ser radical, ao introduzir tecnologias inéditas que alteram completamente as condições do mercado, causando uma necessidade de adaptação por parte de todos os agentes.

Os veículos elétricos surgem como uma tecnologia alternativa aos veículos à combustão interna, graças ao seu maior aproveitamento energético e potencial de auxiliar na solução da deterioração climática mundial. A tecnologia dos veículos elétricos promove a utilização de baterias capazes de garantir energia para a partida do veículo e sua autonomia durante o trajeto, reduzindo expressivamente a emissão de gases nocivos ao meio ambiente.

Além de sua convergência com a descarbonização do segmento de transportes, os veículos elétricos podem auxiliar no desenvolvimento do setor de eletricidade graças a sua sinergia com outros dois vetores de mudança dentro do segmento: a descentralização e digitalização. A utilização de veículos elétricos como recursos energéticos distribuídos pode diminuir o grau de concentração do mercado, enquanto os novos produtos e serviços digitais necessários para sua viabilidade podem ser adaptados pelo setor.

No entanto, as externalidades positivas promovidas pela mobilidade elétrica possuem um alto custo, visto que a difusão desta tecnologia ainda é dificultada pelos custos de aquisição dos veículos, pela limitação tecnológica do setor e na falta de infraestrutura para recarga adequada. Desta forma são necessários incentivos no lado da oferta e principalmente da demanda, responsáveis por ultrapassar os empecilhos iniciais impostos por esta tecnologia incipiente.

Estes incentivos podem ser promovidos por instituições públicas ou através do esforço de agentes privados na busca do desenvolvimento deste mercado, visando estabelecer uma vantagem competitiva frente aos seus concorrentes no momento em que esta tecnologia alcança a fase de consumo em massa. Porém, no mercado de veículos elétricos o que se observa é uma relação de complementaridade na ação de agentes públicos e privados prezando por facilitar a difusão desta tecnologia.

O objetivo principal desta pesquisa é realizar uma análise da experiência internacional de políticas públicas para veículos elétricos e modelos de negócio alternativos para a

infraestrutura de recarga, como forma de identificar oportunidades de incentivo para este mercado em países que buscam aproveitar das externalidades positivas fornecidas. A hipótese a ser verificada consiste na complementaridade de ações entre instituições públicas e agentes privados em tempos distintos, onde os primeiros investimentos são feitos pelo Estado, enquanto os empreendedores atuam a partir do momento em que as incertezas e os custos são reduzidos de forma significativa.

Como referência de análise, a Alemanha foi escolhida como estudo de caso crítico para verificação de suas políticas públicas e modelos de negócio. A justificativa se baseia na posição deste país no mercado de mobilidade elétrica, e também pelo caráter estratégico que a mobilidade elétrica é observada pelo governo alemão. Isto indica que este país é uma referência na elaboração de políticas públicas para difusão de veículos elétricos e que possui uma maior experiência na elaboração de novos modelos de negócio.

A pesquisa tem uma estrutura preliminar de quatro capítulos: o primeiro busca introduzir os conceitos teóricos acerca do processo de inovação. O segundo capítulo é destinado a fazer um levantamento da situação tecnológica atual dos veículos elétricos, o terceiro capítulo visa levantar o estudo de caso crítico de políticas públicas, enquanto o quarto capítulo é responsável por analisar os modelos de negócio alternativos aplicados na mobilidade elétrica em geral, com ênfase na infraestrutura de recarga rápida.

A metodologia utilizada no primeiro capítulo é de revisão bibliográfica, buscando nas plataformas Periódicos CAPES, ScienceDirect e Google Scholars, artigos e documentos explicando os conceitos de inovação disruptiva e tecnologias exponenciais. As palavras-chave utilizadas são *innovation*, *complementary assets*, *externalities* e *spillovers*.

O segundo capítulo utiliza a metodologia de revisão bibliográfica e análise documental para ilustrar o levantamento atual da tecnologia dos veículos elétricos. Artigos, notas técnicas, legislação, textos de discussão e handbooks que abordem os conceitos de veículos elétricos e sua evolução foram utilizados, valorizando materiais publicados recentemente, devido à rápida mutação desta indústria. As palavras-chave deste capítulo são *electric vehicle state of art*, *electric vehicle technology development*, *electric vehicle trends*, *electric vehicle technology progress*, *electric vehicle rollout*, e as plataformas de busca são similares as do primeiro capítulo.

O terceiro é destinado a realizar uma análise documental de políticas de regulação de veículos elétricos no mundo, escolhendo a Alemanha como o representante de casos críticos desta análise. Artigos, relatórios técnicos, legislações, notas técnicas de regulação, *white papers*, que abordem as experiências na Alemanha. As palavras-chave utilizadas são *electric vehicles*, *net metering*, *energy transition*, *electric vehicles health impacts*, *electric vehicles*

pollution, electric vehicles externalities, electric vehicles public policies, em uma combinação com uma palavra-chave: *Germany*

O quarto capítulo busca realizar uma análise documental dos modelos de negócio alternativos para o segmento de infraestrutura de recarga. Artigos, *white papers*, e relatórios de empresas que abordem este assunto são utilizados nesta análise. As palavras-chave utilizadas são *fast charging business models, electric vehicles business models, electric vehicles supply chain, electric vehicle alternative business models*.

1. PROCESSOS DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

Este capítulo é destinado a introdução dos conceitos teóricos utilizados ao longo do presente trabalho. A revisão do atual estado tecnológico da mobilidade elétrica, as políticas públicas voltadas para sua difusão e os modelos de negócio que viabilizam a infraestrutura de recarga pública se baseiam em processos de inovação e conceitos relacionados a mesma.

Apesar do sucesso de uma inovação possuir forte relação com o momento no qual a firma decide investir, existem cenários onde um inovador apesar de possuir um maior conhecimento com o novo produto ou processo, acaba por não se configurar como o maior beneficiário desta inovação. Esta situação pode ser explicada através da ausência de posse de ativos complementares por parte do inovador, necessários para garantir que a inovação possua as melhores condições de sucesso.

O processo de inovação possui impactos para o próprio agente e terceiros, estes impactos podem ser positivos ou negativos, e durante a produção da inovação ou no consumo da mesma. Os efeitos da tomada de decisão na produção de um determinado agente sobre terceiros são denominados externalidades e são característicos no processo de inovação e também no setor automotivo.

O estudo das externalidades é importante pois elas são vetores importantes para a proposição de políticas públicas, voltadas para a mitigação dos efeitos negativos das externalidades e promoção dos efeitos positivos. Um dos benefícios para terceiros da inovação é o transbordamento de conhecimento de um agente para outro, sem a necessidade de custos adicionais, processo conhecido como *spillover*.

A consolidação destes conceitos teóricos auxilia a compreensão do processo de inovação dentro indústria automotiva, com ênfase na introdução dos veículos elétricos. A proposição de políticas públicas possui como um dos pilares a promoção da inovação dentro do país, enquanto os modelos de negócio buscam nos conceitos inerentes à inovação alternativas para viabilizar os investimentos em estágios iniciais onde existe uma forte incerteza e altos custos de adoção

1.1 CONCEITO DE INOVAÇÃO

Inovação é definida como a introdução de um novo produto ou processo, incluindo a possibilidade de combinação de ambos, que se difere significativamente do utilizado previamente pelas unidades, disponibilizado para consumo de usuários ou para aplicação em processos. Nesta definição, o termo unidade se refere à abstração genérica destinada a representar instituições de

qualquer setor, como indústria, academia, consumidores, fornecedores e outros agentes envolvidos no processo de inovação (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2018).

A inovação é um importante condicionante para o sucesso de uma empresa no mercado. Com a globalização, novas firmas conseguem entrar em mercados antes inexplorados, aumentando a competição e reduzindo as margens de lucro. Neste sentido, as firmas observam na inovação uma possibilidade de diferenciação de sua marca em frente aos seus competidores, introduzindo novos processos que reduzem os custos de produção ou novos produtos que aumentam fontes de receita (SCHILLING, 2014).

As influências do processo de inovação são observadas na indústria, visto que os novos processos são passíveis de aumentar a produtividade de uma unidade, dada as mesmas dotações de trabalho e capital. No entanto, o transbordamento deste processo também se reflete o consumidor, onde inovações de produto com suas novas funcionalidades tornam passível a modificação de padrões de consumo em escala global.

A introdução de novos processos e produtos é uma fonte de externalidades, negativas ou positivas para a sociedade. Por exemplo, um novo processo pode poluir mais, causar danos ao bioma de um local, ou gerar subprodutos danosos para a sociedade como um todo.

Porém, é possível que o aumento do conhecimento a partir de uma determinada inovação transborde dentro de uma indústria ou para outros segmentos, aumentando não apenas o conhecimento geral, mas criando alternativas para lidar com problemas enfrentados pelos agentes. Neste caso, se observa uma externalidade positiva para a sociedade a partir da transferência de conhecimento do inovador para outros que adotam suas práticas ou produtos, permitindo que custos industriais sejam reduzidos (SCHILLING, 2014).

Apesar da segmentação do conceito de inovação para processo e produto, a forma na qual ela se consolida pode variar. Por exemplo, a inovação pode ser feita em cima de um produto ou processo já existente, apenas melhorando suas condições de performance, em um tipo de inovação denominada marginal. No entanto, a inovação pode divergir completamente dos padrões atuais, com novos produtos e processos que se diferenciam completamente do existente. Este tipo de inovação é denominada inovação radical, e depende da capacidade de diferenciação aliada com o fator novidade como variáveis de distinção para a inovação marginal (SCHILLING, 2014).

A inovação pode acontecer em cima de um determinado de duas formas, ao melhorar apenas a sua estrutura existente, ela é denominada como inovação de componente. Porém a partir do momento em que a arquitetura atual é abandonada em prol de uma nova planta que possui

melhorias em comparação com a antiga, este tipo de inovação é denominada inovação de arquitetura (SCHILLING, 2014).

O processo de inovação se desdobra em cima do conhecimento e habilidade dos indivíduos sobre um determinado tema. Neste caso é possível que a inovação se construa em cima destas habilidades e a reforce, sendo denominada como inovação que melhora competências – *competence enhancing innovation*. Ela pode ser considerada uma inovação destruidora de competências – *competence destroying innovation*, caso este conhecimento se torne obsoleto e seja abandonado por uma determinada firma na busca pelo conhecimento da inovação.

A inovação possui uma pluralidade de fontes de consolidação, o que significa que ela pode se originar a partir de diferentes pontos de referência. Indivíduos, na forma do inventor solitário, são exemplos de como um agente fragmentado pode promover inovações. Institutos de pesquisa, como universidades, laboratórios governamentais e organizações não governamentais, fornecem a pesquisa de base e aplicada que constitui um dos pilares da inovação (SCHILLING, 2014).

Apesar da existência destas unidades como fonte de inovação, as firmas se destacam como principal agente no processo de inovação. Elas não apenas possuem as motivações mais significativas para inovar, como redução dos seus custos de produção e diferenciação do produto para promover competitividade, mas também os recursos necessários para arcar com o processo de inovação.

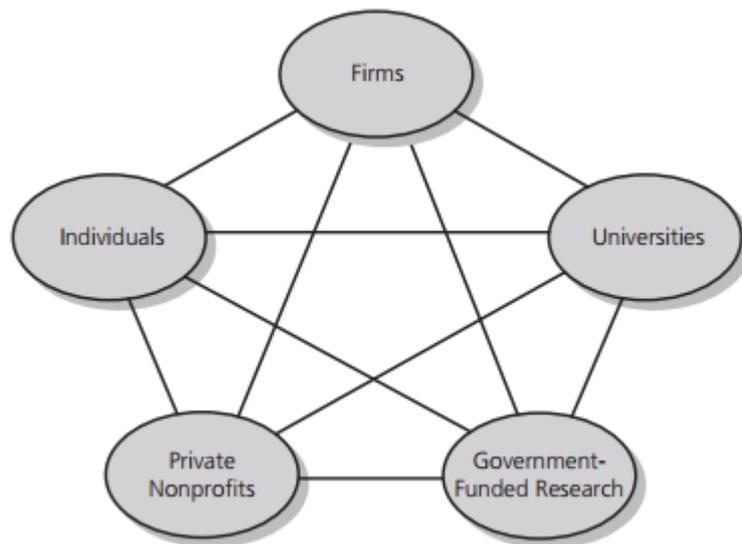
É importante ressaltar que a inovação possui como característica o alto risco, visto que muitos produtos ou processos não conseguem realizar a transição da fase inicial para consolidação no mercado ou utilização dentro da firma (SCHILLING, 2014). Isto resulta em uma alta incerteza, a partir do momento em que não há garantia de que os recursos investidos para inovar serão recuperados, através da comercialização do produto ou da redução dos custos de produção. Não obstante, existe a possibilidade de que a inovação seja inserida, mas que sua aceitação aconteça de forma gradativa, tornando o horizonte temporal de retorno do investimento mais dilatado, com um longo prazo de maturação (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2018).

Apesar das vantagens que as firmas possuem para inovar, o processo que garante os melhores resultados é a participação colaborativa de todas as unidades, de forma exista uma complementaridade de suas características (SCHILLING, 2014). Indivíduos, como consumidores, possuem conhecimento de suas necessidades, mas dificilmente irão fabricar novos produtos devido às suas restrições financeiras. Institutos de pesquisa possuem uma larga

experiência com pesquisa básica e aplicada, porém sua característica acadêmica, implica em uma pequena probabilidade de se consolidar em novos produtos ou processos.

A colaboração sistemática em rede se torna um método de mitigar as fraquezas de cada agente dentro do processo de inovação. A Figura 1 ilustra a rede de interação entre as unidades que auxilia a inovação e difunde o conhecimento entre os agentes. Neste sistema, a inovação pode surgir de qualquer agente e fluir para a unidade com maior capacidade de consolidar este conceito em um novo produto ou processo.

Figura 1. Fontes de inovação como um sistema



As unidades representadas nesta figura são firmas, universidades, institutos governamentais de pesquisa, organizações privadas sem fins lucrativos e indivíduos, em sentido horário, respectivamente.

Fonte: Schilling (2014).

A colaboração sistemática permite que agentes foquem em suas principais características, sem receio de que suas fraquezas irão impossibilitar a continuidade do processo de inovação. Isto permite por exemplo, que institutos de pesquisa realizem esforços em pesquisa e desenvolvimento, transmitindo o conhecimento captado pelo processo para empresas, que o utilizam no processo de concepção de novos produtos ou processos.

Como a inovação também depende da criatividade, outras atividades também são importantes dentro do processo, o que encoraja a introdução das demais unidades. Engenharia, *marketing*, *design* e *branding* são exemplos de atividades de inovação importantes que podem transcender firmas e instituições acadêmicas (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-

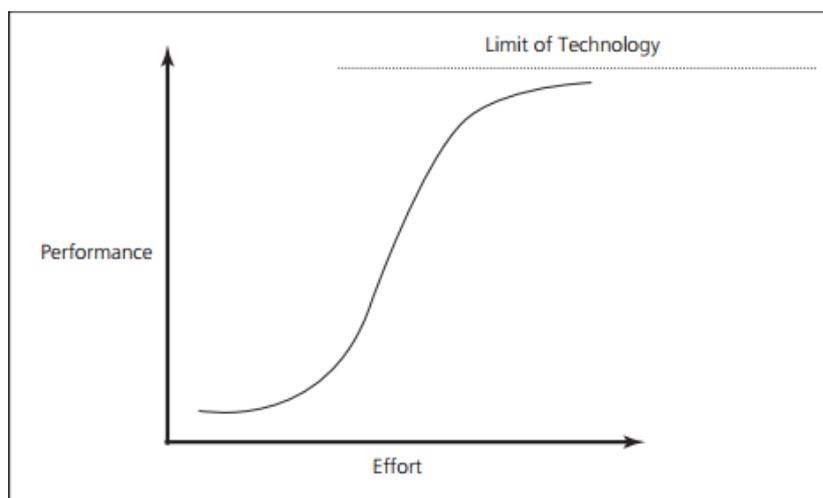
OPERATION AND DEVELOPMENT, 2018), alcançando o consumidor, fornecedores, donos de ativos complementares e até mesmo concorrentes.

A união destas unidades no processo de inovação é importante, o que influencia no estabelecimento de suas sedes em locais estratégicos, de forma que exista uma proximidade geográfica entre as firmas e unidades que auxiliam a inovação. As firmas se estabelecem com proximidade de suas competidoras e também de fornecedores, e agentes donos de ativos complementares. Esta união de diversas firmas em uma localidade é denominada de *cluster* tecnológico, e sua proximidade geográfica facilita a transferência de conhecimento para outras firmas, gerando externalidades positivas através de *spillovers* tecnológicos e economias de aglomeração (SCHILLING, 2014).

O compartilhamento deste conhecimento auxilia o processo de inovação, em luz do comportamento não linear que o processo apresenta, em um formato denominado curva S. A relação entre esforços feitos por uma firma a performance tecnológica explica o comportamento desta curva. Inicialmente, por ter uma base de conhecimento muito limitada, os esforços são grandes e a performance tecnológica não aumenta na mesma proporção. No entanto, ao trabalhar em cima da base de conhecimento que se expande conforme o tempo, esta relação se torna inversamente proporcional. Por fim, conforme a base de conhecimento se aproxima do limite da tecnologia, o esforço resulta em pequenas melhorias na performance, voltando a possuir uma natureza quase linear como no início do processo (SCHILLING, 2014).

A Figura 2 ilustra a performance de tecnologias de curva S.

Figura 2. Performance de tecnologias de curva S



O eixo das abscissas refere ao esforço feito pelas firmas durante o processo de inovação, enquanto o eixo das ordenadas corresponde a performance de uma tecnologia.

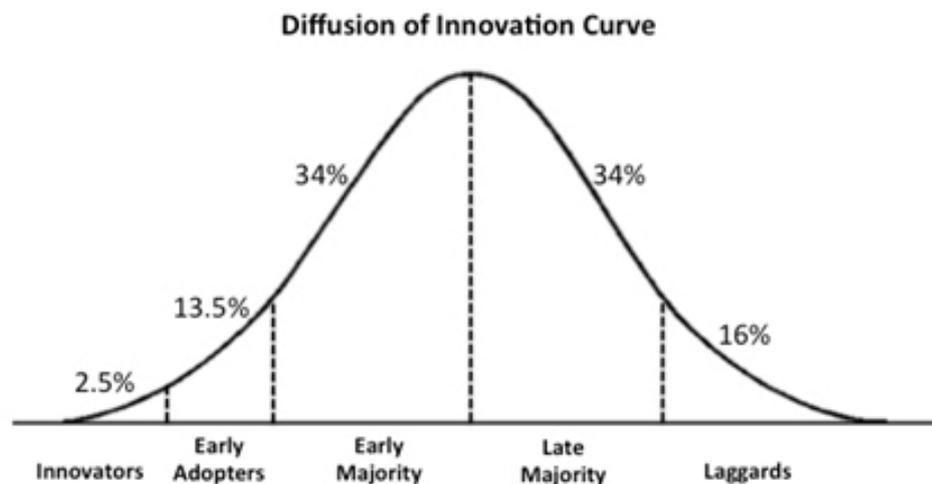
Fonte: Schilling (2014).

A difusão de uma inovação a outros adotantes também possui características similares a tecnologias de curva S. Neste caso, a relação é feita entre o tempo percorrido e a quantidade cumulativa de adotantes. No estágio inicial inovadores investem no desenvolvimento e a inovação será absorvida pelos adotantes iniciais a partir do momento em que esta é disponibilizada no mercado. A soma de inovadores e adotantes iniciais em um sistema social corresponde a 13,5% do cumulativo de todos os adotantes (ROGERS, 1983).

Conforme a inovação se torna mais acessível para outras unidades, sua difusão aumenta de forma similar com as tecnologias de curva S, com mais adotantes em um menor período de tempo. A maioria inicial ou *early majority* corresponde aos 34%, dos indivíduos que adotam esta inovação pouco antes da média do sistema social (ROGERS, 1983). Já a maioria tardia, corresponde a próxima parcela de indivíduos que adotam a inovação apenas após a verificação de pressão sobre a unidade. Sua razão para não adotar esta inovação de forma prévia varia entre o ceticismo sobre sua aceitação ou a escassez de recursos para sua aquisição.

Após a demonstração de sinais de consolidação no mercado por parte da inovação, ela será adotada pela última parcela do sistema social denominada como atrasados, ou *laggards*. Os *laggards* representam 16% dos adotantes cumulativos, e apenas investem na inovação após identificar a ausência de riscos deste processo, devido ao seu alto ceticismo. A Figura 3 ilustra a curva de adoção de uma inovação, identificando os agentes de cada fase e suas respectivas porcentagens correspondentes a parcela de adotantes.

Figura 3. Curva de difusão da inovação



Fonte: Rogers (1962).

1.2 ATIVOS COMPLEMENTARES

A incerteza é uma das características do processo de inovação, de forma que o desenvolvedor de um produto inovador não possui a garantia de que os altos investimentos necessários para conceber este novo produto serão recuperados através de sua comercialização no mercado. A aceitação do consumidor, adaptação da inovação ao paradigma existente e os custos de aquisição são exemplos de fatores que podem inviabilizar o retorno financeiro.

É possível que adotantes iniciais de uma inovação acabem por lucrar menos em comparação aos seus competidores. Os lucros de uma inovação podem ser compartilhados por consumidores, fornecedores, inovadores e seus imitantes. Este cenário trouxe a necessidade de entender os fatores que impedem um *early adopter* de ser o agente que mais auferir lucro no processo.

Esta teoria é levantada em um estudo de (TEECE, 1986) que aponta os fatores responsáveis pela redução dos lucros de um *early adopter* em comparação aos outros agentes que são beneficiados positivamente no processo de inovação. Para o autor, três fatores podem afetar o lucro de um inovador: regime de apropriabilidade, paradigma do *design* dominante e os ativos complementares.

O regime de apropriabilidade corresponde a fontes dentro do ambiente que governam a capacidade de auferir lucros pela inovação, como a natureza da tecnologia, os produtos e processos que ela cria, além da forma de consolidação do novo conhecimento, que pode se configurar em conhecimento tácito ou codificado. Os mecanismos legais de proteção à propriedade intelectual, como patentes, *copyrights* e segredos industriais são importantes para evitar que uma parcela dos lucros seja transferida dos inovadores para os imitantes do novo produto ou processo recentemente lançado no mercado.

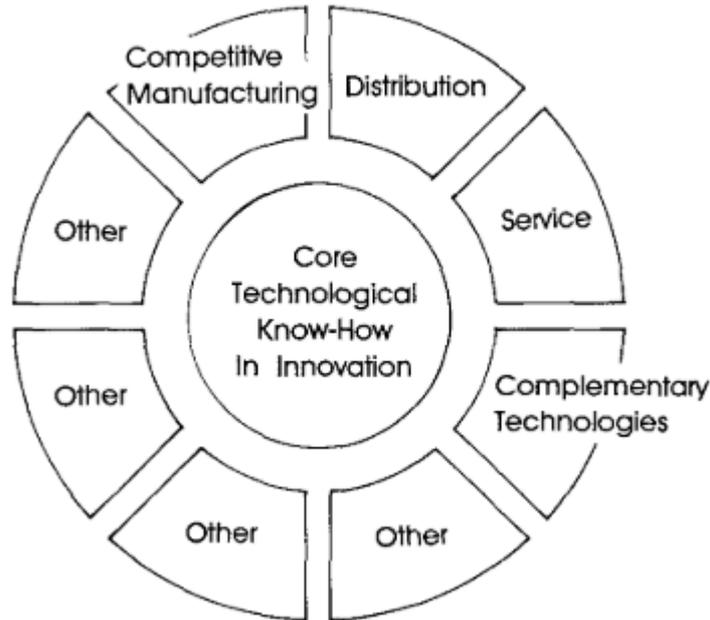
Na fase inicial da inovação, a competição influencia a criação de múltiplos *designs* tecnológicos que acabam por competir entre si pela hegemonia no mercado. Antes da existência de um padrão comum, esta fase é denominada pelo autor como fase pré-paradigmática, e conforme um padrão se consolida no mercado, há uma transição para uma fase denominada fase paradigmática do *design*. A consolidação de um denominador comum pode auxiliar a ação dos imitantes, que realizam eventuais melhorias em cima da planta tecnológica hegemônica e conseguem desta forma auferir lucros em cima desta inovação, realizando investimentos em uma menor magnitude em comparação com o adotante inicial.

Por fim, existem ativos que não possuem um relacionamento direto com a inovação, mas seu domínio por parte do inovador é essencial para garantir que os lucros fiquem retidos por este

agente e não sejam captados por imitantes ou fornecedores. Este conjunto de ativos que aliam a capacidade da inovação com outras pertinentes para sua comercialização recebe a alcunha de ativos complementares. São exemplos de ativos complementares, as capacidades de manufatura, marketing, prestação de serviços, distribuição e outros ativos.

A Figura 4 ilustra os ativos complementares necessários para comercializar uma inovação.

Figura 4. Ativos complementares necessários para comercializar uma inovação



Fonte: Teece (1986).

Os ativos complementares são divididos pelo autor em três tipos: genéricos, especializado e coespecializado. Os ativos genéricos são aqueles que não precisam se adaptar à inovação, impondo uma independência destes em relação ao novo produto. Já os ativos especializados, possuem uma dependência unilateral, seja a dependência do ativo pela inovação ou da dependência da inovação pelo ativo. Os ativos coespecializados apontam para uma dependência bilateral, de forma que há uma dependência mutual entre ativo e inovação para garantir a existência de ambos (TEECE, 1986).

A propriedade dos ativos complementares indica quem ganha ou perde no processo de inovação e demonstra que os agentes que possuem maior familiaridade com os ativos da inovação e seus ativos complementares possuem uma vantagem competitiva no mercado. A estratégia da empresa inclusive varia de acordo com o domínio dos ativos complementares, visto que a empresa inovadora pode estabelecer contratos para acessar ativos complementares de terceiros ou até mesmo integrar outros agentes à sua cadeia produtiva para garantir o uso destes ativos.

O usufruto dos ativos complementares pode acontecer através de uma cooperação entre firmas incumbentes e novos entrantes, realizada para garantir o acesso aos ativos complementares ou ao conhecimento para seu manuseio. Desta forma as firmas inovadoras não precisam desenvolver os ativos complementares, apenas estabelecer acordos com os seus respectivos donos. Aquisições, *joint ventures* e alianças são exemplos de cooperação entre incumbentes e entrantes que garante um benefício mutual característico dos ativos complementares (ROTHAERMEL, 2001).

Caso a inovação seja sistêmica, há uma grande chance de que os ativos complementares também sejam sistêmicos, o que expande o escopo de atuação da empresa inovadora. As políticas públicas também devem atuar focando nos ativos complementares como uma forma de auxiliar o processo de inovação, neste caso o objetivo é garantir que os esforços sejam destinados não apenas a inovação, mas também para o desenvolvimento dos ativos complementares. Barreiras para desenvolvimento de ativos complementares devem ser derrubadas visando garantir uma maior acessibilidade dentro do processo de inovação (TEECE, 1986).

1.3 SPILLOVERS

Outra forma de usufruir de uma inovação mesmo não sendo o desenvolvedor da mesma acontece através do aproveitamento do processo de *spillover*. São denominados *spillovers* os processos de transbordamento tecnológico que ocorrem dentro da indústria. Neste caso, a pesquisa realizada por uma empresa pode ser usada por outra sem necessidade de compra ou de esforços para seu desenvolvimento (STEURS, 1995).

Os *spillovers* podem acontecer de duas formas: intra-industrial e inter-industrial. Na primeira, as firmas de um mesmo setor industrial se beneficiam da utilização de uma inovação desenvolvida por uma determinada firma, enquanto a segunda se caracteriza por um transbordamento tecnológico de setores industriais distintos. As diferenças entre os *spillovers* podem ditar as dinâmicas e o resultado dos programas de pesquisa e desenvolvimento – P&D, principal método de inovação inter e intra-industrial.

O propósito para realizar dispêndios em projetos de pesquisa e desenvolvimento, é conceber novos produtos ou soluções que promovem a redução dos custos de produção de uma firma. Neste sentido, a inovação possui um efeito direto na redução dos custos, enquanto os *spillovers* promovem este mesmo efeito em firmas distintas, através do fluxo de conhecimento na forma de uma externalidade positiva da pesquisa (BERNSTEIN, 1988).

Sob um regime de apropriabilidade, onde os direitos de propriedade intelectual são preservados, os *spillovers* geram incentivos para executar projetos de pesquisa e desenvolvimento. Desta forma, há um fluxo de conhecimento através da cooperação, seja ele intra-industrial ou inter-industrial, mas a firma inovadora possui os direitos para determinar como esse fluxo irá acontecer (SPENCE, 1984). O efeito da redução dos custos de produção pode se transbordar para outras empresas conforme elas adotam este conhecimento transbordado pela firma inovadora.

Neste sentido, os esforços inovativos em projetos de pesquisa e desenvolvimento reduzem os custos de produção, aumentam a produtividade, auferem lucros e promovem um aumento no bem-estar social do segmento observado (STEURS, 1995). No entanto, os resultados observados pela colaboração intra-industrial diferem da colaboração inter-industrial, pois como há competição no âmbito intra-industrial, o benefício social tende a ser menor do que em situações onde firmas não competem entre si (STEURS, 1995).

Apesar das reticências que a cooperação intra-industrial pode fornecer, a cooperação inter-industrial visando gerar conhecimento para transbordar a outros setores é importante e deve ser alvo das políticas públicas (STEURS, 1995). Desta forma os *spillovers* são encorajados e as externalidades positivas que eles promovem podem se espalhar para outros setores industriais, promovendo um processo de inovação marginal a partir do momento que este conhecimento é adaptado para paradigmas distintos enfrentados por setores industriais com características distintas.

1.4 EXTERNALIDADES

Externalidade é um fenômeno econômico que corresponde ao custo ou benefício social imputado a partir das decisões de produção ou consumo de um agente privado. As externalidades de produção, são calculadas a partir da diferença entre o custo marginal privado que um agente possui e o custo marginal social.

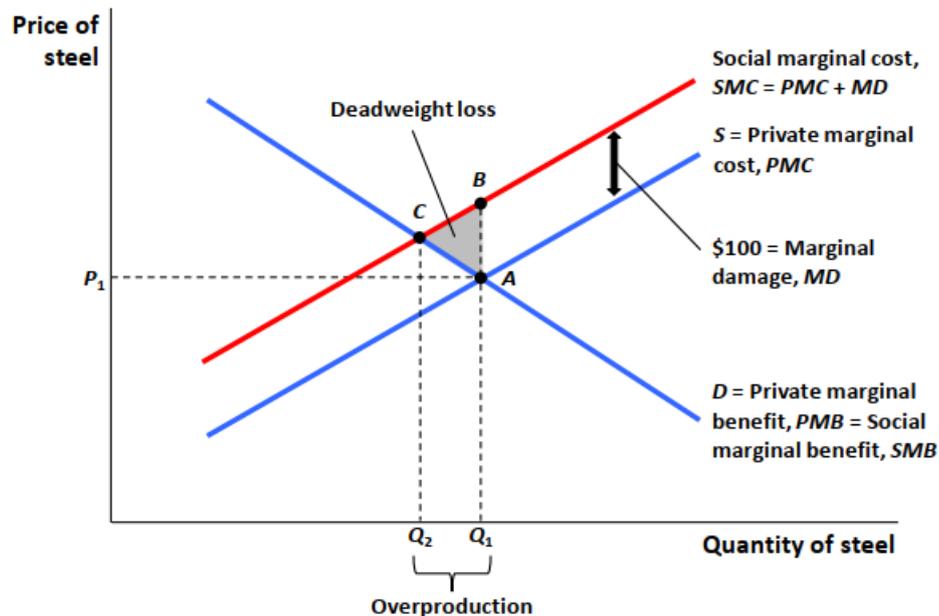
Caso o custo marginal privado seja maior que o custo marginal social, a externalidade é negativa, o que significa que este agente está prejudicando terceiros a partir de suas decisões de produção. Neste caso há uma transferência de uma parcela dos custos de produção para a sociedade o que acarreta uma decisão onde a quantidade produzida é maior que a quantidade socialmente ótima.

A produção de aço é um exemplo de externalidade negativa, visto que este processo possui subprodutos que são tóxicos para o meio ambiente. Caso o produtor não tenha sua produção

regulada, a quantidade produzida imputa em um dano marginal para a sociedade na forma desta poluição, prejudicando outras atividades que podem ser afetadas pelo bioma poluído, como a pesca (GRUBER, 2012).

A Figura 5 ilustra as curvas de oferta e demanda para a produção de aço.

Figura 5. Externalidades negativas de produção: fabricação de aço



Fonte: Gruber (2012).

A intersecção entre as curvas de oferta e demanda resulta no ponto de equilíbrio A, onde a quantidade produzida é Q_1 de acordo com um preço P_1 . A curva de demanda é expressa pela igualdade entre o benefício marginal social e o benefício marginal privado.

No entanto, observa-se um custo marginal social em relação ao custo marginal privado, visto que a poluição gera danos marginais para a sociedade. Como o produtor não é afetado pela poluição, ele tende a produzir o máximo possível, ultrapassando a quantidade considerada socialmente ótima.

Para corrigir este problema, é necessário imputar os danos marginais na curva de oferta, deslocando da curva azul para a curva vermelha. Neste caso, como o produtor arca com as externalidades negativas do seu processo, seu custo de produção será maior em comparação ao cenário onde a sociedade arcava com os custos da poluição, resultando na necessidade de reduzir a quantidade produzida. Desta forma, a quantidade produzida deslocará de Q_1 para Q_2 onde há a intersecção da curva de demanda azul com a nova curva de oferta vermelha, resultando em uma menor quantidade com um preço maior.

