



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo**

**Isabela Assis da Silva**

**MERCADO BRASILEIRO DE ENERGIA:  
DEFINIÇÕES, DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA  
AVANÇAR NO VEHICLE-TO-GRID**

**CAMPINAS**

**2023**

**ISABELA ASSIS DA SILVA**

**MERCADO BRASILEIRO DE ENERGIA:  
DEFINIÇÕES, DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA  
AVANÇAR NO VEHICLE-TO-GRID**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil na área de Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais.

**Orientador(a): Prof. Dr. Alberto Luiz Francato**

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA ISABELA ASSIS DA SILVA E ORIENTADA PELO PROF. DR(A). ALBERTO LUIZ FRANCATO.

ASSINATURA DO ORIENTADOR

---

**CAMPINAS**

**2023**

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura  
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

Si38m Silva, Isabela Assis da, 1998-  
Mercado brasileiro de energia : definições, desafios e oportunidades para avançar no vehicle-to-grid / Isabela Assis da Silva. – Campinas, SP : [s.n.], 2023.

Orientador: Alberto Luiz Francato.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Energia elétrica - Mercado - Brasil. 2. Veículos elétricos. 3. Transições para a sustentabilidade. 4. Energia - Armazenamento. I. Francato, Alberto Luiz, 1969-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações Complementares

**Título em outro idioma:** Brazilian energy market : definitions, challenges and opportunities to advance in vehicle-to-grid

**Palavras-chave em inglês:**

Electric energy - Market - Brazil

Electric vehicles

Transitions towards sustainability

Energy - Storage

**Área de concentração:** Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais

**Titulação:** Mestra em Engenharia Civil

**Banca examinadora:**

Alberto Luiz Francato [Orientador]

Tiago Zenker Gireli

Luciane Neves Canha

**Data de defesa:** 01-12-2023

**Programa de Pós-Graduação:** Engenharia Civil

**Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)**

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0003-3318-1664>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/2182299636726454>

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E  
URBANISMO**

**MERCADO BRASILEIRO DE ENERGIA: DEFINIÇÕES,  
DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA AVANÇAR NO  
VEHICLE-TO-GRID**

**ISABELA ASSIS DA SILVA**

**Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:**

Prof. Dr. Alberto Luiz Francato  
**Presidente e Orientador / UNICAMP**

Prof. Dr. Tiago Zenker Gireli  
**UNICAMP**

Prof. Dra. Luciane Neves Canha  
**UFSM**

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

Campinas, 01 de dezembro de 2023

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha mãe, Cleuza, que me demonstra todos os dias o significado de amor, e está presente em todos os momentos de minha vida, sendo meu suporte e minha guia, principalmente durante a trajetória acadêmica. Sem seu apoio este trabalho não seria possível.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço à comunidade docente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FECFAU) da UNICAMP que contribuiu para minha formação acadêmica, de forma que pude experimentar sua excelência e empatia. Também é alvo de grande gratidão a professora Flavia Consoni, do Instituto de Geociências da UNICAMP, que muito contribuiu para a composição deste trabalho, através de acompanhamento recorrente do trabalho. Ainda agradeço nominalmente o professor Vinicius Pinheiro, da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FECFAU) da UNICAMP, pelo apoio e parceria inestimáveis no desenvolvimento desta dissertação e de artigos relacionados.

Deixo meu agradecimento ao meu namorado, Pedro, que não mediu esforços para me apoiar e acompanhar durante a trajetória de formação do mestrado.

Por fim agradeço minha mãe, Cleuza, pelo apoio em todas as instâncias possíveis de minha vida e que contribuíram para minha trajetória até aqui.

## RESUMO

A agenda ambiental de combate ao aquecimento global, associados a representatividade do setor de transporte na emissão de gases de efeito estufa resgataram as potencialidades do veículo elétrico como ferramenta para transição elétrica devido a sua baixa emissão de poluentes.

Em decorrência, percebe-se um crescimento contínuo da frota global dos veículos elétricos sendo marcados por números como 10% de representatividade das vendas e frota global de mais de 16,5 milhões em 2021. Esta também é uma realidade no Brasil que, apesar de atrasada em relação a países europeus, China e Estados Unidos, possuía frota de 13.203 veículos 100% elétricos e híbridos *plug-in* no mesmo ano.

Associada à tecnologia do veículo elétrico há as baterias cuja capacidade varia em média entre 15 e 330 kWh, o que leva à constatação de os veículos deixam de possuir a funcionalidade única de transporte, mas passam simbolizar um mecanismo de armazenamento de energia distribuído e móvel. Segundo projeções para 2030, estima-se que potencial de armazenamento chegaria a 65GWh no Brasil.

A energia armazenada nas baterias veiculares poderia ser utilizada através do conceito de bidirecionalidade, em que a energia flui do veículo para a rede, edifício, ou outro tipo de carga. A possibilidade de injeção de energia na rede oriunda do veículo elétrico é denominada como *vehicle-to-grid* (V2G) e é objeto de estudo deste trabalho.

Além de contextualizar o cenário de mobilidade elétrica que permite a aplicação do V2G, revisa-se os conceitos deste tipo de serviço, o estado atual da arte em horizonte internacional, desafios para seu desenvolvimento sob os aspectos técnicos, econômicos e sociais. Além disso, de forma particular ao panorama brasileiro, identificam-se as restrições atuais de aplicação do V2G, uma vez que o serviço é proibido pela Resolução Normativa n.º 1.000. Por outro lado, ao revisar os serviços e mecanismos existentes no mercado de energia brasileiro, encontra-se uma série de semelhanças que poderiam ser aproveitadas em regulamentação futura a definir e permitir o V2G.

Na perspectiva de que a matriz energética brasileira tem aumentado sua dependência em fontes limpas, mas intermitentes e sazonais, entende-se que mecanismos de armazenamento de energia de resposta rápida, como é o caso do V2G são de suma importância para a segurança energética do país. Portanto, o trabalho conclui que é importante a permissão de exercício do V2G, mas associado à regulação bem definida com amplo aproveitamento dos seus possíveis serviços ancilares, junto de atratividade financeira ao usuário que também refletiria em benefícios econômicos para os operadores do sistema de energia.

## **ABSTRACT**

The environmental agenda to combat global warming, associated with the transport sector's representativeness in the emission of greenhouse gases, recovered the potential of the electric vehicle as a tool for the electric transition due to its low emission of pollutants.

As a result, there is continuous growth in the global fleet of electric vehicles, marked by numbers such as 10% sales representation and a global fleet of more than 16.5 million in 2021. This is also a reality in Brazil which, despite being late before European countries, China and the United States, had a fleet of 13,203 100% electric and plug-in hybrid vehicles in the same year.

Associated with electric vehicle technology are batteries whose capacity varies on average between 15 and 330 kWh, which leads to the acknowledgement that vehicles no longer have only the transport functionality, but now symbolize a distributed and mobile energy storage mechanism. According to projections for 2030, it is estimated that storage potential would reach 65GWh in Brazil.

The energy stored in vehicle batteries could be used through the concept of bidirectionality, in which energy flows from the vehicle to the grid, building, or other type of load. The possibility of injecting energy into the grid from the electric vehicle is called vehicle-to-grid and is the object of study in this work.

In addition to contextualizing the electric mobility scenario that allows the application of V2G, the concepts of this type of service are reviewed together with the current state of the art on an international horizon, challenges for its development from technical, economic and social aspects. Furthermore, particularly in the Brazilian context, current restrictions on the application of V2G are identified, as the service is prohibited by Normative Resolution No. 1,000. On the other hand, when reviewing the services and mechanisms existing in the Brazilian energy market, it is noted that a series of similarities that could be used in future regulations to define and allow V2G.

From the perspective that the Brazilian energy matrix has increased its dependence on clean, but intermittent and seasonal sources, it is understood that rapid response energy storage mechanisms, such as V2G, are of paramount importance for the country's energy security. Therefore, the work concludes that permission to exercise V2G is important, but associated with well-defined regulation with broad use of its possible ancillary services, along with financial attractiveness for the user that would also reflect in economic benefits for energy system operators.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma para metodologia do trabalho. ....	17
Figura 2 - Frota global de veículos elétricos entre 2010 e 2021.....	18
Figura 3 - Tipos de veículos elétricos.....	19
Figura 4 – Cenários indicando o aumento da temperatura da superfície da Terra com relação ao período de 1850-1900.....	20
Figura 5 – Emissão anual de gases de efeito estufa por setor (1990 – 2019).....	21
Figura 6 - Previsão do preço da bateria até 2030. ....	23
Figura 7 - Modelos de carregadores. ....	25
Figura 8 - Tipos de conectores. ....	26
Figura 9 - Carregadores de veículos elétricos leves e potência de recarga acumulada por cenário de 2021 a 2030.....	28
Figura 10 - Vendas e composição de veículos elétricos leves no Brasil.....	29
Figura 11 - Projeção para frota de veículos elétricos no Brasil.....	29
Figura 12 - Relações do agregador no V2G. ....	34
Figura 13 - Perfil horário de carga e impacto dos veículos elétricos. ....	36
Figura 14 - Efeito do V2G na recarga de veículos elétricos.....	37
Figura 15 - Sinais de regulação.....	40
Figura 16 - Exemplo de interação com a rede.....	41
Figura 17 - Perfil de recarga e V2G dos ônibus.....	44
Figura 18 - Capacidade de recarga restante.....	47
Figura 19 - Comparação de TCO padrão e cenários de aplicação do V2G.....	49
Figura 20 - Serviços indicados para o V2G.....	58
Figura 21 - Evolução da composição da matriz elétrica brasileira.....	63
Figura 22 - Exemplificação de demanda mínima.....	66
Figura 23 - Exemplo de Lastro de Gerador.....	68
Figura 24 - Geração prevista vs garantia física.....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativa de capacidade de armazenamento de energia em veículos elétricos para 2030. ....	30
Tabela 2 - Características das tecnologias de armazenamento de energia renovável. ....	31
Tabela 3 - Caminhos para o V2G. ....	46
Tabela 4 - Modelos de veículos elétricos com V2G anunciados.....	50
Tabela 5 - Aspectos e atores para adoção do V2G. ....	61
Tabela 6 - Geração de energia elétrica (em %). ....	62
Tabela 7 - Variação da oferta interna de energia elétrica em relação ao ano anterior.....	64
Tabela 8 - Serviços possíveis pelo V2G. ....	72
Tabela 9 - Associações entre Mercado Brasileiro de Energia e necessidades para V2G.....	73
Tabela 10 - Desafios para implementação do V2G.....	77
Tabela 11 - Cenários elegidos para o V2G no Brasil. ....	78

## SIGLAS

ACL: Ambiente de Contratação Livre

ACR: Ambiente de Contratação Regulada

APS: *Announced Pledges Scenario* (Cenário de Promessas Anunciadas da IEA)

BEV: *Battery electric vehicle* (veículo elétrico à bateria)

CCEE: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica;

CCS: *Combined charging system* (Sistema de carregamento combinado)

CONCAP: Conta de Potência de Reserva de Capacidade

CP: *Communication pin* (Pino de comunicação)

CSMS: *Charging Station Management System* (Sistema de Gerenciamento de Estação de Carregamento)

ESG: *Environmental, Social and Governance* (Governança ambiental, Social e Corporativa)

EVSE: *Electric Vehicle Supply Equipment* (Equipamento de abastecimento de veículos elétricos)

FCEV: *Fuel cell electric vehicle* (veículo elétrico à célula de combustível)

GEE: Gases de efeito estufa;

HEV: *Hybrid electric vehicle* (Veículo elétrico híbrido)

IEA: *International Energy Agency* (Agência Internacional de Energia)

MaaS: *Mobility as a Service* (Mobilidade como serviço)

MCP: Mercado de Curto Prazo

MRE: Mecanismo de Realocação de Energia

OCDE: Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico

ONS: Operador Nacional do Sistema Elétrico

PCH: Pequenas centrais hidrelétricas;

PHEV: *Plug-in hybrid electric vehicle* (veículo elétrico híbridos *plug-in*)

PP: *Protection pin* (Pino de proteção)

PLD: Preço de Liquidação das Diferenças

RED: Recursos Energéticos Distribuídos

SCEE: Sistema de Compensação de Energia Elétrica

SIN: Sistema Interligado Nacional

SOC: *State of charge* (estado de carga)

STEPS: *Stated Policies Scenario* (Cenário de Políticas Declaradas da IEA)

TCO: *Total Cost Ownership* (Custo Total da Posse)

TUSD: Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

TUST: Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão

V1G: *Unidirectional Smart Charging* (carregamento inteligente unidirecional)

V2G: *vehicle-to-grid* (veículo para rede)

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1.	OBJETIVO .....	15
1.2.	METODOLOGIA.....	16
<b>2.</b>	<b>MOBILIDADE ELÉTRICA: MOTIVAÇÕES, ELEMENTOS E EVOLUÇÃO</b>	<b>18</b>
2.1.	MOTIVAÇÃO AMBIENTAL E TÉCNICA .....	19
2.2.	ELEMENTOS PARA A PROMOÇÃO DA MOBILIDADE ELÉTRICA .....	24
2.3.	EVOLUÇÃO DA MOBILIDADE ELÉTRICA .....	27
<b>3.</b>	<b>INJEÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA REDE A PARTIR DO ARMAZENAMENTO EM VEÍCULOS .....</b>	<b>31</b>
3.1.	DEFINIÇÕES DA BIDIRECIONALIDADE DE ENERGIA .....	32
3.2.	PANORAMA INTERNACIONAL DE IMPLEMENTAÇÃO DO V2G .....	42
<b>4.</b>	<b>DESAFIOS PARA ALAVANCAGEM DO V2G.....</b>	<b>47</b>
4.1.	ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E SOCIAIS .....	47
4.2.	ESTADO BRASILEIRO E SEU POSICIONAMENTO FRENTE AO V2G .....	53
4.2.1.	<i>Regulação</i> .....	53
4.2.2.	<i>Projetos existentes</i> .....	55
4.2.3.	<i>Estrutura tarifária</i> .....	56
4.2.4.	<i>Relação entre agentes</i> .....	57
<b>5.</b>	<b>MERCADO DE ENERGIA BRASILEIRO.....</b>	<b>62</b>
5.1.	CARACTERIZAÇÃO DA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA.....	62
5.2.	AMBIENTES E MECANISMOS DE CONTRATAÇÃO .....	64
5.3.	MECANISMO DE DESLOCAMENTO DE DEMANDA .....	70
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>72</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>79</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>81</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Manchetes anunciando recordes nas vendas de veículos elétricos vem se tornando recorrentes no mercado brasileiro. Com uma frota de 126.504 veículos elétricos ao final de 2022 no Brasil (o que inclui automóveis de passeio e comerciais leves híbridos, híbridos *plug-in* e totalmente elétricos), percebe-se que a ascensão da mobilidade elétrica transcende as fronteiras dos países desenvolvidos (ABVE, 2023a).