As externalidades também podem ser positivas, quando uma atividade produtiva gera efeitos benéficos para a sociedade, com um custo marginal social inferior ao custo marginal privado. Neste cenário, o produtor promove as externalidades positivas, enquanto o ponto de equilíbrio social possui uma maior quantidade a um menor preço (GRUBER, 2012). Um exemplo de externalidade positiva é a redução dos custos dentro de uma indústria através do transbordamento tecnológico de um projeto de pesquisa e desenvolvimento realizado por uma determinada firma.

As externalidades não se restringem apenas ao âmbito de produção, podendo se consolidar no processo de consumo. Isto significa que as decisões de consumo de um indivíduo podem afetar negativamente ou positivamente terceiros. Da mesma forma que a externalidade de produção, externalidades negativas são mais recorrentes em comparação às externalidades positivas.

O setor automotivo é um grande exemplo de observação de externalidades, sejam elas positivas ou negativas. A poluição do ambiente através da queima de combustíveis fósseis, a poluição sonora promovida pelos motores veiculares, congestionamentos e acidentes automobilísticos são exemplos de que implicam em valores arcados pela sociedade através de gastos em saúde pública, perda de produtividade e redução da expectativa de vida dos habitantes (PARRY, 2007; JI et al., 2012).

A busca de um método capaz de quantificar, em termos monetários, a externalidade negativa promovida por uma atividade possui uma forte relação com o setor automotivo. Inicialmente, Arthur Cecil Pigou, o responsável por consolidar o conceito de externalidade no âmbito econômico, buscava um método de equalizar os benefícios marginais e os custos marginais dentro de um processo em que há externalidade.

O imposto pigouviano possui este propósito e realiza o cálculo do custo social imputado, sendo introduzida na forma de taxas que representam o custo social marginal da externalidade, se consolidando como a monetização da externalidade negativa gerada (PIGOU, 1920). Com o pagamento desta taxa, há um aumento nos custos de produção e uma redução na quantidade produzida, tendendo para a quantidade socialmente ótima. Caso as externalidades sejam positivas, o autor propõe que este valor seja providenciado como um subsídio para este agente, como uma bonificação por aumentar o benefício social marginal.

Este método de precificação de externalidade foi muito utilizado durante o século XX na indústria automotiva. A taxa de combustíveis era uma política pública tradicional de quantificar as externalidades negativas oriundas da emissão de gases nocivos, acidentes e congestionamentos que os veículos promovem (PARRY, 2007). Agências reguladoras buscaram impor uma taxa corretiva como forma de lidar com as externalidades negativas.

Com o passar do tempo, alternativas ao imposto pigouviano nascem como forma de lidar com as limitações de sua metodologia. Calcular o bem-estar de indivíduos em larga escala se torna uma tarefa árdua, que apenas governos tem capacidade de fazer e em alguns casos de forma insuficiente. A taxação dos combustíveis visando reduzir seu consumo não se consolida como uma boa política em luz da inelasticidade deste produto, o que significa que a quantidade consumida não é reduzida, como a base teórica do imposto propõe (PARRY, 2007).

O modelo *cap and trade* surge como alternativa ao imposto pigouviano, impondo uma quantidade máxima de produção por um determinado agente, que só pode se exceder caso este consiga adquirir os direitos de produção de um terceiro. Este modelo se torna a base para o controle de emissão de gases nocivos ao meio ambiente conhecido atualmente como *Emissions Trading System* – ETS, o sistema de intercâmbio de emissões, onde cada agente possui uma quantidade pré-determinada de créditos de carbono e apenas através da aquisição dos créditos de outro agente, seu nível de emissões pode aumentar.

Caso uma firma possua um nível de emissões abaixo do estipulado pelo ETS, ela pode transformar esta eficiência em ganhos financeiros ao comercializar a quantidade residual no mercado para agentes que ainda se encontram deficitários neste sistema. Trata-se de um arcabouço regulatório que estipula um imposto para os agentes que promovem externalidades positivas e um estímulo, na forma da monetização dos créditos de carbono, para reduzir suas emissões.

Apesar da difícil transição do conceito de externalidade do âmbito teórico para o prático, este conceito possui uma forte influência sobre a indústria no geral, e influencia as ações de políticas públicas para mitigar seus efeitos negativos e garantir que seus impactos positivos sejam difundidos na sociedade. O setor automotivo, objeto de estudo de métodos de quantificação de externalidades em luz das múltiplas formas na qual ela se expressa nesta específica indústria, também atua como campo de modernização das taxas e subsídios envolvendo as externalidades promovidas no século XXI.

2 SITUAÇÃO TECNOLÓGICA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

O objetivo deste capítulo é realizar um levantamento atual da situação tecnológica dos veículos elétricos e seus ativos complementares, indicando sua evolução no momento da concepção até o lançamento em massa no mercado. Tecnologias ancilares como baterias, infraestrutura de recarga e os conectores embutidos também são analisados, pois fazem parte do conjunto de ativos que viabilizam a existência do segmento de mobilidade elétrica.

Os veículos elétricos possuem uma missão principal de substituir os veículos de combustão interna (ICE) utilizados atualmente no setor de transportes, em diversos modais, como a locomoção individual, o transporte público e também o deslocamento de bens em quantidades significativas. A eletrificação da frota se torna um processo benéfico para a sociedade pois os veículos elétricos possuem uma eficiência energética significativamente maior, sua arquitetura é mais simples, diminuindo os impactos sobre o meio rodoviário e existe uma forte convergência desta nova tecnologia com práticas sustentáveis.

Esta inovação possui um impacto prático sobre o segmento de transportes, mas também teórico. Torna-se difícil de comparar a eficiência energética de veículos de combustão interna e elétricos utilizando os conceitos que se tornaram um consenso ao longo do século XX. Desta forma, é necessária a modificação dos indicadores de eficiência energética para tornar esta comparação entre as tecnologias mais justa.

A modificação de contextos que se observa com a introdução desta tecnologia também transcende o setor de transportes. Os veículos elétricos possuem um forte grau disruptivo dentro do setor de energia elétrica, com o poder de modificar o comportamento de agentes na cadeia produtiva, estimular a utilização de novas tecnologias e alterar uma estrutura que possui um caráter crônico monopolista. Composto o conjunto de tecnologias disruptivas conhecidas como Recursos Energéticos Distribuídos – RED, há uma forte contribuição por parte dos veículos elétricos para modificar o setor de eletricidade também.

A observação da evolução tecnológica e o estado atual dos veículos elétricos possui uma importância ímpar para as políticas públicas e o marco regulatório. A identificação de lacunas não preenchidas pelo segmento, além das dificuldades enfrentadas em outras áreas pode servir de orientação para a ação de instituições públicas que prezam por este desenvolvimento.

Ao mesmo tempo o marco regulatório necessita acompanhar esta inovação com uma certa proximidade, pois é inexorável que sua introdução no mercado seja acompanhada por novas práticas disruptivas capazes de alterar a estrutura do mercado de forma negativa caso sua atuação não seja acompanhada por um conjunto de normas e condutas regulando esta atividade.

Estas normas e condutas também devem prezar por garantir a continuidade do processo de inovação, visto que a regulação pode impedir o florescimento de novas inovações devido à sua dificuldade de acompanhar as práticas disruptivas na mesma velocidade que o mercado.

2.1 RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS

Os recursos energéticos distribuídos – RED, são conhecidos como o conjunto de tecnologias que permitem a geração ou armazenamento de energia elétrica conectadas aos sistemas de uma determinada distribuidora (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018). O objetivo inicial, de gerar ou armazenar energia sem a necessidade de dependência de uma transmissora de eletricidade, segmentou o ramo de recursos energéticos em dois tipos: tecnologias para geração e tecnologias para armazenamento. (AKOREDE; HIZAM; POURESMAEIL, 2010)

As tecnologias para geração distribuída visavam gerar energia dentro de um sistema de distribuição, em baixa ou média voltagem, sem a necessidade de atuação tanto da distribuidora quanto da transmissora de energia. Para a geração, são utilizados tanto geradores convencionais, movidos pela queima de combustíveis fósseis, como geradores não convencionais que se diferem dos convencionais por apresentar uma característica mais sustentável e permitir a massificação deste tipo de tecnologia para o consumidor.

Entre os geradores não convencionais, se destacam dois tipos: os dispositivos eletroquímicos, que convertem energia química em eletricidade, mais conhecidos pela sua utilização em células de combustível, e os dispositivos renováveis (AKOREDE; HIZAM; POURESMAEIL, 2010). Neste último grupo estão as fontes de geração solar, eólica e térmica (geotérmica e biomassa, especificamente) que possuem um baixo grau de emissão de gases nocivos ao meio ambiente, como o gás carbônico – CO₂, proveniente da queima de combustíveis fósseis característica dos geradores convencionais.

Devido ao menor espaço necessário para instalação e capacidade de integração à rede da distribuidora, os geradores não convencionais renováveis já são utilizados por unidades residenciais para consumo próprio ou injetar a energia gerada na rede da distribuidora e receber uma compensação monetária nesta atividade. Isto garante um potencial disruptivo dentro do setor elétrico ao promover uma mudança no centro de gravidade da etapa produtiva, que reduz a dependência dos consumidores frente à transmissora e distribuidora e ainda lhe provê a capacidade de produzir energia, embora em escala reduzida.

Outro potencial disruptivo dentro do setor é proveniente da tecnologia de armazenamento de energia, em luz da inviabilidade econômica de estocar a produção da eletricidade, independente da escala. Esta impossibilidade exige um forte planejamento energético que percorre toda a cadeia produtiva para evitar que aconteça um descolamento entre demanda e oferta de eletricidade. O excesso de oferta se traduz em um desperdício de recursos, enquanto uma demanda maior que a oferta pode acarretar uma alocação de recursos forçada que pode paralisar o consumo de alguns agentes.

Os preços das baterias começam a diminuir conforme as montadoras realizam esforços para garantir uma paridade de preços entre veículos elétricos e de combustão interna. A partir desta redução, as usinas de armazenamento de energia, que possuem como base esta tecnologia começa a ser implantadas com o objetivo de solucionar a instabilidade da rede que a falta da possibilidade de estocagem promove.

Estas usinas, conhecidas como *Battery Energy Storage System* – BESS, começam a ser implementadas em projetos piloto que testam sua sinergia com fontes de energia renováveis, voltados para a injeção de eletricidade na rede em momentos de pico da demanda. Apesar de atualmente ainda possuírem um alto custo de introdução, condições restritivas de operação (como baixa temperatura) (AQUINO et al., 2017), o segmento de veículos elétricos é capaz de fornecer subsídios a esta tecnologia conforme as baterias dos primeiros veículos elétricos alcançam o fim de sua primeira vida e podem ser reutilizadas para a implementação de projetos voltados ao armazenamento.

A redução do preço das baterias também irá estimular sua utilização em agentes mais fragmentados, como o consumidor residencial. Sistemas de geração distribuída possuem o seu horário característico de geração como um fator limitador da quantidade de eletricidade que um consumidor pode gerar em um dia. A geração distribuída fotovoltaica, por exemplo, apesar de sua forte sustentabilidade e todas as externalidades positivas que ela promove, possui sua geração atrelada à incidência dos raios solares e conseqüentemente aos horários em que estes são mais fortes, com geração próxima de zero em horários de pico da demanda, geralmente entre 18:00h e 21:59 (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), 2019).

Na situação do consumidor possuir um padrão de consumo oposto da geração fotovoltaica, ele continua dependente da sua distribuidora. A introdução de um sistema de armazenamento de energia em menor escala, esta dependência diminui consideravelmente, podendo ser até erradicada caso sua demanda por eletricidade seja menor que a quantidade gerada ao longo do dia. A difusão deste processo depende da redução do custo das baterias, seguindo o mesmo processo da geração distribuída fotovoltaica, que foi bem recebido tanto por

consumidores, quanto por governos que buscam diversificar sua matriz energética e reduzir seu consumo de combustíveis fósseis, mas apresentava altos custos de adoção em seus anos iniciais.

O conceito de recursos energéticos distribuídos também começa a evoluir, de forma a englobar outras tecnologias que contribuem para aspectos relacionados à gestão do consumo de energia, seja de unidades consumidoras ou da própria distribuidora. Tecnologias que auxiliam medidas de resposta da demanda, gerenciamento do lado da demanda e eficiência energética também fazem parte do conjunto de recursos energéticos distribuídos (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018).

A resposta da demanda consiste em introduzir dispositivos ou incentivos que alterem o padrão de carga do consumidor em um determinado momento. Um exemplo de tecnologia que auxilia neste processo são os medidores inteligentes, que conseguem realizar em tempo real a mensuração da energia consumida em um determinado domicílio e disponibilizar tanto para a distribuidora quanto para o consumidor estes dados, de forma que ambos tenham conhecimento do perfil de carga e possam ajustar para outros horários do dia, através da introdução de um regime de incentivos, como tarifas horárias.

O gerenciamento do lado da demanda possui o mesmo objetivo da resposta da demanda, porém ele inclui em seu conceito métodos para eficiência energética, além de expandir o escopo de atuação para além do consumidor. Enquanto a resposta da demanda é centrada no consumidor e nos incentivos financeiros que ele possui para alterar seu padrão de consumo, o gerenciamento do lado da demanda engloba distribuidoras e operadoras neste plano, visando equalizar oferta e demanda de eletricidade no longo prazo, utilizando a resposta da demanda combinada com medidas de eficiência energética para aumentar a flexibilidade da rede e otimizar a utilização de recursos¹.

Ao adicionarmos todos estes dispositivos, é possível definir os principais componentes do conjunto de tecnologias conhecido como recursos energéticos distribuídos. São eles:

- i) Geração distribuída (convencional e não convencional);
- ii) Armazenamento de energia;
- iii) Veículos elétricos;
- iv) Resposta da demanda;
- v) Eficiência energética;
- vi) Gerenciamento do lado da demanda.

¹ Fonte: Project Respond Eu (2018). Disponível em project-respond.eu/2018/01/. Acesso em 18 mar. 2021.

Os veículos elétricos fazem parte dos RED a sua capacidade de integração à rede, tanto para recarga, quanto para descarga no sistema de distribuição. O processo de recarga é o abastecimento do veículo conforme seu combustível esgota, enquanto o processo de descarga fornece a capacidade de auferir ganhos financeiros para o consumidor, em condições similares à geração distribuída, mas com um diferencial que torna os veículos elétricos estratégicos em países com problemas crônicos de balanceamento de oferta e demanda em horários de pico.

A conexão de um veículo elétrico à rede de distribuição é um processo denominado *vehicle to grid* – V2G, e permite que o dono desta tecnologia injete a eletricidade armazenada em troca de uma compensação financeira. Isto pode ser extremamente útil para países que possuem dificuldade de equalizar oferta e demanda de energia em horários de pico, com a descarga da capacidade da bateria em horários de pico e deslocando a recarga para horários em que a demanda é substancialmente menor.

A massificação do V2G depende de um marco regulatório que estabeleça sua plena funcionalidade, garanta um método de compensação por esta atividade e também forneça uma certa conveniência para o consumidor (LOISEL; PASAOGLU; THIEL, 2014). Sem o aval da regulação, este tipo de prática sequer pode ser promovido, sem um método de compensação o indivíduo terá poucos incentivos para modificar seu comportamento e caso não exista um grau de conforto neste processo os ganhos serão irrelevantes em frente ao trabalho necessário para a transição dos horários de carga.

O regime tarifário horo-sazonal, que estabelece uma precificação da eletricidade de acordo com horários do dia, com preços diretamente proporcionais à demanda por eletricidade, é o primeiro incentivo, visto que se auferem uma compensação financeira quantificada pela diferença da descarga em momentos de alta demanda e a recarga em momentos em que o pico é baixo.

No entanto, o paradigma tecnológico do século XXI exige uma forte automatização dos serviços para obter a aderência por parte do consumidor. Caso o processo de transição dos horários de carga fosse feito manualmente, dificilmente ele teria sucesso pois os ganhos monetários seriam irrelevantes em frente à inconveniência de ter que iniciar a carga do veículo em horários de baixa demanda.

Para solucionar este entrave, foi desenvolvido um sistema de carga inteligente controlada denominado V1G, ou *smart charging*. Nele, o veículo realiza a carga e descarga da bateria nos horários programados pelo seu proprietário, podendo inclusive ajustar a velocidade na qual a recarga é feita (INTERNATION RENEWABLE ENERGY AGENCY, 2019). A automatização garante esta conveniência para o consumidor e também permite a flexibilidade

da rede de distribuição através do *peak shaving*, processo de achatamento da curva de demanda em horários de pico, ao injetar eletricidade em momentos de geração onde a geração não consegue acompanhar o consumo.

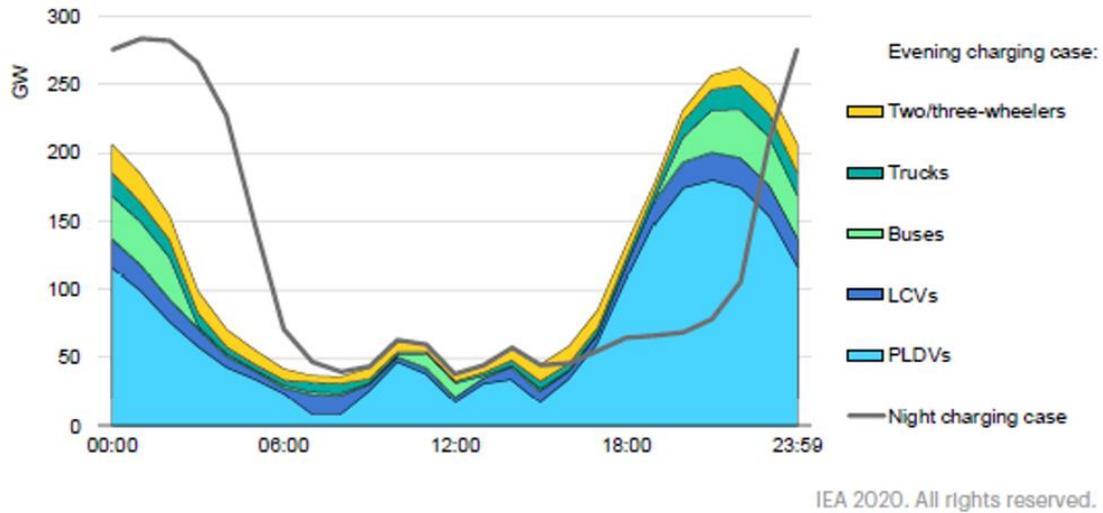
No entanto, os veículos elétricos dificilmente podem auxiliar o processo de *peak shaving* de forma fragmentada. É necessário aglutinar diversos domicílios que possuem veículos elétricos integrados na rede para comercializar esta energia com a distribuidora. Para conciliar estes diversos consumidores, existe a figura do agregador, que presta o serviço de carga controlada para vários donos de veículos elétricos, e vende no atacado o acúmulo da energia para a distribuidora.

A difusão do V2G em união ao V1G é importante para evitar que a massificação do mercado de veículos elétricos sobrecarregue a rede de distribuição. Os veículos elétricos, devido a sua autonomia limitada, são utilizados geralmente para fazer trajetos diários como o deslocamento de um indivíduo de sua casa para o trabalho. Neste sentido, a parcela majoritária das recargas é feita no horário entre 18:00 e 21:59, momento onde são finalizadas as jornadas de trabalho e os consumidores retornam aos seus domicílios dispostos a carregar o veículo para o próximo dia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019).

Em um cenário onde não existem incentivos para carregar em outros horários e com as projeções de difusão de veículos elétricos para os próximos anos, o consumo de eletricidade por este segmento pode alcançar até 4% da eletricidade global produzida (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY), 2019).

A Figura 6 ilustra a projeção da quantidade de energia consumida em 2030 pelo segmento de veículos elétricos e também o padrão de carga de cada tipo de veículo elétrico de acordo com o horário do dia, indicando o potencial de redução do horário de pico caso os incentivos sejam implementados.

Figura 6. Horário de recarga de acordo com o tipo do veículo



A parcela amarela corresponde aos veículos de duas ou três rodas, enquanto as cores verde-marinho, verde claro, azul marinho e azul claro correspondem aos caminhões, ônibus, veículos leves comerciais e veículos leves de passageiros. A linha cinza demonstra como a carga se comportaria caso houvesse a introdução de um regime de incentivos capaz de deslocar a demanda por eletricidade dos veículos elétricos para um horário fora do pico da demanda.

Fonte: International Energy Agency (2019).

Este exemplo apenas demonstra o potencial disruptivo que os veículos elétricos possuem dentro do setor elétrico e sua convergência com as outras tecnologias que compõem o conjunto de recursos energéticos distribuídos. A capacidade de realizar sua recarga em horários de menor demanda já ilustra a sinergia com fontes de geração renováveis não convencionais, como a energia solar e eólica, enquanto a automatização do processo de recarga aponta para a compatibilidade a medidas de resposta da demanda, evidenciado pelo exemplo de tarifas horárias e dispositivos digitais que o processo de carga controlada demanda para seu funcionamento.

Já o avanço do mercado de veículos elétricos torna as usinas BESS cada vez mais viáveis economicamente, visto que no futuro existirá uma maior quantidade de baterias veiculares que alcançaram o fim de sua primeira vida útil. Ao alcançar este fim, as baterias não possuem capacidade de armazenamento suficiente para garantir a autonomia veicular, exigindo uma substituição por um modelo novo, que acarreta seu descarte. Estas baterias descartadas podem ser utilizadas, em larga escala, para constituir uma usina de armazenamento de energia, que apesar de possuir uma capacidade de ação limitada (em questão de horas de funcionamento), pode auxiliar a rede de distribuição em momentos de necessidade (AQUINO et al., 2017).

Isto apenas ressalta a versatilidade dos veículos elétricos dentro do conjunto de recursos energéticos distribuídos, graças à sua capacidade de atuação como dispositivos de geração distribuída, aos subsídios fornecidos para o segmento de armazenamento de energia, também contemplando os incentivos para a concepção de dispositivos inteligentes e medidas de gerenciamento da demanda por energia. O gerenciamento do lado da demanda preza pelo planejamento de longo prazo e otimização do uso da energia, favorecendo tecnologias que possuem um maior grau de eficiência energética. Esta é outra premissa dos veículos elétricos, uma maior capacidade de realizar o mesmo trajeto utilizando menos energia, em comparação aos veículos ICE (ZHANG et al., 2017), que ilustra sua convergência com todas as áreas dos RED.

2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Observando o comportamento do mercado de veículos elétricos, que iniciou sua comercialização em massa² do primeiro modelo apenas no fim do século XX, pode-se chegar a errônea suposição de que se trata de uma tecnologia recente e incipiente. Pelo contrário, os veículos elétricos consistem em uma tecnologia secular, que foi concebida no fim do século XIX e perdeu a corrida tecnológica devido à suas limitações e ao contexto mais favorável para os veículos de combustão interna.

Curiosamente, os veículos elétricos nasceram com o objetivo de auxiliar o desempenho dos veículos de combustão interna. Baterias elétricas, que possuem a capacidade de ajustar a velocidade e torque do motor, e garantem uma otimização do processo de consumo de energia, eram utilizadas em conjunto com motores de combustão interna, para melhorar a sua fraca performance nos anos iniciais (HØYER, 2008).

As baterias garantiam a flexibilidade de utilização em um modelo híbrido, como apontado acima, ou completamente elétrico, que utilizava a energia gerada por um motor elétrico para realizar a locomoção do veículo. A base tecnológica do segmento de baterias foi desenvolvida no começo do século XIX e sendo aprimorada por um século até alcançar seus limites por volta da década de 1920. Dada à sua importância no funcionamento de um veículo elétrico, a história da evolução desta inovação é diretamente relacionada ao desenvolvimento do segmento de armazenamento de energia (HØYER, 2008).

² O termo comercialização em massa se refere ao processo de desenvolvimento, produção e comercialização de uma tecnologia com capacidade de suprir grandes quantidades da demanda, algo não observado no segmento de veículos elétricos até o fim do século XX, com o lançamento do Toyota Prius no Japão e no mercado internacional no ano seguinte.

No início do século XX, o novo mercado de mobilidade era disputado por três modelos distintos: veículos de combustão interna, veículos elétricos e veículos à vapor. Apesar do início turbulento, em termos de desempenho, os veículos de combustão interna se consolidaram como tecnologia vencedora ao fornecer um modelo com boa performance e preço acessível ao consumidor, enquanto os veículos elétricos foram delegados para um segundo plano, sendo apenas resgatados em momentos de escassez de veículos de combustão no mercado interno.

Isto foi observado nas duas guerras mundiais, onde os veículos elétricos foram preteridos em países onde os veículos a combustão interna foram alocados para os esforços de guerra. A tentativa de ressurgir dentro do mercado, esbarrava sempre na disponibilidade dos combustíveis fósseis, e seu baixo preço, que oscilava em momentos de crise energética, mas ainda garantia um menor custo de adoção em comparação à tecnologia concorrente.

Além do problema de custos, os veículos elétricos possuíam uma autonomia limitada em luz da estagnação do segmento de baterias. Isto acarretava modelos que apresentavam um alcance significativamente menor em comparação aos veículos de combustão interna, exigindo uma infraestrutura de recarga com maior densidade dentro de uma determinada área.

Neste sentido, se apresenta todo um contexto responsável pelo insucesso do segmento de mobilidade elétrica no século XX e sua sucessiva estagnação secular. O armazenamento de energia acarretava veículos mais caros, com menor autonomia e também mais compactos em termos de tamanho, inviabilizando sua utilização em modelos mais espaçosos que foram ganhando a preferência do consumidor ao longo do tempo. A disponibilidade de combustíveis e seu baixo preço também é fator fundamental para garantir a hegemonia neste mercado, enquanto as evoluções tecnológicas não foram compartilhadas pela mobilidade elétrica, que permaneceu com sua base tecnológica incólume ao longo do século XX (HØYER, 2008).

O movimento de resgate dos veículos elétricos acontece apenas quando as externalidades negativas da queima de combustíveis fósseis em massa começam a ser quantificadas e questionadas, conforme observa-se uma grande correlação entre efeitos climáticos adversos e queima de combustíveis, apenas agravados diante da baixa eficiência dos motores de combustão interna. Gases como monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio – NO_x, óxidos de enxofre – SO_x, e outros poluentes observados dentro dos combustíveis fósseis, como chumbo, contribuem para fenômenos nocivos ao meio ambiente, tais como a chuva ácida e o aquecimento global (EHSANI et al., 2017).

Diante da maior eficiência energética e do menor nível de emissões destes gases, os veículos elétricos voltam a receber a atenção por parte de governos e montadoras conforme a agenda sustentável demonstra avançar e demanda por esta tecnologia. Esta demanda impulsiona

a evolução do padrão tecnológico, com o objetivo de garantir que este modelo possua condições equivalentes em relação aos veículos de combustão interna.

A diferença entre a tecnologia nos dois modelos, de combustão interna e elétricos, dita a eficiência energética do veículo. Enquanto os veículos de combustão interna necessitam de um motor movido à combustíveis fósseis, que gera energia pela expansão dos gases após sua queima, os veículos elétricos já possuem esta energia armazenada em forma de eletricidade dentro de suas baterias.

O fornecimento de energia pela queima de combustíveis não é um método muito eficiente de prover trabalho para um motor, visto que o processo de queima já apresenta insuficiências, e são observadas perdas de energia em forma de calor e gases. Este processo apresenta baixos valores de eficiência, com 30% do total da energia sendo aproveitados pelo motor e se tornando energia cinética, enquanto o restante é dividido em parcelas iguais de perdas dissipadas em forma de calor e gases, respectivamente (MOHANADASS, 2019).

O mesmo processo, possui uma eficiência maior no caso dos veículos elétricos. Com uma bateria que possui capacidade de auxiliar a performance do motor, ou até mesmo para fornecer toda a energia necessária para o deslocamento do veículo, os veículos elétricos registram um menor valor de perdas em comparação aos veículos de combustão interna. A média de eficiência energética para um veículo elétrico é de aproximadamente 73%, onde a parcela complementar se registra em perdas do trem de transmissão do veículo e também do processo de descarga de eletricidade da bateria (MOHANADASS, 2019).

A comparação de eficiências distintas não consistia em um problema em um mundo onde apenas os veículos de combustão interna eram comercializados. Como se trata da razão do trabalho³ utilizado pelo veículo e o trabalho total fornecido pelo combustível, o indicador de eficiência utilizado no setor de transportes era adaptado para a distância percorrida por unidade de combustível consumido. Ao longo do século XX, a eficiência de um veículo era medida em quilômetros por litro ou milhas por galão – MPG.

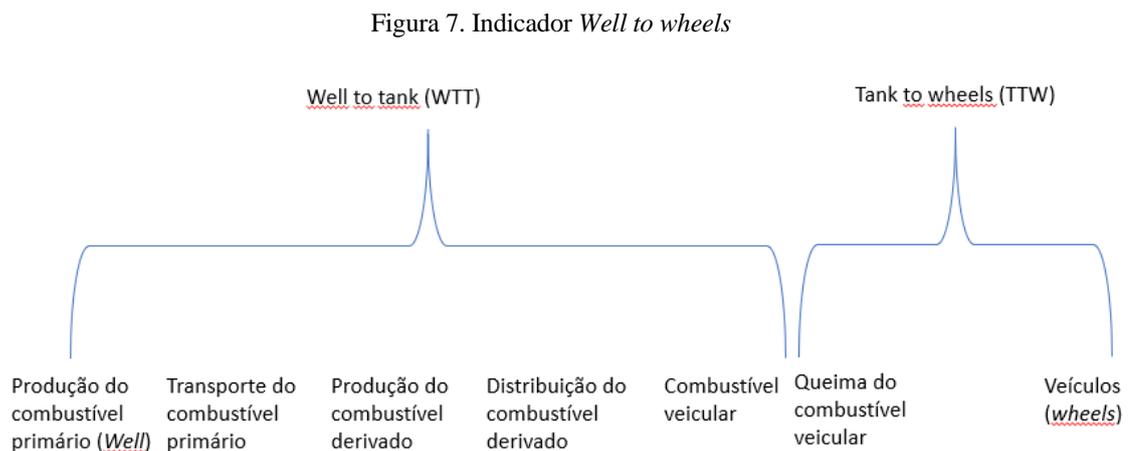
No entanto, como os veículos elétricos consomem eletricidade para se locomover, o indicador utilizado neste caso é a quantidade de quilômetros percorrida por quilowatt-hora – kWh. A comparação *vis-a-vis* de eficiência energética fica comprometida conforme não há uma homogeneidade nos indicadores utilizados. É preciso utilizar um indicador que contemple a diferença nas características de cada combustível utilizado, e tenha em sua unidade um denominador comum entre os dois modelos.

³ Neste caso, o termo trabalho utilizado se refere à medida de energia transferida ao aplicar uma força para o deslocamento de um determinado corpo.

É importante também integrar no modelo as externalidades negativas que a queima de combustíveis promove, inclusive para a geração de eletricidade. Desta forma, o indicador de eficiência deve medir o consumo de energia e também a poluição que ambas as tecnologias possuem.

Esta tarefa é realizada pelo indicador *well to wheels*, responsável por medir a eficiência energética, os custos industriais e também a emissão de gases efeito estufa – GHG, para cada etapa da cadeia produtiva de combustíveis, iniciando pela extração no poço e finalizando com o consumo deste pelo veículo. O indicador pode ser ainda dividido para analisar apenas a etapa produtiva do combustível, do poço até a sua chegada nos postos, o *well to tank* – WTT, ou apenas o consumo pelos veículos, o *tank to wheels* – TTW (EUROPEAN COMMISSION, 2020).

A Figura 7 ilustra o conceito do indicador W2W, indicando as etapas da cadeia produtiva de sua análise e também sua segmentação em outros dois indicadores, WTT e TTW.



Fonte: Elaboração própria a partir de EUROPEAN COMMISSION (2020).

O nível de emissões e a eficiência energética de um veículo elétrico varia de acordo com a fonte de geração da eletricidade, do nível de perdas na transmissão e distribuição e da tecnologia utilizada pelo próprio veículo. O aproveitamento da energia utilizada durante todo o processo irá ditar o nível de perdas e conseqüentemente a eficiência de um modelo. Atualmente, existem quatro modelos distintos de veículos elétricos sendo comercializados em massa, com eficiências distintas devido à tecnologia utilizada.

Os veículos híbridos consistiram no primeiro modelo de veículos elétricos a ser lançado no mercado. Sua arquitetura foi desenhada de forma a conciliar um motor de combustão interna com uma bateria, que fornece potência suplementar, além de utilizar a tecnologia de frenagem regenerativa para auxiliar o desempenho. Neste sistema, conhecido como *Kinetic Energy*

Recovery System – KERS, o veículo converte a energia cinética do processo de frenagem em energia elétrica, que é enviada para armazenamento na bateria, sendo utilizada para otimização do torque e velocidade do motor (HØYER, 2008).

Independente da tecnologia utilizada no veículo híbrido, seu combustível ainda é líquido, e ainda não há autonomia por parte da bateria elétrica para realizar qualquer trajeto sem consumo de combustível fóssil. Esta dependência se dá pela limitação tecnológica do segmento de armazenamento de energia na época de lançamento dos veículos híbridos, que trouxe a necessidade de utilizar um motor de combustão interna como forma de superar este entrave. A melhora na otimização do processo de deslocamento e consumo de combustível é observada com a redução do consumo de combustíveis fósseis em 29% no indicador *well-to-wheels* em comparação a um veículo de combustão interna (ZHANG et al., 2017).

A lógica de abastecimento é invertida no modelo híbrido de *plug-in – Plug-in hybrid electric vehicle* - PHEV, que possui uma bateria com capacidade suficiente para garantir uma limitada autonomia ao veículo, a uma média de 34,3 km⁴. O modelo também apresenta um motor de combustão interna que possui a função de garantir a potência suplementar em caso de exaustão da bateria veicular, que é carregada ao ser conectada diretamente em uma fonte de eletricidade, como tomadas residenciais ou estações de recarga públicas.

O modelo PHEV consiste em um segundo passo no processo de eletrificação da frota veicular. O modelo já possui uma autonomia de direção, embora seja limitada a percursos de pequena distância, e teve sua adoção em massa em mercados onde o consumo por combustíveis fósseis ainda está enraizado, como nos Estados Unidos (JIN; HE, 2019). A combinação de uma bateria com maior capacidade de armazenamento com um motor de combustão interna suplementar, resulta em um menor consumo de derivados do petróleo, em aproximadamente 50%, no indicador *well-to-wheels*, utilizando um veículo de combustão interna como referência (ZHANG et al., 2017).

Nota-se que os veículos híbridos e híbridos de *plug-in* foram tecnologias concebidas como forma de acelerar a eletrificação dos veículos, em um momento onde o segmento de armazenamento de energia ainda possuía uma limitação de desempenho que inviabilizava a elaboração de modelos com um alto grau de autonomia. No entanto, a relação entre veículos elétricos e motores a combustão interna possui um grau de complementaridade, enquanto o objetivo principal seria romper completamente com o paradigma vigente no setor de transportes durante o século XX, e promover a substituição da frota por modelos elétricos.

⁴ Fonte: Elaboração própria a partir do levantamento dos modelos comercializados no mercado.

Este objetivo é alcançado pelos veículos BEV – *Battery Electric Vehicles*, ou veículos elétricos à bateria. Este modelo apresenta uma independência inédita até o momento para com os motores de combustão interna, ao utilizar um motor movido à eletricidade fornecida por uma bateria de alta capacidade de armazenamento, capaz de realizar trajetos de até 600km⁵ de autonomia, a uma média de 352 km⁶ nos modelos observados.

A não utilização de combustíveis fósseis para locomoção é observada no grau de emissões de gases GHG e na eficiência energética do modelo, 99% inferior em comparação aos veículos de combustão interna no mercado (ZHANG et al., 2017). Os veículos BEV, lançados apenas em 2009, já possuem uma larga fatia do mercado, sendo dominantes nos principais países da União Europeia e no mercado chinês (JIN; HE, 2019), em luz do seu caráter sustentável. Sua difusão em maior escala depende do aumento da autonomia de direção e também da existência de uma infraestrutura de recarga, que possibilite o trajeto de longas distâncias desejado pelo consumidor (DELOITTE, 2017).

Em situações em que a infraestrutura de recarga é precária, ou até mesmo ausente, torna-se necessário lidar com o problema potencial que autonomia limitada pode exercer sobre a preferência do consumidor. Como forma de solucionar este problema, sem impactar no preço final do produto, o modelo REEV – *Range Extended Electric Vehicle*, foi desenvolvido para consumidores que sofrem com esta ansiedade da autonomia veicular.

Os veículos REEV possuem a mesma tecnologia dos veículos elétricos, porém apresentam um gerador acoplado no veículo, ou outros dispositivos que possibilitem estender sua autonomia inicial, reduzindo a ansiedade por parte do consumidor. O modelo REEV apenas ressalta a característica heterodoxa da indústria de veículos elétricos em lidar com as limitações tecnológicas impostas pelas baterias veiculares, sem abandonar a preferência do consumidor por um veículo totalmente elétrico, com maior autonomia e com um preço de mercado não muito acima do praticado por veículos de combustão interna.

Os veículos elétricos apresentam algumas vantagens de uso em relação aos veículos de combustão interna. O uso de baterias no processo, reduz o consumo de combustíveis e as emissões de gases nocivos ao meio ambiente em até 99%. Os veículos elétricos também contribuem para a redução da poluição sonora, visto que os motores elétricos são capazes de prover energia para o veículo sem emitir som neste processo. A nova arquitetura dos veículos elétricos, como a utilização de um trem de força conectado apenas à duas rodas, e aplicação de materiais leves,

⁵ Maior autonomia observada no mercado pelo modelo Tesla Model S Long Range, da montadora Tesla.

⁶ Fonte: Elaboração própria a partir do levantamento dos modelos comercializados no mercado.

acarreta um modelo que exige menos peças para sua montagem e conseqüentemente um menor custo de manutenção para o consumidor.

Estas características apenas reforçam a tendência sustentável apresentada pelo mercado de veículos elétricos, que se intensifica conforme há uma evolução tecnológica dentro do ramo, como a introdução de modelos com uma maior autonomia de direção, e a redução da relação entre baterias e custo de montagem de um veículo elétrico.

2.3 ARMAZENAMENTO DE ENERGIA E BATERIAS VEICULARES

O segmento de armazenamento de energia consiste em um ativo complementar especializado para os veículos elétricos. Isto significa que há uma relação de dependência unilateral entre as tecnologias, onde os veículos elétricos necessitam de baterias para funcionamento, enquanto o efeito inverso não é observado.

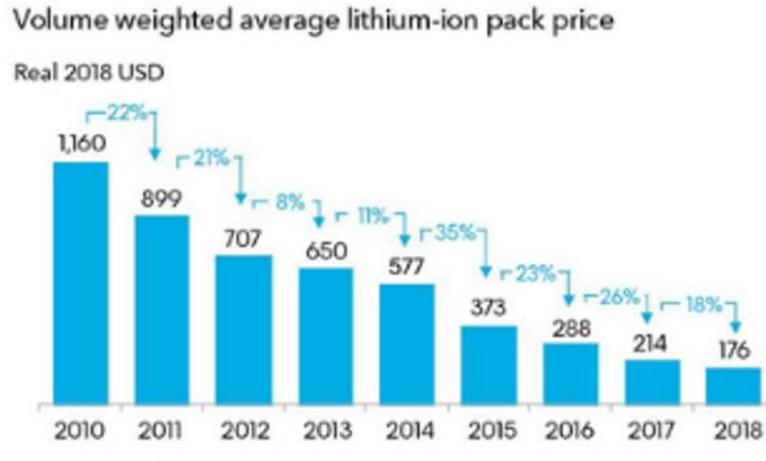
Esta correlação pode ser observada através da inércia da tecnologia de veículos elétricos durante o século XX, onde a limitação de evolução do armazenamento de energia acabou sendo um fator determinante para a vitória dos veículos de combustão interna na corrida tecnológica do setor de transportes. Apenas com a melhoria de parâmetros e inovação na composição das baterias, os veículos elétricos aumentaram sua competitividade no mercado ao reduzir seu preço e aumentar sua autonomia, fatores preponderantes para a rejeição do consumidor.

A preferência do consumidor foi fato essencial para que houvesse um movimento na melhoria das baterias veiculares. A exigência de modelos com maior autonomia, que apresentem um certo grau de paridade de preços com os veículos de combustão interna, trouxe a necessidade de investimento no desenvolvimento dos parâmetros de baterias veiculares, otimização de sua cadeia produtiva e planejamento de gerações futuras capazes de endereçar os problemas que ainda permeiam o setor de mobilidade.

Com o investimento das montadoras na produção ou montagem de baterias veiculares, o preço reduziu de forma intensa, inclusive superando as projeções de diversos agentes para a próxima década. Enquanto em 2010 o custo de uma bateria era de US\$ 1.160/kWh, algumas empresas já conseguiram fabricar baterias ao custo de US\$156/kWh em 2019 (BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE, 2020). Existem projeções de reduzir este valor ainda mais para a próxima década, aumentando a viabilidade da tecnologia e reduzindo a distância dos custos de aquisição para um veículo de combustão interna.

A Figura 8 ilustra a redução dos preços para produção de um pacote de baterias veiculares, entre o período de 2010 e 2018.

Figura 8. Preço médio de baterias de íon-lítio entre 2010 e 2018 (em US\$/kWh)



Fonte: Bloomberg New Energy Finance (2019).

A diferente função desempenhada pelas baterias de veículos elétricos acarreta uma tecnologia que utilize materiais distintos e tenha padrões de desempenho e segurança acima do observado nos modelos de combustão interna, diante de sua importância para o funcionamento do novo modelo. As baterias elétricas são concebidas como dispositivos de armazenamento de energia em forma de eletricidade e descarga constante para o veículo, durante sua locomoção.

O modelo mais disseminado no mercado é conhecido como baterias de íon-lítio, por utilizar os íons de lítio para promover o fluxo de eletricidade entre os polos da bateria. A difusão de íons lítio do cátodo (polo positivo) para o ânodo (polo negativo), produz esta eletricidade que será fornecida para o veículo. Além dos polos positivo e negativo, um solvente aquoso com sais de lítio, denominado eletrólito, e uma fina camada de plástico poroso que é permeada por este líquido, concebida como forma de evitar o contato entre os polos denominada separador, por realizar esta função, finalizam a composição da arquitetura de uma bateria veicular.

No entanto, para melhorar o desempenho dos parâmetros deste tipo de bateria veicular, outros metais são utilizados na composição do catodo. Seis parâmetros são considerados importantes na decisão para a utilização destes metais: Custo, segurança, performance, vida útil, energia específica e potência específica (BOSTON CONSULTING GROUP, 2010).

O empenho no desenvolvimento de veículos elétricos esbarra sempre na variável custos, visto que o custo de produção irá ser refletido no custo de aquisição do veículo pelo consumidor. Atualmente, uma bateria representa 35% do valor final de um veículo elétrico, enquanto 50% são correspondentes ao trem de força e outros 15% para a fabricação do motor elétrico e seus

componentes de potência⁷. Fatores como compra ou produção de matérias-primas, componentes auxiliares, programas de pesquisa e desenvolvimento, depreciação dos ativos, trabalho direto e indireto utilizado e a margem de lucro da empresa impactam no custo da bateria veicular (BOSTON CONSULTING GROUP, 2010). Para reduzir o impacto da bateria no custo final de um veículo, metais que possuem melhor relação custo-benefício são utilizados.

A bateria veicular opera em condições extenuantes, exigindo um padrão de segurança acima do observado previamente nos veículos de combustão interna. Uma bateria de íon-lítio necessita de um sistema de refrigeração pois ela possui dificuldades de funcionamento em temperaturas extremas, podendo inclusive entrar em curto-circuito, resultando em danos consideráveis ao veículo. Altas temperaturas reduzem sua capacidade de armazenamento, enquanto baixas temperaturas aumentam o nível de perdas de energia (MOHANADASS, 2019), de forma que é importante encontrar metais que compensem esta dificuldade operacional característica do lítio.

A redução da capacidade de armazenamento de uma bateria é um processo natural decorrente da constante carga e descarga de eletricidade. Ao alcançar um valor de 80% de sua capacidade de armazenamento original, a bateria não está mais apta para ser utilizada como fonte primária de alimentação de um veículo elétrico, sendo descartada para reciclagem ou para outros métodos de reaproveitamento. No entanto, o hiato temporal entre a aquisição de um veículo elétrico e o descarte da bateria também é importante, sendo denominado como vida útil. Ela pode ser medida em número de anos de funcionamento ou número de recargas até alcançar a capacidade que acarreta o seu descarte.

A necessidade de baterias com maior capacidade de armazenamento, para viabilizar deslocamentos de longa distância, possui os custos como empecilhos, mas também na baixa energia específica das baterias de íon-lítio. Este conceito representa a capacidade de armazenamento de energia (em Wh) por quilo de peso da bateria, e atualmente possui um valor muito baixo, de aproximadamente 1%, em comparação à gasolina (BOSTON CONSULTING GROUP, 2010). Desta forma, baterias com alta capacidade, também possuem um alto peso e a necessidade de um trem de força mais robusto que se adeque a esta diferença.

Já a potência específica é a quantidade de potência que uma bateria consegue fornecer por quilo de massa. Ela é menos importante em veículos completamente elétricos, pois seu impacto é maior em veículos que necessitam de uma alta descarga de eletricidade em intervalos curtos, como o observado em veículos híbridos. Neste sentido, a potência específica possui uma

⁷ Fonte: Munro & Associates (2020). Disponível em <https://insideevs.com/features/396979/how-much-powertrain-cost-ev/>

relevância inferior à energia específica, mas também é um parâmetro a ser observado ao optar pela composição catódica da bateria (BOSTON CONSULTING GROUP, 2010).

Devido a heterogeneidade de ambientes de circulação de um veículo elétrico, a bateria deve ser capaz de funcionar em condições adversas, especialmente em locais com temperaturas ambientes inversas. Como o lítio é um metal que possui uma faixa de temperatura rígida que não contempla os extremos, perdendo capacidade de armazenamento ao operar em altas temperaturas, e aumentando o nível de perdas em baixas temperaturas (MOHANADASS, 2019), há a necessidade de complementar tal fragilidade para garantir um maior padrão de operabilidade. A atuação em altas e baixas temperaturas sem danos à estrutura do veículo, é denominada como performance da bateria veicular, um parâmetro extremamente valorizado pelos fabricantes, mas que possui um *trade-off* com as outras características.

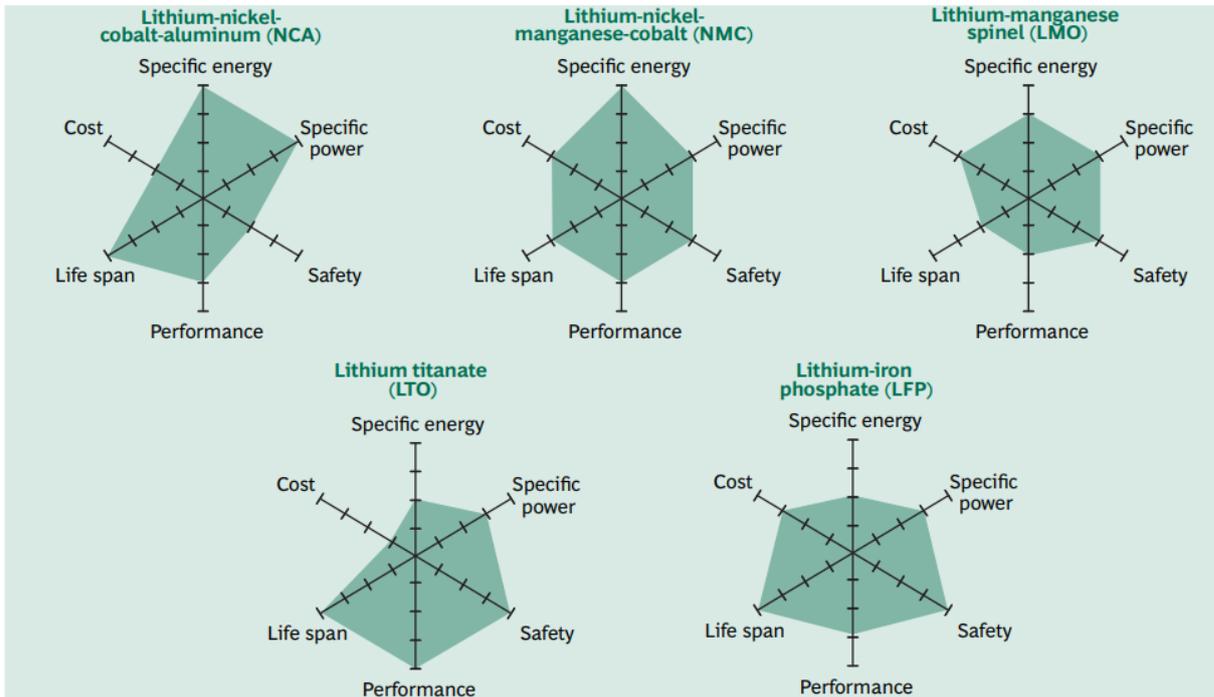
Baterias com maiores performances, possuem uma menor energia específica e consequentemente um maior peso. A concepção de baterias com altas performances é acompanhada de uma redução considerável de todos os outros parâmetros, levando aos fabricantes a optar por uma menor performance para garantir uma homogeneidade tecnológica (BOSTON CONSULTING GROUP, 2010).

Neste sentido, existem cinco variantes de baterias de lítio utilizadas em larga escala no mercado, com características distintas que permitem aplicações em outros contextos. Cada modelo possui suas vantagens e desvantagens e sua adoção depende da visão estratégica do fabricante e como os parâmetros dialogam com suas necessidades tecnológicas. Os modelos utilizados atualmente são:

- Níquel cobalto alumínio – NCA;
- Níquel cobalto manganês – NMC;
- Óxido de manganês de íon lítio – LMO;
- Óxido de titanato de lítio – LTO;
- Ferrofosfato de lítio – LFP.

A Figura 9 ilustra o desempenho dos cinco modelos de acordo com os parâmetros tecnológicos considerados primordiais para uma bateria veicular.

Figura 9. Trade-offs entre as cinco principais tecnologias de bateria íon-lítio



O desempenho é medido de acordo com o tamanho da linha ao longo do eixo. No quesito custos, uma maior linha significa um menor custo de produção, enquanto os outros parâmetros possuem uma relação diretamente proporcional à linha do eixo.

Fonte: Boston Consulting Group (2010).

Como observado, não existe um modelo que tenha um desempenho superior em todos os parâmetros, sendo necessário escolher uma tecnologia que possua uma convergência com o objetivo da bateria. Baterias LTO possuem uma maior segurança, performance e uma vida útil superior, possuindo o menor desempenho de custos como *trade-off*.

Já os modelos NCA e NMC possuem um desempenho médio nos seis parâmetros que possibilitam a utilização em veículos convencionais sem perdas significativas em quesitos importantes, como segurança e performance. As principais líderes de produção de veículos elétricos utilizam estes modelos, como a Tesla que opta pelo NCA, enquanto o NMC é utilizado por montadoras como BMW, Nissan, Audi e Chevrolet, que enxergam no manganês uma forma de reduzir os custos superiores do modelo NCA.

A utilização destes modelos para a massificação de veículos elétricos é acompanhada também por um risco inerente na dependência destes materiais. O primeiro é a possibilidade de descolamento entre demanda e oferta destes metais com o aumento exponencial da produção de veículos elétricos, em luz de suas reservas limitadas. A concentração destes metais em poucos países, como o cobalto que possui mais da metade de sua oferta internacional oriunda da

República Democrática do Congo (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2016), pode criar dificuldades de suprimento em um momento crítico para a difusão desta tecnologia.

A tentativa de introduzir uma tecnologia que possui a sustentabilidade como uma de suas propostas pode ser prejudicada com a utilização de metais nocivos ao meio ambiente. Este é o exemplo do níquel e do cobalto, que exigem um manuseio especial no fim de sua primeira vida, caso a bateria não seja reutilizada. Estes metais são extremamente tóxicos e podem causar danos ao meio ambiente, como a deterioração do lençol freático, caso não exista uma política de reciclagem ou reuso e seu descarte seja feito em locais inapropriados (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2016).

Desta forma, o objetivo das montadoras é realizar uma evolução tecnológica na arquitetura das baterias, reduzindo a proporção destes metais utilizados e conseqüentemente seus efeitos negativos sobre o meio ambiente e a cadeia produtiva. Inicialmente as células das baterias são otimizadas até a exaustão desta possibilidade, seguindo para a substituição dos metais utilizados por outros com melhor desempenho (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2018).

O processo engloba as baterias de lítio, que são aprimoradas ao longo do tempo com a mudança da composição química do catodo, mas apresentam dificuldades de operação que justificam sua substituição por outros metais. Esta linha de baterias é conhecida como baterias pós-lítio, e apesar de seu custo consideravelmente superior, são contempladas como opções para a substituição do lítio na próxima década (EDSTRÖM et al., 2020).

Enquanto a modificação da composição química é capaz de endereçar os problemas de suprimento de matérias-primas e também a limitação da densidade energética, os custos de produção de uma bateria veicular podem ser reduzidos ao alterar o processo de manufatura desta tecnologia. Isto pois uma bateria possui, no mínimo, três etapas distintas que caso não sejam otimizadas podem acarretar um aumento significativo dos custos de produção.

Inicialmente, se integra eletricamente um catodo com anodo delimitados por um separador, com o fluxo de íon viabilizado através de uma solução de íons-lítio conhecida como eletrólito. O conjunto de um número determinado de células, a uma média de 12 unidades (COFFIN; HOROWITZ, 2018), é conectado a uma caixa munida de terminais eletrônicos, conhecida como módulo. Após a fabricação do módulo, é introduzido um sistema de gerenciamento da bateria, além de conexões elétricas que formam o produto final conhecido como pacote de bateria, ou *battery pack*.

Apesar do custo de fabricação das células representar 75% do custo final da bateria, a união das duas últimas etapas no mesmo local reduz o custo de produção, pois a fabricação dos módulos em locais distantes da montagem do pacote de bateria é custosa devido ao seu alto peso, que acarreta em maiores custos de transporte da segunda para a terceira etapa (COFFIN; HOROWITZ, 2018).

O esforço realizado por montadoras e governos para reduzir as vulnerabilidades da mobilidade elétrica, focado no aumento da densidade energética, além de métodos para reduzir seu custo de produção, é diretamente responsável pelo aumento da autonomia veicular com um repasse menor para o preço final, reduzindo a diferença de preços entre veículos elétricos e veículos de combustão interna. Ainda assim, a constante evolução tecnológica promovida pela tentativa de melhorar os parâmetros de desempenho, também gera transbordamentos tecnológicos para atividades que transcendem o segmento de transportes.

O *spillover* tecnológico pode ser observado no segmento de usinas de armazenamento de energia, os modelos BESS. Apesar de possuir compatibilidade com baterias de íon-lítio, seja em sua primeira vida ou segunda (após seu descarte), a operação destas usinas em temperaturas antagônicas com as características do lítio, é refletida em custos extras para sistemas de refrigeração mais robustos, ou em limitações de sua atividade (AQUINO et al., 2017).

O movimento de exploração das tecnologias pós-lítio consiste em um subsídio direto para as usinas de armazenamento de energia. Atualmente, as usinas com o melhor custo benefício utilizam as baterias de íon-lítio, cujo custo de implementação é inferior devido à economia de escala presente em sua produção (AQUINO et al., 2017). O processo de exploração das alternativas do lítio, pode garantir as alternativas atuais a mesma tendência na redução de seu custo, e aumentar sua viabilidade econômica no futuro.

A evolução no segmento de armazenamento de energia endereça diretamente duas das três principais razões apresentadas pelo consumidor para não realizar a transição de um veículo de combustão interna para um modelo completamente elétrico. Com a constante redução de custos que se observa anualmente, em conjunto com o aumento da autonomia de direção, a infraestrutura de recarga consiste no último desafio a ser enfrentado para reduzir o ceticismo do consumidor à mobilidade elétrica.

2.4 INFRAESTRUTURA DE RECARGA

A infraestrutura de recarga consiste em um ativo complementar coespecializado para os veículos elétricos. Isto pois os veículos necessitam da infraestrutura de recarga para seu

funcionamento, e a infraestrutura de recarga não possui outra aplicação além do abastecimento de veículos elétricos, indicando uma dependência bilateral de ambas as tecnologias.

Conforme se esgota o armazenamento de uma bateria veicular, é necessário conectar à uma fonte de eletricidade para repor o combustível do veículo. No entanto, há uma diferença entre o fluxo de elétrons de uma fonte de eletricidade convencional e de uma bateria veicular. A rede de distribuição fornece a eletricidade sob uma corrente alternada – AC, cujo fluxo de elétrons varia entre posições superiores e inferiores, se comportando como uma curva senoidal. No entanto, as baterias veiculares apenas operam sob a corrente direta – DC, que possui um fluxo de elétrons constante, em um comportamento linear⁸.

Desta forma, a corrente da eletricidade da rede de distribuição sempre será em AC, mas a bateria do carro exige uma corrente em DC. Nota-se que este comportamento é comum em baterias de todos os dispositivos, que possuem de alguma forma um conversor embutido que modifica a corrente AC para DC, viabilizando a recarga. No caso dos veículos elétricos, este conversor está posicionado dentro do próprio veículo, e recebe o nome de *onboard charger*⁹.

Os veículos elétricos podem ser recarregados em três locais de propriedade distintas: residencial, semipública e pública. No primeiro, a recarga é efetivada dentro do domicílio do dono do veículo elétrico, enquanto o segundo é destinado para indivíduos que possuem acesso ao local sob determinadas condições, como ser funcionários de uma empresa ou ter alguma relação com o provedor da recarga. O último tipo é um serviço de recarga aberto para o público em geral, sem pré-requisitos para utilização.

O tempo de recarga de um veículo dependerá tanto da capacidade de sua bateria, quanto da potenciação da fonte alimentadora. A capacidade de armazenamento de uma bateria é medida através da unidade de energia kWh, enquanto a unidade de potenciação de uma fonte utiliza o kW. Neste sentido, o cálculo do tempo de recarga é feito pela divisão da capacidade de armazenamento de uma bateria pela potenciação da fonte, com o resultado expressado na unidade de tempo, em horas.

Atualmente, existe uma correlação entre a potenciação da fonte alimentadora e o tipo de corrente fornecida pelo serviço (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2016). Desta forma, opções residenciais apresentam uma baixa potenciação (inferior a 3,7 kW) além de fornecer eletricidade em corrente alternada – AC. Enquanto opções semipúblicas variam entre 11 e 22 kW, também fornecendo em corrente alternada. Já as opções públicas apresentam a maior potenciação, podendo variar entre 50 kW e chegando até a 350 kW, fornecendo a eletricidade sob

⁸ Fonte: Wallbox (2020). Disponível em https://wallbox.com/en_catalog/faqs-difference-ac-dc

⁹ Fonte: Wallbox (2020). Disponível em https://wallbox.com/en_catalog/faqs-difference-ac-dc

corrente contínua, ao possuir um conversor embutido dentro de seu aparelho, dispensando a necessidade do veículo de alterar a corrente alternada para contínua (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2018).

Dada sua potência superior, as estações públicas também são conhecidas como estações de carga rápida, ou DCFC – *Direct Current Fast Charging*. Considerando como referência um veículo com uma bateria de 60 kWh, sua recarga completa é realizada no modo residencial em 8 horas, enquanto este tempo é reduzido para apenas 1 hora e 12 minutos na alternativa DCFC.

Apesar das vantagens no tempo de recarga que o modelo DCFC apresenta, a parte majoritária dos veículos elétricos é carregada no modelo residencial, de baixa potência. Isto é explicado pelo padrão do usuário, que utiliza o veículo para trajetos diários de pequena distância, necessitando de uma recarga apenas no fim do dia, sem preocupações sobre o tempo de recarga. Os custos inferiores, tanto na instalação do equipamento para recarga, quanto na cobrança da eletricidade, que é menor no âmbito residencial são fatores impactantes pela preferência da recarga residencial em comparação com estações de recarga pública rápidas (FIGENBAUM, 2019).

A recarga residencial pode não ser uma opção viável para todos os consumidores, já que ela pode exigir mudanças na infraestrutura do domicílio, além de um espaço designado que pode não existir. Edifícios sem garagem e condomínios onde não é possível a modificação da unidade consumidora de luz são alguns dos exemplos de restrições para a instalação da infraestrutura de recarga residencial (NICHOLAS et al., 2020).

Neste sentido, torna-se essencial investir em estações de recarga rápida, como forma de possibilitar trajetos de longa distância, permitir a realização de trajetos onde não há infraestrutura de recarga, aumentar a flexibilidade de uso dos veículos elétricos e reduzir a desconfiança dos consumidores sobre a autonomia de direção desta tecnologia (FIGENBAUM, 2019).

No entanto, existem novas variáveis que são introduzidas no custo de instalação e manutenção de uma estação de recarga rápida, que se somadas à demanda inferior por este tipo de serviço, podem colocar em risco a viabilidade do negócio, especialmente caso os custos de manutenção e operação sejam negligenciados (NELDER; ROGERS, 2019). Torna-se necessário primeiro entender a diferença de custos entre as opções de recarga e como os *soft costs* podem prejudicar a rentabilidade do negócio.

A recarga residencial pode ser dividida em dois tipos: nível 1 e nível 2. O primeiro nível não exige equipamento para recarga, ou alteração na infraestrutura da residência, apenas requisitando a conexão de um veículo à fonte alimentadora de eletricidade de 120V, e um sistema

de segurança para evitar que aconteçam acidentes durante a recarga que danifiquem a bateria. O nível 2 atua em uma voltagem de 240 V e necessita da implementação de um equipamento para a recarga denominado *wallbox*, que acarreta em custos extras de instalação, que são diretamente proporcionais à distância do *wallbox* para o medidor de consumo de eletricidade do domicílio (LEVY; RIU; ZOI, 2020). Neste sentido, a recarga residencial possui a aquisição do equipamento para a recarga, a mão-de-obra necessária para instalação e o consumo de eletricidade como os principais componentes de custos.

O modelo de recarga rápida possui uma complexidade maior que conseqüentemente é refletida nos custos de instalação. Enquanto as recargas residenciais fornecem corrente alternada, incompatível com a bateria de um veículo, os carregadores de um DCFC possuem a tecnologia capaz de converter a corrente alternada à corrente contínua necessária para o funcionamento de uma bateria veicular. Enquanto um *wallbox* possui aproximadamente 200 componentes, um carregador DCFC pode alcançar até 2500 componentes, resultado da tecnologia *AC to DC* e protocolos de segurança mais estritos (LEVY; RIU; ZOI, 2020).

Enquanto os pontos de recarga residenciais operam à uma baixa potência, menor que 3,7 kW, as estações de recarga rápidas possuem níveis de potência superiores, com um mínimo de 50 kW, passando pelos 150 kW intermediários e alcançando até 350 kW¹⁰. Esta maior potência acarreta um maior consumo anual de eletricidade, equivalente a 35 famílias¹¹ americanas, e pode exigir alterações na rede do local caso a instalação de múltiplos pontos de recarga faça parte dos planos do projeto da estação de recarga. Este maior consumo de eletricidade pode exigir mudanças na infraestrutura da rede e também instalação de transformadores para se adaptar à nova potência do local.

Estas variáveis representam apenas os custos fixos de uma estação de recarga, que não variam de acordo com seu nível de utilização. Os custos variáveis, que são diretamente proporcionais à utilização da estação de recarga, também são importantes para garantir a viabilidade do negócio. Gastos com eletricidade, manutenção, impostos, além da contratação dos *electric mobility providers* - EMP, agentes que fornecem soluções para comunicação, identificação e pagamento do serviço, variam de acordo com a atratividade do local e representam até 30% do custo total do empreendimento (LEVY; RIU; ZOI, 2020).

¹⁰ Atualmente, existem apenas quatro veículos que são compatíveis com cargas acima de 150 kW: Porsche Taycan, Tesla Model X, Tesla Model S e Tesla Model 3 (Levy et al., 2020).

¹¹ O consumo anual de uma estação DCFC operando a 35% de sua capacidade é equivalente ao consumo anual de 35 famílias americanas (LEVY; RIU; ZOI, 2020).

A Figura 10 ilustra os custos de instalação de um ponto de recarga de acordo com sua potência, incluindo os custos extras de instalação como transformadores, cabos para adaptação de conectores diferentes e serviços de EMP, segmentando entre menor custo observado e maior custo observado para delimitar o *range* de custos de uma estação de recarga.

Figura 10. Variação dos custos para componentes de infraestrutura de recarga

| COST ELEMENT | LOWEST COST | HIGHEST COST |
|-----------------------------|--------------------|---|
| Level 2 residential charger | \$380 (2.9 kW) | \$689 (7.7 kW) |
| Level 2 commercial charger | \$2,500 (7.7 kW) | \$4,900 (16.8 kW); outlier: \$7,210 (14.4 kW) |
| DCFC (50 kW) | \$20,000 | \$35,800 |
| DCFC (150 kW) | \$75,600 | \$100,000 |
| DCFC (350 kW) | \$128,000 | \$150,000 |
| Transformer (150–300 kVA) | \$35,000 | \$53,000 |
| Transformer (500–750 kVA) | \$44,000 | \$69,600 |
| Transformer (1,000+ kVA) | \$66,000 | \$173,000 |
| Data contracts | \$84/year/charger | \$240/year/charger |
| Network contracts | \$200/year/charger | \$250/year/charger |
| Credit card reader | \$325 | \$1,000 |
| Cable cost | \$1,500 | \$3,500 |

Em azul estão os custos para implementação de pontos de recarga residenciais nível 2, comerciais nível 2 e pontos de recarga DCFC, respectivamente. Em verde são apontados os custos de aquisição de transformadores para modificação na rede, de acordo com a potência aparente (kVa). Em rosa estão os custos de EMP para gerenciamento de rede e de dados do posto de recarga. Por fim apresenta-se o custo de um leitor para cartão de crédito e a aquisição de cabos compatíveis com conectores de tecnologias distintas. A coluna do meio representa o menor valor observado no mercado, enquanto a coluna da direita indica o maior valor registrado.

Fonte: Nelder; Rogers (2019).

Enquanto um ponto de recarga residencial pode custar US\$ 689, no maior preço registrado, a mesma opção de recarga no modelo comercial custa, no mínimo, 3,7 vezes mais. Caso a comparação seja com estações de recarga rápida, o custo pode variar de acordo com as necessidades de adaptação da rede, mas é no mínimo 20 vezes maior. A comparação de custos não inclui valores arbitrários para aquisição do local da estação (ou aluguel da mesma), consumo de eletricidade, manutenção e seguro dos equipamentos utilizados e impostos cobrados pelas autoridades, que variam de acordo com o volume de recargas.

Estes custos são relacionados a estações de recarga públicas com tecnologia de condução de eletricidade, onde existe a necessidade de conectar o veículo à fonte alimentadora através de um cabo e um conector. A divergência na utilização de conectores por montadoras distintas acarreta custos extras para a estação de recarga, que deve adquirir cabos e conectores compatíveis com as tecnologias predominantes no mercado.

A evolução tecnológica do segmento de infraestrutura de recarga contempla um cenário onde conectores e cabos não são necessários para realizar a recarga. Denominada como recarga indutiva, a tecnologia se vale de um dispositivo que emite ondas eletromagnéticas para fornecer os elétrons necessários na recarga de uma bateria. Como não há a utilização de conectores ou cabos neste processo, a recarga indutiva também é conhecida como recarga sem fio ou *wireless charging*. No entanto, os modelos que existem atualmente no mercado possuem um custo elevado e fornecem uma potenciação pequena, de até 11 kW (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2018).