Este avanço é suportado pelo aumento da disponibilidade de modelos de veículos elétricos no país, assim como pelo aumento da disponibilidade de pontos de recarga. Os carregadores em locais públicos chegaram a três mil unidades no início de 2023 e possibilitam viagens de longas distâncias, além de se relacionar com o aumento de confiança do usuário na tecnologia dos elétricos (ABVE, 2023b).

Em um cenário em que o *market share* da frota de veículos elétricos (híbridos *plug-in* e totalmente elétricos) no mundo é de 1,39% em 2021, frente a 0,03% no Brasil e, o *market share* de vendas no mundo é 8,6%, enquanto no Brasil este valor é de 0,5% no mesmo período, pode-se inferir que, apesar da ainda baixa representação de veículos elétricos, o avanço da eletrificação do transporte está rápido (IEA, 2022b).

A evolução da frota elétrica no Brasil está centrada nos veículos leves, mas também vem sendo fortalecida pela eletrificação de frotas de empresas que seguem a Agenda ESG (sigla em inglês que significa *environmental, social and governance*). Quanto aos pesados, a própria tecnologia dos veículos está em desenvolvimento já que para se alcançar uma autonomia condizente com a operação destes automóveis, o *pack* de baterias deveria ser muito grande, o que dificulta a viabilidade comercial e técnica deste segmento, que aponta para uma convergência com as soluções propostas pelo hidrogênio verde também em desenvolvimento (PNME, 2023).

Tal avanço pode despertar a curiosidade quanto aos motivadores desta transição do mercado de transporte. Entende-se a necessidade de tecnologias que promovam a transição energética para alcançar a neutralidade de carbono como um dos principais *drivers* para esta mudança, uma vez que os veículos 100% elétricos não emitem gases de efeito estufa (GEE) durante seu funcionamento, e o veículos híbridos diminuem sua contribuição ao associar o motor à combustão ao motor elétrico.

A própria Agenda ESG é um reflexo da preocupação com o atingimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, junto do mercado financeiro, ao estabelecer critérios e padrões para pautar decisões de investimento em empresas, e consequentemente orientar as ações e portfólios das mesmas (PACTO GLOBAL, 2023).

Neste horizonte, é importante refletir sobre a mobilidade elétrica, que não se trata do veículo elétrico como objeto único. Em realidade, se compõe de outros elementos como a infraestrutura de recarga, conectividade para gerenciamento remoto dessas recargas, agentes e redes de colaboração, políticas e regulações etc. Este sistema integrado se configura como uma tecnologia de ruptura, que enfrenta dificuldades e ameaça negócios consolidados como o mercado de combustíveis fósseis e de etanol, porém também insere novas e diversas oportunidades.

Sob este olhar, percebe-se que dentro do mercado de mobilidade elétrica há um recorte sobre o armazenamento inerente ao funcionamento do veículo e a possibilidade de aproveitar de forma estratégica esta disponibilidade. Ou seja, é possível olhar para o veículo elétrico não mais apenas como uma forma de transporte, mas também como um recurso energético distribuído (RED) capaz de ser integrado à rede, conforme pontuado por PNME (2023).

Sob este juízo, é definida a possibilidade de injeção de energia do veículo para a rede, ou em inglês *vehicle-to-grid* (V2G), que está atrelada a diversos serviços ancilares a serem prestados com benefício à segurança energética, à agenda ambiental e ao próprio consumidor que se empodera ao também se tornar um prestador de serviço, partilhando de responsabilidades e vantagens financeiras.

Para que o V2G seja possível, é necessário que o veículo e carregador possibilitem o fluxo bidirecional e que o carregador possua protocolo para o V2G. Desta forma, a eletricidade armazenada na bateria flui através da corrente contínua até o carregador CC que converte em corrente alternada e, então, a energia segue seu fluxo para abastecer o edifício ou a rede.

Por mais que no Brasil ainda não seja permitida a interação com a rede, conforme explicitado na Resolução Normativa nº 1.000 (ANEEL, 2021c), o V2G já está em andamento em outros países. Na Europa as maiores referências em V2G são a Holanda, Dinamarca, Reino Unido e Alemanha, já nos Estados Unidos, a Califórnia concentra a maior parte das iniciativas. Também são destaques Japão e Austrália (IEEE, 2022; GOVERNMENT OF CANADA, 2021).

As aplicações envolvem, dentre outros atores, universidades, empresas de *Mobility as a Service* (MaaS) e de infraestrutura de recarga, montadoras, e concessionárias de energia elétrica, compondo uma rede com atuações a serem exploradas ao decorrer do texto.

## 1.1.OBJETIVO

Sob a hipótese de que o V2G será uma realidade futura no Brasil e que ele pode auxiliar em uma série de necessidades do setor elétrico, elaborou-se a pergunta de pesquisa “Como o

V2G pode ser implementado no Brasil?”. A partir dela, objetivou-se identificar os desafios e as oportunidades de negócios para implementação do V2G no país, sendo objetivos específicos:

- A definição do contexto que impulsiona o mercado de mobilidade elétrica;
- A significação e posicionamento do tema do V2G internacionalmente e no Brasil;
- Identificação dos desafios para a viabilidade do V2G, com ênfase nos aspectos técnicos econômicos e sociais;
- Associação dos mecanismos do mercado de energia brasileiro com os possíveis instrumentos do V2G

## 1.2.METODOLOGIA

Diante dos objetivos expostos, o presente trabalho constitui uma pesquisa analítica, descritiva e exploratória de artigos, atos normativos, bases de dados, sites e relatórios que embasam o setor mundial e brasileiro quanto à temática da bidirecionalidade de energia elétrica relacionada com o armazenamento em baterias veiculares.

O texto está organizado em 7 capítulos, sendo de revisão de literatura o segundo, terceiro, quarto e quinto. Desta forma, o Capítulo 2 revisa e aponta a definição dos elementos da mobilidade elétrica, motivações para a eletrificação do transporte, bem como sua relevância e escalabilidade. Nele se constata que as projeções de crescimento de veículos elétricos apontam para a capacidade de armazenamento de energia de forma distribuída a partir das baterias veiculares.

Já o Capítulo 3 aborda a definição do V2G, a sua comparação com outros métodos de armazenamento de energia e elenca as possibilidades de usufruto do mecanismo. Também prevê um panorama internacional associado à implementação e maturidade do V2G, junto de lições aprendidas. Por fim, aponta diferentes níveis e cenários possíveis para a bidirecionalidade de energia associada aos veículos elétricos.

O Capítulo 4 lista e comenta os principais desafios associados, nas esferas técnica, econômica e sociais, que por sua vez se relacionam com as baterias, carregadores, veículos, normativos, protocolos, usuários, mercado e demais atores. O capítulo também expõe a regulação e o estado da arte no Brasil em relação ao V2G, ao mecanismo de injeção de energia na rede de forma distribuída já existente e estrutura tarifária.

Por fim, o Capítulo 5 caracteriza a matriz elétrica brasileira, os mecanismos de contratação no Ambiente de Contratação Livre e Regulada, além dos instrumentos que buscam equilibrar demanda e geração.

Em suma, a metodologia consiste em revisar a literatura, cujos resultados são apresentados ao longo dos capítulos, agregados por temas, junto de apontamentos e discussões breves, uma vez que o Capítulo 6 integra os resultados através de discussão que aponta as possibilidades e necessidades de desenvolvimento do V2G no Brasil, ao comparar as semelhanças dos seus serviços com os instrumentos existentes no mercado de energia hoje.

Tais constatações de tendências e necessidades de desenvolvimento para a bidirecionalidade de energia no país são sintetizadas no Capítulo 7 de conclusões. A Figura 1 resume em um fluxograma a metodologia proposta.

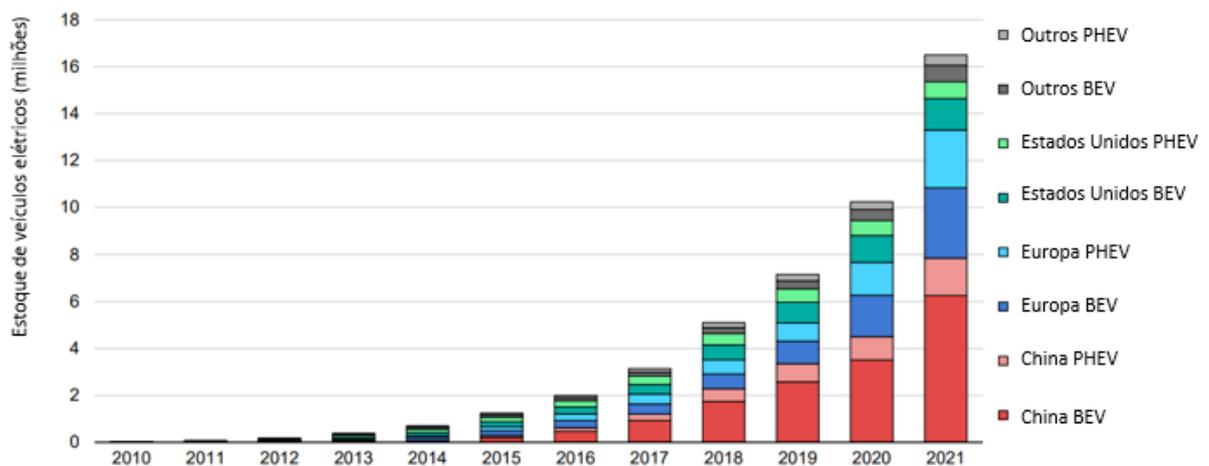
Figura 1 - Fluxograma para metodologia do trabalho.



## 2. MOBILIDADE ELÉTRICA: MOTIVAÇÕES, ELEMENTOS E EVOLUÇÃO

Dentro da mobilidade urbana os veículos elétricos vêm ganhando destaque junto a sua permeação nas frotas veiculares em panorama global, à exemplo da evolução apresentada na Figura 2. Nela estão incluídos os veículos chamados como híbridos *plug-in* (PHEV, abreviação do termo em inglês) e à bateria (BEV, abreviação do termo em inglês).

Figura 2 - Frota global de veículos elétricos entre 2010 e 2021



Fonte: Adaptado de IEA (2022c).

Existe uma distinção entre veículos denominados elétricos, sendo ela: veículos híbridos (VEH), veículos híbridos *plug-in* (VEHP), veículos à bateria (VEB) e veículos a células de combustível (VECC).

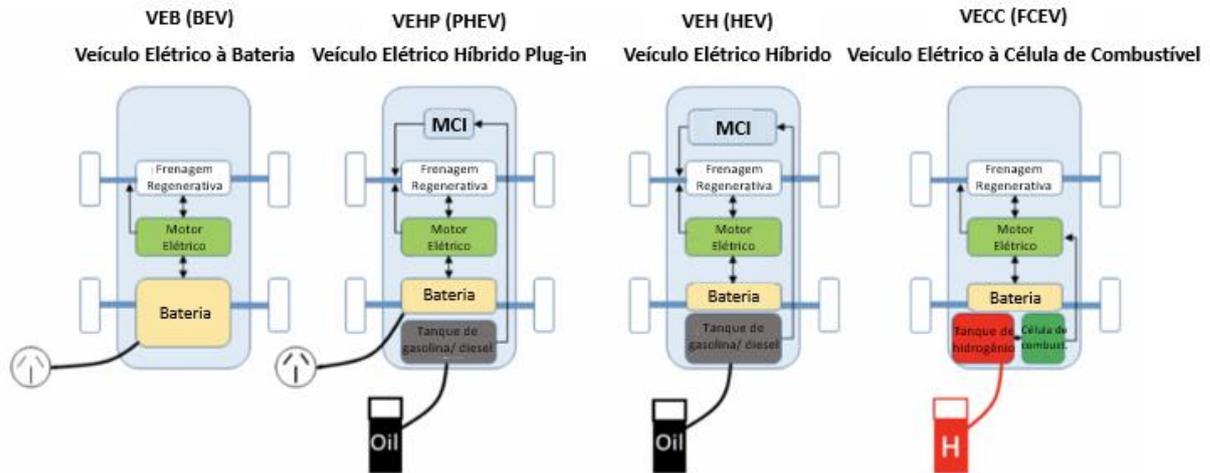
Os VEH são aqueles que possuem tanto o motor elétrico, quanto à combustão, mas neste caso não há conexão com a rede elétrica, a bateria é recarregada exclusivamente pelo próprio motor à combustão. Neste tipo, em alguns casos o veículo pode se locomover apenas pelo funcionamento do motor elétrico.

Já os VEHP também possuem os dois motores, que podem funcionar simultaneamente ou de forma alternada, contudo, neste caso, a bateria pode ser recarregada tanto via conector externo, quanto pelo motor à combustão, uma vez que neste último caso a frenagem permite regeneração de energia para bateria.

Os VEB são 100% elétricos cujo único motor elétrico é alimentado pela bateria que precisa ser recarregada por conector externo. Por fim, os VECC possuem um tanque de hidrogênio que é convertido, pela célula de combustível, em eletricidade e, assim, alimenta o motor elétrico

que também recarrega a bateria. Na Figura 3, é apresentado um esquema dos conceitos mencionados.

Figura 3 - Tipos de veículos elétricos.



Fonte: Adaptado de GATON (2018).

Os veículos elétricos são um componente do conceito de mobilidade elétrica, que é uma rede integrada operando de forma sistêmica com a interação de diversos setores a fim de promover a eletrificação de veículos. Além dos dados apresentados na Figura 2, destaca-se que o número de vendas de veículos elétricos dobrou de 2020 para 2021, o que levou o mercado global a um patamar de cerca de 10% de representatividade das vendas em relação aos demais veículos e frota global de mais de 16,5 milhões de veículos elétricos leves. Grande parte desse avanço provém dos mercados chinês, europeu e norte americano que representam vendas, em 2021, de 3,3 milhões, 2,3 milhões e 0,63 milhões, respectivamente (IEA,2022c).

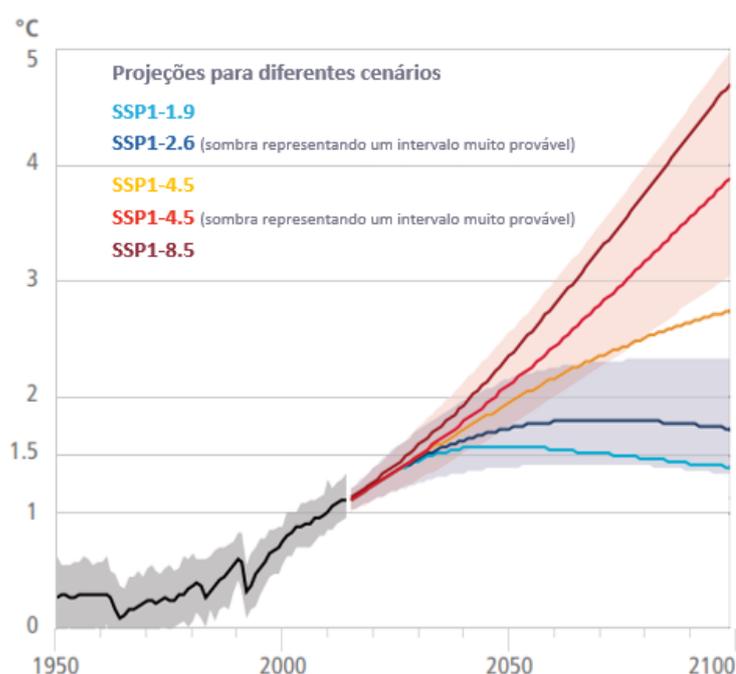
Entretanto, por mais que este avanço seja recente, a tecnologia do veículo elétrico existe comercialmente desde o século XIX (BARRASSA, 2015). Sendo assim, indaga-se que existem motivações para o avanço desta tecnologia após tantos anos do predomínio dos veículos de motor à combustão, as quais são exploradas no tópico a seguir.

## 2.1.MOTIVAÇÃO AMBIENTAL E TÉCNICA

Em um primeiro momento, é importante entender o cenário e motivação ambiental. Há décadas o planeta vem sofrendo uma série de mudanças climáticas que estão relacionadas principalmente à temperatura da superfície da Terra que, quando comparada com os níveis do período entre 1850 e 1900, teve aumento relativo de 1.09°C.

A Figura 4, evidencia os registros de tal variação ao longo dos anos, bem como apresenta projeções conforme diferentes cenários. Os impactos registrados em decorrência desta variação são notados pelo aumento na intensidade e frequência de eventos extremos, como o aumento no nível do oceano e de fortes precipitações, acidificação do oceano, diminuição regional de precipitação, entre outros. É importante destacar que as mudanças mencionadas são, comprovadamente, induzidas pelo ser humano e já deram consequência a perdas irreversíveis, como extinção de espécies, ou estão se aproximando da irreversibilidade como variações hidrológicas resultantes do derretimento de geleiras (IPCC, 2022).

Figura 4 – Cenários indicando o aumento da temperatura da superfície da Terra com relação ao período de 1850-1900



Fonte: Adaptado de ICPP (2022).

A degradação, fragmentação e destruição de ecossistemas pelo homem aumenta a vulnerabilidade do próprio ser humano. Globalmente, percebe-se que a mudança do clima tem efeito negativo na saúde. Em regiões de extremo calor foi evidenciado o aumento da mortalidade e morbidade humana, mas também vem sendo constatado o aumento de doenças animais e humanas em novas regiões (IPCC, 2022).

Um marco do combate contra tais mudanças é o Acordo de Paris, definido durante a COP21, cujo compromisso principal é diminuir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) a fim de limitar o aumento médio da temperatura global a 2°C (UNFCCC, 2015), já que uma de suas principais causas é o aumento nos níveis de emissão dos gases de efeito estufa: em 2021 a

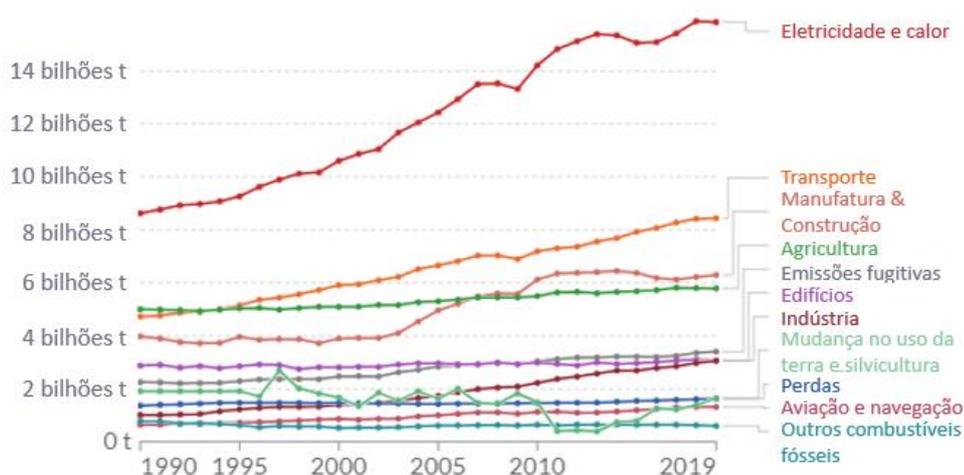
emissão global de CO<sub>2</sub> atingiu seu maior nível anual histórico, 36,3 Gt, o que representou um aumento de 6% em relação à 2020 (IEA, 2021a).

Nesse cenário, países, coordenados por governos e empresas alinhados à Agenda ESG, vêm tomando medidas a fim de alcançar o compromisso através da transição energética que, por sua vez, pode ser entendida como um processo que, ao longo do tempo, muda os tipos de tecnologias necessárias para toda a cadeia de suprimento, a fim de minimizar a emissão de dióxido de carbono e poluentes, e a dependência de combustíveis fósseis.

Em outras palavras, se trata de uma evolução não só na geração de energia, mas também em seu consumo (IEA, 2021b). A Agência Internacional de Energia (IEA) define dois cenários de transição, o primeiro é o Cenário de Promessas Anunciadas (APS), que considera os compromissos assumidos por países, durante a COP26, para atingir as metas de emissões líquidas zero carbono. Já o segundo é o Cenário de Políticas Declaradas (STEPS) que, por sua vez, avalia o que os governos de fato vêm colocando em prática para fomentar tecnologias de baixo carbono (IEA, 2022c).

Diante disso, quando se analisa globalmente quais são os setores responsáveis pela emissão global de gases de efeito estufa, o de maior contribuição é o de geração de energia, enquanto o segundo é o de transporte, conforme Figura 5.

Figura 5 – Emissão anual de gases de efeito estufa por setor (1990 – 2019)



Fonte: Adaptado de RITCHIE; ROSER; ROSADO (2022).

Dada a contribuição do transporte e o desafio que a sua própria demanda vem aumentando, Sovacool et al. (2020) apontam que a demanda passageiros-quilômetros aumentará 40% entre 2015 e 2050. Logo entende-se a descarbonização do transporte como de suma importância para cumprimento das metas de transição energética, e isso é possível já que

os veículos elétricos utilizam a eletricidade para propulsão do motor, portanto a emissão direta de GEE em veículos elétricos é nula ou inferior aos veículos com motores 100% a combustão.

Entretanto é importante levar em consideração que existe contribuição indireta dos veículos elétricos para emissão de gases poluentes quando se analisa todo seu ciclo de vida, mais especificamente, a fabricação e recarga do veículo que requerem eletricidade, e por sua vez podem demandar a emissão de GEE em sua geração. Logo seu impacto ambiental é mensurado a partir da matriz elétrica do local onde o automóvel é fabricado e recarregado. Por exemplo, no Brasil onde a oferta de energia elétrica é em sua maioria limpa, 66,5%, o impacto de emissão indireta proveniente dos GEE associados aos processos de fabricação de um veículo e recarga da bateria neste país é inferior ao de outros países cujas fontes limpas não são tão representativas, a exemplo da média mundial que é 25% (MME,2022a).

É interessante destacar que no Brasil o transporte tem ainda maior protagonismo frente às metas de descarbonização já que, diferente da realidade global com geração de energia como maior causa de emissão dos GEE, possui matriz elétrica majoritariamente renovável: com participação na oferta interna de 78,1%, e se tratando de fontes limpas são 66,5%, como mencionado anteriormente. As fontes renováveis também tem relevância na matriz energética do país uma vez que representam 44,7% do fornecimento dentre demais fontes (MME, 2022a).

Ainda no contexto do Brasil, um carro à combustão pode emitir até 3.000 kg de CO<sub>2</sub> a cada 20.000 km rodados, ao passo que em um veículo elétrico tais “emissões equivalentes” seriam inferiores a 70 kg (MOBILIZE BRASIL, 2021).

Portanto, levando em conta que o dinamismo inerente ao setor e a flexibilidade do mercado de automóveis permitem uma mudança mais rápida do que na geração de eletricidade e calor, o desenvolvimento da mobilidade elétrica vem sendo acelerado. Segundo relatório da IEA (2021b), a maior parte da redução da emissão de CO<sub>2</sub> avaliada nos cenários é proveniente do transporte, iniciando pelos veículos leves, ônibus urbanos e, mais tarde, com ônibus e caminhões médios a pesados.

Ainda sob perspectiva ambiental, os veículos elétricos trazem como vantagem a diminuição da poluição sonora no trânsito. Diferente do motor a combustão, onde a explosão proveniente da mescla entre combustível, ar e centelha de faísca é responsável pelo movimento do veículo, o motor elétrico é alimentado pela bateria, o que, conseqüentemente, elimina os ruídos oriundos da combustão.

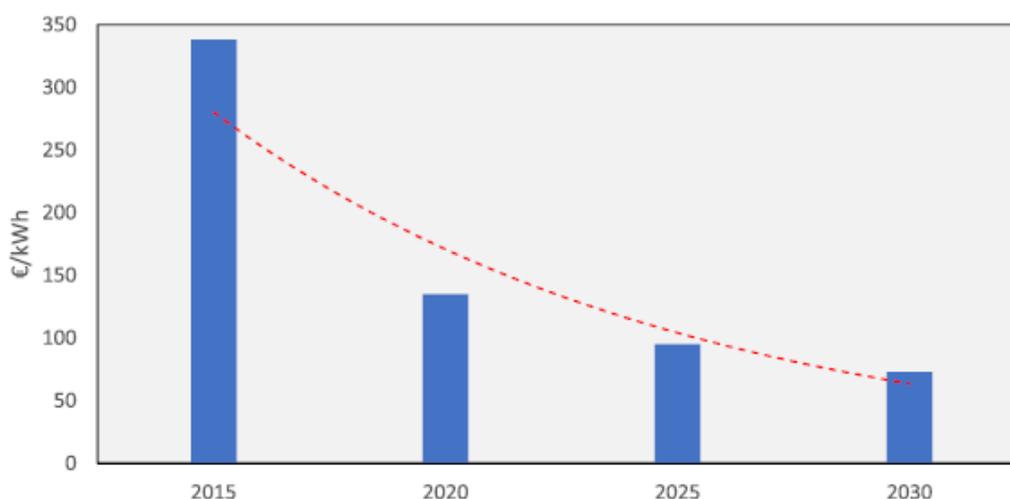
Existe ainda uma motivação técnica para a promoção dos veículos elétricos já que possuem, em média, 90% menos peças que os veículos à combustão, o que se relaciona com a maior simplicidade da arquitetura veicular. Como resultado há menor custo de manutenção, o

que pode chegar a cerca de 69% de economia. Menciona-se também uma vantagem do motor elétrico que tem eficiência de até 82%, frente à 40% do motor a combustão já que são reduzidas as perdas térmicas e mecânicas (JONES et al., 2021; MOBILIZE BRASIL, 2021).