Enquanto a recarga indutiva não se torna realidade, o segmento de infraestrutura de recarga convencional deve lidar com os problemas que são observados atualmente, como heterogeneidade nos postos de recarga, seja na tecnologia, seja na precificação do serviço, que aumenta a resistência do consumidor à esta modalidade, além da incompatibilidade tecnológica de postos de recarga com conectores de determinadas montadoras, que acarretam em custos extras na instalação de uma estação de recarga rápida.

2.5 CONECTORES

O estímulo para o desenvolvimento no segmento de veículos elétricos é resultado da tentativa de governos de introduzir uma tecnologia menos agressiva ao meio ambiente em um setor que possui um impacto crônico negativo no mesmo. Ao estabelecer os objetivos para alcançar uma economia sustentável, elegendo as tecnologias que podem auxiliar nesta transição para uma economia mais verde, existe um incentivo para montadoras desenvolverem seus próprios modelos, que apenas se intensifica conforme o mercado demonstra a aceitação desta tecnologia.

No momento da concepção tecnológica, o inovador não possui preocupações sobre questões de compatibilidade para com seu concorrente, e inclusive a diferenciação de marca pode vir a partir desta incompatibilidade, caso seu diferencial seja enxergado de forma positiva por parte do consumidor. A história das inovações é marcada tecnologias que possuíam o mesmo

objetivo, porém com arquiteturas distintas que se tornaram o motivo essencial para sua sobressalência no mercado.

Este problema acontece, em uma menor escala, nos conectores para recarga de veículos elétricos. Conforme o mercado avança, as montadoras recebem mais incentivos para lançar seus próprios veículos elétricos, com conectores exclusivos que apresentam um certo grau de incompatibilidade para com seus modelos concorrentes. Isto gera não apenas um custo extra para as estações de recarga, que necessitam de formas de harmonizar estas diferenças, mas pode acarretar até mesmo na impossibilidade de recarga de um indivíduo.

Como a recarga condutiva é o método mais comum de abastecimento no mercado, os veículos elétricos são manufaturados com um *plug* embutido, local onde a fonte alimentadora deve ser conectada para fornecer eletricidade à bateria. A fonte, por sua vez, deve ser a saída de energia, através de um cabo que garante o fluxo de eletricidade e também a segurança de que curtos não acontecerão no processo.

A Figura 11 ilustra os conectores de um veículo elétrico.

Figura 11. Conectores para recarga de um veículo elétrico (NISSAN LEAF 2018)



O conector na esquerda, representa o padrão CHAdeMO necessária para a recarga em corrente contínua (DC). Já o conector designado à direita representa o padrão Type 2, também conhecido como Mennekes.

Fonte: Thedriven (2018). Disponível em <https://thedriven.io/2018/11/19/australian-electric-vehicle-plug-war-is-over-tesla-picks-a-side/>

Os *plugs*, que podem ser traduzidos como conectores, apresentam dois problemas para o segmento da infraestrutura de recarga: sua arquitetura é diferente para recargas em carga alternada

e carga contínua, e apresentam incompatibilidades em modelos concorrentes. Alguns modelos, apresentam total incompatibilidade para com seus concorrentes, como os carros da montadora Tesla que possuem um carregador exclusivo e estações de recarga que são compatíveis apenas com os modelos da mesma.

A recarga residencial de baixa voltagem, nível 1, dispensa a necessidade de aquisição de equipamentos para recarga, mas apresenta o alto tempo de recarga como o *trade-off* desta ausência de custos. Já no nível 2 são necessários conectores instalados na residência que apresentem compatibilidade com o veículo adquirido. A recarga em estações DCFC, exige um conector diferente dos observados em recargas de corrente alternada, dada a diferença tecnológica entre um modelo *wallbox* e um ponto de recarga de uma estação de recarga rápida. Em suma, um veículo elétrico necessita de dois conectores distintos, um para a recarga residencial e outro para estações DCFC.

Como existem diversos concorrentes no mercado de veículos elétricos, os veículos apresentam modelos de conectores distintos, que não possuem compatibilidade inicial. As montadoras asiáticas (Nissan, KIA, Mitsubishi) adotaram pelo padrão de recarga CHAdeMO, acrônimo para *Charge on the move*, que pode ser apenas utilizado em locais onde há carga contínua, enquanto a montadora Tesla possui seu próprio carregador para AC e DC, denominados Tesla HPWC e Tesla Supercharger, respectivamente.

Montadoras chinesas possuem seu padrão exclusivo, denominado GB/T, que possui pouco impacto sobre o mercado internacional visto que suas vendas são concentradas dentro do próprio país. As demais montadoras utilizam conectores aprovados por órgãos de certificação, que podem ser adaptados para outros países. Um exemplo é o padrão de carga para nível 2, SAE J1772, que é utilizado em recargas de corrente alternada tanto nos EUA quanto no Japão.

A diversidade de conectores dentro de um único mercado causa problemas de incompatibilidade no momento da recarga. Ao observar o continente norte americano, seus três modelos não possuem compatibilidade, necessitando de adaptadores para viabilizar a recarga. Por exemplo, caso um veículo Tesla opte pela carga em um posto com conectores SAE ou CHAdeMO, existe a necessidade de utilização de adaptadores para viabilizar o serviço, enquanto veículos SAE sequer possuem este tipo de dispositivo, resultando em uma incompatibilidade total caso exista uma tentativa de recarga em postos CHAdeMO ou Tesla.

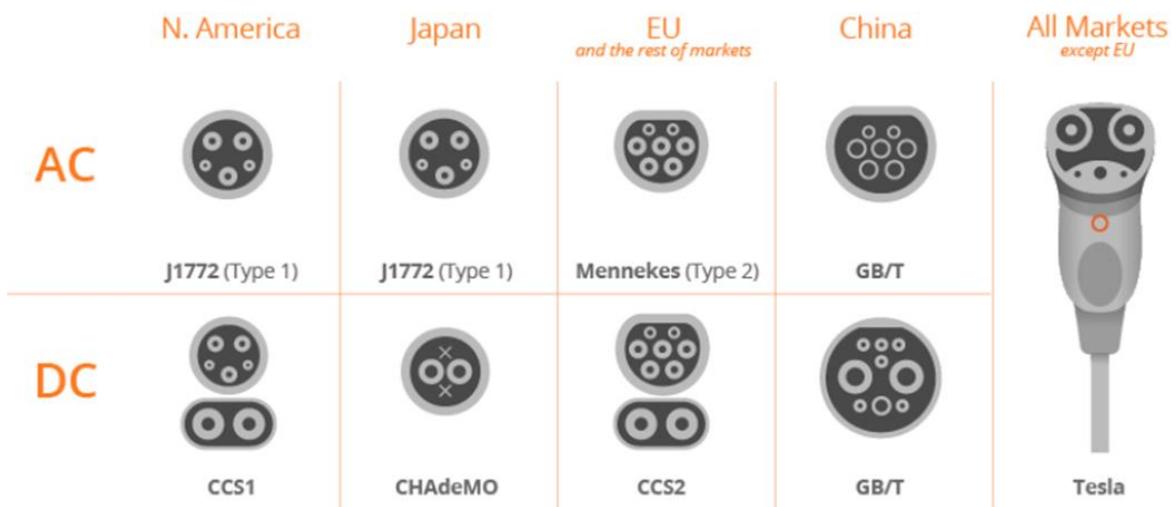
Como forma de reduzir os problemas gerados pela incompatibilidade, um novo padrão foi proposto, de forma que sua arquitetura viabilize a carga em corrente contínua e também corrente alternada, com apenas um conector. Por realizar esta tarefa, o padrão recebe o nome de CCS, sigla para *Combined Charging System*, e foi adotado por sete montadoras (Audi, Volkswagen, BMW,

Daimler, Ford, General Motors e Porsche) a partir de 2012. O modelo CCS harmoniza a tecnologia de recarga para corrente alternada e contínua e ao ser lançado por um grupo de concorrentes no mercado de veículos elétricos, auxilia no processo de padronização de conectores nos mercados (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2017).

A conveniência trazida pelo modelo CCS, além da exigência de sua instalação em todos os postos de recarga da Europa, trouxeram a força necessária para o modelo se tornar o predominante no continente, com montadoras que possuem padrões de conectores exclusivos lançando modelos compatíveis com o novo padrão¹². O mesmo efeito foi observado pela Nissan, que já possui em seus planos abandonar o modelo CHAdeMO no mercado ocidental¹³, deixando sua utilização exclusiva para o mercado japonês, onde sua existência é essencial e os problemas de incompatibilidade são pouco observados.

A Figura 12 ilustra os conectores utilizados em cargas alternadas (AC) e contínuas (DC) nos principais mercados de veículos elétricos do mundo (Estados Unidos, Japão, Europa e China).

Figura 12. Conectores padrão para recarga nos principais mercados do mundo



Fonte: Enel X (2019). Disponível em <https://evcharging.enelx.com/resources/blog/552-ev-charging-connector-types>

O levantamento do estado tecnológico atual dos veículos elétricos e suas tecnologias auxiliares, demonstra que os problemas enfrentados pelo lado da oferta são endereçados conforme eles apresentam ameaças para a difusão deste mercado. No entanto, para acelerar esta difusão são necessárias medidas também que reduzam as incertezas e os custos de aquisição da tecnologia

¹² A montadora Tesla possui em seus últimos lançamentos na Europa, adaptadores que garantem a compatibilidade com o padrão de carga CCS, apesar de possuir uma tecnologia exclusiva de recarga rápida, o Tesla Supercharger. Fonte: Electrek (2020). Disponível em <https://electrek.co/2020/12/16/tesla-announces-new-ccs-charging-adapter/>

¹³ Fonte: Green Car Reports (2020). Disponível em https://www.greencarreports.com/news/1128891_nissan-s-move-to-ccs-fast-charging-makes-chademo-a-legacy-standard

pelos consumidores. Enquanto o ônus da evolução tecnológica reside para com as montadoras e suas afiliadas, a melhoria das condições de demanda pode ser aprimorada a partir de políticas públicas e modelos de negócio que tornem a mobilidade elétrica mais atraente para os seus adotantes.

3.POLÍTICAS PÚBLICAS PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS NA ALEMANHA

O objetivo deste capítulo é apresentar a análise de políticas públicas para incentivo de veículos elétricos na Alemanha, iniciando pela justificativa da escolha do país referência como estudo de caso crítico e ilustrando as medidas tomadas pelo governo alemão desde a tomada de decisão de investir neste segmento. O planejamento inicial do governo alemão, acompanhado das três principais linhas de políticas públicas aplicadas no país e os resultados auferidos no fim da terceira fase estipulada pelo governo serão apresentados neste presente capítulo.

3.1 JUSTIFICATIVA

O objetivo de substituir a frota global de transportes por veículos elétricos exige a atuação de agentes privados neste processo, em luz de sua forte concentração industrial. No entanto, o processo de inovação no segmento de veículos elétricos é induzido pelos estados através de suas instituições públicas, que buscam garantir a viabilidade e difusão desta tecnologia, especialmente em um momento em que os altos custos de produção somados com a baixa demanda afastam os empreendedores nas etapas iniciais do mercado.

Esta complementaridade é essencial neste caso, visto que a ausência de políticas públicas voltadas para a difusão da mobilidade elétrica pode prejudicar o desenvolvimento do mercado. Sem um regime de incentivos, tanto pelo lado da oferta quanto pelo lado da demanda, o custo de produção de um veículo elétrico pode ser impeditivo para a produção em massa desta tecnologia, além de afastar o consumidor que ainda enxerga nos veículos de combustão interna uma melhor relação custo-benefício.

Neste sentido, a análise dos principais mercados de veículos elétricos evidencia uma ação conjunta de instituições públicas e agentes privados, que compartilham recursos, atuam em colaboração para padronizar a tecnologia, e investem em conjunto para evoluir a tecnologia e viabilizar a existência de seus serviços ancilares. As regulações, incentivos, benefícios, infraestrutura e disponibilidade de modelos beneficia os mercados e auxilia sua difusão (THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION, 2019).

O investimento em políticas públicas demonstra a preocupação do esforço de um Estado para viabilizar o consumo em massa desta tecnologia. Em luz da convergência da mobilidade elétrica com diversos pontos considerados cruciais pelo governo da Alemanha, este país foi escolhido como alvo para o estudo de caso crítico de políticas públicas para veículos elétricos.

A Alemanha visualiza na mobilidade elétrica uma tecnologia catalisadora capaz de estimular suas políticas de cunho climático, energético, industrial, de transportes, inovação e social. Estas sinergias se tornam as justificativas para o investimento do governo alemão no segmento de veículos elétricos, iniciado no ano de 2010 e sendo intensificado de tal forma que hoje o país figura entre um dos mais importantes agentes através de toda a cadeia produtiva de veículos elétricos (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2018).

A preservação do meio ambiente é uma das preocupações na agenda sustentável do país, que busca erradicar práticas predatórias de extração além de introduzir programas de reflorestamento de âmbito nacional e especialmente internacional. Um exemplo é seu dispêndio em medidas de proteção de biomas internacionais, com um investimento de €68,8 bilhões entre o período de 2006 e 2019¹⁴, em diversos programas espalhados pelo mundo.

Este movimento de sustentabilidade é ratificado pela sociedade alemã, que exige a inserção de medidas sustentáveis em outros segmentos que também contribuem para a degradação do meio ambiente. Conforme o desenvolvimento tecnológico acontece no país, existe a necessidade cada vez mais difundida pelos indivíduos que habitam o país de aliar crescimento econômico com desenvolvimento sustentável.

A principal medida consiste na redução das emissões dos gases GHG em ressonância com os acordos das Conferências das Partes – COP, ratificados internacionalmente e que estipulam metas para países desenvolvidos e subdesenvolvidos. A Alemanha, se comprometeu a reduzir em 40% seus níveis de emissão até 2020, aumentando esta meta para uma redução de 55% das emissões dos gases GHG para o ano de 2030, utilizando os valores de 1990 como referência¹⁵. Trata-se de uma meta extremamente agressiva que, por sua vez exige uma mudança radical na estrutura dos setores mais poluentes.

O segmento de geração de eletricidade consta como um destes setores, e o mesmo é responsável por 42,5% das emissões globais de CO₂ no meio ambiente, por apresentar usinas que valem da queima de combustíveis fósseis para geração de eletricidade, como o carvão, petróleo e seus derivados (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019). Esta fonte energética é uma das mais observadas nas matrizes dos países internacionalmente, inclusive sendo predominante na Alemanha até o início do século XXI, quando foi iniciado um processo de transição energética,

¹⁴ Fonte: Nationmaster (2020). Disponível em <https://www.nationmaster.com/nmx/ranking/total-expenditures-on-environmental-protection>

¹⁵ Fonte: Umwelt Bundesamt (2021). Disponível em <https://www.umweltbundesamt.de/en/data/environmental-indicators/indicator-greenhouse-gas-emissions#at-a-glance>

pautado na substituição de usinas termelétricas por fontes renováveis, denominado *Energiewende*.

Entre os alvos de substituição do *Energiewende*, estão as usinas nucleares que operam dentro do país e apesar de sua baixa emissão de gases nocivos ao meio ambiente, consiste em uma fonte de geração com alta desaprovação social, após dois acidentes de grande escala que trouxeram efeitos devastadores para as cidades hospedeiras, como os acidentes nas cidades de Chernobyl, na Rússia em 1986, e Fukushima, no Japão em 2011. Desta forma, o processo de transição energética alemão estipula a desativação de todas as usinas nucleares até 2022, prevendo a complementação desta eletricidade fornecida por fontes renováveis (HAKE et al., 2015).

As usinas termelétricas movidas a carvão e outros combustíveis fósseis também são alvos de substituição do governo alemão, mas seu processo de *phase-out* possui um horizonte temporal mais longo, com projeções para desativação apenas para a década de 2040, com a possibilidade de postergação até o ano de 2050, caso necessário. De acordo com a lei de sustentabilidade energética imposta no país, a matriz energética necessita ter em sua composição, no mínimo, 60% de sua capacidade instalada em forma de fontes renováveis (HAKE et al., 2015).

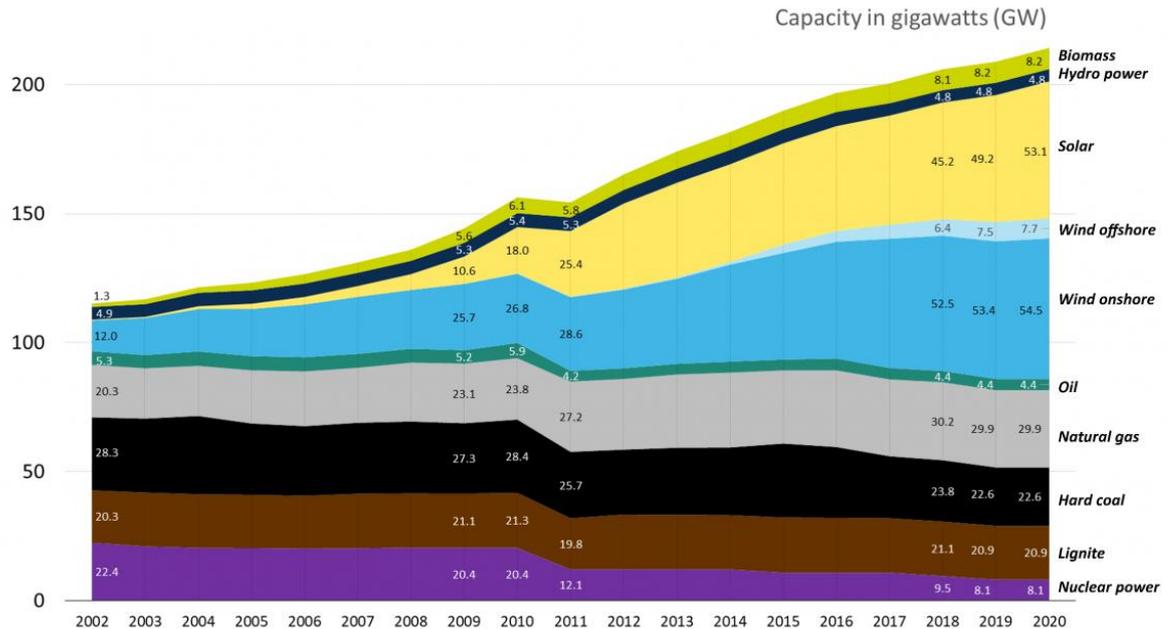
O *Energiewende* realiza uma mudança qualitativa na matriz energética alemã, com a inserção de fontes renováveis como turbinas eólicas *offshore* e *onshore*, além de plantas de energia fotovoltaica de grande escala. Em 2015, o país possuía a maior capacidade instalada de usinas solares no mundo, com aproximadamente 37 GW ¹⁶instalados, alcançando 53,1 GW ¹⁷no ano de 2020.

A Figura 13 ilustra a evolução da matriz energética ao longo do século XXI, após o início do *Energiewende*.

¹⁶ Fonte: Hake et al., 2015.

¹⁷ Fonte: Clean Energy Wire (2021). Disponível em <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-energy-consumption-and-power-mix-charts>

Figura 13. Capacidade instalada de geração de energia na Alemanha (2002-2020)



© BY SA 4.0

A figura ilustra as principais fontes de geração de eletricidade na Alemanha, com biomassa, hidrelétrica, solar, eólica offshore, eólica onshore, óleo, gás natural, carvão, lignita e usinas nucleares, representadas na imagem de cima para baixo, respectivamente.

Fonte: Clean Energy Wire (2021). Disponível em <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-energy-consumption-and-power-mix-charts>

O processo de transição energética radical que o *Energiewende* promove é responsável pela redução drástica das emissões que o governo alemão tanto almeja, mas exerce um efeito negativo sobre os segmentos de distribuição de energia ao possui uma matriz energética pautada majoritariamente em fontes renováveis. Em luz do alto custo de instalação destas fontes no início do processo de transição, foi utilizado um instrumento tarifário de subsídios denominado *feed-in tariff*.

A tarifa *feed-in* consiste em um contrato de longo prazo em que o gerador de fontes renováveis recebe um valor fixo para a eletricidade gerada. No entanto, como os contratos de *feed-in* costumam durar entre 15 e 25 anos, a fixação de um subsídio ao gerador com a redução do custo da tecnologia após sua utilização em massa causaram um descolamento entre os custos de geração e os preços pagos pela mesma, que acarretou em um efeito negativo sobre o custo da eletricidade para o consumidor final, visto que os subsídios representam 20% do custo total da eletricidade residencial (HAKE et al., 2015)

O aumento de preços da eletricidade residencial também é acompanhado de problemas na transmissão e dificuldades de equalizar a oferta e demanda de energia em horários de pico. Ao estabelecer uma meta de 30% da matriz energética formada apenas de fontes renováveis, aceita-se uma intermitência oriunda da sazonalidade característica destas fontes, especialmente no horário de pico (entre 18:00 e 21:59) onde a geração por estas fontes é inferior à demanda pelo consumidor. Isto causa problemas crônicos na rede de distribuição alemã e exige um alto investimento no segmento de transmissão, além da contratação de reservas adicionais de energia para suprir os momentos de escassez.

Nota-se como a política ambiental acaba por influenciar a política energética da Alemanha, gerando externalidades positivas, mas também ameaças para o setor elétrico do país. Como forma de mitigar os efeitos negativos da transição energética, o governo enxerga nos veículos elétricos como instrumentos de fornecimento de eletricidade em momentos de instabilidade na rede, através do V2G. O plano alemão, que prevê a circulação de 1 milhão de veículos elétricos no ano de 2020, também contempla que uma parcela desta frota será utilizada como fonte de energia elétrica em momentos de necessidade (NPE, 2018).

No entanto, a prática do V2G exige não apenas de uma atualização do marco regulatório, para viabilizar a atuação dos veículos elétricos como recursos energéticos distribuídos, mas também de um conjunto de incentivos monetários que serão os responsáveis por convencer o consumidor a optar por esta prática. Atualmente, os ganhos auferidos pelo consumidor através do V2G são ínfimos (LOISEL; PASAOGLU; THIEL, 2014), necessitando de um conjunto de incentivos capazes de tornar esta prática rentável para o consumidor e com efeitos positivos para a cadeia produtiva como um todo.

Incentivos como tarifas horárias, que alteram o valor da eletricidade de acordo com a sua demanda, são os mais recomendados por especialistas para viabilizar o V2G. Desta forma, o consumidor é induzido a descarregar seu veículo na rede em momentos de pico de demanda e recarregá-lo no fim da noite, quando a demanda é substancialmente inferior. Este processo também possibilita que o consumidor residencial entenda seu perfil de consumo, lhe fornecendo uma maior autonomia, além de opções de outros recursos energéticos distribuídos, como painéis fotovoltaicos e sistemas de armazenamento de energia, que possuem uma forte sinergia para com os veículos elétricos.

É importante ressaltar que práticas disruptivas como o V2G dependem de serviços com um maior grau de digitalização como forma de fornecer uma maior eficiência e conveniência para os agentes envolvidos. Esta digitalização se torna cada vez mais intensa na mobilidade elétrica, com serviços digitais utilizados em toda a cadeia produtiva, como a manufatura de veículos

elétricos, comunicação e pagamento dos serviços de recarga e no desenvolvimento de protótipos de veículos autônomos, que dispensam a necessidade de motoristas para sua locomoção.

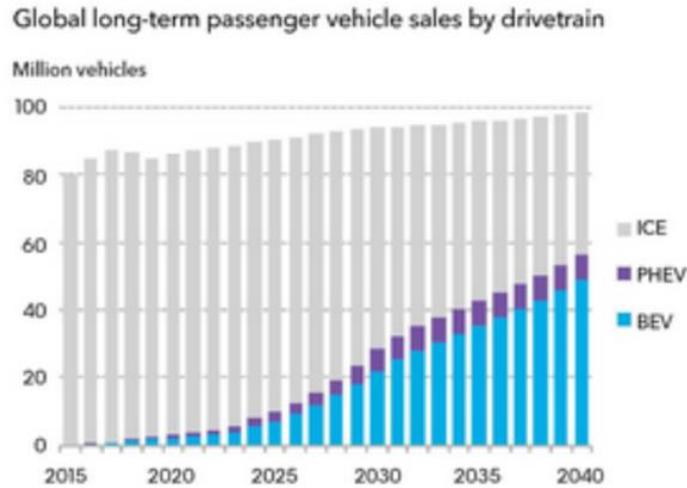
Estes três efeitos observados, a descarbonização característica do *Energiewende*, a descentralização oriunda dos recursos energéticos distribuídos eleitos como os mitigadores dos efeitos negativos da transição energética na Alemanha, e a digitalização que auxilia a vida contemporânea que é introduzida com maior intensidade conforme novas tecnologias são lançadas consistem nas três principais fontes de mudança disruptiva dentro do setor elétrico.

As mudanças qualitativas não se restringem apenas ao setor de energia, também transbordando para outros setores produtivos. Este é o caso do setor automotivo que já experiencia uma mudança em sua composição de frotas, conforme os consumidores optam por utilizar veículos compartilhados com mais frequência, em serviços de *car sharing* ou aplicativos de mobilidade, abrindo mão da opção de obter um veículo próprio. Junto com esta mudança estrutural, adiciona-se o aumento do número de veículos circulando nos próximos 20 anos, chegando próximo da marca de 100 milhões de unidades no mundo (BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE, 2020).

Estas modificações favorecem os veículos elétricos, que apresentam características sinérgicas com a mobilidade compartilhada e seguindo a tendência de redução de custos desta tecnologia, terá uma acessibilidade ao consumidor maior nas próximas duas décadas. Neste sentido, os veículos elétricos são projetados como a principal alternativa de mobilidade pessoal para 2040, ultrapassando a marca de 50 milhões de modelos circulando no mundo (BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE, 2020).

A Figura 14 ilustra a evolução do mercado de veículos no mundo, segmentando em veículos de combustão interna, veículos elétricos (híbridos e a bateria).

Figura 14 Projeção de vendas globais de veículos de acordo com tecnologia



A parcela na cor cinza corresponde aos veículos de combustão interna comercializados, enquanto as parcelas roxa e azul são referentes aos veículos elétricos híbridos de plug-in e veículos elétricos de bateria.

Fonte: Bloomberg - NEF (2020).

A mudança estrutural no setor automotivo impacta diretamente a política industrial alemã, em luz de sua forte participação no Produto Interno Bruto – PIB do país. Enquanto a indústria corresponde a 26,19%¹⁸ do PIB alemão, o setor automotivo contribui para um pouco mais que 5%¹⁹ de todo o valor agregado, um valor na escala de €209 bilhões. O país consiste em um dos maiores exportadores de veículos de combustão interna na União Europeia, e seu objetivo é expandir sua atuação para o mercado de veículos elétricos. Desta forma, ser uma nação exponente neste mercado, aumentando o *market-share* de suas montadoras no comércio internacional de veículos elétricos é um objetivo explícito do governo alemão (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2018).

O investimento na cadeia produtiva de veículos elétricos exige em contrapartida um desenvolvimento concomitante de outras tecnologias necessárias para seu funcionamento, como o armazenamento de energia e a infraestrutura de recarga. Estes são apenas alguns exemplos de tecnologias ancilares que são pré-requisitos para sua viabilização, existindo ainda outros grupos tecnológicos que estimulam a inovação dentro do segmento e facilitam sua produção, como a inteligência artificial, que é utilizada na automatização da manufatura de veículos elétricos

¹⁸ Fonte: Statista, 2021. Disponível em <https://www.statista.com/statistics/375569/germany-gdp-distribution-across-economic-sectors/>

¹⁹ Fonte: Statista, 2021. Disponível em <https://www.statista.com/topics/5445/automotive-retail-industry-in-germany/>

(GUSIKHIN; RYCHTYCKYJ, 2007) e também serve como base na concepção dos veículos autônomos.

Os desafios enfrentados pela mobilidade elétrica, uma tecnologia relativamente incipiente e com entraves para sua difusão, exigem um grau de inovação superior capaz de conceber novos produtos e novas soluções para os problemas enfrentados. A convergência de outros grupos tecnológicos e a necessidade de evolução concomitante junto aos veículos elétricos realiza este processo de transbordamento dos esforços de inovação de um setor para o outro.

Estimular a inovação na mobilidade elétrica e fornecer este mesmo processo de para outros setores como uma externalidade positiva torna-se o plano de inovação do governo alemão (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2018). O objetivo de se tornar um exportador a nível global exige a familiaridade com todos os setores tecnológicos relacionados à mobilidade elétrica e sua convergência com múltiplos setores indica a necessidade de inovar em múltiplos segmentos simultaneamente.

Munido destas diversas justificativas, o governo alemão busca incentivar o desenvolvimento do mercado de veículos elétricos através de um conjunto de políticas públicas, que aliviam restrições do lado da oferta e reduzem as incertezas por parte do lado da demanda. Não obstante, torna-se essencial aliar o desenvolvimento tecnológico com a evolução do marco regulatório, viabilizando novas práticas e evitando que o processo de inovação seja restringido por normas e condutas obsoletas. Conforme a tecnologia evolui, ela exige adaptações para funcionar de forma adequada e que favoreçam a surgimento de novas práticas e soluções ao longo do tempo.

A preparação do mercado para um produto que aparenta ser inexorável ao médio prazo (WAPPELHORST, 2020), o apoio à inovação e a impulsão que esta promove sobre o desenvolvimento econômico são os benefícios visualizados no investimento atual do governo alemão na mobilidade elétrica. Agregar valor à sociedade como um todo, promovendo externalidades positivas no meio ambiente através da redução do nível de emissões de gases, e no bem-estar dos indivíduos com a redução da poluição sonora nas metrópoles e rodovias, são oportunidades promovidas pela mobilidade elétrica. Os primeiros adotantes desta tecnologia ainda possuem uma vantagem de cunho industrial, conforme se observa uma familiaridade com esta tecnologia e suas características antes de seus eventuais competidores no mercado, um incentivo para o desenvolvimento tecnológico em um país reconhecido mundialmente pela sua proeminência industrial (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2018).

A análise de políticas públicas no âmbito internacional revela que EUA, China, Noruega, Japão, Coreia do Sul, e os países mais desenvolvidos da União Europeia figuram entre as nações

que mais investem na tecnologia de veículos elétricos. A Alemanha figura como o país que apresenta em suas políticas públicas a maior pluralidade de ações, exemplo do investimento em uníssono a montadoras automotivas para projetos de pesquisa e desenvolvimento, adaptações no marco regulatório como forma de viabilizar a inovação, a criação de um regime de subsídios responsável por reduzir as incertezas na oferta e demanda por esta tecnologia, além da articulação dentro do continente europeu para padronizar e harmonizar uma tecnologia com plantas distintas (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2018).

3.2 POLÍTICAS PÚBLICAS PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS NA ALEMANHA

A Alemanha iniciou seu compromisso com a descarbonização de sua economia, a partir da assinatura dos tratados estipulados em conferências internacionais do clima, realizadas periodicamente a partir dos anos 90 e que persistem até hoje. Destaca-se entre estas, a Conferência das Partes – COP, realizada em Kyoto no Japão em 1997, que estabeleceu o Protocolo de Kyoto, acordo onde as nações desenvolvidas se comprometiam a estipular metas de redução de gases GHG para as próximas décadas.

Para estipular um incentivo extra para a promoção de uma economia de baixo carbono, foi implementado em 2005 na Europa, o *Emissions Trading System* – ETS, sistema de câmbio de créditos de carbono entre os países europeus²⁰. Neste sistema, é possível monetizar as externalidades negativas promovidas pela poluição ambiental, onde cada país possui um valor fixo de emissões anuais, sendo obrigatória a compra destes créditos de carbono caso ele ultrapasse a meta estipulada. Desta forma, países que possuem baixos níveis de poluição podem auferir ganhos financeiros ao comercializar os créditos de carbono com outros países que não reduziram seus níveis de emissão.

Os acordos internacionais ratificados pela COP não estabeleceram necessariamente um método para a redução dos gases GHG, fornecendo esta autonomia metodológica para as nações. Neste sentido, a Alemanha optou por descarbonizar seus dois setores que mais contribuem para a poluição no país: o segmento de geração de energia e o segmento de transportes. O país não apresentava as mesmas condições de desenvolvimento na mobilidade elétrica no início da década de 2010, necessitando investir de forma massiva no segmento e em colaboração com seus principais agentes.

Em 2010 foi criada a *Nationale Plattform Elektromobilität* – NPE, um corpo consultivo do governo federal alemão, composto por diversos *stakeholders* do segmento de

²⁰ Com exceção de Islândia, Noruega e Liechtenstein

eletromobilidade, como fabricantes de veículos, fornecedores de componentes, *utilities* de energia, associações profissionais, academia científica e sociedade civil. A NPE era o órgão responsável por fabricar relatórios periódicos responsáveis por identificar as oportunidades e ameaças ao desenvolvimento do segmento de veículos elétricos na Alemanha, abordando assuntos críticos como a manufatura de baterias, os componentes utilizados em um veículo elétrico, a importância de uma infraestrutura de recarga, além de estabelecer metas e objetivos para os 25 anos que irão suceder sua criação, com o planejamento do segmento realizado até o ano de 2025 (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2018).

Sua atuação foi segmentada em três fases: a primeira conhecida como *pre-market phase* ocorreu entre 2010 e 2014, com o objetivo de preparar a tecnologia para o mercado, entendendo seu funcionamento e endereçando problemas de operacionalidade críticos para o segmento. A segunda fase, denominada de *market ramp-up phase*, concluída em 2018, visa utilizar o conhecimento acumulado ao longo de quase 10 anos para iniciar a transição da produção nacional para um mercado de massa. Este mercado de massa consiste na última fase de inserção alemã no mercado internacional de veículos elétricos, com o aumento de unidades comercializadas, modelos disponíveis no mercado e melhoria das condições gerais de desempenho (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2018).