Por fim, destaca-se a possível vantagem financeira ao usuário durante o uso do veículo, já que o custo de recarga do VEB pode ser até 85% menor que o gasto de abastecimento com combustível fóssil. Entretanto, não se pode ignorar o fato de que existe uma barreira de entrada dos veículos elétricos nos mercados em geral com seu alto custo de aquisição.

A previsão da BloombergNEF (2022) é de que até 2027 os valores entre os veículos elétricos e a combustão se equiparem, principalmente devido à queda do valor das baterias nos últimos anos, que hoje representam cerca de 40% do valor do veículo enquanto há 10 anos representava 70% (SUTTO, 2022; PNME, 2023). A Figura 6 apresenta a expectativa de redução do preço das baterias nos próximos anos.

Figura 6 - Previsão do preço da bateria até 2030.



Fonte: MANZOLLI; TROVÃO; ANTUNES (2022)

Até que este ponto de equidade seja atingido, para conhecer a efetividade de aquisição do veículo elétrico é importante analisar o Custo Total da Posse, também conhecido pelo termo em inglês, *Total Cost Ownership* (TCO). Neste caso, se avalia não só o custo de aquisição, mas também do uso durante toda a vida útil do bem adquirido.

Como já mencionado, por mais que o valor de compra seja alto, haverá uma economia com manutenção e abastecimento, portanto a depender do preço de aquisição do veículo, preço local do combustível fóssil (para veículos híbridos *plug in*), incentivos financeiros disponíveis e quilometragem percorrida, se alcançará o *payback*, que já pode ser atrativo hoje a depender

da operação do veículo. O estudo de Costa et al. (2021) apontam que de forma geral este período é em média de 10 anos, mas existem países com tempo muito menor, a exemplo de Portugal com um ano.

## 2.2.ELEMENTOS PARA A PROMOÇÃO DA MOBILIDADE ELÉTRICA

O meio primário necessário para a eletrificação do transporte é o veículo, já caracterizado até aqui. Contudo há outros elementos necessários para a implementação dessa tecnologia. Um deles são os carregadores, para os veículos que demandam fonte externa para recarga da bateria, e que seguem os diferentes conceitos de modos de recarga, conforme norma internacional IEC 61851-1 (2017).

No Modo 1, a recarga ocorre a partir de uma tomada padrão com fornecimento de corrente alternada (CA) através de um carregador portátil e cabo. Esta classificação tem a característica de um carregamento lento, de até 3,7kW, mas não é recomendado devido à falta de proteções do circuito.

O Modo 2 é similar ao anterior com a diferença de ser de 3,7kW a 7,4kW e ter a função de proteção, comunicação e controle entre a tomada e o veículo elétrico. No Modo 3 o carregamento pode ser de lento até semirrápido, já que a potência varia entre 3,7kW e 43kW em corrente alternada. Neste caso o carregamento acontece a partir de um equipamento específico com comunicação e controle, além da proteção no carregador.

Por fim, o Modo 4 introduz o carregamento rápido e ultrarrápido, a partir de 50kW, através de um carregador com fornecimento de corrente contínua (CC). Neste caso, deve existir também a comunicação, controle e proteção no carregador.

Portanto, existem carregadores de corrente contínua que alimentam diretamente a bateria e são classificados como rápidos e ultrarrápidos. Há também os de corrente alternada, classificados de lentos à semirrápidos, em que esta passa pelo inversor do carro, denominado *On-Board-Charger*, a fim de retificá-la em corrente contínua para, então, recarregar a bateria. Os carregadores que permitem recarga lenta são usualmente aplicados em residências e os demais em locais semipúblicos.

Os termos “comunicação” e “controle” têm relação com a diferença entre os carregadores chamados de “inteligentes” e “não inteligentes”. O primeiro se refere aos equipamentos com conectividade à rede e a plataformas de gerenciamento da recarga, enquanto o segundo se refere aos que apenas possibilitam plugar o carregador ao veículo e carregar, sem controle.

Segundo Saldaña et al. (2019), este último tipo de carregador, apesar de sua simplicidade tecnológica, não apresenta benefício a nenhuma parte envolvida na recarga já que aumenta as perdas do sistema, além de poder proporcionar um maior valor pago pelo usuário devido à falta de controle que permite a recarga antecipada em horários mais caros (no cenário de tarifa horária de energia elétrica).

Na Figura 7 apresenta-se visualmente alguns modelos de carregadores conforme velocidade de recarga.

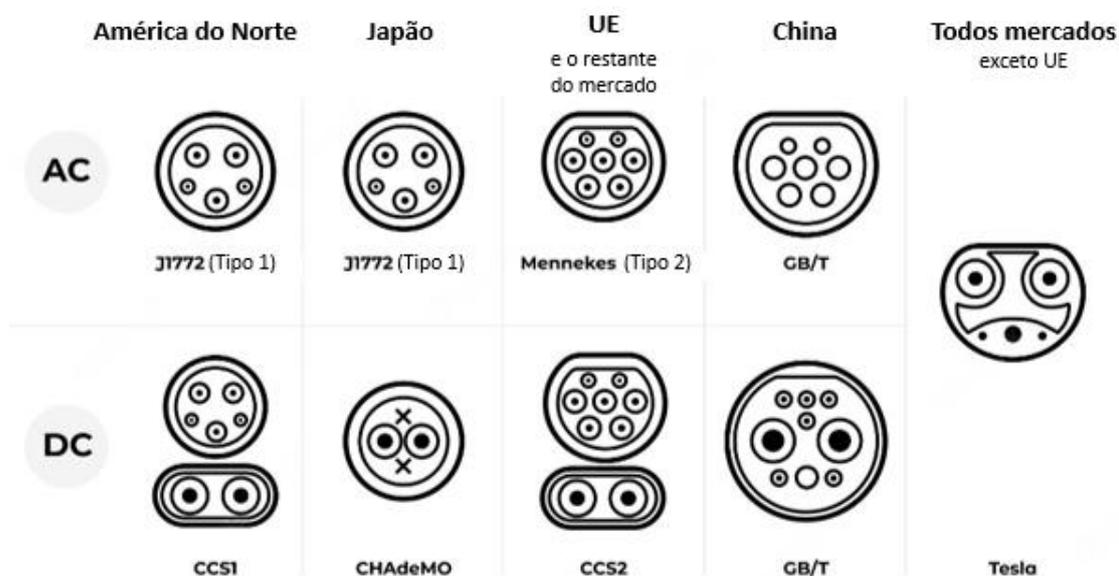
Figura 7 - Modelos de carregadores.



Fonte: Adaptado de ABB (2022) e WEG (2022).

Outra característica das estações de recarga é quanto ao tipo de seu conector, que varia em seu formato conforme o tipo de recarga (corrente alternada ou contínua) e localidade, sendo os principais denominados como Tipo 1, Tipo 2, CHAdeMO, GBT e Tesla, conforme exemplificado na Figura 8.

Figura 8 - Tipos de conectores.



Fonte: WALLBOX (2022).

Descrever-se-á brevemente cada um, iniciando pelo conector do Tipo 1, que se trata de um modelo comum na região asiática e norte americana, em que para carga CA existem o pino de fase, neutro e terra, além de outros dois: para comunicação com o veículo (CP) e proteção (PP) com trava a fim de evitar desconexão. Já para recarga CC o plugue leva mais dois pinos, configurando um sistema de carregamento combinado (CCS).

O conector do Tipo 2, também conhecido como Mennekes ou tipo europeu, possui 3 pinos para as fases, um para o neutro e outro para o terra, além dos dois pinos para comunicação e proteção. Neste caso, o carregador pode funcionar mesmo em rede monofásica, entretanto com menor potência. Já para funcionamento em corrente contínua, há mais dois plugues que configuram essa composição no CCS2.

Já o conector do tipo GB/T tem composição similar ao Tipo 2, entretanto possui os conectores machos na extremidade para atender às normas chinesas, enquanto a tomada fêmea fica no veículo. Para corrente contínua há 4 pinos para recarga da bateria, 1 pino para o terra, 2 contatos para proteção e 2 para comunicação.

Existe também o conector de corrente contínua do tipo CHAdeMO, oriundo do Japão, com 3 pinos de alimentação e 6 de comunicação. O grande destaque deste carregador é sua capacidade de carregamento bidirecional.

Por fim, lista-se o conector próprio da Tesla, com 2 conectores para sinal e 3 pinos para alimentação.

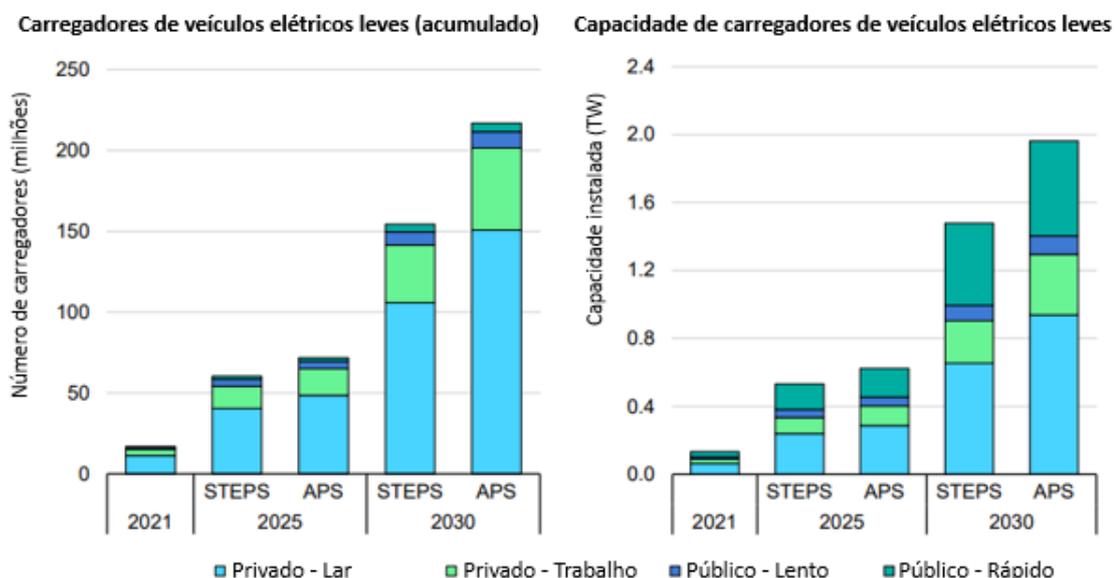
É necessário um olhar para os tipos de conectores dos veículos comercializados em cada país, pois entende-se sua falta de padronização como um dificultador para o estímulo do setor de mobilidade elétrica. No Brasil, é notada a predominância dos conectores do Tipo 2 e CCS2, entretanto os outros modelos também estão presentes (PLUGSHARE, 2023). Esta desproporção gera desconforto e insegurança a usuários detentores de veículos com plugues distintos já que podem não ser atendidos em todos os carregadores públicos.

### 2.3.EVOLUÇÃO DA MOBILIDADE ELÉTRICA

Além da barreira inicial do preço do veículo elétrico, outro obstáculo identificado para a adesão do mercado à tecnologia é a credibilidade em sua autonomia, uma vez que além de ser inferior à dos veículos à combustão, com o qual a população já está habituada, hoje é comum situações de exaustão de “combustível” antes da autonomia declarada de cada veículo. Esta desconfiança da possibilidade de cumprir o trajeto antes do esgotamento da bateria é definida pelo termo *range anxiety*, portanto entende-se como de suma importância a educação por parte das montadoras acerca de quais as condições consideradas para cada autonomia declarada por veículo (PNME, 2023).

Outra forma de mitigar esta percepção é a massificação da instalação de carregadores, principalmente em vias públicas para viagens de longas distâncias. Associada à tendência de crescimento da frota global de veículos elétricos, apresentada anteriormente, existe a projeção esperada para o crescimento da rede de carregadores e sua potência por local de instalação, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Carregadores de veículos elétricos leves e potência de recarga acumulada por cenário de 2021 a 2030.



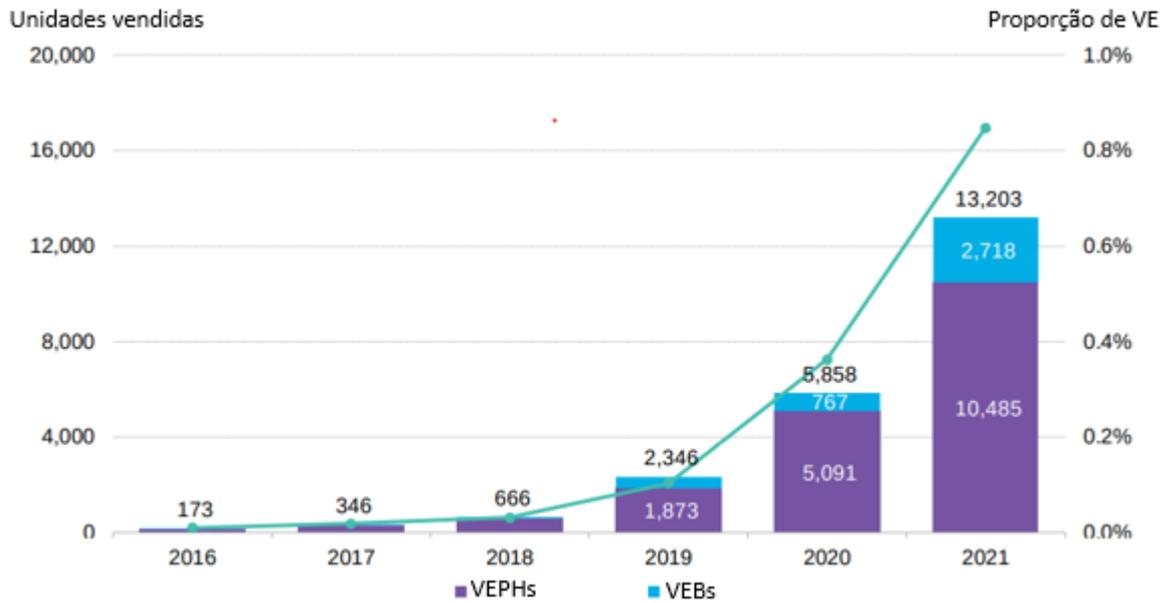
Fonte: IEA (2022c).

Observa-se que no longo prazo a maior parte dos carregadores estará instalada nas próprias residências. De outro lado, por mais que o número de carregadores rápidos em locais públicos tenha proporção baixa, em 2030, a expectativa é de que sua capacidade de potência represente cerca de 40% do total. Este cenário mostra a importância das edificações serem preparadas para receber tal equipamento de potência considerável para uso durante horas seguidas.

Dentro do histórico de vendas de veículos elétricos leves, é importante delinear o quadro brasileiro, em que por mais que as vendas de veículos elétricos seja inferior a 1% das vendas totais de veículos no país, conforme pode-se observar na Figura 10, as vendas mais do que quintuplicaram nos últimos três anos. Somando isso ao fato de que o Brasil é classificado como um dos 10 maiores mercados automotivos do mundo (avaliação geral que inclui também os veículos à combustão), infere-se que possui condições promissoras para o setor de mobilidade elétrica (ANFAVEA, 2022).

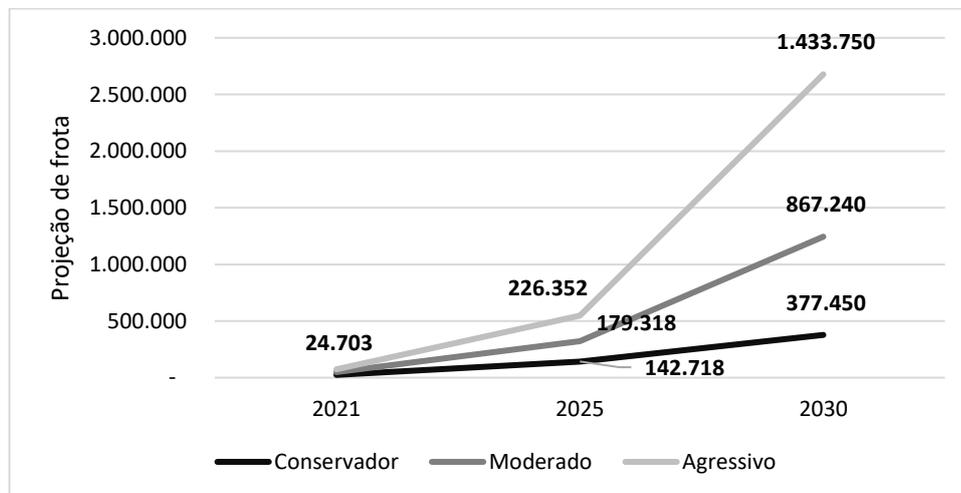
A Figura 11 apresenta justamente a projeção de crescimento de frotas de veículos elétricos, que considera veículos de passageiros leves elétricos à bateria e híbridos *plug-in*, veículos comerciais elétricos à bateria (leves, médios e pesados) e ônibus elétricos à bateria, sob os cenários conservador, moderado e agressivo.

Figura 10 - Vendas e composição de veículos elétricos leves no Brasil



Fonte: Adaptado de BloombergNEF (2022).

Figura 11 - Projeção para frota de veículos elétricos no Brasil.



Fonte: Adaptado de PNME (2022).

Somando a ciência das projeções de aumento de vendas de veículos elétricos às projeções de infraestrutura necessária para recarga das baterias veiculares surgem duas consequências imediatas. A primeira é de que a demanda de energia elétrica aumentará: segundo a Bloomberg (2021) seria necessário acrescer a oferta global de eletricidade entre 9% e 14% até 2040 para atender recargas em estradas (a depender do cenário de aceleração para neutralidade do carbono), além do atendimento previsto para a demanda global e geral de energia elétrica a partir da construção de novos recursos renováveis.

A segunda consequência é que o aumento de veículos elétricos circulando pelo mundo também implica em maior quantidade de energia armazenada de forma distribuída e móvel. Considerando a previsão de frota de veículos elétricos no Brasil para 2030 em cenário agressivo, conforme PNME (2022), e capacidades médias de bateria para cada tipologia, como demonstrado na Tabela 1, pode-se estimar que haverá um potencial de 65 GWh armazenados ao longo do território do país.

Tabela 1 - Estimativa de capacidade de armazenamento de energia em veículos elétricos para 2030.

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade prevista</b>	<b>Capacidade da bateria (KWh)</b>	<b>Capacidade Total (kWh)</b>
Ônibus Elétricos	37.150	324 <sup>1</sup>	12.036.600
Veículos Comerciais	175.000	159 <sup>2</sup>	27.766.667
Veículos leves (BEV)	199.000	50 <sup>3</sup>	9.950.000
Veículos leves (PHEV)	1.022.600	15 <sup>4</sup>	15.339.000
<b>Total</b>	<b>1.433.750</b>	<b>-</b>	<b>65.092.267</b>

Sob estas inferências e nos avanços da mobilidade elétrica apresentados até aqui, surge uma perspectiva de aproveitamento da energia armazenada dentro dos próprios veículos elétricos. Ainda sob este olhar para suas baterias, indaga-se sobre os benefícios de um possível fluxo em que a energia armazenada no veículo seria utilizada em meios externos a ele.

<sup>1</sup> BYD (2023)

<sup>2</sup> RENAULT (2023), JAC MOTORS (2023), RAMOS (2022)

<sup>3</sup> TEPE et al. (2022)

<sup>4</sup> EV DATABASE (2023)

### 3. INJEÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA REDE A PARTIR DO ARMAZENAMENTO EM VEÍCULOS

Conforme discutido no capítulo anterior, no panorama de aceleração da eletrificação do transporte surge um recorte para avaliação da possibilidade de aproveitamento da energia armazenada nos veículos, conceito este denominado como V2G (do inglês *vehicle-to-grid*). A Tabela 2 compara esta e outras tecnologias de armazenamento de energias renováveis e, associada a sua análise.

Tabela 2 - Características das tecnologias de armazenamento de energia renovável.

Tecnologia	Custo de armazenamento		Tempo de resposta	Eficiência de ciclo	Custo para corresponder à capacidade de V2G nos EUA
	\$/Kw	\$/KwH			
V2G	N/A	1 - 40	Poucos segundos	70 - 85%	N/A
Hidrogênio	1500 - 3200	260 - 540	Segundos a minutos	40%	\$ 6.200
Baterias de uso específico	1100 - 2500	500 - 800	Poucos segundos	70 - 90%	\$ 7.020
Voltante de gerador	870	4800	Poucos segundos	94%	\$ 4.1200
Gás	850	N/A	Segundos a minutos	50%	\$ 2.300
Ar comprimido	900 - 1300	40 - 109	9-12 min	70 - 90%	\$ 2.800
Bombeamento hidroelétrico	1400	68	Poucos segundos	70 - 82%	\$ 4.300

Fonte: Adaptado de Sovacool et al. (2020).

É importante destacar que o hidrogênio tem custos altos em contraste a sua baixa eficiência; as baterias de uso específico implicam em altos custos já que eles não são compartilhados com outras funcionalidades; enquanto os volantes são preferidos para armazenamentos de curto prazo. Já os processos a gás possuem baixa eficiência, além da necessidade de infraestrutura e contribuição para problemas ambientais; ao passo que o bombeamento hidráulico é muito utilizado, mas está condicionado à dependência de clima e de geografia.

Neste contexto, é percebida certa viabilidade técnica e econômica, uma vez que o V2G, por si só, pode ser apresentado como uma ferramenta de armazenamento de energia barata se considerados apenas os custos adicionais para usufruir do armazenamos já existente, quando comparada aos outros métodos que requerem implementação de desenvolvimento da infraestrutura completa (SOVACOOOL et al.; 2020).

É interessante notar que na Tabela 2 Sovacool et al. (2020) aponta o custo por quilowatt como nulo, considerando que não há investimento adicional necessário para fornecer o serviço de V2G quando já se possui veículo e carregadores apropriados. Contudo é importante ponderar

tal informação já que, de fato, existe um custo adicional atrelado à capacidade adicional do V2G. Por exemplo, um carregador de 7,4kW com possibilidade de bidirecionalidade no Brasil custa em torno de 30 mil reais, enquanto um carregador de mesma potência unidirecional tem o preço de cerca de sete mil reais (WALLBOX, 2023; GREENV, 2023).

A partir do recurso de estoque, o veículo deixa de ser visto apenas como um meio de transporte e passa a ter o valor de prover serviços ancilares a outros ativos. São exemplos a atuação das baterias veiculares como geradores em situações temporárias e de emergência, ou o oferecimento de serviços que promovam flexibilidade à rede. Algumas alternativas serão detalhadas no tópico seguinte.

### 3.1.DEFINIÇÕES DA BIDIRECIONALIDADE DE ENERGIA

Durante a recarga de um veículo elétrico, é demandada energia da rede para o automóvel. No V2G ocorre justamente o oposto: é injetada energia na rede proveniente do veículo (até então armazenada na bateria dele). Em realidade, a bi direcionalidade não fica limitada apenas à rede, existem outros conceitos que propõem diferentes destinos para a energia e serão detalhados posteriormente, como o V2B (*vehicle-to-building*), V2H (*vehicle-to-home*), V2V (*vehicle-to-vehicle*), V2L (*vehicle-to-load*) e o V2X (*vehicle-to-everything*).

Para viabilizar o V2G há necessidades particulares tanto para os carregadores quanto para os veículos. Nos veículos, a diferença está no sistema de gerenciamento da bateria, responsável por controlar o fluxo tanto da recarga quanto descarga, e que tem as funções principais de proteger a bateria ao impedir os fluxos fora da margem de segurança, e de otimizar a bateria ao gerenciar as taxas de cada fluxo e temperatura (JONES et al., 2021).

Já os carregadores bidirecionais se diferenciam dos unidirecionais que permitem apenas o fluxo de uma fonte CA para a recarga da bateria. Para possibilitar o fluxo em duas direções há necessidade de retificadores mais complexos que atuem tanto como retificadores como inversores de forma que se atendam os requisitos da rede, sendo necessárias proteções como anti-ilhamento (JONES et al., 2021).

Deste modo, os carregadores bidirecionais necessitam de conectividade propícia ao gerenciamento da recarga e da injeção de energia na rede. A operação mais comum constitui no funcionamento de um conversor bidirecional existente dentro do próprio carregador, que permite que a eletricidade oriunda da bateria em corrente contínua seja convertida para corrente alternada, assim como haja uma elevação de tensão para que a eletricidade alimente a rede ou outro objeto em parâmetros compatíveis (TOYOSHIMA et al., 2021).

Em casos gerais, o V2G é estruturado de forma que o usuário seja recompensado pelo serviço prestado, a exemplo de créditos e abatimentos da concessionária de distribuição local em sua fatura de energia. Em locais com preço horário de energia, também é possível se beneficiar da compra de energia em horários mais baratos para injeção em horários mais caros.