Com o fim da *market ramp-up phase*, em 2018, a NPE foi integrada a outro órgão de consulta do governo federal, denominado *Nationale Plattform Zukunft der Mobilität – NPM*, que possui o objetivo de buscar tópicos relevantes e essenciais para a mobilidade do futuro. A NPM estuda alternativas para os combustíveis atualmente utilizados e modificações na arquitetura dos veículos elétricos, além de planejar protótipos de veículos autônomos e a sistematização e digitalização do tráfego dentro do país (NATIONAL PLATFORM FOR MOBILITY, 2019).

Para a viabilização das práticas promovidas pelos veículos elétricos, foram necessárias mudanças no marco regulatório alemão, especificamente da lei que abordava a comercialização de energia no segmento industrial. O *Energiewirtschaftsgesetz – EnWG*, que buscava promover a competição entre os agentes e estimular a oferta de energias renováveis, foi implementado inicialmente em 2005, mas demandou uma adaptação de suas regras, através de uma emenda, para se adequar ao novo contexto da eletromobilidade.

Em 2011 o EnWG foi modificado como forma de criar uma base legal para as redes inteligentes, necessárias na implementação dos veículos elétricos no segmento residencial. A emenda introduziu uma lei de segurança energética, com padrões de segurança e proteção de dados. Foram também adotadas medidas para viabilizar o V2G, como a redução das taxas de rede

cobradas em locais onde os veículos são utilizados para auxiliar a rede de distribuição (DER BUNDESTAG, 2011).

O EnWG ainda modificou o ônus sobre as estações de recarga em comparação com as distribuidoras que ele é responsável de regular. Neste sentido, as estações de recarga não possuem as mesmas regras restritas de operação de distribuidoras, com a redução de obrigação operacional a um mínimo, apenas exigindo informações sobre suas condições técnicas e cumprimento de normas de segurança. A emenda de 2011 também buscou evitar a formação de monopólios no mercado de estações de recarga, vetando a possibilidade de atuação das distribuidoras para evitar conflitos de interesse e manter o segmento mais fragmentado.

Este conjunto de medidas, permitiu que a Alemanha continue realizando investimentos na mobilidade elétrica, a partir do momento que ela possui diretrizes para ação além da redução de incertezas, oriundas da atualização do marco regulatório. Neste sentido, o país utilizou de políticas públicas voltadas para a difusão de veículos elétricos seguindo as recomendações feitas pela NPE, que podem ser segmentadas em três categorias distintas: incentivos a veículos elétricos, padronização tecnológica e pesquisa e desenvolvimento.

3.2.1 Incentivos para Veículos Elétricos

Durante a fase de preparação para o mercado, foi identificada a importância de inserir incentivos de cunho monetário e também comportamentais, para estimular a demanda por veículos elétricos e reduzir as incertezas pelo lado das montadoras. A introdução de incentivos financeiros por parte do governo permite a alocação dos investimentos das montadoras para atividades como pesquisa e desenvolvimento, além da infraestrutura necessária para a manufatura da tecnologia. Os incentivos comportamentais complementam este processo, endereçando as demais fontes de ceticismo do consumidor que não estão associadas aos custos de aquisição de um veículo elétrico (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2018).

O principal incentivo financeiro promovido pelo governo alemão consiste no *environmental bonus*, ou bônus ambiental, um subsídio na aquisição do veículo que varia de acordo com seu peso e grau de emissão de gases GHG. Veículos BEV, que possuem um menor impacto no ambiente, recebem um desconto de €4.000, enquanto o subsídio para veículos PHEV é inferior, no valor de €3.000.

Para evitar que indivíduos com alto poder aquisitivo se aproveitem do mecanismo desta política pública para realizar a compra de veículos de luxo, o governo estipulou um valor máximo de elegibilidade para o *environmental bonus*, aplicável para veículos com um preço de até

€60.000. O subsídio que teve sua aplicação iniciada no ano de 2016, possui um limite na ordem de €1,2 bilhão e é financiado em parceria com as montadoras, que arcam com 50% do custo em cada veículo, exaltando a cooperação entre governo e indústria que foi planejada no início da empreitada da mobilidade elétrica na Alemanha (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2018).

O *umweltbonus* foi atualizado em 2020 após os impactos registrados pela crise do COVID-19, e a necessidade de impulsionar tecnologias intensivas na descarbonização. Neste sentido, o subsídio para veículos BEV foi modificado para €9.000, enquanto o desconto para veículos PHEV também aumentou, para até €6.750. Esta atualização reduziu o valor máximo dos veículos subsidiados para até €40.000 e também estabeleceu o último mês de 2021 como data final para aquisição de veículos subsidiados.

Outra medida financeira importante é a isenção no imposto cobrado sobre o motor do veículo, o *motor vehicle tax*. Estipulada através da emenda *Transaction Tax Amendment Act*, publicada no ano de 2012, a isenção era válida para veículos registrados inicialmente entre o período de 2012 e 2015, com uma prorrogação por 10 anos após o fim do prazo inicial. Isto significa que veículos registrados entre 2015 e 2020 são isentos deste imposto pelo período de uma década (DER BUNDESTAG, 2012).

Para incentivar a prática do V2G, o governo também estipulou que os ganhos auferidos pelo consumidor ao realizar esta prática possuem são isentos de taxaço durante o processo de declaração de receitas anuais. Esta medida também se estende para a recarga durante o trabalho, de forma que a taxaço sobre este benefício pecuniário não é aplicada tanto no âmbito residencial quanto em locais semipúblicos, com os edifícios comerciais servindo de principal exemplo.

O governo também se comprometeu a auxiliar a difusão da infraestrutura de recarga dentro do país. Identificando a instalação de pontos de recarga, de natureza residencial e pública, como medida essencial para promover a difusão desta tecnologia dentro do país, o governo aportou em 2017 uma quantia de €300 milhões destinada para financiar a implementação de uma rede de recarga dentro do país. Nesta quantia, €200 milhões são destinados ao financiamento de estações de recarga públicas rápidas, enquanto o restante desta quantia visa auxiliar a instalação de pontos de recarga de corrente alternada (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2018).

Os incentivos financeiros devem ser complementados com políticas que incrementem a atratividade da mobilidade elétrica para ofertantes e demandantes, como forma de reduzir a incerteza inerente ao processo de inovação e promover benefícios para os *early adopters* neste ramo. Para os fabricantes, torna-se essencial que sua expectativa pela demanda seja alcançada,

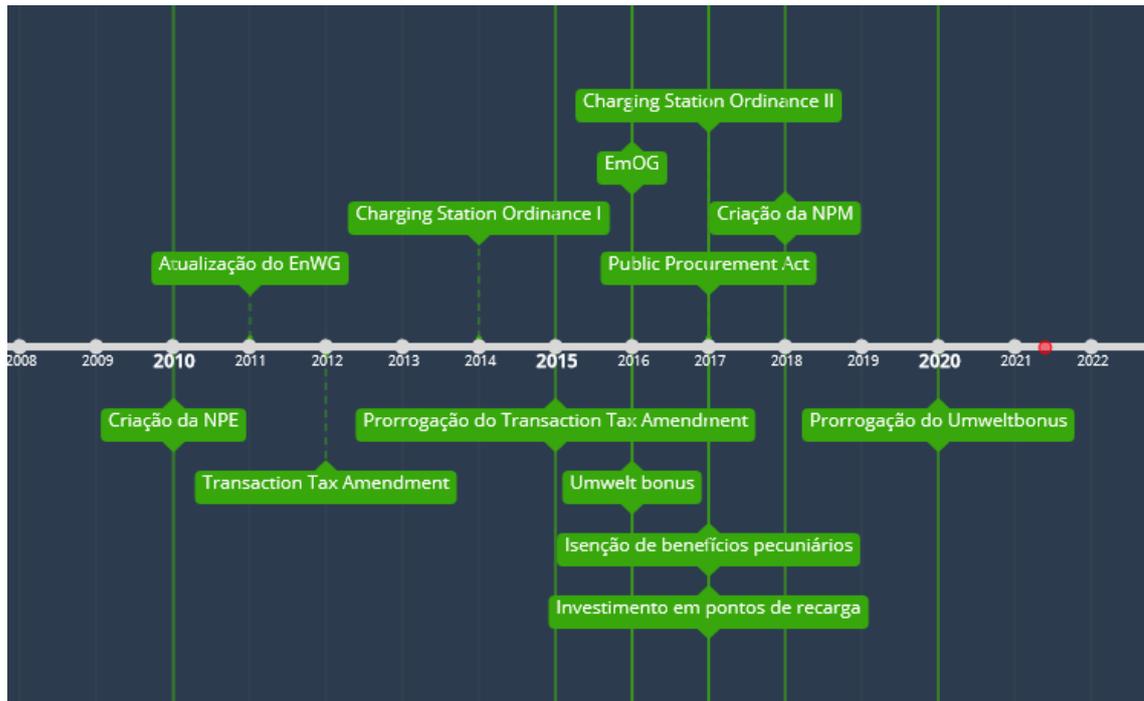
como uma forma de recuperar os altos investimentos necessários para o desenvolvimento e produção de uma tecnologia com pouca atuação no mercado. Pelo lado da demanda, é importante fornecer incentivos para que os consumidores realizem esta transição tecnológica, especialmente no momento inicial onde o custo-benefício da aquisição não é equivalente com a tecnologia disseminada no mercado.

Como forma de reduzir a preocupação das montadoras sobre a expectativa de demanda, o governo lançou em 2017 o *Public Procurement Act*, lei governamental que estabelecia uma meta de substituição da frota de veículos públicos, de combustão interna para veículos elétricos. Para o ano de 2020, foi estabelecido que todos os órgãos públicos irão eletrificar, no mínimo, 20% de sua frota, sem restrições para valores acima deste patamar. Em 2018, o *Bundesministeriums für wirtschaft und energie* – BMWI, o Ministério de Economia e Energia da Alemanha, ultrapassou esta meta, modificando 33,3% de sua frota um ano após a imposição desta transição pela legislação.

O outro conjunto de medidas que estabelecem privilégios exclusivos para veículos elétricos foi ratificado legalmente em 2016 com a introdução do *Electromobilitätsgesetz* – EmoG, a lei de eletromobilidade em vigor no país. O EmoG garantiu uma autonomia para cidades e municípios de estipular um tratamento preferencial para veículos elétricos, como a utilização de faixas exclusivas a ônibus, locais de estacionamento destinados para veículos elétricos, estabelecimento de estações de recarga isentas de cobrança pelo serviço e outras medidas que podem atrair o consumidor para este mercado (DER BUNDESTAG, 2015).

A Figura 15 condensa todas as políticas públicas utilizadas na Alemanha para promover a mobilidade elétrica, desde seu início em 2010 até o ano vigente de 2020, disponibilizadas em ordem cronológica.

Figura 15. Linha do tempo das políticas públicas para veículos elétricos na Alemanha



Fonte: Elaboração própria.

Ao aliar incentivos monetários e não monetários, cria-se um conjunto de benefícios que pode exercer um poder de influência sobre o consumidor para realizar a transição à mobilidade elétrica em um momento inicial, onde o mercado ainda apresenta problemas de operação. Os subsídios promovidos pelo Estado, possuem uma data inicial de aplicação e limitações de condições para que os recursos públicos sejam alocados de forma mais adequada. Não obstante, os incentivos também possuem uma data de término, como forma de garantir a melhoria das condições de utilização dos *early adopters* e a redução do ônus de uma tecnologia incipiente sobre os agentes que atuam no lado da oferta, evitando o cenário onde uma tecnologia consolidada no mercado seja financiada por recursos públicos.

3.2.2 Padronização Tecnológica

A padronização tecnológica se apresenta como outro pilar importante para garantir a difusão nacional e internacional da tecnologia de veículos elétricos. Sem este denominador comum, aumenta a dificuldade no entendimento desta tecnologia e operação por parte do consumidor e a existência de modelos incompatíveis acarreta um aumento de custos através de toda a cadeia produtiva, com mais intensidade no segmento de infraestrutura de recarga (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2017).

Os veículos elétricos dificilmente terão sucesso no mercado internacional sem um esforço de padronização que contemple os três degraus de atuação de um mercado: nacional, continental e mundial. Isto pois os padrões estabelecidos são continuamente adaptados para inovações tecnológicas, incentivam o investimento na infraestrutura e facilitam a compreensão do usuário, algo essencial para a internacionalização da tecnologia.

A padronização, que combina parâmetros de segurança aliados com qualidade e uso eficiente de recursos é importante para a redução dos custos e promoção de novos entrantes no mercado. Ao estabelecer um modelo comum que possua os pré-requisitos de desempenho, os custos de adoção são reduzidos conforme não existe a necessidade de investimento individual por parte dos empreendedores para desenvolver seus próprios modelos (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2017).

A mobilidade elétrica ainda exige que a padronização aconteça de forma colaborativa entre os três degraus de um mercado (nacional, continental e mundial) além da atuação em sintonia entre engenharia automotiva e elétrica, em luz da forte convergência entre o segmento de veículos elétricos e o setor de eletricidade. Neste sentido, os órgãos responsáveis pela elaboração de normas e certificação de padrões em cada segmento, devem atuar em conjunto com as entidades de padronização de maior escala, garantindo a internacionalização da redução de custos e da acessibilidade tecnológica (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2014).

Este é um dos objetivos da política de padronização alemã, que possui no *Deutsches Institut für Normung*- DIN, como órgão responsável pela padronização tecnológica doméstica, atuando em colaboração com o *European Committee for Standardisation* – CEN para o processo dentro do continente e também com a *International Organization for Standardisation* – ISO que atua como entidade de âmbito internacional de padronização. Este processo conjunto resulta em diretrizes operacionais estabelecidas pela União Europeia, elaboradas com auxílio da engenharia alemã, que são adotadas pelas políticas públicas da Alemanha, com pequenas alterações visando se adequar ao contexto observado pelo país.

Um exemplo compreensivo pode ser ilustrado pelo segmento de conectores para recarga dos veículos elétricos. Inicialmente existiam dois modelos competindo pela hegemonia no mercado internacional, o modelo CHAdeMO adotado pelo grupo de montadoras japonesas (Nissan, Mitsubishi e Subaru) disputava contra a americana Tesla e seu modelo Supercharger. Os veículos elétricos nesta época exigiam conectores distintos, um para carga alternada e outro para carga contínua, além de registrar uma incompatibilidade parcial ou completa entre as tecnologias. Caso um veículo Tesla desejasse recarregar em uma estação CHAdeMO, um adaptador seria

necessário para harmonizar as tecnologias, enquanto o caso inverso não seria possível visto que os postos Tesla foram desenhados para utilização exclusiva de veículos desta montadora.

Esta incompatibilidade observada na fase inicial do mercado de veículos elétricos trouxe a necessidade de harmonização tecnológica dentro do continente europeu, em especial para facilitar a produção de montadoras que não possuíam um padrão de conector desenvolvido. O CCS, o conector que possibilita a recarga em corrente alternada ou contínua, foi proposto inicialmente em 2011 e adotado por sete montadoras (Audi, BMW, Daimler, Ford, GM, Porsche e Volkswagen) que lançaram já em 2013 modelos com esta tecnologia embutida.

Cinco destas sete montadoras iniciais que participaram do *pool* inicial para fabricação de modelos com o conector CCS embutido, atuavam na Europa, com origem na Alemanha. Neste sentido, a difusão do CCS no continente foi estimulada através de uma diretiva da União Europeia sobre as regras de desenvolvimento de estações de combustíveis alternativos, denominada 2014/94/EU.

A diretiva se dispõe a estabelecer as denominações de combustíveis alternativos, fontes de energia que possuem capacidade de substituição dos combustíveis fósseis utilizados atualmente para abastecer os veículos de combustão interna. A eletricidade é considerada um combustível alternativo, enquanto outras opções como o hidrogênio, biocombustíveis, gás natural e combustíveis sintéticos também são definidas como possibilidades pela diretiva europeia.

Nesta diretiva também está imposta a exigência de criação de um plano nacional para desenvolvimento de combustíveis alternativos pelos membros adotantes, com a necessidade de revisão do estado atual do segmento no país incluindo as projeções para o futuro. Não obstante, o país ainda necessita estabelecer metas e seus objetivos para os próximos anos, além de adotar medidas que serão responsáveis por alcançar as metas pré-estabelecidas. É importante que o país também considere suas características no momento da criação de seu plano nacional, buscando a cooperação intranacional, com a colaboração de autoridades locais interessadas no desenvolvimento do segmento, quanto o auxílio de países do bloco na elaboração destas políticas.

Apesar da relativa autonomia delegada aos países do bloco europeu, a diretiva 2014/94/EU determina a instalação de postos de recarga para veículos elétricos de forma compatível com o número de veículos elétricos em circulação até o ano de 2020. Neste sentido, ainda são estabelecidas normas de atuação, como a transparência dos preços para o consumidor, a disponibilidade de métodos de pagamento em dinheiro ou cartão de crédito e a padronização do serviço dentro do país. Neste cenário de padronização, a diretiva também estabelece que as estações de recarga rápida instaladas em cada país devem possuir no mínimo um conector CCS Combo 2, sendo um pré-requisito compulsório para a instalação de um posto a partir de 2017

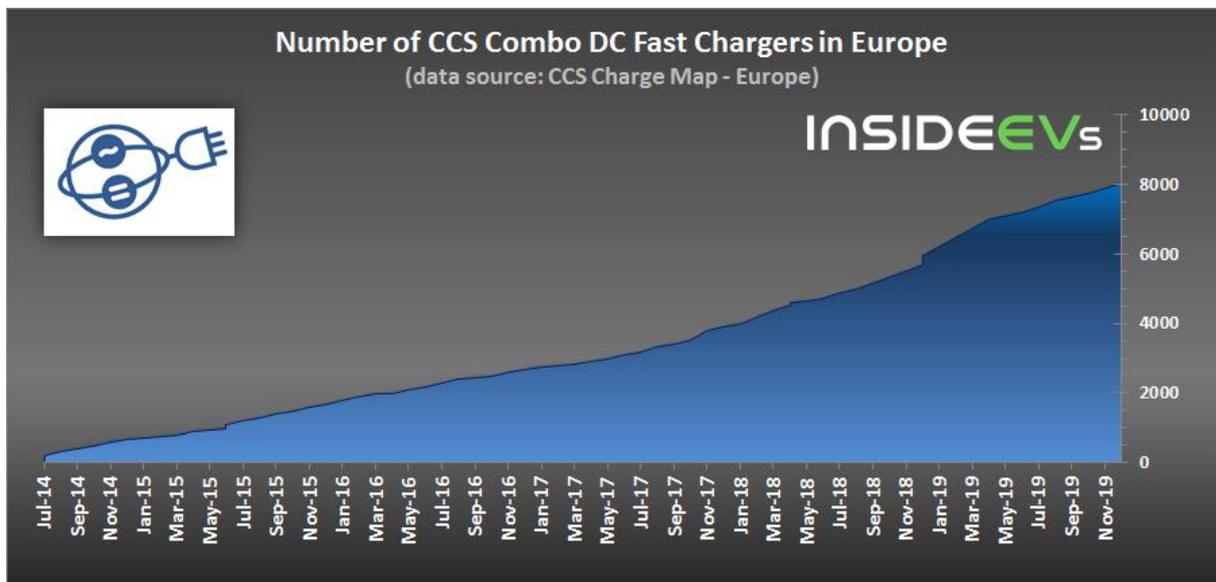
(THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, 2014).

Na Alemanha a diretiva 2014/94/EU foi incorporada através da *Ladesäulenverordnung* - LSV, a lei responsável pelo regulamento das estações de recarga. A LSV estabelece os requisitos mínimos de segurança e interoperabilidade, e fornece para o operador de um ponto de recarga modalidades para executar o pagamento do serviço por parte do cliente, como o pagamento através de dinheiro ou cartão de crédito, ou utilizando uma plataforma eletrônica desenvolvida pelo próprio operador, exigindo versões em inglês e alemão como pré-requisitos para sua aplicação (BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE, 2016).

A adoção conjunta do CCS pelas montadoras europeias e países que compõem o bloco foi essencial para sua difusão, além de tornar o modelo a principal referência de conectores no continente. Sua relevância é tamanha, que empresas japonesas já optam pela utilização de conectores CCS nos modelos comercializados para a Europa, utilizando o CHAdeMO apenas no âmbito nacional²¹, enquanto a Tesla já estabeleceu um adaptador que viabilize a carga de seus veículos em postos de conectores CCS.

A Figura 16 ilustra a evolução do número de postos de recarga rápida instalados na Europa com os conectores CCS embutidos.

Figura 16. Número de postos de recarga rápida CCS na Europa (2014-2019)



Fonte: InsideEVs (2020). Disponível em <https://insideevs.com/news/390092/ccs-8000-fast-chargers-europe/>

²¹ Em 2020, as montadoras japonesas anunciaram a decisão de não utilizar o modelo CHAdeMO fora do âmbito nacional. Fonte: Chargedevs (2020). Disponível em <https://chargedevs.com/newswire/the-war-is-over-nissan-to-switch-from-chademo-to-ccs-in-us-and-europe/>

A necessidade de harmonização tecnológica por parte dos conectores de recarga consiste em apenas um ponto entre os diversos necessários para a viabilização da mobilidade elétrica como um todo. A padronização deve abordar quesitos gerais, como a interface de recarga do veículo, convergência com a infraestrutura de recarga, a compatibilidade eletromagnética (conversão de carga AC em DC) além de questões de engenharia automotiva e elétrica (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2014).

O mapa de padronização elaborado pela NPE ilustra os principais segmentos que podem se tornar entraves para a difusão dos veículos elétricos, em um cenário com múltiplos padrões competindo entre si. Neste sentido, os problemas são endereçados de acordo com sua importância para a introdução da tecnologia no mercado, acompanhando as três fases que compõem o processo de desenvolvimento da mobilidade elétrica na Alemanha: preparação (entre 2010 e 2014), introdução (entre 2014 e 2017) e comercialização em massa, a partir de 2017 (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2014).

Inicialmente a infraestrutura de recarga, os padrões de segurança que envolvem este processo e os protocolos de comunicação foram eleitos as principais tecnologias com necessidade de harmonização para auxiliar o processo de difusão dos veículos elétricos. Apenas com a padronização de práticas os serviços entre países podem ser viabilizados, como recargas em viagens internacionais que se tornam possíveis com a existência de plataformas de *roaming* que utilizam protocolos de comunicação aberta. Neste sentido foram aportados recursos de projetos de pesquisa e desenvolvimento para conceber os padrões de cada segmento, visando a padronização do mercado interno e integração internacional.

A infraestrutura de recarga indutiva apresenta um impacto inicial no mercado inferior, com uma menor necessidade de padronização imediata. No entanto, esta tecnologia também está consolidada no mapa de padronização alemão e inclusive já possui padrões de comunicação e transmissão de energia, com seu processo de desenvolvimento sendo delegado para a segunda fase da NPE, de introdução ao mercado.

A Figura 17 ilustra o processo de padronização dentro do segmento de veículos elétricos de acordo com o impacto potencial nas fases iniciais do desenvolvimento do mercado alemão.

Figura 17. Mapa de padronização da mobilidade elétrica na Alemanha



Fonte: Nationale Plattform Elektromobilität - NPE (2018).

As atividades de padronização são elaboradas em um processo colaborativo entre instituições governamentais e agentes privados. Enquanto os produtores ficam responsáveis pelo lançamento no mercado, o governo realiza o desenvolvimento dos padrões através do aporte de recursos de projetos de P&D, subsidiando a inovação no país e reduzindo os gastos elevados, por parte dos empreendedores, em um segmento tecnológico que ainda não alcançou sua maturidade. Pontos de padronização considerados cruciais para a mobilidade elétrica como estações de recarga, parâmetros de segurança, protocolos de comunicação e a integração dos veículos elétricos com redes inteligentes possuem financiamento governamental através dos fundos de pesquisa e desenvolvimento.

3.2.3 Pesquisa e desenvolvimento

As atividades de pesquisa e desenvolvimento são indicadas pela NPE como a principal ferramenta capaz de reduzir o hiato tecnológico entre a Alemanha e os países líderes em segmentos da mobilidade elétrica. Neste sentido, o órgão orientou o governo federal no aporte de recursos para executar projetos para concepção de tecnologias, aprimoramento de seus parâmetros de operação e padronização tecnológica para o mercado nacional e internacional.

Os projetos de P&D na Alemanha iniciam na pesquisa básica, voltada para o aumento do volume de conhecimento científico, passando pela pesquisa aplicada ao utilizar este conhecimento adquirido no contexto necessário, também atuando na ponta extrema dos projetos de P&D que tem pouca influência na indústria: a produção. Em luz da veia acadêmica de certos projetos de pesquisa, torna-se natural sua designação para centros acadêmicos e instituições de pesquisa que não possuem as condições de transformar todo este conhecimento em produção.

Os responsáveis por consolidar os esforços para conceber novas tecnologias em produtos residem na ponta industrial e dependem desta transferência de conhecimento adquirido por parte dos acadêmicos para reduzir os custos de produção. Esta é a ação colaborativa que a NPE estimula, coordenação de esforços da academia, governo e indústria para que o desenvolvimento tecnológico aconteça da forma mais rápida possível e com uma economia de recursos a partir desta ação em conjunto de diferentes *stakeholders*.

O objetivo é tornar a Alemanha independente tecnologicamente em toda sua cadeia produtiva de veículos elétricos, atuando simultaneamente em diversas áreas do segmento e garantindo que a tecnologia utilizada em seus veículos seja autóctone, com exceção da produção de células de baterias, mercado dominado por japoneses, coreanos e chineses (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2018). O relativo atraso tecnológico do país em comparação aos seus competidores somado com as metas ambiciosas do governo alemão tornaram necessários um alto investimento em projetos de P&D na primeira das três fases estabelecidas pela NPE, com um aporte de €4 bilhões em projetos apenas no período de 2010 e 2013.

Para promover a internacionalização de sua tecnologia, antes se torna necessário garantir que esta tenha condições de competir com os outros agentes no mercado. Neste sentido um dos focos de atuação dos projetos consiste na evolução dos parâmetros das baterias veiculares, para a melhoria de desempenho dos veículos elétricos, além da redução do hiato tecnológico aos outros fornecedores que dominam o mercado. A otimização das baterias veiculares busca também reduzir os riscos que uma eventual restrição na oferta de matérias-primas pode trazer para o mercado alemão.

Atualmente as baterias dispõem de uma composição química que exige a utilização de outros metais para compensar as limitações do íon-lítio, principal elemento ativo nas baterias veiculares. Dependendo da tecnologia utilizada, metais como níquel, cobalto e manganês podem ser utilizados, e sua oferta depende das condições de produção de outros países, além do estoque global disponível do minério. O cobalto, presente nas baterias NCA e NCM, é fornecido em larga escala pela República Democrática do Congo, que além de apresentar parcela majoritária dos

trabalhadores do segmento extrativista em condições análogas à escravidão, gerando questionamentos acerca da sustentabilidade marcante da tecnologia, possui um risco de suprimento caso a demanda por este metal aumente consideravelmente (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2018).

Outro componente importante na composição de uma célula de bateria consiste no grafite, derivado de carbono utilizado como material de um ânodo. O grafite é utilizado em larga escala como ânodo pelas tecnologias de bateria veicular atualmente, e seu fornecimento é oriundo da China que possui uma alta demanda devido ao aquecimento do seu mercado, o que também pode gerar riscos de fornecimento para a Alemanha.

Para reduzir os riscos inevitáveis que o mercado apresenta, a NPE aponta a necessidade no investimento de reciclagem dos materiais utilizados na fabricação, reutilizando os metais em baterias que já extinguiram seu ciclo de vida para a manufatura de novos modelos. No entanto, este tipo de atividade gera resultados ínfimos no curto prazo devido ao ciclo de vida de uma bateria que pode ultrapassar os oito anos, exigindo outras medidas para lidar com um cenário de restrições de fornecimento de matérias-primas.

A otimização da composição química é vista como a principal medida que pode auxiliar a Alemanha, não apenas mitigando os riscos de oferta de metais, mas também promovendo a evolução tecnológica que pode reduzir o hiato tecnológico entre seus principais competidores. O país também pode realizar uma evolução radical na composição da bateria que pode trazer uma vantagem a partir do momento em que metais tóxicos, com fornecedores de características monopolistas já não são mais necessários para a fabricação de células de bateria (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2018).

Enquanto o país não possuía familiaridade inicial com a primeira geração de baterias veiculares, que utilizam a tecnologia NCA combinada com um ânodo de grafite, e a segunda geração que já utiliza o cátodo NCM sem alterações no ânodo, é objetivo dos projetos de P&D introduzir o país no processo de otimização de baterias veiculares. A terceira geração que busca modificar a composição de metais, focando nos que apresentam menor risco para a produção, além de introduzir um novo material para a composição do ânodo, o silício, é um ponto de inflexão para a inserção da Alemanha no mercado de baterias (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2018).

Enquanto a segunda e terceira geração são marcadas pela otimização da tecnologia, as duas próximas gerações pautadas para o futuro consistem em uma mudança radical na composição metálica, utilizando apenas lítio no cátodo, enquanto o ânodo pode ser composto por metais como enxofre ou apenas por oxigênio. As novas gerações de células são alvos de

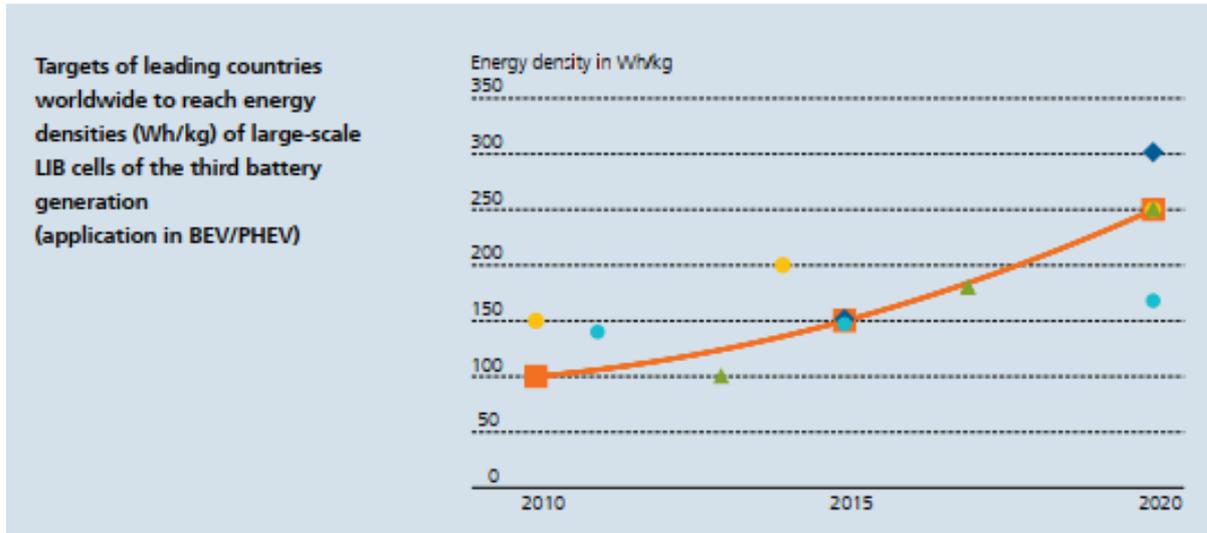
investimento por parte do governo alemão a partir do mapeamento feito pela NPE visando inserir a Alemanha no mercado de baterias (EDSTRÖM et al, 2020).

Após o fim das atividades da NPE em 2018, o mapeamento e coordenação dos esforços de pesquisa e desenvolvimento no segmento de baterias veiculares ficou sob responsabilidade da Aliança Europeia de Baterias – *European Battery Alliance*, que realiza as mesmas atividades da NPE, mas buscando compartilhar os avanços feitos na agregação de valor da cadeia produtiva de baterias para todo o continente europeu. A *European Battery Alliance* conseguiu angariar €3,2 bilhões em recursos para seus projetos de pesquisa e desenvolvimento, sendo que €1,5 bilhão deste valor corresponde apenas ao financiamento provido por parte do governo alemão.

A última fase da NPE foi finalizada com um mapeamento das necessidades de atuação, além de metas e objetivos a serem alcançados até o ano de 2025. A partir desta data, é necessária a atuação de outras instituições para garantir que a evolução tecnológica na Alemanha não seja interrompida. No segmento de baterias, esta responsabilidade é incumbida para a *European Battery Alliance* que busca estipular os valores de densidade energética e custo de fabricação após o ano de 2025. O objetivo principal é garantir que a tecnologia alemã possua as mesmas condições que seus concorrentes no mercado, como por exemplo a densidade energética de 250 Wh/kg, algo que ainda não deve ser alcançado até 2025 pelo país, enquanto o resto do mundo já terá alcançado este valor no ano de 2020.

A Figura 18 ilustra as projeções para densidade energética dos principais países no mercado internacional, além das metas estipuladas para a Alemanha.

Figura 18. Metas de densidade energética para células de bateria de terceira geração nos países líderes no mercado internacional



Cada figura geométrica representa uma meta de um determinado país para os valores de densidade energética. O quadrado representa as metas estipuladas pelo governo japonês, enquanto o círculo amarelo, azul, triângulo e losango representam as instituições americanas, alemãs, coreanas e chinesas respectivamente.

Fonte: Fraunhofer ISI (2019).

Os projetos de pesquisa e desenvolvimento identificados como essenciais para a evolução da mobilidade elétrica pela NPE e financiados pelo governo alemão também contemplam a infraestrutura de recarga, modificações na cadeia produtiva, melhorias na engenharia leve dos veículos e na tecnologia veicular utilizada. Com o término das atividades da NPE, estima-se que apenas entre 2018 e 2020 seria necessário o aporte de €1 bilhão em recursos para a execução destes projetos, com a coordenação e supervisão realizada por outras entidades (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2018).