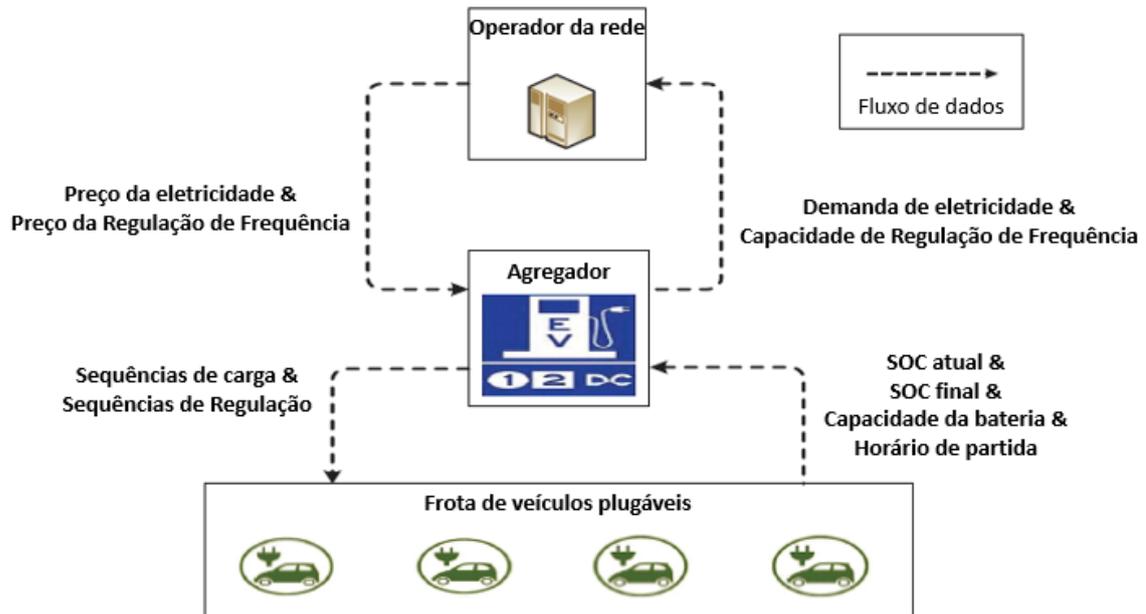
Para que tais transações físicas e comerciais sejam facilitadas, a fim de garantir a otimização de perdas e de preços atrelados a tais atividades, e se alcance melhorias qualitativas do sistema integrado há a associação do serviço a um agente denominado como agregador.

O agregador é a interface entre os veículos elétricos e o operador da rede, cujo objetivo é manejar e gerenciar os veículos elétricos disponíveis, otimizar sua recarga e agregar seus serviços prestados a fim de compor um único recurso de energia controlável. Tepe et al. (2022) trazem o conceito de que os agregadores agrupam capacidade de veículos, que individualmente não seriam capazes de fornecer serviços à rede, em usinas virtuais. Portanto, é dever do agregador selecionar e determinar combinações de veículos necessários para prover os serviços de forma a otimizar a receita para os participantes com auxílio de algoritmos.

De um lado, o agregador firma um contrato com o dono do veículo elétrico a fim de utilizar sua bateria. Neste caso o veículo elétrico deve informar o estado atual de carga da bateria, o horário esperado de partida, a capacidade da bateria e a taxa de carregamento. Logo, uma condição deste acordo é de que na hora da partida a bateria esteja em um nível satisfatório, entretanto se o proprietário do veículo não cumprir o acordo, saindo antes do horário informado, a bateria pode não estar em um nível satisfatório. Por outro, o agregador também faz um contrato com a operadora da rede acerca da capacidade de serviços que ele pode prover, além da capacidade necessária para recarga dos veículos.

Conforme interpretado por Wang et al. (2013), acordadas as condições de ambos os lados, o agregador é tido como um consumidor de energia dedicado e fornecedor de serviços para o operador de rede, o que facilita o controle da rede do operador. Portanto, seu serviço oferece flexibilidade e estabilidade pela implementação de algoritmos de controle e preditivos, ao passo que maximiza receitas pela escolha de prestação de serviços ancilares dentre as diversas opções disponíveis (SOVACOOOL et al., 2020). A Figura 12 exemplifica a articulação das partes conforme descrito acima.

Figura 12 - Relações do agregador no V2G.



Fonte: (WANG et al., 2013).

O entendimento sobre a função do agregador é importante para a compreensão dos conceitos de bidirecionalidade. Enquanto no V2G o destino da eletricidade seria a rede, no conceito de V2B (em português veículo para edifício) a energia é fornecida para um edifício (não residencial), como escritórios ou empresas de aluguel de carros. Neste caso, há vantagens como a própria reserva de segurança de energia, possibilidade de redução na conta de energia, simples previsão de veículos disponíveis e baixo investimento.

No V2B existe forte associação da injeção de energia com geração solar no local já que o veículo pode ser carregado durante o dia com a ascensão da curva de geração e, descarregar para o edifício durante a noite quando a curva de geração declina. Por outro lado, traz uma certa dificuldade de operação e baixa integração com o mercado, uma vez que a injeção de energia é exclusiva para o edifício, sem interface com a rede e geralmente fica sob gestão do proprietário, sem interface com o agregador.

Outra classificação, derivada do V2B, porém mais específica é o V2H, *vehicle-to-home*, em português, veículo para o lar. Nesta situação também se combina a geração local para armazenamento de energia nas baterias veiculares, porém com utilização apenas na própria residência onde o carregador está instalado. Neste caso, vantagens adicionais seriam a possibilidade do funcionamento da residência off-grid e a infraestrutura de comunicação mais simples. Por outro lado, se perderia a oportunidade de ganhar escala na solução uma vez que a utilização da energia fica limitada a cada residência (SALDAÑA et al., 2019).

Tanto no V2B quanto no V2H o consumo local pode ser alimentado exclusivamente pelos veículos durante certo período em que não seja conveniente o suprimento pela rede, a exemplo dos horários de pico onde há taxaço maior para este período.

Já a ideia de V2L está relacionada à alimentação de uma carga específica. É possível explorar ainda o intercâmbio de energia entre pares, ou seja, entre veículos, também conhecido como *peer-to-peer* ou *Vehicle-to-Vehicle*. Já existem algoritmos que coordenam o comércio de energia entre veículos estacionados em uma mesma área, sendo que um dos objetivos pode ser o lucro a partir de uma espécie de leilão, onde a compra e venda de energia ocorreria através de lances de vendedores e compradores usando um método iterativo e processo auditável (AL-OBAIDI et al., 2020). Por fim, há um termo geral que engloba os apresentados anteriormente que seria o V2X, *Vehicle-to-Everything*, ou também veículo para tudo.

Dados os conceitos, é importante frisar que a injeção de energia na rede pode causar sua sobrecarga, portanto necessita de análise de viabilidade para avaliar se a infraestrutura local suporta os fornecimentos distribuídos, devendo ocorrer de forma ordenada e favorável aos momentos de necessidade da rede (JONES et al., 2021). Respeitadas suas precauções, esta injeção pode inclusive mitigar impactos oriundos da própria eletrificação do transporte.

Neste sentido, recorda-se que, em contexto geral, a sessão 2.3 traz a informação de que em 2040 seria necessário aumento na oferta de eletricidade em até 14% para atender os veículos elétricos. Já o estudo de Echevarria et al. (2022) aponta que, em cenário otimista e para a região sul do Brasil, a carga dos veículos elétricos teria representação de 6,34% frente à carga total em 2040. Além disso, infere que o impacto da mobilidade elétrica estaria na rede de distribuição devido a sua sensibilidade às variações de potência, principalmente em redes de baixa tensão. À título de exemplo, esta suscetibilidade demandaria, no Paraná, investimento de 35,6% do montante previsto pela companhia no ano de 2021 (Echevarria et al., 2022).

Tal demanda adicional proveniente dos veículos elétricos possui criticidade da coincidência com os períodos de pico já existentes no sistema, conforme representado na Figura 13 (CASTRO; FALCÃO; COLOMBARI, 2019). De forma análoga o estudo de Purnell, Bruce e MacGill (2021) estima que este acréscimo do pico de demanda noturna estaria entre 20% e 30% com a adoção de transporte público elétrico na Austrália.

Figura 13 - Perfil horário de carga e impacto dos veículos elétricos.



Fonte: CASTRO; FALCÃO; COLOMBARI (2019).

Recorda-se os dados da sessão 3.1, que apontam que sem recarga inteligente, em cenário geral, o aumento do pico de demanda poderia chegar a 44% ao passo que o V2G poderia diminuí-lo em até 34%. Desta forma, é reforçada a afirmação de que o V2G pode ajudar em uma série de problemas do sistema elétrico, inclusive aqueles relacionados com a própria eletrificação da frota. A seguir detalha-se as principais vantagens que podem ser obtidas pelo V2G.

- **Corte de pico de demanda (*Peak shaving*)**

Sabe-se que a curva característica da demanda de energia possui picos que, a depender do mercado, dão consequência a tarifas horárias mais caras. Contudo, independentemente da tarifação adotada por cada país, é fato que existe um custo e esforço atrelado à necessidade de maior geração de energia para um curto período. Neste caso surge uma grande vantagem do V2G: o corte do pico de demanda, pois é possível utilizar a energia armazenada no veículo durante esses períodos ao invés de demandar energia da rede.

Uma aplicação gerenciada do V2G pode, inclusive, trazer benefícios econômicos em locais onde há tarifas horárias que penalizam a utilização de energia em horários de ponta. O estudo de Li et al. (2019) mostra que usuários podem, além de zerar custos, ter rendimento nos serviços de *peak shaving* quando o preço da energia elétrica durante o período de ponta fornecida à rede é superior a três vezes o preço de vale.

É estimado que, em 2050, o V2G poderá reduzir o pico de demanda entre cerca de 14 e 34%, ao passo que em caso de recargas não coordenadas poderá haver aumento deste pico entre 32 e 44% (OFGEM, 2021).

- **Preenchimento de vale (*Valley filling*)**

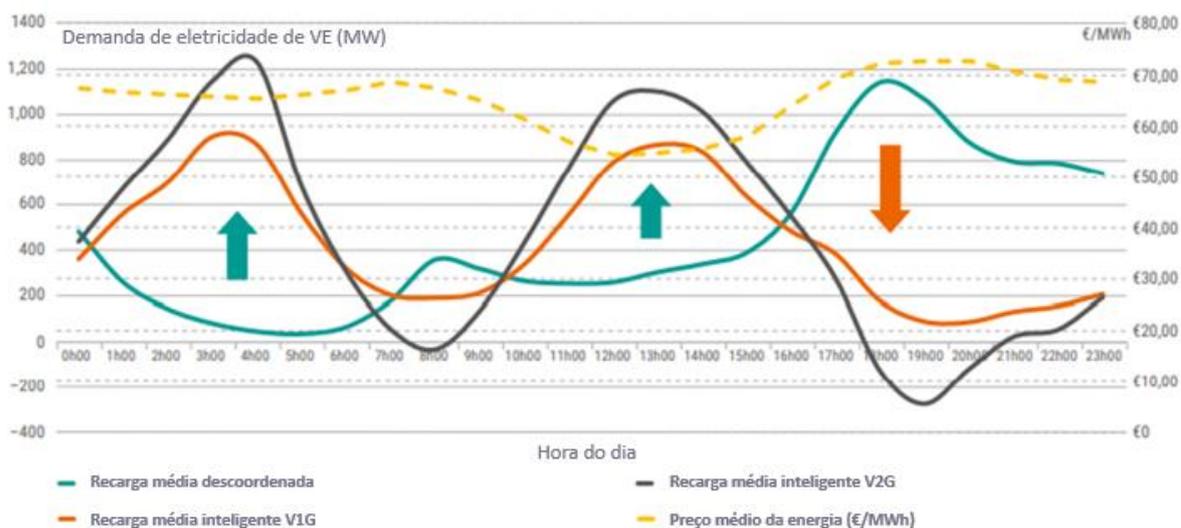
É o movimento de demanda de energia para recarga de veículos elétricos durante momentos em que a demanda por potência é baixa, por exemplo, durante a madrugada. Portanto, o esquema de programar a recarga em momentos estratégicos de vale na curva de carga pode ser ainda mais conveniente devido ao fato de se demandar mais energia nestes momentos, já que o veículo não descarrega só pelo uso para transporte, mas também para abastecer a rede.

- **Deslocamento de carga (*Load shifting* ou *Time shifting*)**

O deslocamento da carga é semelhante aos dois últimos conceitos, ou seja, é a estratégia de deslocar a demanda das horas de pico para as horas fora de pico, ou seja, de vale, mas sem reduzir o consumo efetivamente. Este movimento pode ser facilitado pelo V2G conforme a edificação utiliza a energia armazenada nos veículos durante o período de pico e repõe a energia utilizada na recarga da bateria fora do período de pico (MAO et al., 2022).

Este conceito pode ser exemplificado pelo estudo realizado com projeção de mercado para 2030 na Bélgica e resumido na Figura 14.

Figura 14 - Efeito do V2G na recarga de veículos elétricos.



Fonte: Adaptado de ENTSO-E (2021).

Em azul, tem-se a curva de recarga de veículos elétricos de modo descoordenado, cujos picos de demanda coincidem com os maiores preços de energia. Além disso, com a rotina de se carregar o veículo durante o começo da noite, o início das recargas coincide com o pico já existente na curva geral de demanda de eletricidade, bem com o início da não geração solar.

Com carregadores *Smart* e recargas controladas e inteligentes (V1G) é possível alcançar o cenário da curva laranja, que representa o deslocamento de carga a fim de evitar os picos dos preços de energia. Por fim, observa-se ainda, com a curva cinza, o ganho de eficiência deste deslocamento de carga quando se associa o V2G, uma vez que além do desvio dos horários de pico, maximiza-se o consumo de eletricidade nos períodos de preço baixo e minimiza-se a demanda nos momentos de preço alto.

- **Equilíbrio de demanda e geração**

O balanceamento entre fornecimento e demanda de energia é importante para manter a frequência da rede constante (60Hz no Brasil), para tanto o desequilíbrio deve ser inferior a 0,2%, caso contrário, pode ocorrer interrupções de fornecimento e consequentes danos materiais.

Em casos de aumento de demanda de energia, pode ser impossível aumentar a energia fornecida por fontes limpas, como solar e eólica, uma vez que dependem de fatores climáticos, são intermitentes e possuem momentos de não geração. Destaca-se a geração solar que é possível apenas durante o dia, e em oposição a essa disponibilidade, um dos picos de demanda ocorre no Brasil atualmente por volta das 19h (ONS, 2022).

Ao contrário, o aumento da produção de fontes térmicas pode ser mais rápido, bastando queimar mais combustível, contudo ainda são mais lentas que usinas hidrelétricas. Sob outra perspectiva, em caso de diminuição da demanda, as plantas de geração térmica possuem restrições técnicas que dificultam a rápida redução de produção.

Neste contexto, aponta-se mais uma aplicação do V2G de equilibrar a demanda e geração conciliados com as restrições da matriz energética local, já que a energia armazenada pode suprir momentos de aumento de demanda e, em momento de diminuição, o fluxo se inverte, carregando o veículo.

Enfatiza-se aqui mais uma vez a relevância do V2G, já que no cenário ambiental de necessidade de cumprimento de metas de descarbonização, a geração de energia limpa e renovável terá cada vez maior participação na matriz elétrica de cada país, o que acompanhará o aumento da necessidade de requisitos de flexibilidade para balanceamento de carga e geração.

- **Reserva girante**

Também denominada como reserva circulante ou reserva girante, é definida como a capacidade de geração de energia inutilizada que pode ser ativada pela decisão do operador do sistema. Pode ser ativada em caso de interrupção de fornecimento de energia por exemplo. Ao

invés do acionamento de uma planta de geração, em uma eventual necessidade, o V2G pode funcionar como uma reserva à rede para suprir sua demanda temporária.

Neste sentido, pode-se pensar até em uma fonte de eficiência, já que possibilita a redução no investimento em equipamentos e plantas de geração.

- **Black Start**

*Black Start* é um termo utilizado para descrever um processo de reiniciar partes ou um todo do sistema de energia após um *blackout* de forma independente da rede de transmissão ou distribuição (NREL, 2020). Em um caso hipotético de desligamento do total de energia, uma edificação poderia utilizar da energia armazenada nos veículos para prover eletricidade temporariamente à edificação enquanto o fornecimento de energia pela rede não fosse estabelecido. Neste caso, os veículos elétricos substituiriam ou auxiliariam os geradores do edifício.

Esta funcionalidade é muito apropriada para casos de apagões em consequência de eventos severos como queimadas, furacões, nevascas etc. Uma aplicação real deste caso foi o suprimento de energia através de Nissan Leafs (veículo 100% elétrico) no Japão após o terremoto Tohoku e o desastre nuclear de Fukushima Daiichi em 2011, que moderou a falta de energia até que a rede fosse estabilizada (IEEE, 2019). Inclusive este caso resultou no desenvolvimento do protocolo CHAdeMO para bidirecionalidade (EVEROZE, 2018).

O estudo de Aguilar-Dominguez et al. (2022) também explora a possibilidade de prover o serviço de Black Start através do V2G para casas, local de trabalho e outros através das condições locais de Londres. Além disso, considera a porcentagem do estado de carga (também conhecido pela sigla em inglês SOC) que pode ser mantido ao longo de uma semana para os veículos elétricos que eventualmente fossem usados em caso de desligamento, bem como o custo na conta de energia desses consumidores. Por fim, seu estudo aponta que o maior desafio para tal solução é a incerteza de disponibilidade de veículos e estado de carga das baterias.

- **Fator de carga**

O conceito de fator de carga na geração de energia está na razão entre a real quantidade de energia entregue pela quantidade possível total em um dado período. Portanto se trata de um indicador de eficiência em que quanto mais próximo de um for o seu valor, mais eficiente é o sistema elétrico.

Relacionado a isso, o estudo de Sortomme et al. (2011) propõe soluções para eventuais problemas *overloading* e redução de eficiência e qualidade, consequentes do aumento de

demanda de energia para recarga dos veículos elétricos. Então, propõem uma relação entre o fator de carga, variação de carga e perdas que pode ser manipulada através do V1G e V2G.

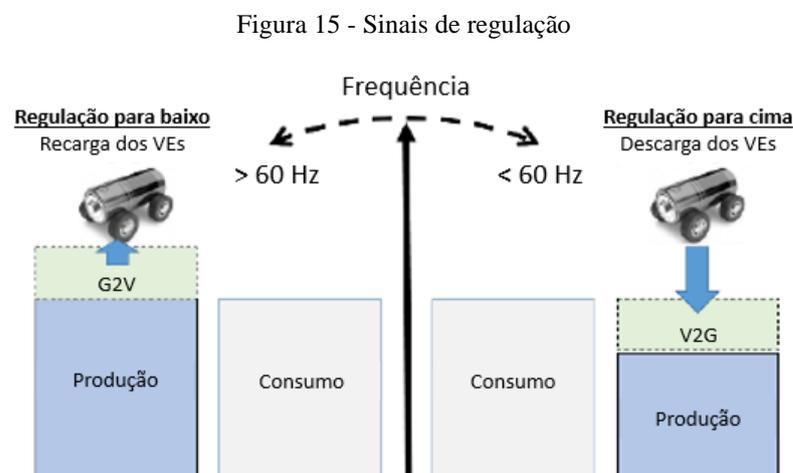
- **Regulação de frequência e voltagem**

Outra vantagem potencial a ser alcançada é a regulação de frequência, também denominada como resposta de frequência (*frequency response*), controle automático de geração, controle de frequência, entre outras; e voltagem da rede a partir do gerenciamento de recarga de veículos elétricos.

Usualmente tal regulação é obtida acionando geradores de resposta rápida, operação de alto custo, entretanto a flexibilidade de consumo e injeção de energia dos veículos elétricos pode ser vista como um conjunto de ferramentas que substitui a necessidade de investimento em equipamentos (como capacitores, transformadores, elementos de rede, etc.), além de seu tempo de resposta demonstrado, de dois a cinco segundos, inferior aos métodos tradicionais de regulação (EVEROZE,2018; SOVACOOOL et al., 2020).

O estudo de Zhang et al. (2018) propõe uma programação, por parte da distribuidora de energia, da combinação de potência ativa e reativa dos veículos elétricos para regular a frequência e voltagem da rede, além do potencial da distribuidora obter uma redução em seus custos de operação.

O texto de AMAMRA e MARCO (2019) detalha ainda que existe a “regulação para cima” no cenário em que a geração de energia é inferior ao seu consumo e, portanto, o fluxo de energia seria do veículo para a rede; e a “regulação para baixo”, situação contrário, em que a produção de energia é superior ao consumo, caso no qual o veículo é carregador para permitir a regulação, conforme exemplo da Figura 15.

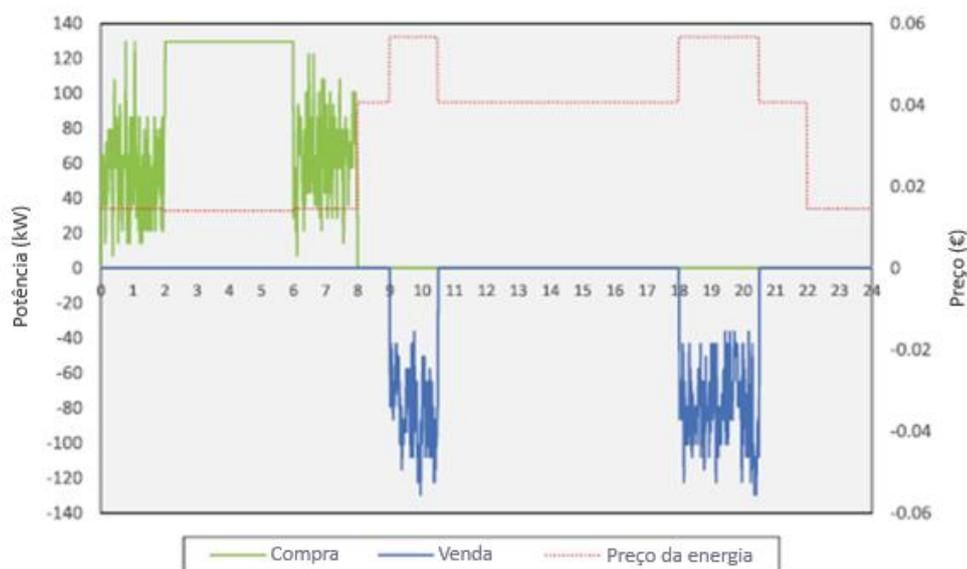


Fonte: Adaptado de AMAMRA e MARCO (2019).

- **Arbitragem**

A arbitragem não é um serviço prestado à rede, mas consiste na vantagem econômica voltada para o usuário do veículo com objetivo de discipliná-lo de forma favorável ao sistema de geração, distribuição e transmissão. Portanto, consiste no benefício da compra de energia de forma estratégica nos mercados em que há variação horária na tarifa. A Figura 16 apresenta um exemplo de compra e venda de energia armazenada ou fornecida pela bateria veicular conforme preço da energia elétrica.

Figura 16 - Exemplo de interação com a rede.



Fonte: Adaptado de MANZOLLI; TROVÃO; ANTUNES (2022).

Existe potencial para prestação de tais serviços pelos usuários de veículos elétricos uma vez que durante grande parte do dia, os veículos estão parados, ou seja, são milhares de dispositivos de armazenamento de energia disponíveis de forma capilar. De acordo com Li et al. (2019), 90% dos veículos estão estacionados durante o período de pico na Califórnia e, em geral, no Estados Unidos um veículo é dirigido em média apenas uma hora por dia. (AMAMRA; MARCO, 2019).

Tepe et al. (2022) informam que na Alemanha os veículos privados estão estacionados 97% do tempo e concluem que ao menos 90% dos veículos elétricos estão estacionados ao longo do tempo independentemente do local, e mais de um quarto, em casa.

Huang et al. (2022) pontuam ainda que os veículos privados estão mais aptos a participar deste serviço já que ônibus não estão disponíveis durante o dia, quando usualmente ocorrem os

picos. A partir destes dados, entende-se o V2G como uma abordagem promissora uma vez que existe grande disponibilidade de energia armazenada durante longos ou estratégicos períodos do dia.

### 3.2.PANORAMA INTERNACIONAL DE IMPLEMENTAÇÃO DO V2G

Diferente do cenário brasileiro, em diversos países o V2G já está em prática. Cronologicamente, o primeiro experimento físico do V2G foi com objetivo de regulação de frequência, conduzido por uma universidade de Delaware nos Estados Unidos em 2008 (EVEROZE, 2018). A seguir comenta-se brevemente o estado da arte e histórico de destaque nos principais locais onde a tecnologia é aplicada.

O estudo de Everoze (2018) identificou 50 projetos em desenvolvimento físico do V2G no mundo até o ano de 2018, sendo interessante o destaque de que metade deles estavam na Europa, 36% na América do Norte e 14% na Ásia. Devido ao domínio da tecnologia, 93% dos projetos envolviam a solução com carregadores CC. Apesar de maior tendência notada em prover energia para as edificações, os serviços mais ofertados às distribuidoras foram regulação de frequência e deslocamento de carga.

Cinco anos após o estudo mencionado, o número de projetos listados que envolvem desenvolvimento físico para uso específico subiu de 50 para 114 projetos em 25 países, com destaque para a Grã-Bretanha com o maior número de projetos, 25, seguidos por Holanda e Estados Unidos, ambos com 17 projetos. Dentre os principais serviços estão o deslocamento de carga, resposta de frequência, serviços às distribuidoras, arbitragem, *back up* de emergência e reserva de energia (V2G HUB, 2023a). A seguir resumir-se-á alguns projetos relevantes.

O projeto *Parker*, iniciado em 2016 na Dinamarca, tem relevância por se tratar do primeiro *hub* V2G completamente comercial. Suportado pela empresa NUVVE como agregador, que provia regulação de frequência e trading de energia no mesmo e para o próximo dia, o projeto também envolvia as montadoras Nissan (com os veículos Leaf e E-NV200, veículos 100% elétricos), Grupo FCA e Mitsubishi (com o veículo Outlander, híbrido *plug-in*), e a Enel com o fornecimento de carregadores CC com protocolo CHAdeMO. A estratégia deste projeto era cobrar um valor mensal do cliente para recarga e manutenção de veículos utilitários e diminuir estes custos com a receita do V2G, sendo as etapas agendadas pelos clientes.