Para a infraestrutura de recarga, os esforços iniciais consistiam na introdução de uma rede de postos com protocolos de comunicação, condições de segurança e métodos de pagamento padronizados. Após a difusão desta tecnologia harmonizada, o esforço nos projetos de pesquisa e desenvolvimento é voltado para o fornecimento de postos de recarga que apresentem potenciações acima de 150 kW. Atualmente poucos modelos possuem compatibilidade com altas potenciações, de 150 kW e 350 kW, porém conforme novos modelos compatíveis lançados no mercado, existe a necessidade de atualização por parte dos pontos de recarga dentro do país (NPE, 2018).

Para o carregamento indutivo, os projetos possuem foco em continuar evoluindo a tecnologia buscando uma forma de reduzir os custos de instalação de uma estação de recarga sem

fi. Já o modelo de recarga em movimento, conhecido como *in motion charging*, que dispensa a necessidade de parar o veículo para recarregar a bateria, precisa encontrar formas de se tornar economicamente viável, pois seus altos custos impedem a implementação de projetos utilizando esta tecnologia no momento.

Com o fim da primeira fase estabelecida pela NPE, o foco nos projetos de infraestrutura de recarga pode efetuar a transição para endereçar problemas como a integração do veículo a redes inteligentes. Conforme a difusão de veículos elétricos se realiza na Alemanha, a demanda por serviços em tempo real aumenta consideravelmente e a integração com redes inteligentes se torna compulsória para viabilizar práticas como o próprio V2G e os agregadores que fornecem uma maior conveniência para o consumidor.

Pelo lado da produção de veículos, modificações na cadeia produtiva são necessárias para otimizar a produção em massa, aumentando a eficiência e reduzindo os custos. A utilização de novos materiais, a modificação nas plantas dos modelos fabricados, os métodos de produção e padrões de segurança devem evoluir da mesma forma que a tecnologia utilizada. Na Alemanha, 8 projetos de pesquisa e desenvolvimento prezam pela inovação nas soluções de produção industrial, financiados pelo governo federal a um custo de €600 milhões.

Para auxiliar a produção de veículos elétricos, é necessário o investimento no segmento de engenharia leve, desenvolvendo novos materiais para utilização nos veículos, com o objetivo de tornar sua estrutura mais leve e reduzir os custos oriundos da grande quantidade de metais existente em peças como o trem-de-mão. A otimização de componentes, e a manufatura em larga escala de materiais leves também são áreas exploradas por projetos de pesquisa e desenvolvimento da engenharia leve. 35 projetos que exploram este segmento foram financiados pelo governo alemão, a um custo de €200 milhões (MACDOUGALL, 2015).

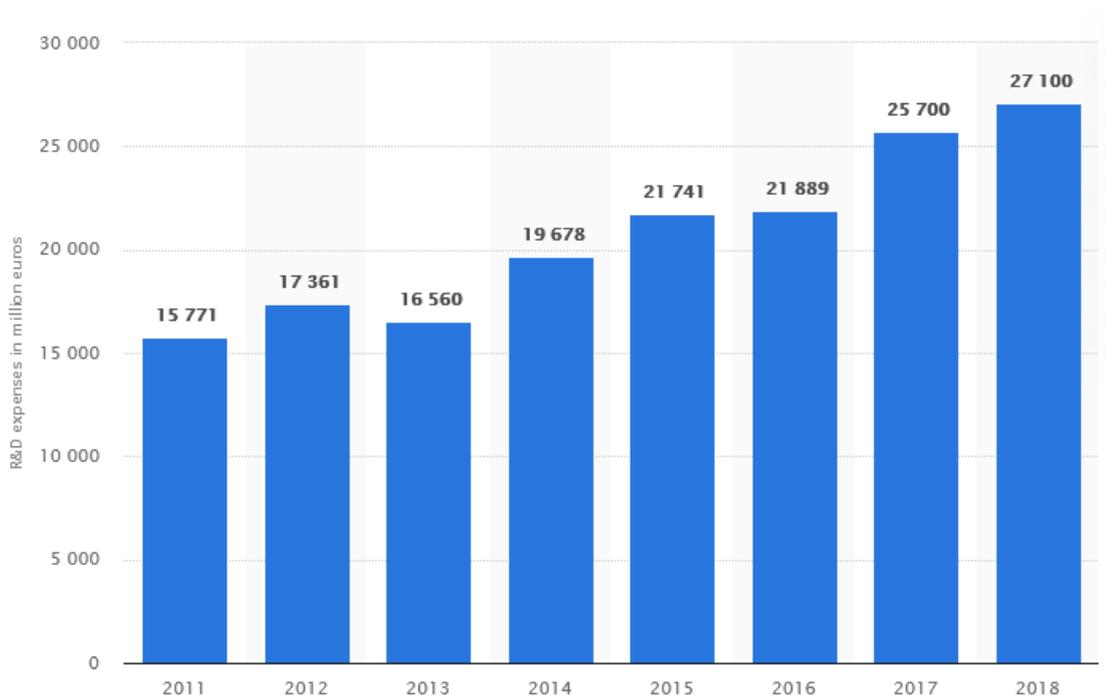
O objetivo que reside nos projetos de P&D voltados para a produção de veículos é otimizar a produção em massa, com uma meta de torná-la até 30% mais eficiente. Os custos também devem ser reduzidos para igualar os custos de aquisição de um veículo elétrico e de combustão interna e a meta para a Alemanha é reduzir em até 2/3 os custos de produção atuais. Não obstante é importante aumentar a densidade energética dos veículos elétricos alemães, que não apenas é inferior tanto aos competidores quanto aos veículos de combustão interna, dobrando este parâmetro no futuro, de 120 Wh/kg para 250 Wh/kg (THIELMANN et al., 2013).

O investimento do governo federal em projetos de pesquisa e desenvolvimento é apenas uma parcela do esforço em inovação por parte das empresas que constituem o setor. Enquanto o gasto em inovação dentro do setor automotivo alcançou a marca de €49,89 bilhões em 2018, os projetos de P&D correspondiam por €27,1 bilhões deste montante, valores que quase dobraram

do início da década para seu fim²², ilustrando como o governo foi importante para reduzir a asfixia financeira das montadoras em um momento inicial e realizou esta transferência de responsabilidade de investimento para as montadoras de forma gradual.

A Figura 19 ilustra a evolução dos gastos em P&D da indústria automotiva no período entre 2011 e 2018.

Figura 19. Gastos de P&D da indústria automotiva alemã, em milhões de euros (2011-2018)



Fonte: Statista (2021). Disponível em <https://www.statista.com/statistics/589335/car-industry-germany-research-and-development-expenses/>

Das três fases elaboradas pela NPE, a primeira por possuir como característica a exploração das possibilidades do mercado e da necessidade de criação de modelos e padrões foi a mais intensiva na utilização de recursos federais para atividades de pesquisa e desenvolvimento. Conforme os padrões do mercado são consolidados e a tecnologia analisa evolui, o plano de investimento em P&D realiza a transição para a exploração e padronização de segmentos que apresentavam um menor impacto no mercado, e conseqüentemente uma menor urgência, no momento inicial.

O ato de criação de padrões e a harmonização do mercado reduz incertezas por parte das montadoras e também os custos de produção, possibilitando o investimento em atividades de

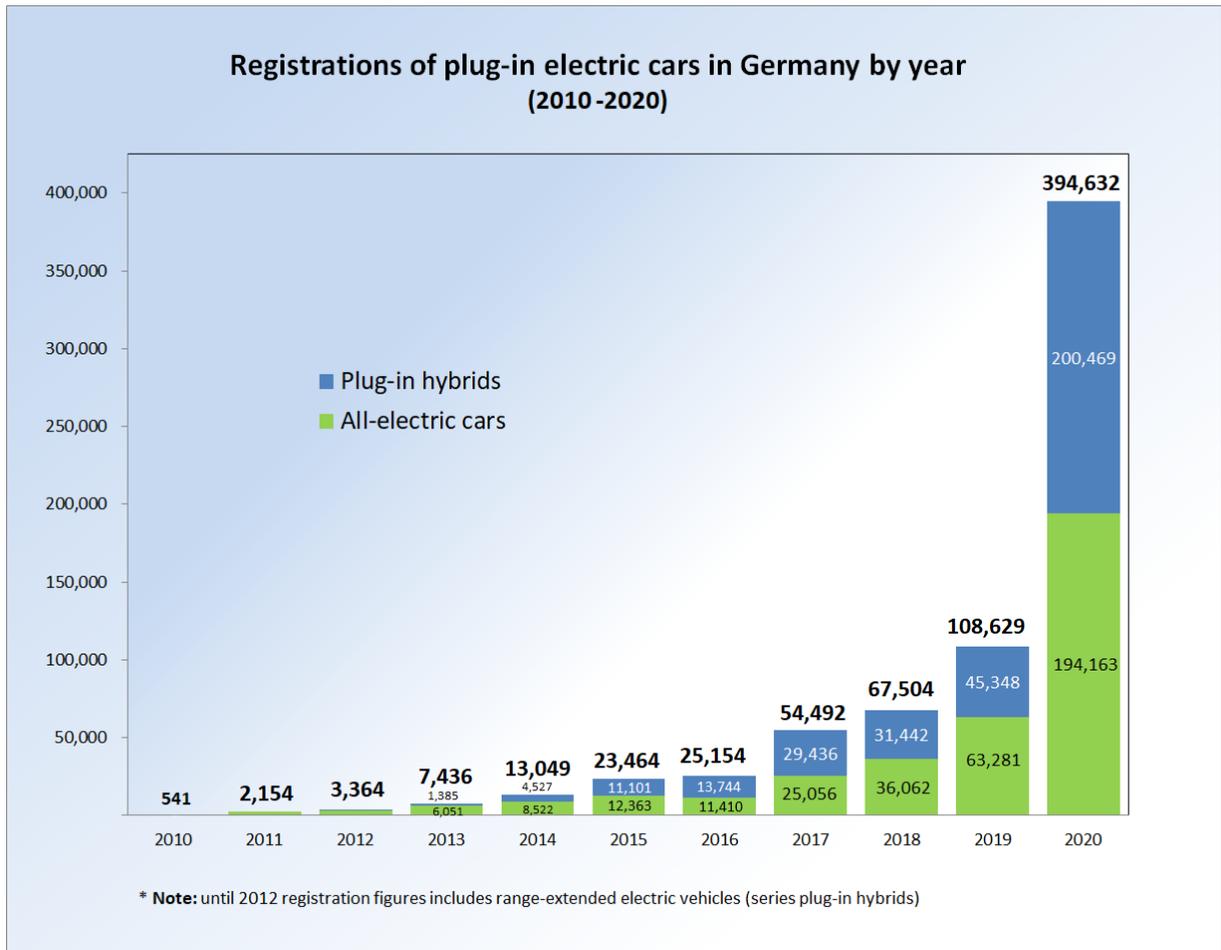
²² Fonte: Statista (2019). Disponível em <https://www.statista.com/statistics/589497/car-industry-germany-innovation-spending/>

P&D por parte das montadoras. O objetivo atual do governo é reduzir seus investimentos em pesquisa e desenvolvimento, focando no planejamento para o futuro e destinando seus recursos para melhorias na infraestrutura, como a implantação de estações de recarga rápidas dentro do país, importante para a difusão de veículos elétricos, que demanda um alto investimento e devido às condições incipientes do mercado podem apresentar condições financeiras que afastam investidores neste segmento.

3.2.4 Resultados

A meta do governo alemão ao lançar seu plano de investimento na eletromobilidade, era alcançar até 2020 a marca de 1 milhão de veículos comercializados. No entanto, ao observar o número de registros entre 2010 e 2020 verifica-se que este valor ficou abaixo da quantidade estipulada pelo governo, com aproximadamente 700.000 veículos elétricos registrados neste período. Foi observada também uma redução relativa, queda na taxa de vendas, no número de veículos comercializados em 2020 a partir da crise promovida pelo vírus COVID-19, em luz das mudanças promovidas no padrão de deslocamento do indivíduo com a introdução de medidas de distanciamento social.

A Figura 20 ilustra a evolução no número de registros de veículos elétricos dentro da Alemanha no período entre 2010 e 2020.

Figura 20. Registros anuais de veículos elétricos de *plug-in* na Alemanha (2010-2020)

A parcela em azul corresponde aos veículos híbridos de *plug-in* (PHEV), enquanto a parcela verde é destinada aos registros de veículos elétricos a bateria (BEV).

Fonte: Ortiz (2020). Disponível em https://www.wikiwand.com/en/Plug-in_electric_vehicles_in_Germany

Apesar da desaceleração que a crise do vírus COVID-19 promoveu sobre o mercado automotivo em geral, a taxa de redução de veículos elétricos foi inferior aos veículos de combustão interna e o ano de 2020 apresentou 394.632 registros de veículos elétricos, PHEV e BEV, o que representa mais de 50% de todo o estoque alemão de veículos elétricos em toda a sua década. A meta inicial de 1 milhão de veículos elétricos foi prorrogada para o ano de 2022 com a necessidade de acompanhar o número de veículos comercializados com a instalação de pontos de recarga, de carga rápida e convencional.

No início da segunda fase estipulada pela NPE, o objetivo do governo era garantir que os veículos comercializados dentro da Alemanha possuísem uma infraestrutura adequada para seu funcionamento, garantindo recursos para a instalação de postos de recarga, rápidos ou convencionais. Os recursos aportados durante os anos de 2017 e 2020 foram responsáveis pela

instalação de 10 mil pontos de recarga AC e 5 mil pontos de recarga DC dentro do país (NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT, 2018).

Em 2019 a Alemanha possuía 39.291²³ pontos de recarga, sendo 5.088 de recarga DC e 34.203 de recarga AC, com a necessidade de aumentar consideravelmente o número de postos para harmonizar com a meta de 1 milhão de veículos circulando dentro do país. A razão de pontos de recarga para veículo é estimada entre 1 ponto de recarga AC para cada 14 veículos e 1 ponto de recarga DC para cada 140 veículos, exigindo a instalação de 140 mil pontos AC e 14 mil de pontos DC até 2022, um investimento com custo estimado de €3 bilhões, com 40% deste montante sendo arcado por recursos públicos e o resto complementado por montadoras e ou empreendedores do segmento de recarga, o que aponta a exigência de mais que triplicar o número atual de estações de recarga para alcançar a meta projetada pelo governo.

O desenvolvimento do mercado de veículos elétricos na Alemanha possui uma forte influência por parte do governo e de seu projeto de promoção desta tecnologia, utilizando de políticas públicas como seu principal instrumento para coordenar os agentes do mercado e garantir uma maior acessibilidade desta tecnologia, que ainda constitui em um estágio inicial. Um mercado que possui uma baixa demanda e altos custos de fabricação, através de toda sua cadeia produtiva, exige a atuação de políticas públicas para reduzir as incertezas de consumidores e produtores, com intensidade inversamente proporcional às dificuldades do mercado (TAEFI et al., 2016).

A aceitação do consumidor acerca de uma tecnologia também é essencial para seu sucesso de difusão no mercado, exigindo também uma atenção por parte dos articuladores de políticas públicas. A introdução de incentivos pelo lado da demanda possui uma maior eficiência em consumidores que apresentam uma restrição orçamentária maior, demonstrando como políticas de estímulo da demanda são mais importantes para clientes de classe média, enquanto na mobilidade elétrica as políticas de oferta apresentam uma maior eficácia no segmento de clientes de alta renda (MA et al., 2019)

Um das justificativas indicadas pelo governo alemão para validar a empreitada do país dentro do segmento de veículos elétricos é o estímulo à inovação por parte da indústria automotiva e de tecnologias ancilares convergentes com o segmento. O que se observa na Alemanha é um processo de subsidiação da inovação por parte do governo, reduzindo os custos de investimento por parte dos agentes privados, que não necessitam desenvolver produtos e padrões desde seu estágio inicial, incluindo os resultados dos projetos governamentais em sua cadeia produtiva.

²³ Fonte: Statista (2020). <https://www.statista.com/statistics/932998/number-of-electric-vehicle-charging-stations-germany/>

Apesar da dificuldade de quantificar a eficácia de políticas públicas, um estudo de (Ma et al., 2019) analisa quantitativamente as políticas públicas e resultados auferidos dos principais países que investem na mobilidade elétrica no mundo. Os países são ranqueados a partir dos resultados inferidos para os quatro parâmetros estipulados: desenvolvimento compreensivo, habilidade de inovação, promoção do mercado e infraestrutura.

A Alemanha figura em primeiro lugar no quesito inovação, segundo lugar no desenvolvimento tecnológico, ficando atrás apenas da China neste parâmetro. A infraestrutura ocupa apenas o terceiro lugar no *ranking*, enquanto a promoção do mercado é a mais precária entre os quatro países observados, ilustrando as deficiências já mapeadas por parte do governo alemão e que serão endereçadas após o fim da terceira fase estipulada pela NPE.

A Tabela 21 ilustra o *ranking* dos países de acordo com cada parâmetro segundo o estudo de (MA et al., 2019).

Tabela 1. *Ranking* e pontuação do desenvolvimento industrial de veículos elétricos nos países observados (Alemanha, Japão, China e EUA)

| Country | Comprehensive development | | Innovation ability | | Market promotion | | Infrastructure | |
|---------|---------------------------|---------|--------------------|---------|------------------|---------|----------------|---------|
| | score | ranking | score | ranking | score | ranking | score | ranking |
| China | 0.966 | 1 | 0.320 | 4 | 0.471 | 1 | 0.175 | 1 |
| Japan | 0.806 | 4 | 0.375 | 3 | 0.304 | 2 | 0.127 | 2 |
| USA | 0.907 | 3 | 0.573 | 2 | 0.255 | 3 | 0.079 | 4 |
| Germany | 1.032 | 2 | 0.668 | 1 | 0.239 | 4 | 0.124 | 3 |

Fonte: Ma et al. (2019).

O conjunto de políticas públicas na Alemanha voltado aos veículos elétricos é considerado uma adoção neutra de tecnologia, o que significa que o país não favorece nenhum tipo de específico de tecnologia, como a implementação de incentivos apenas para veículos completamente elétricos (BOSE STYCZYNSKI; HUGHES, 2019). Neste sentido, são promovidos incentivos para os veículos que são considerados elétricos pelo país (veículos híbridos não fazem parte do plano de eletrificação da Alemanha, apesar de consistirem em uma forma de veículos elétricos) em uma estratégia que visa dominar mais de um segmento neste mercado que cresce de forma exponencial.

Outro objetivo é realizar uma lenta transformação em um setor que possui um papel crucial na economia alemã. O setor automotivo alemão ainda possui uma grande parcela de seus veículos comercializados com um nível médio de emissões, o que indica que uma transformação radical voltada para os veículos elétricos poderia prejudicar sua atuação no início (MAZUR et al., 2015). Desta forma, opta-se por uma política neutra enquanto a tecnologia de veículos não possui demanda para que todo o setor automotivo realize esta transição.

A estratégia de modificar lentamente o setor automotivo pode ser uma explicação para a não adesão da Alemanha aos planos de *phase-out* de veículos de combustão interna na Europa. Países que fazem parte do bloco da União Europeia já estabelecem datas para a extinção da comercialização de veículos de combustão interna e até mesmo da circulação em centros urbanos. O ano de 2030 consiste como um denominador comum como horizonte temporal para que estas medidas entrem em vigor (WAPPELHORST, 2020), podendo variar de acordo com o desenvolvimento do mercado em cada país, embora a Alemanha não tenha promovido nenhum movimento para estipular qualquer data neste processo de *phase-out*.

Apesar da pluralidade de países dispendo de políticas públicas para desenvolver seus respectivos mercados de veículos elétricos, a análise deste conjunto de políticas demonstra que há uma certa similaridade, independente do país observado (BOSE; STYCZYNSKI; HUGHES, 2019). A justificativa para esta observação ainda não possui consenso, embora a existência de órgãos internacionais pode auxiliar para a convergência dos países em direção das melhores práticas.

No entanto, o que se observa é disposição de um conjunto de subsídios para oferta e demanda de veículos elétricos, introdução de um tratamento preferencial para esta tecnologia, esforços de padronização nacional ou adoção de padrões internacionais no mercado interno e a utilização de recursos públicos e privados para a execução de projetos de pesquisa e desenvolvimento voltados para a melhoria da tecnologia como um todo, contemplando toda a cadeia produtiva e buscando sempre uma colaboração entre agentes públicos e privados.

4. MODELOS DE NEGÓCIO PARA INFRAESTRUTURA DE RECARGA NA ALEMANHA

O investimento em infraestrutura de recarga se impõe como o último empecilho para tornar a difusão do segmento dos veículos elétricos uma possibilidade. A instalação de pontos de recarga privados fornece uma maior autonomia e conveniência aos consumidores, enquanto a implementação de pontos públicos estende a autonomia veicular e garante o acesso ao serviço de recarga para consumidores que enfrentam restrições de infraestrutura em seus domicílios.

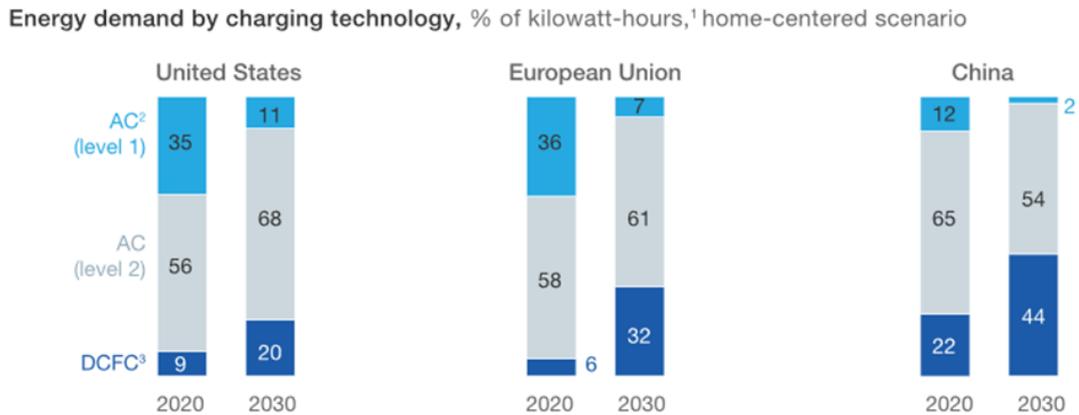
Apesar do auxílio que o Estado pode prover a este segmento, com o investimento em desenvolvimento e padronização tecnológica, além de linhas de crédito para instalação de postos de recarga, este segmento imputa nos agentes privados a necessidade de uma atuação mais intensa. A recarga veicular consiste em um serviço prestado de forma contínua, exigindo uma familiaridade com outros segmentos, dificilmente observada em instituições públicas, como *utilities*, fabricantes originais de equipamento (*Original Equipment Manufacturers*) – OEM e montadoras de automóveis.

Atualmente, os pontos de recarga privados possuem uma maior aderência por parte do consumidor, que os utiliza com maior frequência devido aos trajetos de distância limitada percorridos pelos veículos elétricos, impulsionados pelos módicos custos de instalação e operação, que utiliza apenas a eletricidade residencial como insumo. O desenvolvimento da infraestrutura de recarga indica que a modalidade residencial ainda será a preferencial no futuro, mas com uma tendência de maior demanda por estações públicas de recarga rápida.

O mercado de veículos elétricos observa uma expansão quantitativa, com o aumento anual de veículos comercializados, incluindo um processo de eletrificação de outros modais de transporte, como ônibus e caminhões, que modificam de forma qualitativa a frota do segmento de transportes. Este novo cenário confere uma maior demanda pelos serviços de recarga pública, acarretando uma necessidade de investimento neste segmento, evitando gargalos de abastecimento que o descolamento entre demanda e oferta podem causar.

A Figura 21 ilustra a evolução da demanda por eletricidade em cada modalidade de recarga, AC (nível 1 e nível 2) e DCFC, adotando um cenário onde o crescimento da infraestrutura de recarga ainda é centrado na opção domiciliar. Apesar desta premissa, o que se observa nos três principais mercados do mundo é uma maior demanda por estações de recarga rápida para os próximos 10 anos.

Figura 21. Projeção da demanda de eletricidade por tecnologia de carregamento em um cenário centrado em domicílios (2020-2030)



O gráfico representa a proporção da demanda de eletricidade em três mercados: Estados Unidos, União Europeia e China. A parcela em azul claro do gráfico indica a quantidade de eletricidade demandada pela tecnologia de recarga em corrente alternada nível 1, enquanto as parcelas cinza e azul escuro indicam a demanda pelas tecnologias de recarga em corrente alternada nível 2 e estações de recarga rápida em corrente contínua (DCFC) respectivamente.

Fonte: Engel et al. (2018).

A projeção para uma maior significância das estações de recarga, públicas ou privadas, implica em uma modificação das normas e condutas estipuladas pelo órgão regulador responsável por normatizar as atividades de distribuição de eletricidade do país. Isto pois a infraestrutura de recarga de veículos consiste em um serviço a ser prestado, com caráter disruptivo e que deve ser acompanhado pela regulação para evitar distorções na cadeia produtiva e permitir que as inovações não sejam inibidas por parte do marco regulatório.

A regulação também dita os agentes que podem participar desta atividade e imputa exigências para sua atuação e responsabilidades operacionais. Desta forma, é importante entender o marco regulatório alemão para visualizar a estrutura do mercado, o escopo de atuação de seus agentes além das oportunidades para desenvolvimento e ameaças para difusão desta prestação de serviço.

4.1 REGULAÇÃO DE INFRAESTRUTURA DE RECARGA NA ALEMANHA

A primeira medida de cunho regulatório adotada pela Alemanha foi a implementação das diretrizes da União Europeia sobre as condições de instalação de infraestrutura relacionadas aos combustíveis alternativos, que acarretaria na definição dos conceitos de veículos elétricos e estações de recarga. A adoção da diretiva 2014/94/EU demonstra o comprometimento da

Alemanha com a padronização continental, mas ao mesmo tempo o país enxergava que esta diretriz era demasiadamente restritiva para o contexto alemão e se viu na necessidade de endereçar aspectos que a diretriz europeia não contemplava.

Neste sentido a *Bundesnetzagentur*, órgão responsável pela regulação nas atividades de óleo, gás, eletricidade, correios e transportes ferroviários, lançou em 2017 a *Ladesäulenverordnung- LSV*, também conhecida como *Charging Station Ordinance*. Esta regulação dita as condições de operação, autenticação, uso e pagamento de estações públicas, buscando a interoperabilidade entre as modalidades de recarga em AC e DC.

A LSV estabelece os critérios mínimos para uma infraestrutura de recarga dentro da Alemanha, e define os parâmetros para enquadramento de cada tipo de recarga. Qualquer fonte de corrente alternada com potência superior a 3,7 kW é considerada nível 2, enquanto fontes de recarga por corrente contínua com potência acima de 22 kW são denominadas estações de recarga contínua rápida – DCFC. Durante a instalação de uma estação DCFC, torna-se compulsório pela LSV a possibilidade de recarga por corrente AC, além da existência de um conector de recarga Combo 2 CCS, garantindo a interoperabilidade entre conectores e cargas distintas (BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE, 2016).

Além dos requisitos mínimos, a LSV estabelece um processo de instalação de estações de recarga que deve ser respeitado, sob o risco de proibição de prestação do serviço caso as regras não sejam respeitadas. O operador de uma estação de recarga deve notificar a agência reguladora sobre o processo de instalação do posto com, no mínimo, um mês de antecedência e realizar uma notificação posterior a partir do momento em que o posto inicia sua operação. Não obstante o operador ainda precisa provar que o posto apresenta os pré-requisitos técnicos estabelecidos por parte da LSV, mas apenas os postos instalados após 2017 estão sujeitos a este tipo de sanção, visto que a lei não possui retroatividade.

O sistema de pagamento também foi alterado com a regulação alemã, que busca estabelecer um serviço espontâneo, sem o contato com o provedor de serviços, em um modelo denominado *ad-hoc payments*. Neste modelo, existe a possibilidade de pagamento do serviço por meio de cartões de crédito ou dinheiro, sem a necessidade de instalação de aplicativos ou soluções eletrônicas por parte do cliente. Caso o posto opte por também fornecer sua própria plataforma digital, ela precisa que esta apresente menus de navegação em alemão e inglês.

Todas estas medidas são aplicáveis para estações de recarga públicas e semipúblicas, com potência acima de 3,7 kW. Caso a potência do ponto de recarga seja abaixo deste nível, ele está fora do escopo regulatório do LSV. Isto exige uma regulação de pontos de recarga com esta potência inferior, que são utilizados com mais frequência em domicílios.

Desta necessidade, foi implementada a *Niederspannungsanschlussverordnung* -NSV, também conhecida como *Low Voltage Grid Connection Ordinance*. Esta regulação delega o poder de autorização de instalação de um ponto de recarga para a distribuidora, que avalia o pedido de instalação realizado por parte do cliente e pode vetar o projeto caso ele tenha efeitos negativos sobre a rede de distribuição (BUNDESMINISTERIUMS DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ SOWIE DES BUNDESAMTS FÜR JUSTIZ, 2015). Esta assimetria de poder é questionada pelos consumidores no país, de forma que o governo alemão ficou responsável de realizar uma revisão na NSV, embora as regras estabelecidas ainda estejam em vigor até o momento.

Para garantir que todos os agentes possuam condições de medir os requisitos técnicos estabelecidos pelo marco regulatório, o governo também lançou um conjunto de leis que auxiliam o processo de calibração de estações de recarga conhecido como *Eichrecht*. As leis endereçam instrumentos de medição e calibragem, além de mecanismos que estabelecem uma maior transparência na indicação do preço final para o consumidor. Um exemplo é a utilização de medidores calibrados em estações de recarga que fazem a cobrança sobre a quantidade de eletricidade consumida (em kWh) para evitar que o uso de equipamentos defasados acarrete uma distorção no preço final. O objetivo do *Eichrecht* é prover uma maior segurança para todos os agentes e garantir que o serviço prestado tenha a maior qualidade possível, sempre fornecendo transparência e segurança para o consumidor (VENSELAAR; IDEMA, 2019).

É importante entender como a regulação impacta a estrutura de mercado de recarga de veículos elétricos. O EnWG, ato de regulação do uso de eletricidade para fins industriais, entende as distribuidoras como fornecedoras de eletricidade, enquanto os operadores dos postos de recarga possuem as mesmas obrigações para com a regulação de um consumidor final. Isto significa que há a necessidade de arcar com as tarifas de distribuição, mas a regulação é mais branda no ponto de vista operacional para um posto de recarga em comparação a uma distribuidora.

Esta definição pode apresentar uma denotação tautológica inicialmente, mas é essencial para entender como a regulação dita a estrutura de mercado na Alemanha. Ao estabelecer um ônus mínimo para as estações de recarga, o objetivo do país é garantir que este mercado seja muito fragmentado, evitando concentração na mão de grandes agentes, característica intrínseca do segmento de distribuição de eletricidade. Neste sentido, para que monopólios de estações de recarga não sejam criados, as distribuidoras não podem operar ou sequer gerenciar estações no país.

Tal determinação possui uma dicotomia que pode impactar no próprio desempenho do mercado, visto que as distribuidoras não apenas possuem o capital necessário para aportar em estações de recarga, mas uma maior familiaridade com grande parte da cadeia produtiva em luz de sua experiência no seu *core business*. No entanto, elas também possuem uma maior predisposição a realização de práticas monopolistas e isto pode exercer um impacto negativo sobre os preços do serviço de recarga, consequentemente afastando o consumidor em um mercado permeado por incertezas oriundas de outras características.

Neste sentido, a regulação estabelece o escopo de atuação dos principais agentes envolvidos no segmento de recarga veicular, diretamente impactando na estrutura do mercado. Com a restrição de atuação como operador, as distribuidoras são delegadas a um papel secundário, unicamente de fornecer a eletricidade consumida pelos postos, enquanto outros agentes podem optar por investir tanto na operação e gerenciamento de uma estação ou prover serviços ancilares necessários para viabilizar o serviço.

4.2 ESTRUTURA DO MERCADO DE RECARGA NA ALEMANHA

O mercado de recarga na Alemanha possui três agentes, com funções distintas e escopo de operação limitado por parte do marco regulatório (ENERGY BRAINPOOL, 2018). Em primeiro lugar, destaca-se a figura do *Charging POINT Operator* – CPO, o operador do ponto de recarga, agente que possui os direitos de propriedade sobre o negócio, ou realiza a operação e o gerenciamento do negócio para terceiros.

Para viabilizar o seu negócio, o CPO necessita contratar serviços ancilares específicos à mobilidade elétrica, prestados por terceiros. Os agentes prestadores destes serviços de mobilidade elétrica são conhecidos como *Electric Mobility Providers* – EMP, e são responsáveis pelo fornecimento de ferramentas para identificação do usuário, comunicação entre o posto e o veículo, autenticação e pagamento, entre outras eventuais necessidades de um posto. A atuação do EMP no mercado é pouco regulada, de forma que um operador pode ser seu próprio fornecedor de serviços de mobilidade, ou pode contratar uma ou mais companhias para realizar esta atividade.

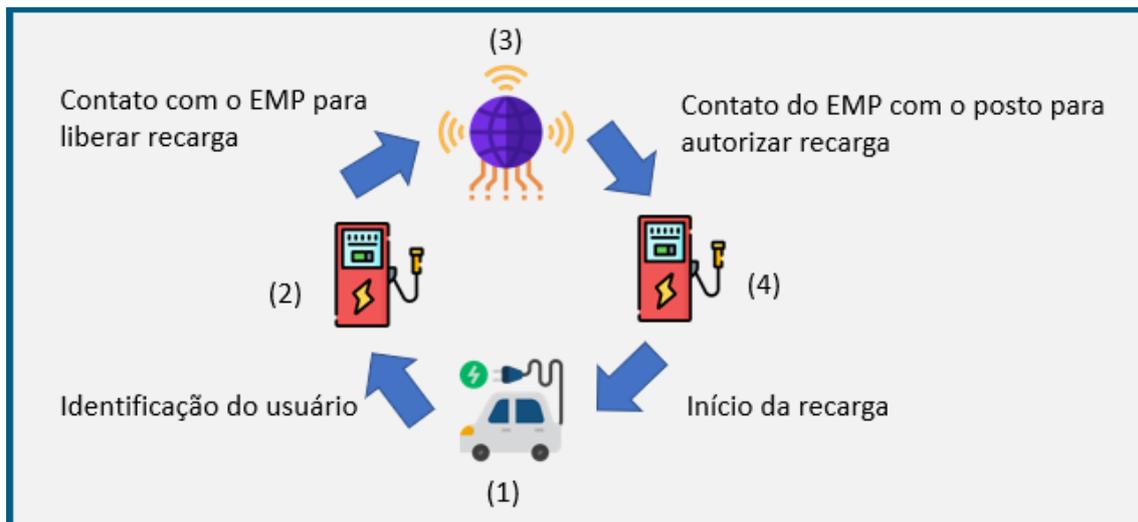
Como a regulação alemã estipula que o operador consiste em apenas um consumidor final de eletricidade, esta deve ser fornecida por uma distribuidora. Conhecida no país como *Distribution Network Operator* – DNO, a empresa atua como uma operadora na rede de distribuição e fornece eletricidade para os consumidores em sua área de atuação. No entanto, existem duas restrições para a entrada de um DNO no mercado de recarga de veículos elétricos,

visto que ela não pode atuar como uma operadora de um ponto de recarga e apenas uma distribuidora pode fornecer eletricidade para um CPO, ao contrário da relação de um CPO com EMP.

Desta forma, um operador contrata serviços de eletromobilidade de uma ou mais empresas e possui um acordo de fornecimento com apenas uma distribuidora. A prestação do serviço de recarga para o consumidor funciona sob uma estrutura similar ao segmento de cartões de crédito. Inicialmente o veículo entra em contato com o posto através da ferramenta de comunicação escolhida (aplicativo, identificação por radiofrequência), para efetivar o processo de identificação. Após a autorização por parte do EMP, o consumidor pode realizar a recarga, efetuando o pagamento de acordo com as opções disponibilizadas por parte do CPO.

A Figura 22 ilustra as etapas do processo de recarga envolvendo os usuários de veículos elétricos, o operador do posto de recarga e os provedores de serviços de eletromobilidade.

Figura 22. Processo de recarga de um veículo elétrico em um ponto de recarga público



A figura ilustra o processo de recarga em uma estação pública, iniciando através do contato de um veículo elétrico, representado pelo número 1, com o posto de recarga. Os números 2 e 4 correspondem a atividades relacionadas ao CPO, enquanto o número 3 representa a atuação do EMP no processo.

Fonte: Elaboração própria.

Ao agregar os custos oriundos dos contratos estabelecidos pelo CPO com os EMP e a *utility* que fornecerá a eletricidade necessária para a recarga, se estabelece uma parcela dos custos de um posto DCFC conhecida como custos variáveis. Estes custos variam de acordo com a quantidade do serviço demandada e podem representar até 30% do valor total do empreendimento. Em adição aos custos variáveis, existem custos fixos relativos à aquisição de

equipamentos, mão-de-obra para instalação, eventuais modificações na rede que tornam o modelo DCFC mais custoso em relação a suas alternativas, gerando problemas de rentabilidade em cenários de baixa demanda (NELDER; ROGERS, 2019).

4.2.1 Custos de instalação de um ponto de recarga

Os custos de um ponto de recarga, público ou privado, são segmentados em dois tipos: fixos e variáveis. Os custos fixos correspondem a parcela que não depende da demanda pelo serviço, enquanto os custos variáveis são diretamente proporcionais ao número de recargas feitas e a quantidade de energia demandada.

São exemplos de custos fixos os equipamentos e mão-de-obra necessários para a instalação, a aquisição do terreno, eventuais ajustes na rede para adaptação ao fluxo de eletricidade e taxas pagas aos entes públicos. A eletricidade consumida pelo posto e os serviços auxiliares constituem a parcela de custos variáveis de um ponto de recarga.

O preço de aquisição de um carregador varia de acordo com sua potência, de forma que os modelos residenciais, voltados para a recarga em corrente alternada com potência inferior a 3,7 kW possuem um preço de mercado que varia entre €330 e €689. Os modelos de recarga rápida, observados em três níveis de potência (50 kW, 150 kW e 350 kW) podem custar até €153.000, um valor que é centena de vezes maior que a opção residencial (NELDER; ROGERS, 2019).

A instalação pode ter custos extras conforme se verifique a necessidade de modificar a rede ou o local no qual o ponto de recarga será instalado. Isso acontece tanto para a modalidade residencial, caso o local de instalação seja distante do medidor de consumo de eletricidade, quanto no modelo público de recarga rápida caso a rede não esteja preparada para o fluxo de eletricidade característico deste modelo.

Nota-se que uma estação de recarga de 350 kW operando sob capacidade ociosa possui um consumo de eletricidade anual correspondente a 35 famílias (LEVY et al., 2020). Caso a rede da localidade não tenha suporte para este fluxo é necessário a modificação na infraestrutura e uma eventual aquisição de um transformador para adequar a rede à potência elevada dos postos de recarga rápida.

Outros custos fixos possuem uma natureza mais discricionária, como os valores necessários para a aquisição do local de instalação do ponto de recarga e dos impostos cobrados por entes federais, estaduais ou municipais necessários para a autorização do serviço. Existem cenários onde operadores já são donos do terreno onde o empreendimento será implementado,

cenários onde os operadores pagam aluguel para o dono do local e um cenário onde o terreno deve ser adquirido para a instalação do ponto de recarga. A precificação se torna difícil pois o valor do terreno varia de acordo com o tamanho e a localidade, com uma medição difícil, mas de importância sumária para a sustentabilidade financeira do projeto.

A Figura 23 ilustra os preços de pontos de recarga na Alemanha, do menor valor registrado até o maior valor registrado para cada tecnologia.

Figura 23. Custos fixos para pontos de recarga na Alemanha

| Custo | Menor custo registrado | Maior custo registrado |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Level 2 residencial | €330 | €689 |
| Level 2 comercial | €2215 | €3900 |
| DFC (50 kW) | €17725 | €31200 |
| DFC (150 kW) | €38000 | €88000 |
| DFC (350 kW) | €59000 | €153000 |
| Transformador | €(31.000 – 58.000) | €(47.000 – 153.000) |
| Outros serviços | €530 | €1329 |

Os custos indicados são referentes ao menor valor registrado dentro do mercado alemão para a tecnologia acompanhados com o maior valor verificado no mercado, já incluídos os custos extras mencionados, retirados as variáveis de cunho discricionário, como o terreno do empreendimento. A variação do preço dos transformadores se dá de acordo com a potência aparente do equipamento, em quilovoltampères, variando entre 150 kVa e 1000 kVa.

Fonte: Nelder; Rodgers (2019).

Considerando um ponto de recarga de 50 kW como referência, o custo médio de aquisição do equipamento e instalação para pronta operação é de aproximadamente €25.000. Este custo pode variar caso o dono da estação tenha interesse em disponibilizar mais pontos, ou colocar equipamentos com maior potenciação, para reduzir o tempo de recarga. Os aprimoramentos podem ser acompanhados de custos extras que escalonam de forma expressiva, considerando o panorama do mercado de recarga rápida.

Da mesma forma que o mercado de recarga não possui o ônus de operação similar a distribuidoras de energia, ele também não possui o bônus característico de monopólios naturais. Seus equipamentos possuem um ciclo de vida de 5 a 8 anos, considerando a obsolescência do aparelho ou sua própria exaustão, reduzindo a janela temporal para recuperação do investimento realizado, enquanto monopólios naturais possuem ativos com décadas para amortização do capital aportado. No mesmo sentido, enquanto distribuidoras possuem uma remuneração fixa

sobre sua base de ativos, as estações de recarga apresentam na prestação do serviço como único método de geração de receita.

Neste panorama, onde torna-se necessário a instalação de pontos de recarga rápidos para promover a difusão de veículos elétricos dentro do país, o que se observa são altos custos para promover esta tecnologia com uma baixa demanda atual, que compromete a recuperação do investimento em luz da relativa curta vida útil dos pontos de recarga. A partir deste dilema, os modelos de negócio aplicados serão um reflexo desta necessidade de expansão do mercado aliada a tentativa de manter o equilíbrio financeiro do empreendedor.

4.2.2 Modelos de negócio para infraestrutura de recarga

Os modelos de negócio predominantes, na Alemanha e por difusão na Europa, focam na prestação do serviço de recarga como *core business* para atrair os consumidores ao local e gerar a receita que será utilizada em parte para abater os altos investimentos realizados na instalação do posto. No entanto, existem modelos de negócio que colocam os ganhos pecuniários em um segundo plano e focam na geração de externalidades positivas para fortalecer a difusão de veículos elétricos no país.

Na Europa, o modelo de estações de recarga pública mais utilizado atualmente é conhecido como o modelo de livre acesso. Neste modelo, o serviço de recarga é disponibilizado para o público sem a necessidade de pagamento pelo serviço prestado por parte do consumidor (CCV, 2019).

Ao implementar um modelo que é público e gratuito, as variáveis preço e acessibilidade que direcionavam o consumidor para a recarga residencial são retiradas, de forma que a recarga pública possui uma maior atratividade neste cenário. Este modelo de negócios é pautado na instalação de pontos de recarga em locais com alto fluxo de veículos, como aeroportos e estacionamentos públicos, utilizando equipamentos de potência menor para reduzir os custos de instalação, como pontos de recarga de potência inferior a 22 kW.

Há uma forte convergência deste modelo com as políticas públicas de tratamento especial de veículos elétricos, que implementam locais de recarga em metrópoles financiados parcialmente pelo governo. Isto não significa necessariamente que as estações de livre acesso são controladas pelo governo ou completamente financiadas por recursos públicos, mas que a sua razão de existência possui uma sinergia importante com este segmento de políticas públicas governamentais.

Enquanto o equilíbrio financeiro da estação de recarga é colocado em um segundo plano no modelo de livre acesso, existem possibilidades para geração de receita além do serviço de recarga. Em luz de suas localidades estratégicas e com alta atratividade por parte do usuário, os postos podem firmar contratos com agências de publicidade para utilização do espaço e podem comercializar os dados dos usuários para empresas que possuem o interesse de conhecer o perfil deste consumidor.

A existência destas receitas possui uma finalidade de mitigar os investimentos realizados ao invés de reavê-los. O foco principal do modelo de livre acesso é entender as estações de recarga como um modelo de negócios que possui um custo afundado necessário para promover a difusão de veículos elétricos.

O modelo de livre acesso é mais adequado para montadoras e governos, que possuem o interesse na expansão do mercado de veículos elétricos e o capital necessário para realizar este investimento visando o longo prazo. No entanto, outros agentes necessitam de um modelo de negócios que tenha uma maior rentabilidade no curto prazo, efetuando pela cobrança da recarga para gerar receita.

O modelo *ad hoc payments* tem como característica a cobrança pela prestação do serviço de recarga, podendo variar seu método de precificação, com uma flexibilização dos métodos de pagamento e da relação entre o consumidor e o CPO. Atualmente, sua aplicação é compulsória na Alemanha após a introdução da *Charging Station Ordinance*, lei que adapta as diretrizes do Parlamento Europeu sobre as regras de infraestrutura de combustíveis alternativos para o contexto alemão.

Neste caso, o pagamento pela recarga varia apenas no método de precificação, cujo o valor pode incidir pela quantidade de energia consumida, o tempo de recarga ou apenas um valor fixo que independe destas duas variáveis. A aplicação de cada método irá variar de acordo com a estratégia do operador e principalmente das características da estação de recarga (ENERGY BRAINPOOL, 2018).

A cobrança por kWh consumido, por exemplo, é uma metodologia que segue a lógica tradicional no mercado, mas pode apresentar problemas iniciais. Em condições adversas, como baixa temperatura ou equipamentos mal calibrados, a mensuração da quantidade de kWh consumidos pode acontecer de forma errática, causando prejuízos para o consumidor ou até mesmo para o operador. Para remover esta imprecisão do processo, o governo alemão estipulou uma série de leis de calibração, a *Eichrecth*, mas a cobrança por kWh ainda pode ser imprecisa, por fatores de cunho operacional.

Um ponto de recarga convencional possui quatro conectores, mas com possibilidade de suportar até dois veículos carregando simultaneamente com a potência dividida. Isto significa que, hipoteticamente, dois veículos estejam carregando em uma estação de 50 kW, cada veículo receberá a metade desta potência, aumentando o tempo necessário para a recarga. Desta forma, a cobrança por kWh pode estimular o consumidor a ficar mais tempo que o necessário dentro da estação de recarga, deixando o equipamento inutilizável para um eventual novo consumidor por horas.

Para evitar este cenário, existe um método de precificação que se baseia no tempo de recarga feito pelo consumidor, com uma cobrança feita por minuto de recarga. O objetivo deste método é garantir que o consumidor realize sua recarga, mas que ela seja feita da forma mais rápida possível, reduzindo a superlotação da estação de recarga e a perda de clientes que isto acarreta.

Há também a cobrança de um valor fixo sobre a recarga, independente do tempo percorrido ou da quantidade de eletricidade consumida. Mas este modelo possui uma grande desvantagem, visto que este método pode incentivar recargas completas caso o valor seja baixo, ou afastar completamente o consumidor em situações em que ele deseja utilizar a estação apenas como uma solução de última milha, realizando uma pequena recarga.

Esta metodologia de cobrança de um valor fixo é inspiração para o modelo de negócios de fidelização, onde o consumidor adquire um plano de um operador de recarga que possui um portfólio de estações espalhadas em uma determinada região e efetua recargas conforme se vê necessário. Este modelo é conhecido como modelo de fidelização, por estipular uma aderência à marca por parte do consumidor, em troca de um pagamento mensal de natureza similar aos serviços de subscrição oferecidos em diversos mercados hoje em dia.

O modelo de fidelização depende do estabelecimento de uma rede de estações de recarga que garanta a cobertura necessária para que o consumidor enxergue no pagamento mensal uma boa relação custo-benefício. Apesar das vantagens que este modelo apresenta no longo prazo, é necessário um investimento em estações de recarga em locais diferentes e conhecimento operacional do processo em larga escala, que poucos agentes possuem no mercado (ENERGY BRAINPOOL, 2018).

Independente do modelo de negócio estipulado, o que se observa atualmente no mercado de recarga de veículos elétricos é uma grande dificuldade de criar uma rentabilidade a curto prazo. Isto pois os custos de instalação são altos, os custos de operação de uma estação de recarga não são negligenciáveis e a demanda por um serviço de recarga rápida, considerado um serviço *premium*, é atualmente baixa.

Em uma simulação feita utilizando o modelo *ad-hoc payments*, observa-se que os postos de recarga com maior valor presente líquido – VPL e com taxas de retorno do investimento positivas são aqueles que possuem, no mínimo, preços acima da média do mercado e uma taxa de utilização de 100%. Esta taxa de utilização é calculada sobre a vida útil do equipamento e inserida no modelo na forma de ocupação diária, em horas. Para alcançar este valor, é necessário que o equipamento esteja operando por 4,8 horas diariamente (CLEANTECHNICA, 2017).

A Figura 24 ilustra a simulação da taxa de retorno do investimento de estações de recarga públicas (corrente contínua e alternada), considerando os custos de instalação, o hiato entre o preço de eletricidade adquirido e comercializado além dos cenários de utilização.

Figura 24. Cenários de rentabilidade de estações de recarga pública na Alemanha

| | Scenario | | | | Profitability | | |
|-------------------------------|--------------------|------------------------------|----------------------|----------------------|---|-------------------------|-------------------------------|
| | Initial investment | Customer facing price in kWh | Costs of electricity | Utilization scenario | Daily utilisation in hours (lifetime average) | NPV (Net Present Value) | IRR (Internal Rate of Return) |
| Fast charger (DC) | | | | | | | |
| low prices and utilisation | €25 000 | €0,26 | €0,18 | 50% | 2,4 | -€7 927 | 2% |
| medium prices and utilisation | €25 000 | €0,34 | €0,18 | 100% | 4,8 | €19 321 | 25% |
| high prices and utilisation | €25 000 | €0,43 | €0,18 | 150% | 7,2 | €47 551 | 44% |
| Standard charger (AC) | | | | | | | |
| low prices and utilisation | €2 500 | €0,20 | €0,18 | 50% | 3,8 | -€1 962 | -14% |
| medium prices and utilisation | €2 500 | €0,25 | €0,18 | 100% | 7,6 | €4 918 | 39% |
| high prices and utilisation | €2 500 | €0,30 | €0,18 | 150% | 11,5 | €17 532 | 87% |

Fonte: CleanTechnica (2017).

Neste caso, apenas os postos que possuem uma taxa de utilização acima da média, conseguem reaver os custos de investimento e apresentar um valor presente líquido positivo. No entanto, o que se observa na Alemanha é uma taxa de utilização de postos de recarga rápida de apenas 20%, valor que consiste menos da metade do estipulado em um cenário de baixa utilização. Como a utilização de uma estação de recarga varia com a atratividade do local, observa-se uma heterogeneidade entre as taxas de utilização de estações de recarga dentro do país, porém a média da utilização indica que este modelo não possui demanda suficiente para se tornar rentável no curto prazo.

A partir desta observação, levanta-se a hipótese de que os modelos de negócio utilizados atualmente no mercado de recarga não são rentáveis pois eles buscam replicar para um segmento

inovador o mesmo modelo utilizado em seu predecessor, focado na comercialização do combustível. Neste sentido, é necessário buscar modelos de negócio alternativos que viabilizem financeiramente a implementação das estações de recarga rápida e conseqüentemente a difusão de veículos elétricos, em luz do impacto sobre o número de unidades comercializadas com a expansão da infraestrutura de recarga pública.

4.3 MODELOS DE NEGÓCIO ALTERNATIVOS PARA INFRAESTRUTURA DE RECARGA

A identificação de modelos de negócios alternativos exige uma compreensão de todas as etapas da cadeia produtiva no mercado de infraestrutura de recarga. Esta cadeia de valor pode ser alterada conforme há uma modificação na tecnologia utilizada, na introdução de novas políticas e conforme a preferência do consumidor se altera ao longo do tempo. Atualmente a cadeia produtiva do segmento de infraestrutura de recarga pode ser dividida em quatro partes : manufatura, infraestrutura de recarga, serviços adicionais e fornecimento de energia (CAPGEMINI, 2019).

Após identificar as oportunidades que a compreensão da cadeia de valor viabiliza, é importante para o empreendedor do mercado de postos de recarga também visualizar qual postura de atuação é mais compatível com sua estratégia no modelo de negócios. Neste sentido, existem quatro posturas distintas que definem o escopo de atuação da empresa ao longo da cadeia produtiva: portfólio, especialista, otimizador de rede e fornecedor de energia (PRICEWATERHOUSECOOPERS, 2018).

Um agente com postura portfólio atua em múltiplas etapas da cadeia de valor, extraindo receita de diversos segmentos de recarga, em um processo denominado *revenue stacking*, ou acúmulo de receitas. Em um cenário de baixa demanda, acumular receitas é essencial para a viabilidade financeira do negócio, visto que as expectativas de crescimento deste mercado acarretam uma maior competitividade, que pode asfixiar a margem de lucros de uma empresa atuante no mercado. Neste caso, o acúmulo de receitas é importante para mitigar os custos de investimento e o alto risco presente no mercado atualmente.

A postura especialista possui como estratégia focar em um único segmento, utilizando o conhecimento tácito do empreendedor como poder de barganha para com seus *stakeholders* para gerar mais receitas. Não obstante, o foco do investimento em apenas um segmento pode auferir ganhos que podem reduzir o risco do investimento. Conforme o número de postos gerenciados por um único agente aumenta, torna-se possível fornecer outros serviços e fidelizar o cliente,

aumentando suas receitas, enquanto os ganhos de economia de escala reduzem os custos do empreendedor.

Um agente otimizador de rede busca alternativas de receitas dentro do processo de recarga de veículos elétricos. Atividades como o gerenciamento da rede de distribuição, alterações no perfil de carga para otimizar o uso de eletricidade e o intercâmbio energético entre postos controlados pelo mesmo operador são serviços fornecidos por este empreendedor que constituem em fontes alternativas de geração de renda no processo de recarga de veículos elétricos.

A postura de fornecedor de energia é destinada para os agentes que enxergam no futuro da mobilidade elétrica uma oportunidade de expandir seus ganhos, mas sem abandonar o seu *core business*. Neste caso, esse tipo de postura corresponde a distribuidoras de eletricidade que não buscam investir na instalação e operação de postos de recarga, mas estão interessadas na demanda de eletricidade que este tipo de negócio exigirá no longo prazo.

Enquanto a modalidade de recarga rápida apresenta um alto custo de instalação e sua rentabilidade depende da atratividade do local e dos preços praticados por parte do operador, outras modalidades de recarga de veículos elétricos possuem uma forte possibilidade de exploração de fontes de renda alternativas. A recarga residencial, possui um baixo custo de instalação e a possibilidade de fornecer ao consumidor outros serviços, como a implementação de recursos energéticos distribuídos em seu domicílio (PRICEWATERHOUSECOOPERS, 2018).

A recarga de destino, que se baseia na implementação de pontos de recarga em locais de alta atratividade, próximos ao destino final do consumidor, como shoppings, restaurantes e redes varejistas, também facilita o processo do acúmulo de receitas. Caso o consumidor opte por este local para recarregar seu veículo, ele pode aproveitar de outros serviços do local enquanto a recarga não é realizada. Em uma situação oposta, ele pode aproveitar a oportunidade para carregar seu veículo durante o tempo transcorrido dentro do local.

Ambas as alternativas são convergentes com o processo do acúmulo de receitas, auferem ganhos de economia de escala e permitem a inserção de parceiros neste modelo de negócio. Os *stakeholders* que atuam como parceiros dos operadores de recarga auxiliam na redução dos custos de investimento e operação, permitindo também que o operador forneça serviços que estão distantes de sua experiência em seu *core business*.

O que se observa no mercado de recarga dos veículos elétricos é uma ausência de lideranças, em luz de sua relativa incipiência. Esta falta de liderança permite que empresas com missões completamente distintas optem por investir neste mercado, como *utilities* de energia, fabricantes automotivos e empresas do ramo de óleo e gás (CAPGEMINI, 2019). Estas inclusive

são as principais fontes de cenários de difusão de veículos elétricos, sempre buscando o ponto de inflexão desta tecnologia para entender como seu *core business* será afetado pela eletrificação da frota de transportes e também identificar se o mercado de recarga consiste em uma opção viável para investimento.

Esta posição estratégica reflete na criação, aquisição ou fusão de empresas subsidiárias voltadas para a prestação do serviço de recarga por empreendedores dos segmentos automotivos e de energia em geral. A criação de *joint ventures* é uma opção de compartilhar os custos de investimento e as experiências em um mercado incipiente.

Destaca-se a junção das principais empresas do ramo automotivo alemão (BMW, Daimler, Volkswagen) em parceria com a montadora americana Ford Motors na criação da IONITY, uma *joint venture* voltada para na implementação e gerenciamento de postos de recarga públicos, permitindo que os clientes destas montadoras possuam uma opção de recarga rápida.

A Figura 25 ilustra o ecossistema de fusões e aquisições de empresas relativas ao mercado de recarga de veículos elétricos por agentes do ramo automotivo e de energia em geral.

Figura 25. Ecossistema de fusões e aquisições no mercado de recarga de veículos elétricos



Fonte: Capgemini (2019).

Os modelos de negócio que florescem no mercado dependem da postura do empreendedor e da parte da cadeia produtiva na qual ele busca se inserir. Um estudo de (CAPGEMINI, 2019) identifica sete modelos de negócio promissores que percorrem toda a cadeia produtiva, possibilitando o investimento de agentes de áreas de atuação completamente distintos.

O primeiro modelo de negócios consiste na manufatura dos equipamentos utilizados para a recarga de veículos elétricos. Este modelo de negócios pode ser adaptado por uma empresa que não possua o conhecimento para este desenvolvimento tecnológico na forma de se tornar uma revendedora para outros clientes. Por exemplo, um operador pode firmar uma parceria com um fabricante de equipamento original – O&M, para se tornar o principal comercializador desta tecnologia no seu mercado.

Os modelos de negócio número dois e três correspondem à manutenção e operação de estações de recarga. O segundo modelo é responsável por realizar a cobrança do serviço, seja ela de forma direta ou indireta. O modelo direto, consiste no processo de instalação e cobrança frente ao consumidor pelo próprio operador da estação de recarga, enquanto a indireta delega o processo de autenticação e cobrança para um agente que não seja o operador do ponto de recarga. A união de agentes privados com instituições públicas para o estabelecimento de uma parceria público-privada – PPP, é outro modelo de negócio promissor, com destaque para os aportes financeiros feitos pelos governos para efetuar a difusão de estações de recarga no âmbito nacional.

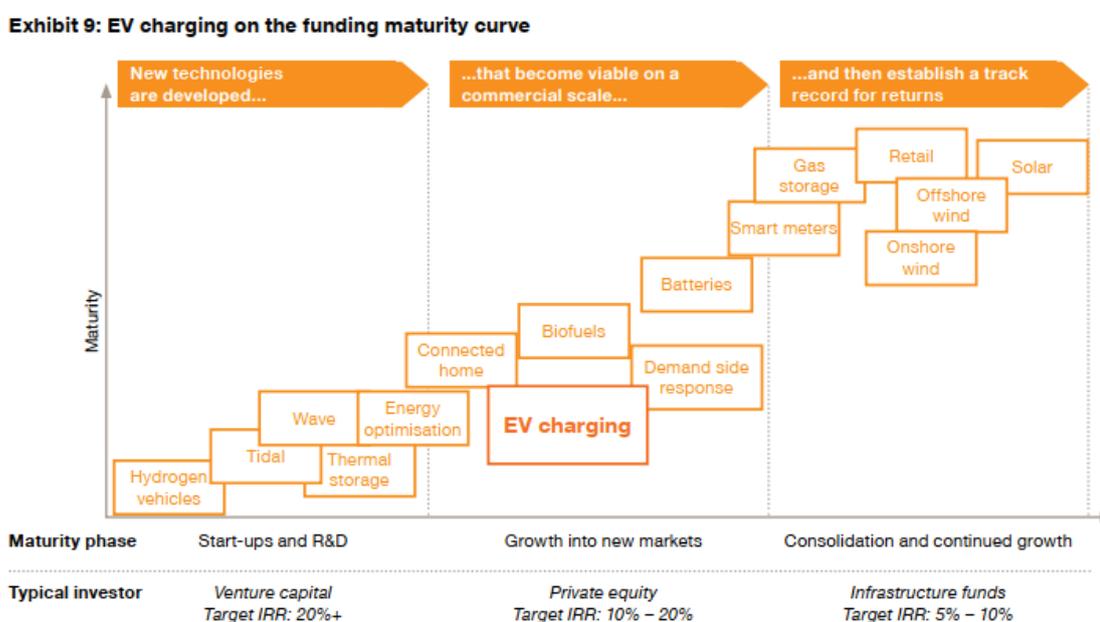
Os modelos de negócio número quatro e cinco estão relacionados com a tecnologia dos recursos energéticos distribuídos, o primeiro busca implementar soluções de recarga inteligente para o consumidor, incluindo as alternativas de fornecimento de eletricidade por parte do veículo para a rede, o *vehicle-to-grid – V2G*. O segundo modelo de negócios neste bloco é correspondente as soluções de energia de ponta a ponta, *end-to-end energy solutions*, que promovem uma conexão de sistemas de energia distintos com o objetivo de gerar uma economia de recursos através deste processo.

Finalmente, os dois modelos de negócio restantes, seis e sete, correspondem ao final da ponta da cadeia produtiva, com o fornecimento de serviços ancilares para a infraestrutura de recarga. Plataformas de interoperabilidade, que auxiliam o deslocamento do consumidor para postos com diferentes tecnologias de operação consistem em um nicho do mercado que é pouco explorado e possui forte expectativa de crescimento conforme a frota de veículos se expande. Estabelecer o serviço de recarga em sua totalidade, desde a instalação do posto de recarga, passando pelos serviços ancilares necessários e garantindo a operação e manutenção do empreendimento é também um modelo de negócio conhecido como *charging as a service*, onde a empresa domina todas as áreas da cadeia produtiva e disponibiliza a estação de recarga para o

consumidor efetuando uma cobrança sobre a instalação e pelos valores de manutenção e operação.

A análise do mercado de infraestrutura de recarga de veículos elétricos aponta para uma transição entre a fase inicial, onde o investimento é realizado por *startups* ou recursos de pesquisa e desenvolvimento, para uma etapa onde se observa um forte crescimento que torna a tecnologia viável em escala, sem alcançar ainda a fase final do mercado onde se observam retornos recordes característicos de tecnologias já consolidadas. A Figura 26 ilustra esta curva de maturidade do mercado de veículos elétricos.

Figura 26. Curva de maturidade do mercado de veículos elétricos em comparação à outras tecnologias emergentes



Fonte: PricewaterhouseCoopers – PWC (2018).

Na fase inicial de implantação de uma tecnologia, há uma grande incerteza do mercado sobre acerca de sua capacidade de se consolidar no mercado, o que modifica o perfil do investidor neste momento, com agentes mais propensos ao risco, e sua rentabilidade, que deve ser diretamente proporcional ao risco existente. Conforme o mercado demonstra sinais de maturidade, outros agentes se inserem no segmento, aumentando a competição e reduzindo os retornos do investimento.

As empresas que atuam no mercado de infraestrutura de recarga possuem a preferência de unir as atividades deste segmento com seu *core business*. No entanto a falta de domínio do mercado por uma ou mais empresa, resulta na oportunidade para atuação em áreas fora de sua

experiência principal. O modelo de negócios de uma empresa será resultado de sua estratégia de ação, pontual ou através de toda a cadeia produtiva, em combinação com oportunidades de acúmulo de receitas e identificação de potenciais *shareholders* que podem auxiliar a viabilidade financeira do empreendimento.

4.4 ESTUDO DE CASO: IONITY E FORTUM CHARGE & DRIVE

Esta seção busca ilustrar dois estudos de caso de empresas que competem no mercado de infraestrutura de recarga de veículos elétricos na Europa, a alemã IONITY e a norueguesa FORTUM CHARGE & DRIVE demonstrando os diferentes modelos de negócio adotados a partir de suas visões estratégicas acerca deste segmento.

4.4.1 IONITY

A IONITY é uma *joint venture* formada em 2017, pelas principais empresas que auxiliaram no desenvolvimento do conector de carga combinada – CCS no início da década de 2010: Volkswagen, Daimler, Porsche, Audi, BMW e Ford. Por ser constituída majoritariamente por empresas de nacionalidade alemã, a IONITY possui sede neste país com um escritório adicional em Oslo, na Noruega. Por se tratar de uma empresa fechada, a IONITY ainda não comercializa ações na bolsa de valores e também não distribui dividendos para seus acionistas, mantendo os valores de receita e investimento sob sigilo.

O objetivo da IONITY é construir uma rede de recarga rápida pelas estradas da Europa, estabelecendo uma infraestrutura intercontinental que auxiliaria a comercialização de veículos nos países. A empresa possuía uma meta de instalar até 400 postos de recarga rápida pela Europa até 2020, com potenciação que pode alcançar os 350 kW máximos, com o uso padrão dos conectores CCS e à uma média de 6 pontos de recarga por estação (IONITY, 2021).

O investimento e as atividades foram inicialmente financiados exclusivamente pelo *pool* de empresas que constitui esta *joint venture*, com o aporte de €200 milhões de euros por cada participante, resultando em uma quantia total de €1 bilhão. Em 2021, a montadora sul coreana Hyundai se tornou o mais novo *shareholder* da IONITY, ao adquirir uma parcela acionária por um valor não revelado. Desta forma, a empresa já passou por duas fases de financiamento, a primeira oriunda dos recursos da Hyundai, enquanto a segunda fase foi uma captação de recursos públicos para auxiliar a difusão desta tecnologia, onde €39,1 milhões foram fornecidos pelo fundo da União Europeia.

Noruega, Suécia) com objetivos de expansão para países com um menor grau de difusão de veículos elétricos, como Espanha, Itália e Portugal.

Esta internacionalização é verificada na precificação do serviço prestado pela empresa, denominado como *sessions*, onde o pagamento consiste em uma taxa fixa de €8 euros em países da União Europeia, £8 nas estações do Reino Unido, 8 Francos Suíços na Suíça e 80 coroas dinamarquesas, suecas, e norueguesas nos respectivos países²⁴. O modelo se caracteriza pela cobrança sobre a sessão da recarga, não considerando a quantidade de eletricidade consumida ou o tempo percorrido.

Outro exemplo da preocupação da empresa com a inserção em países distintos é a possibilidade de utilização do próprio fornecedor EMP pelo usuário durante a recarga. Isto significa que a IONITY possui uma flexibilidade quanto ao uso de métodos de pagamento e certificação por parte do consumidor, fornecendo o seu próprio aplicativo ou opções de pagamento no local em cenários onde o usuário não possui relações com provedores de soluções de eletromobilidade.

O método *sessions*, praticado desde o início das atividades teve seu fim anunciado em janeiro de 2021 pelo CEO da IONITY, Michael Hajesch. O pagamento fixo foi substituído pela cobrança por kWh consumido, de €0,79 por unidade de eletricidade. Isto significa em um reajuste de preços que pode ultrapassar 500% do valor inicial. Supondo um veículo com 80 kWh de armazenamento e bateria com 10% de capacidade restante, o consumidor realizava a recarga de 72 kWh por apenas €8 euros, enquanto sob o novo modelo a mesma recarga custa €56,88, representando um aumento de 720%.

A mudança na precificação foi justificada pela empresa como uma forma de não apenas introduzir uma maior transparência na precificação no mercado, mas também para garantir a viabilidade financeira do empreendimento²⁵. No entanto, esta mudança foi recebida com muitas críticas por parte dos consumidores cativos da empresa, que inclusive apontam no aumento da disparidade de preços entre veículos elétricos e de combustão interna, caso os custos de abastecimento sejam considerados.

Para valores de referência, as estações de recarga rápidas fornecidas pela montadora americana Tesla na Europa realizam uma cobrança de €0,36 por kWh na Alemanha²⁶, enquanto o valor da eletricidade residencial neste país é de aproximadamente €0,30 centavos (STATISTA,

²⁴ Valores cobrados pela empresa até 31 de janeiro de 2020. Fonte: InsideEVs (2020).

²⁵ Discurso do diretor executivo da IONITY em 31 de janeiro de 2020. Fonte: InsideEVs (2020).

²⁶ Fonte: Netherlands News Live (2021). Disponível em <https://netherlandsnewslive.com/tesla-increases-charging-costs-of-tesla-superchargers-by-15-to-20/81417/>

2020). O aumento de preços por parte da IONITY gerou uma forte insatisfação de seus clientes e uma pressão para modificações sobre o método de precificação, por parte *stakeholders* da *joint venture*.

Após o anúncio da mudança na precificação dos serviços da IONITY, as montadoras que fazem parte da *joint venture*, lançaram seus programas de subscrição que reduzem o preço da recarga por kWh de forma considerável. A Audi lançou o serviço Audi e-tron, onde o custo da recarga é reduzido para €0,31 por kWh consumido, necessitando apenas de um pagamento mensal de €17,95 para usufruir deste desconto. Outros programas como o BMW *charge now*, Volkswagen *we charge*, Mercedes *me charge*, possuem a mesma estratégia de oferecer planos de subscrição, mensal ou anual, que possibilitam a recarga a preços similares aos praticados pela concorrência.

O caso IONITY ilustra a dificuldade de uma empresa em realizar os investimentos necessários para garantir uma infraestrutura de recarga rápida adequada e manter um equilíbrio financeiro entre receitas e despesas. Inicialmente a empresa adotou estritamente o modelo *ad-hoc payments* mas se viu forçada a reajustar os preços em luz do desequilíbrio financeiro que o estado inicial deste mercado impunha à empresa. Para lidar com os efeitos negativos sobre o consumidor, as montadoras aproveitaram a rede de postos de recarga fornecida pela IONITY para lançar seus respectivos modelos de fidelização do cliente.

As críticas ao modelo *charging as a service*, que possui o carregamento de veículos como única fonte de receita, não são restritas aos consumidores insatisfeitos com o reajuste de preços. Este modelo de negócios é visto como inviável no curto e médio prazo por especialistas (PRICEWATERHOUSECOOPERS, 2018), que ressaltam a necessidade de adaptar o modelo de negócios ao novo contexto da mobilidade elétrica, buscando atrelar outros serviços no segmento de infraestrutura de recarga.

4.4.2 Fortum Charge & Drive

A Fortum é uma empresa de origem finlandesa que possui na comercialização de energia e eletricidade como sua principal fonte de receita. Sua área de atuação varia desde a operação na região nórdica da Europa, os balcãs e o noroeste da Rússia, alcançando determinadas localidades da Índia. A empresa figura como a segunda maior geradora de energia na região nórdica e como principal varejista de eletricidade nesta região, um mercado que possui 16 milhões de consumidores (FORTUM, 2020).

Em 2020, a empresa registrou um lucro de €1,678 bilhão (FORTUM, 2020), somando as atividades de comercialização de energia e os resultados financeiros de suas subsidiárias. Isto pois a empresa possui controle total ou participação acionária em empresas voltadas para serviços ancilares à distribuição de energia, como soluções inteligentes para domicílios, gerenciamento de resíduos e recarga de veículos.

A primeira empresa voltada para o segmento de infraestrutura de recarga de veículos elétricos é a Fortum Recharge & Drive AS, que atua como CPO no continente europeu. Em 2020, a Fortum chegou a um acordo para comercializar 67% da participação acionária com a gestora de investimentos internacionais inglesa M&G Investment Management Limited, captando recursos para os investimentos necessários neste segmento e retendo os 37% restantes nos direitos de propriedade sobre a empresa²⁷.

Outra empresa criada pela Fortum e que atua neste mesmo mercado é a Fortum Charge & Drive, com origem em 2016, segmentada em duas subsidiárias, com sedes na Holanda e Índia, respectivamente. Enquanto a Charge & Drive também atua como CPO na região nórdica, operando 1.400 carregadores na Noruega, Suécia e Finlândia, ela se difere da Recharge & Drive AS pelas demais soluções de eletromobilidade em seu portfólio.

Para auxiliar os operadores de postos de recarga, a Charge & Drive fornece um *software* com serviços de armazenamento em nuvem que tornam o processo de recarga mais fácil e conveniente. O uso deste programa fornece a flexibilidade de pagamento por parte do consumidor, seja por aplicativo, SMS, ou cartão de radiofrequência – RFID, além de ilustrar os principais pontos de recarga disponíveis em tempo real. O operador pode gerenciar remotamente seus postos de recarga a partir do *software* e fornecer suporte em tempo real ao seu cliente por 24 horas.

Esta plataforma comercializada para a figura do operador do posto de recarga faz parte do modelo de negócios denominado como *software as a service*- SaaS, visto que o foco é na utilização do programa como principal fonte de receita por parte da empresa. O SaaS é disponibilizado internacionalmente pela Charge & Drive e já é utilizado nas 1.400 unidades gerenciadas pela empresa.

A plataforma também pode ser utilizada pelos fabricantes de equipamento original – OEM, para prover soluções de recarga inteligente em seus dispositivos. O *software* facilita o uso de carregadores certificados, possui funcionalidade de pagamento e controle remoto embutidas,

²⁷ Fonte: Fortum (2020). Disponível em <https://www.fortum.com/media/2020/04/fortum-partners-infracapital-speed-charging-infrastructure-development-and-growth>

e é compatível com todos os *hardwares* utilizados dentro do mercado, graças a adoção tecnológica neutra.

Outros nichos do mercado de recarga de veículos elétricos são explorados pela Charge & Drive, como as opções de recarga residencial e no local de trabalho. Ferramentas para *leasing* de frotas e gerenciamento de sua recarga são disponibilizadas, além de funcionalidades para identificação do usuário e controle remoto da recarga, que possuem maior importância nas opções de recarga privada.

A Fortum Charge & Drive comercializa aplicativos para recarga de veículos elétricos, disponibilizando este produto para os agentes que atuam como EMP no mercado de recarga. Os aplicativos possuem funcionalidades de georreferenciamento, flexibilidade com meios de pagamento e administração da informação dos dados deste processo.

Um segmento pouco explorado no mercado em luz da incipiência da mobilidade elétrica é a utilização das baterias veiculares após o fim de sua primeira vida. A Fortum vale de sua experiência no gerenciamento de resíduos de combustíveis nucleares, como forma de promover soluções de transporte e armazenamento das baterias até o seu local de reciclagem. A partir deste momento a bateria pode entrar em um processo de reciclagem hidrometalúrgica, onde os metais são retirados para remanufatura de baterias veiculares, ou ser aplicada em outras soluções de segunda vida, como usinas de armazenamento estacionárias (FORTUM, 2021).

Desta forma, a Charge & Drive atua em todos os pontos da cadeia produtiva do segmento de infraestrutura de recarga (SYLVARI, 2015). Na manufatura, a empresa auxilia na produção de *hardware* por parte dos OEM com seu *software* de tecnologia neutra que evita problemas de incompatibilidade e possibilita o surgimento de produtos com funcionalidades de dispositivos inteligentes. Os aplicativos disponibilizados para comercialização aproximam a empresa de agentes que atuam como EMP dentro do mercado, enquanto o modelo SaaS auxilia o funcionamento de estações de recarga e estreita relações entre a empresa e os operadores de postos de recarga. Por fim a empresa também presta serviços para consumidores privados e atua em segmentos do mercado pouco explorados, como forma de expandir seu portfólio e gerar novas fontes de receita.

Atuando como CPO, a Fortum Charge & Drive disputa o mercado de infraestrutura de recarga norueguês com duas outras empresas: a BKK e Grønn Kontakt. O entendimento da empresa é que para recuperar os custos de investimento de uma estação de recarga, é necessário que este serviço tenha uma média diária de 6 clientes. No entanto, a realidade do mercado norueguês é abaixo deste valor, pois 94% dos donos de veículos elétricos optam pela recarga

residencial semanalmente, enquanto 80% utilizam o modelo residencial três vezes, durante uma semana (FIGENBAUM, 2018).

A minimização dos custos pode ser uma alternativa, visto que a maximização de receita não é viável no momento. A empresa visualiza a importância de criar relacionamentos de parcerias com outros agentes, de forma que exista uma complementaridade entre os modelos de negócios distintos. Por exemplo, ao aliar uma estação de recarga com um parceiro varejista ou prestador de outros serviços, observa-se uma consolidação de uma parcela das recargas em compras ou aquisição dos serviços que possuem proximidade ao posto de recarga.

Esta sinergia surge como oportunidade para compartilhar os custos de instalação de uma estação de recarga. Neste sentido, há uma busca por parte da Charge & Drive por parceiros para compartilhar estes custos (SYLVARI, 2018), com diferentes proposições sobre os direitos de propriedade do empreendimento.

Em linhas gerais, a empresa possui quatro propostas distintas, onde os lucros serão compartilhados de acordo com o investimento feito por cada agente dentro da estação de recarga, utilizando o nome de terceiros para propor seus serviços, no formato *grey label*, ou sua própria marca nos empreendimentos, denominado como *white label* (SYLVARI, 2018).

A primeira proposta é conhecida como divisão do investimento, ou *investment sharing*. Neste modelo, a Charge & Drive se responsabiliza pelos custos de instalação e operação da estação de recarga, retendo o lucro total do empreendimento, enquanto o parceiro fornece o local de instalação e arca com os custos da eletricidade consumida.

A segunda proposta, conhecida como divisão do custo para investimento, ou *cost-sharing for investment*, é bem similar à primeira, porém o parceiro arca apenas com os custos de eletricidade por um número fixo de anos, enquanto a Charge & Drive arca com todo o investimento e também retém todo o lucro oriundo deste empreendimento, incluindo os custos de eletricidade nas suas despesas após o fim do período estabelecido com seu parceiro. O benefício para o parceiro neste caso é o potencial aumento da aquisição dos seus produtos por parte do consumidor que irá utilizar a estação de recarga em seu empreendimento.

O terceiro modelo, de vendas puras e operação, *pure sales and operation*, inverte a lógica de investimento. O CPO oferece para o varejista o local para implementação da estação de recarga, enquanto o parceiro arca com todo o custo de instalação, manutenção e operação, mantendo a totalidade dos direitos de propriedade do empreendimento.

O último modelo, conhecido como co-investimento puro, ou *pure co-investment*, estabelece que o investimento será dividido em porcentagens acordadas com o parceiro, enquanto

o CPO arca também com os custos de operação. Neste sentido os lucros serão divididos na mesma razão feita no investimento deste empreendimento.

O objetivo da Charge & Drive é sempre reter a maior parcela dos lucros em locais de alta atratividade, visto os locais com maior fluxo de veículos são aqueles que, em média, mais registram recargas diárias. Porém locais de alta atratividade também apresentam custos de aquisição do terreno que acabam por elevar o custo do empreendimento, exigindo uma colaboração entre operador e parceiro que pode ser positiva para ambos os agentes. Enquanto o operador reduz o custo total do empreendimento, o parceiro pode aproveitar dos clientes do posto de recarga para fornecer seus serviços.

Compartilhar os direitos de propriedade em locais de baixa atratividade é importante, mas nem sempre há interesse por parte do parceiro de realizar este tipo de investimento. Apesar do baixo retorno, estas localizações são necessárias do ponto de vista do crescimento da rede de postos de recarga da empresa dentro do país, mas devem ser limitadas em luz de seu potencial deficitário crônico.

Locais com boa atratividade são o foco para a busca de potenciais parceiros. No modelo de direitos de propriedade compartilhada, há um bom retorno do investimento para ambos os agentes, enquanto o modelo de direitos de propriedade exclusivos por parte do operador é o principal agregador de valor neste modelo de negócios.

A postura da Fortum Charge & Drive em relação ao mercado de infraestrutura de recarga de veículos elétricos, demonstra que a empresa possui uma preocupação referente à vulnerabilidade que o modelo de negócios *charge as a service* possui. Desta forma, a métodos alternativos de acúmulo de receitas são explorados dentro deste mercado, como a atuação em toda a cadeia produtiva, quanto no fornecimento de outros serviços que possuem sinergia com o mercado e com o *core business* da empresa. Ao buscar outros prestadores de serviços para agir como parceiros em seus empreendimentos, a Fortum Charge & Drive ilustra a importância que outros serviços possuem para agregar valor ao negócio e melhorar a sua rentabilidade.

CONCLUSÃO

Apesar dos veículos elétricos terem sido concebidos antes dos veículos à combustão interna, sua limitação tecnológica impediu que este modelo se tornasse o hegemônico no mercado de automóveis ao longo do século XX. No entanto, este paradigma começa a ser quebrado conforme a tecnologia avança com uma velocidade de natureza exponencial, disponibilizando veículos de maior autonomia e preço em um menor intervalo de tempo.

Embora os avanços feitos pela indústria nos últimos dez anos tenham sido significativos, os veículos elétricos ainda apresentam três fontes de resistência para o consumidor interessado em realizar a transição entre modelos: alto custo de aquisição, autonomia de trajetos limitada e falta de infraestrutura de recarga adequada. A busca para a expansão do mercado de veículos elétricos em um determinado país deve consequentemente passar por medidas que atuem para mitigar o impacto negativo que estes três fatores possuem sobre a decisão do consumidor.

A Alemanha visualiza na mobilidade elétrica uma fonte estratégica passível de endereçar diversos problemas enfrentados pelo país. Seu processo de transição energética trouxe uma instabilidade à rede que pode ser reduzida ao utilizar as baterias veiculares para armazenamento da energia renovável gerada ou na redução da instabilidade em horários de pico através do V2G. A inovação no segmento de veículos elétricos ainda possui impactos sobre as políticas industriais, sociais e ambientais.

A empreitada do país neste segmento se inicia a partir de 2010 com a criação de uma instituição responsável pelo planejamento e alocação de recursos voltados para o desenvolvimento dos veículos elétricos, a NPE. A criação da NPE consistiu em um esforço colaborativo entre governo, indústria e academia, passível de otimizar o processo de inovação ao reforçar os pontos positivos de cada agente.

Após a identificação dos gargalos de desenvolvimento, as políticas públicas na Alemanha podem ser segmentadas em três distintas áreas de atuação: incentivos para aquisição de veículos elétricos, padronização tecnológica e execução de projetos de pesquisa e desenvolvimento. Enquanto os incentivos, de natureza pecuniária ou não, são responsáveis por reduzir as incertezas por parte da demanda, a padronização tecnológica é essencial na redução dos custos de produção enquanto os projetos de pesquisa e desenvolvimento intensificam o processo de otimização e inovação tecnológica.

Enquanto nem todas as metas pré-estabelecidas foram atingidas, o processo pode ser considerado um sucesso no ponto de vista de captura dos agentes privados e desenvolvimento do mercado de veículos elétricos. A Alemanha, por exemplo, já figura com o maior número de

vendas de veículos elétricos, em termos absolutos, no continente europeu. Não obstante, os recursos de origem pública aportados nos projetos de mobilidade elétrica começam a ser reduzidos gradualmente, sendo substituídos pelo financiamento por parte de montadoras e empresas que tem interesse de atuar dentro do segmento.

Este fato confirma a hipótese na qual esta pesquisa é baseada. Inicialmente as montadoras alemãs possuíam uma forte resistência para investir na mobilidade elétrica, devido ao acúmulo de custos para desenvolver, padronizar e produzir esta inovação. O governo alemão, em luz da visão estratégica que possuía sobre a mobilidade elétrica, investiu inicialmente neste segmento e começa a realizar o *phase-out* de subsídios, conforme a indústria demonstra sinais de amadurecimento, delegando este ônus aos agentes privados. Observa-se então uma indução do investimento da indústria em um segundo instante, enquanto o Estado alemão arcou com o planejamento e desenvolvimento inicial.

É importante ressaltar que apesar do desenvolvimento promovido pelos veículos elétricos na última década, o segmento ainda não alcançou sua maturidade. Isto significa que a difusão ainda depende de subsídios e nem todos os modelos de negócio são rentáveis. A infraestrutura de recarga rápida é um exemplo, onde os custos fixos e operacionais são intensos, enquanto a demanda por este serviço ainda é baixa, implicando em um déficit crônico em grande parcela dos postos de recarga e exigindo uma aproximação alternativa para viabilizar este negócio.

Enquanto algumas empresas enfrentam dificuldades buscando o melhor método de precificação, outras já apontam para a necessidade de adaptação do segmento de recarga ao contexto inovador da mobilidade elétrica. É importante entender que a infraestrutura recarga rápida, apesar de essencial para a difusão do segmento de veículos elétricos, é um nicho de mercado que possui uma demanda inferior em comparação com outras modalidades de recarga. Para reduzir os déficits iniciais deste nicho, a empresa pode investir em outras modalidades de recarga mais promissoras, aproveitando seus ganhos de escala e aprendizado no processo.

Outra observação importante é a necessidade de adaptação do segmento de recarga ao contexto inovador da mobilidade elétrica. O modelo atual, aplicado para o abastecimento de veículos à combustão interna, não é o mais adequado para os veículos elétricos devido ao tempo necessário para a recarga e a exigência de serviços ancilares como forma de garantir mais conveniência para o consumidor. O principal agregador de valor neste modelo de negócios não é a recarga, mas os serviços ancilares fornecidos ao consumidor.

A transição do modelo *charging as a service* para um mais pautado em serviços adicionais, pode auxiliar na sustentabilidade financeira do empreendimento. Ao introduzir novos serviços, o empreendedor facilita o estabelecimento de parcerias estratégicas passíveis de reduzir

o custo total do negócio, ao delegar uma parcela dos custos fixos e operacionais para o parceiro em troca de uma porcentagem da receita auferida pelas recargas.

Essas são alternativas para lidar com o investimento na mobilidade elétrica enquanto o setor não atinge seu limite tecnológico. Explorar os diferentes nichos do mercado e promover uma inovação nos modelos de negócio, efetuando a transição de um modelo baseado estritamente na recarga, para outro pautado em um portfólio de múltiplos serviços são opções para os *early adopters* no segmento de infraestrutura de recarga e são aprendizados que podem ser aplicados neste setor como um todo.

REFERÊNCIAS

AKOREDE, M. F.; HIZAM, H.; POURESMAEIL, E. Distributed energy resources and benefits to the environment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 2, pp. 724–734, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.025>. Acesso em: 20 ago. 2021.

AQUINO, T. et al. (2017). Battery Energy Storage Technology Assessment. **Platte River Power Authority**. v. 27, nov. 2017. Disponível em: <https://www.prpa.org/wp-content/uploads/2017/10/HDR-Battery-Energy-Storage-Assessment.pdf>. Acesso em: 20. ago. 2021.

BERNSTEIN, J. I. Costs of Production, Intra and Interindustry R&D Spillovers: Canadian Evidence. **The Canadian Journal of Economics**, v. 21, n. 2, pág. 324, 1988.

BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE (BNEF). **Electric Vehicle Outlook 2020**, 2021. Disponível em: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook-2020/>. Acesso em: 20 ago. 2021.

BOSE STYCZYNSKI, A.; HUGHES, L. (2019). Public policy strategies for next-generation vehicle technologies: An overview of leading markets. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 31, pp. 262–272, jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.09.002>. Acesso em: 20 ago. 2021

BOSTON CONSULTING GROUP. **Batteries for electric cars, 2010**. Disponível em: <https://www.bcg.com/documents/file36615.pdf>

BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ. (2015). **Verordnung über Allgemeine Bedingungen für den Netzanschluss und dessen Nutzung für die Elektrizitätsversorgung in Niederspannung**. 1–12, abr. 2015. Disponível em: <http://www.gesetze-im-internet.de/nav/index.html#BJNR247710006BJNE000900000>. Acesso em: 20 ago. 2021.

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE. **Verordnung über technische Mindestanforderungen an den sicheren und interoperablen Aufbau und Betrieb von öffentlich zugänglichen Ladepunkten für Elektromobile** (Ladesäulenverordnung – LSV). pp.1–17, jul. 2016, Disponível em: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/V/verordnung-ladeeinrichtungen-elektromobile-kabinettschluss.html>. Acesso em: 20 ago. 2021.

CAPGEMINI. Key Fac Tors E-Mobility of Tomorrow. **CEO's Business Review 2020 Strategy updated**. 2019. Disponível em: www.capgemini.com/invent.Fortum. Acesso em: 20 ago. 2021.

CLEANTECHNICA. **Electric vehicle charging guidelines for cities**. 2017. Disponível em: <https://cleantechnica.com/2018/12/31/electric-vehicle-charging-infrastructure-guidelines-for-cities-cleantechnica-report/>. Acesso em: 20 ago. 2021.

COFFIN, D.; HOROWITZ, J. The Supply Chain for Electric Vehicle Batteries The Supply Chain for Electric Vehicle Batteries. **Journal of International Commerce and Economics**, dez. 2018. Disponível em: https://www.usitc.gov/publications/332/journals/the_supply_chain_for_electric_vehicle_batteries.pdf. Acesso em: 20 ago. 2021.

DELOITTE. **New market. New entrants. New challenges:** Battery Electric Vehicles. 2017. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/manufacturing/deloitte-uk-battery-electric-vehicles.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2017.

DER BUNDESTAG. Gesetz zur Änderung des Versicherungsteuergesetzes und des Kraftfahrzeugsteuergesetzes. **Bundesgesetzblatt Jahrgang**, v.5, n. 57, dez. 2012. Disponível em: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&start=//%255B@attr_id=%27bgbl112s2431.pdf%27%255D#_bgbl_%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl112s2431.pdf%27%5D_1629505145799. Acesso em: 20 ago. 2021.

DER BUNDESTAG. Gesetz zur Bevorrechtigung der Verwendung elektrisch betriebener Fahrzeuge (Elektromobilitätsgesetz - EmoG). **Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz sowie des Bundesamts für Justiz**, jun. 2015. Disponível em: <https://dip.bundestag.de/vorgang/.../62486>. Acesso em: 20 ago. 2021.

DER BUNDESTAG. Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz - EnWG). **Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz sowie des Bundesamts für Justiz**. 2011. Disponível em: https://www.pwc.de/de/energiewirtschaft/assets/2011_06_06_enwg_mc.pdf. Acesso em: 20 ago. 2021.

EDSTRÖM, K. et al. Battery 2030, Inventing the sustainable batteries of the future. Research needs and future actions. **European Commission**. 2020. Disponível em: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/battery-2030-inventing-batteries-future>. Acesso em: 20 ago. 2021.

EHSANI et al. **Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles**. Flórida: CRC Press, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Distributed Energy Resources: Impacts on Energy Planning Studies**. N. EPE-DEA-NT-016/2018-R0, Jul. 2018. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/sites-en/sala-de-imprensa/noticias/Documents/Discussion Paper - Distributed Energy Resources.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-en/sala-de-imprensa/noticias/Documents/Discussion%20Paper%20-%20Distributed%20Energy%20Resources.pdf). Acesso em 20 ago. 2021.

ENGEL, H et al. Charging Ahead: Electric- Vehicle Infrastructure. **McKinsey & Company**, Exhibit 1, 1–8. 2018. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Automotive%20and%20Assembly/Our%20Insights/Charging%20ahead%20Electric-vehicle%20infrastructure%20demand/Charging-ahead-electric-vehicle-infrastructure-demand-final.pdf>. Acesso em 20 ago. 2021.

EUROPEAN COMMISSION. JEC Well-To-Wheels report: v5. **European Commission**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2760/100379>. Acesso em: 20 ago. 2021.

FIGENBAUM, E. **Charging into the future**: analysis of fast charger usage. Transportøkonomisk institutt. Jan. 2019. Disponível em: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=49751>. Acesso em: 20 ago. 2021.

FIGENBAUM, E. **Electromobility status in Norway**: mastering long distances—the last hurdle to mass adoption. Transportøkonomisk institutt. Mar. 2018. Disponível em: <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=47474>. Acesso em: 20 ago. 2021

GRUBER, J. **Public finance and Public Policy**. Nova York: Worth Publishers, 2012.

GUSIKHIN, O.; RYCHTYCKYJ, N. Intelligent systems in the automotive industry: applications and trends. **Knowledge and Information Systems**, v. 12, pp. 147–168, fev. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10115-006-0063-1>. Acesso em: 20 ago. 2021.

HAKE, J. F. et al. The German Energiewende: history and status quo. **Energy**, v. 92, pp. 532–546, dez. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.04.027>. Acesso em: 20 ago. 2021.

HØYER, K. G. The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. **Utilities Policy**, v. 16, pp. 63–71, jun. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2007.11.001>. Acesso em: 20 ago. 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global EV Outlook 2019**: scaling up the transition to electric mobility. 2019. Disponível em: www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2019/. Acesso em: 20 ago. 2021.

Ji et al. Electric vehicles in China: emissions and health impacts. **Environmental Science and Technology**, v. 46, n. 4, pp. 2018–2024, dez. 2012. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es202347q>. Acesso em 20 ago. 2021.

JIN, A. L.; HE, H. Comparison of the electric car market in China and the United States. The **International Council on Clean Transportation (ICCT)**. 2019. Disponível em: <https://theicct.org/publications/comparison-electric-car-market-china-and-united-states>. Acesso em: 20 ago. 2021.

LEVY, J.; RIU, I.; ZOI, C. (2020). The costs of ev fast charging infrastructure and economic benefits to rapid scale-up executive summary. **EVGO Fast Charging**. 2020. Disponível em: https://a.storyblok.com/f/78437/x/f28386ed92/2020-05-18_evgo-whitepaper_dcf-cost-and-policy.pdf. Acesso em: 20 ago. 2021.

LOISEL, R.; PASAOGLU, G.; THIEL, C. Large-scale deployment of electric vehicles in Germany by 2030: an analysis of grid-to-vehicle and vehicle-to-grid concepts. **Energy Policy**, v. 65, pp. 432–443, fev. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.029>. Acesso em: 20 ago. 2021.

MA, Y. et al. Comprehensive policy evaluation of NEV development in China, Japan, the United States, and Germany based on the AHP-EW model. **Journal of Cleaner Production**,

v. 214, pp. 389–402, mar. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.119>. Acesso em: 20 ago. 2021.

MACDOUGALL, W. Electromobility in Germany: vision 2020 and beyond. **Germany Trade and Invest**. 2015. Disponível em: <http://v2city-expertgroup.eu/wp-content/uploads/2016/02/electromobility-in-germany-vision-2020-and-beyond-en.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2021.

MAZUR et al. Assessing and comparing German and UK transition policies for electric mobility. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 14, pp. 84-100, mar. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210422414000392>. Acesso em: 20 ago. 2021.

MOHANADASS, A. Making the most of the energy we have: vehicle efficiency. **Intech Open**. 2019. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/70562>. Acesso em: 20 ago. 2021.

NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT (NPE). Progress Report 2018: market ramp-up phase. **German National Platform for Electric Mobility** (NPE). 2018. Disponível em: <https://www.readkong.com/page/progress-report-2018-market-ramp-up-phase-9105673>. Acesso em: 20 ago. 2021.

NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT (NPE) (2018). Progress Report 2018: market ramp-up phase German National platform for electric mobility. **German National Platform for Electric Mobility** (NPE). 2018. Disponível em: <https://www.vda.de/en/topics/innovation-and-technology/electromobility/National-Platform-for-Electric-Mobility.html>. Acesso em 20 ago. 2021.

NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT (NPE). Roadmap for an Integrated Cell and Battery Production in Germany. **German National Platform for Electric Mobility** (NPE). 2016. Disponível em: <https://www.readkong.com/page/roadmap-for-an-integrated-cell-and-battery-production-in-8832880>. Acesso em: 20 ago. 2021.

NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT (NPE). The German Standardisation roadmap electric mobility 2020. **German National Platform for Electric Mobility** (NPE). 2017. Disponível em: <https://www.din.de/resource/blob/235254/a0d14b63b9685859b1c0c297827e50f8/roadmap-en-2020-data.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2021.

NATIONALE PLATTFORM ELEKTROMOBILITÄT (NPE). The German Standardisation roadmap for Electromobility - Version 3.0. **German National Platform for Electric Mobility** (NPE). 2014. Disponível em: <https://www.din.de/resource/blob/77456/4407b11ea3d0ad1ac1a8889eab8e6b15/nr-3-0-en-data.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2021.

NATIONAL PLATFORM FUTURE OF MOBILITY (NPM). Progress Report, **National Platform Future of Mobility** (NPM). 2019. Disponível em: <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/03/NPM-Progress-report-2019.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2021.

NELDER, C.; ROGERS, E. Reducing EV charging infrastructure costs. **Rocky Mountain Institute**. 2019. Disponível em: <https://rmi.org/insight/reducing-ev-charging-infrastructure-costs>. Acesso em: 20 ago. 2021.

NICHOLAS, A. M.; Slowik, P.; Lutsey, N. Charging infrastructure requirements to support electric ride-hailing in U. S. cities. **International Council on Clean Transportation**. Mar. 2020. Disponível em: https://theicct.org/sites/default/files/publications/Charging_infrastructure_ride_hailing_US_03242020.pdf. Acesso em: 20 ago. 2021.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). Oslo manual 2018: guidelines for collecting, reporting and using data on innovation. **Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)**. 2018. Disponível em: <https://www.oecd.org/science/oslo-manual-2018-9789264304604-en.htm>. Acesso em: 20 ago. 2021.

PARRY, I. ; WALLS, M. ; HARRINGTON, W. Automobile externalities and policies. **Journal of Economic Literature**, v. 45, n. 2, jun. 2007. Disponível em: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jel.45.2.373>. Acesso em: 20 ago. 2021.

PIGOU, A. **The economics of welfare**. Londres: Palgrave MacMillan, 1920.

PRICEWATERHOUSECOOPERS (PWC). Powering ahead!: making sense of business models in electric vehicle charging. **PricewaterhouseCoopers (PWC)**. Out. 2018. Disponível em: <https://www.pwc.co.uk/industries/power-utilities/insights/electric-vehicle-Powering%20ahead!%20Making%20sense%20of%20business%20models%20in%20electric%20vehicle%20charging-report.html>. Acesso em: 20 ago. 2021

ROGERS, E. **Diffusion of Innovations**. Nova York: Free Press, 1983.

ROGERS, E. **Diffusion of Innovations**. Washington: Library of Congress, 1962.

ROTHAERMEL, F. T. Incumbent's advantage through exploiting complementary assets via interfirm cooperation. **Strategic Management Journal**, v. 22, n. 6–7, pp. 687–699, jul. 2001. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/3094326>. Acesso em: 20 ago. 2021.

SCHILLING, M. **Strategic Management of Technological Innovation**. Nova York: McGraw-Hill, 2014.

SPENCE, M. Cost Reduction, Competition, and Industry Performance. **Econometrica**, v. 52, n. 1, pp. 101–122, jan. 1984. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1911463>. Acesso em: 20 ago. 2021.

STEURS, G. Inter-industry R&D spillovers: what difference do they make? **International Journal of Industrial Organization**, v. 13, n. 2, pp. 249–276, 1995. Disponível em: https://econpapers.repec.org/article/eeeindorg/v_3a13_3ay_3a1995_3ai_3a2_3ap_3a249-276.htm. Acesso em: 20 ago. 2021.

SYVÄRI, R. Norway: opportunity in leading the mobility revolution. **Nordic Smart Electric Transport**, 2015. Disponível em: https://elbil.no/wp-content/uploads/2015/11/1_09_Rami-Syvari_Fortum-Charge-Drive-.pdf. Acesso em: 20 ago. 2021.

TAEFI, T. et al. Supporting the adoption of electric vehicles in urban road freight transport – A multi-criteria analysis of policy measures in Germany. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 91, pp. 61–79 set. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.06.003>. Acesso em: 20 ago. 2021.

TEECE, D. J. Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy. **Research Policy**, v. 15, n. 6, dez. 1986. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0048733386900272>. Acesso em: 20 ago. 2021.

THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure. **Official Journal of the European Union**. 2014. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32014L0094>. Acesso em: 20 ago. 2021.

THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION. Global and U.S. electric vehicle trends. **The International Council on Clean Transportation**, 1–22. 2019. Disponível em: https://theicct.org/sites/default/files/Drew%20Kodjak_Canada%20global%20EV_12June2019_0.pdf. Acesso em: 20 ago. 2021.

THIELMANN, A. et al. Technology Roadmap Energy storage for Electric mobility 2030. **Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI**, v. 1, n. 32, 2013. Disponível em: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/lib/TRM-ESEM-2030_en.pdf. Acesso em: 20 ago. 2021.

VENSELAAR, M.; IDEMA, H. J.; ENDRIß, T. German Charging Infrastructure Regulations Supporting Dutch companies understanding the German framework. **Ministry of Foreign Affairs of the Netherlands**, mar. 2019. Disponível em: https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/04/German%20charging%20infrastructure%20regulations%20report%20march%202019_0.pdf. Acesso em: 20 ago. 2021.

ZHANG, X., et al. Review of electric vehicle policies in China: content summary and effect analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, pp. 698–714, Abr. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.250>. Acesso em: 20 ago. 2021.

WAPPELHORST, S. The end of the road? An overview of combustion- engine car phase-out announcements across Europe. **The International Council on Clean Transportation**, maio 2020. Disponível em: <https://theicct.org/publications/combustion-engine-car-phase-out-EU>. Acesso em: 20 ago. 2021.