Em seguida, apresenta-se o projeto *Redispatch V2G*, iniciado em 2018 na Alemanha, cujo objetivo era criar uma planta virtual de energia para reduzir as restrições de transmissão ligadas à geração solar e eólica, além de adiar investimentos na rede ao utilizar a frota do próprio operador de transmissão (composta pelos veículos Nissan Leaf e E-NV200) e carregadores CC

da EVTEC. Neste caso a distribuição geográfica era uma necessidade que o V2G conseguia satisfazer.

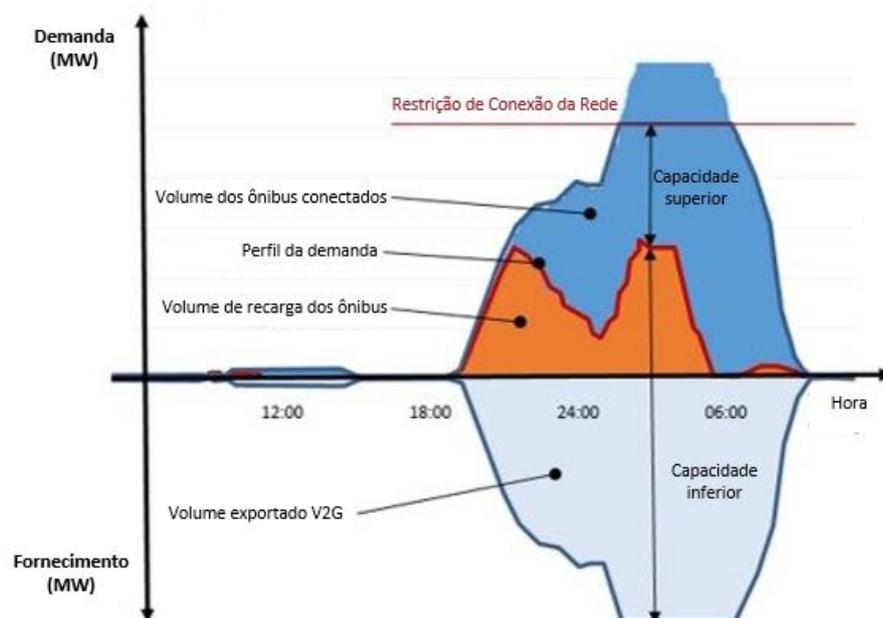
Dois projetos na Holanda são listados por serem pioneiros em atuações distintas. Um deles, denominado com *City-Zen* em 2014, é precursor ao oferecer serviços ao operador de distribuição, integrando a oferta com duas minivans comerciais, um veículo com hábito de direção irregular, outro com rotina de direção e por fim um veículo que participa de serviço de aplicativo para compartilhamento de carros (Mitsubishi Outlander, Nissan Leaf e E-NV200).

Já o projeto *Smart Solar Charging*, a partir de 2014, desbravou o teste do V2G com carregadores CA e o modelo de veículo Renault Zoe, além de usufruir a integração de recarga, injeção e geração fotovoltaica. Apesar do pioneirismo, a Renault manteve seu veículo em fase de testes para a bidirecionalidade do veículo associada à corrente alternada e o Renault Zoe elétrico disponível no mercado hoje (sem tecnologia V2G) teve sua saída de linha anunciada (BURGESS, 2022).

Menciona-se ainda o projeto *Grid Motion* como primeiro projeto de V2G desenvolvido na França, a partir de 2017, com objetivo de testar a capacidade de prover serviços de balanceamento à rede, além de trade de energia, com carregadores de CC da Enel (protocolo CHAdeMO), participação da NUVVE como agregador e veículos com funções comerciais Peugeot iOn e Citroen C-Zero.

Em Londres há destaque para o projeto chamado Bus2Grid iniciado em 2018 que, além de ser o primeiro de grande escala envolvendo ônibus em Londres, é apontado como um dos maiores locais de teste V2G existentes e seu objetivo é estudar os valores comerciais e sociais deste tipo de serviço, a fim de criar modelos de negócios e estruturas facilitadoras. Se trata de uma estação de energia virtual que conta com 28 ônibus elétricos da BYD, dos 100 disponíveis no pátio, capazes de injetar acima de 3MW na rede. O projeto envolve principalmente os serviços de regulação de frequência, *time shifting* e arbitragem, cujo perfil de recarga e injeção de energia previsto está apresentado na Figura 17 (SSE Energy Solutions, 2023b; V2G HUB, 2023a). O projeto calcula ainda que se a frota inteira de Londres, de 9.000 ônibus, fosse elétrica, seria possível alimentar eletricamente 150.000 casas (SSE Energy Solutions, 2023a).

Figura 17 - Perfil de recarga e V2G dos ônibus.



Fonte: Adaptado de SSE ENERGY SOLUTIONS (2023a).

Na Austrália, pode-se destacar o projeto *Realising Electric Vehicle-to-Grid Services* como o maior teste do país, iniciado em 2020, conta com 51 carregadores bidirecionais e Nissan Leafs. Sua intenção é demonstrar a viabilidade dos veículos proverem estabilidade à rede ao injetar e consumir eletricidade de forma estratégica, além de mapear as recomendações para desenvolvimento do V2G no país (BSGIP, 2022; ARENA,2023). Entretanto, Sovacool et al. (2020) pontuam a aplicação de V2G no país requer muito investimento adicional em infraestrutura, o que implica em dificuldade para esta alternativa.

Já no Estados Unidos, há destaque para a Califórnia que busca fontes de *backup* para os casos de corte de energia devido a sua recorrente exposição a eventos extremos, como ondas de calor intenso, incêndios florestais e tempestades de inverno (LA TIMES, 2023). Por exemplo, em setembro de 2022, período em que se experienciou ondas de calores, por volta de 2.000MW do suprimento de energia foram oriundos de recursos de energia distribuídos e de resposta de demanda.

Neste cenário, o estado é referência não só para ações de incentivo à eletrificação do transporte, como sua proibição de vendas de veículos à combustão a partir de 2035, mas também ao V2G, à exemplo do *roadmap* de integração entre veículo e rede traçado desde 2014 (COLTHORPE, 2022; ESCI, 2014).

Além disso, existe uma proposta em tramitação, através da SB N° 233, que propõe um fundo para infraestrutura bidirecional, testes avançados para a interoperabilidade e que todos

os novos veículos elétricos vendidos na Califórnia tenham a tecnologia embarcada para V2G a partir de 2027 (NUVVE, 2023a).

No estado também foi implementado o primeiro mecanismo de compensação de energia para clientes comerciais que praticam o V2G, de forma que os proprietários dos veículos recebem incentivos tanto para compensar o custo da frota, quanto para exportar energia à rede durante os picos de demanda (MAISCH, 2022).

Existem projetos pioneiros, como o *Torrance V2G School Bus*, iniciado em 2014 inicialmente para coletar e analisar dados da operação dos ônibus elétricos escolares e, mais tarde, para promover o V2B e os serviços de deslocamento de carga e regulação da frequência agregados pela Nuvve para duas escolas (V2G HUB, 2023b; NUVVE, 2023b; NREL, 2023).

Similarmente, o projeto *BlueBird School Bus V2G*, iniciado em 2017, utilizava 8 ônibus escolares com carregadores de 125kW CC da NUVVE além de contar com seu suporte como agregador (BLUE BIRD, 2021). Além disso, a iniciativa se estendeu e pode-se citar ainda a presença dos ônibus escolares bidirecionais no Colorado com carregadores de 60kW CC, onde se planeja a operação do ônibus ao longo do dia, o fornecimento de energia à rede das 17h às 21h e recarga após este período (BLUE BIRD, 2023). Uma das vantagens dos projetos que envolvem ônibus é que aqueles capacitados para tecnologia V2G se pagam rapidamente quando comparado aos modelos tradicionais à diesel (SOVACOOOL et al., 2020).

Importante mencionar ainda que na Califórnia, atualmente, esta aplicação está presente em três distritos escolares cujas frotas são agregadas em usinas virtuais para o Programa de Redução de Carga de Emergência de Verão da Califórnia (HAMMOND, 2022).

Além das fundamentais contribuições dos projetos mencionados para testar a viabilidade comercial da tecnologia, também surgiram lições e desafios a serem superados. Um deles, enfrentados em países como Alemanha, Dinamarca e Holanda é a dupla taxação da energia, pois há uma barreira regulatória de o armazenamento não ser reconhecido como um mecanismo de comercialização e prestação de serviço.

Outra dificuldade encontrada foi a burocracia e a não especificidade de requisitos de aceitação para se possibilitar o processo de interconexão, por exemplo no Reino Unido tal processo pode levar até 6 meses. Isto aponta para a necessidade de aprimorar e enriquecer o procedimento de conexão à rede específico para este ativo, já que existem diferentes veículos e carregadores com seus respectivos desempenhos.

A Tabela 3 sintetiza diferentes e possíveis caminhos de penetração do V2G, e sua relação com outros aspectos como nível de penetração das fontes renováveis, rede tradicional e desvantagens. Noel et al. (2019) pontuam que em 2019 a tecnologia permanecia em um ponto

básico e, de fato pelos exemplos de projetos abordados, o nível de aplicação é baixo a dias de hoje. É fato que os caminhos e consequentes níveis de desenvolvimento em cada localidade dependerão do apoio e subsídio local. Contudo é importante discutir que não necessariamente o nível mais avançado de V2G deve ser buscado. Tal condição dependerá da configuração da matriz elétrica local, necessidades da rede e dos usuários.

Tabela 3 - Caminhos para o V2G.

Cenário	Nível de energia renovável	Papel da Energia Convencional	Papel do V2G	Desvantagens potenciais
Reação conservadora	Nenhum a baixo	Permanece como fator dominante no mercado de eletricidade	Nenhum a baixo	Retorno aos carros à combustão ou fontes não elétricas e inapropriadas para o V2G, como o biocombustível
V2G permanece como um nicho	Baixo a médio	Permanece como fator primário no mercado de eletricidade	Em grande parte, permanece como ator de serviço auxiliar	Rede perde uma forma barata de armazenamento, potencialmente, menor penetração de VEs
Alto nível de V2G, rede fóssil	Baixo	Permanece como fator primário no mercado de eletricidade	Domina os serviços ancilares no mercado, atua como armazenamento backup para renováveis, mas de forma limitada	Capacidade do V2G é subutilizada, poderia ser mais usada para energia renovável
Alto nível de V2G, renováveis em uma rede tradicional e limpa	Médio a alto	<i>Backup</i> de capacidade para energia renovável, mas raramente usado	Provê serviços ancilares e frequentemente uma variedade de armazenamento e flexibilidade para energia renovável, altas taxas de utilização	Rede elétrica é altamente dependente do V2G, e corre o risco de interferir nas demandas de direção dos usuários de VEs (ou sem confiança)
Rede super inteligente	Alto	Papel limitado já que a maior parte da eletricidade é renovável	Foca no balanceamento, serviços ancilares e backup de emergência, é um dos atores da rede inteligente	O sistema V2G recebe menos benefícios econômicos, mas a sociedade se beneficia mais, a rede superinteligente é difícil de implementar

Fonte: Noel et al. (2019).

As proposições dos parágrafos anteriores introduzem um dos objetivos deste trabalho que é a discussão dos desafios para a implementação do V2G, portanto aprofundar-se-á neste tema no próximo tópico.

## 4. DESAFIOS PARA ALAVANCAGEM DO V2G

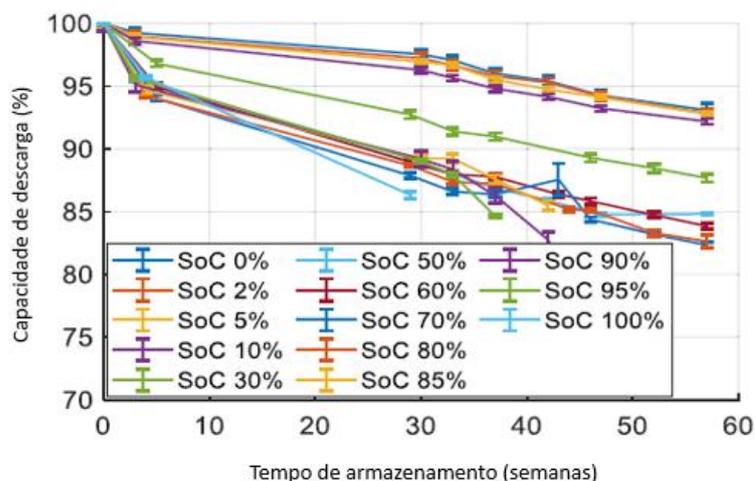
### 4.1. ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E SOCIAIS

Apesar de suas vantagens, quando se trata de bidirecionalidade no fluxo de recarga, uma preocupação recorrente é a degradação da bateria do veículo que é proporcional ao aumento de ciclos utilizados e, portanto, pode ser acelerada pelos ciclos adicionais relacionados ao V2G.

Ao adentrar nesta temática, é importante frisar que a vida útil da bateria depende de fatores como temperatura do ambiente, sistema de aquecimento e resfriamento, estado de carga, profundidade do ciclo, taxa de carregamento, entre outros (BUI et al., 2021). Por exemplo, um estudo nos Estados Unidos apontou que veículos elétricos de moradores de locais de clima quente experienciaram maior degradação de bateria que de demais locais (JONES et al., 2021).

A Figura 18 permite a análise visual de um experimento que aponta justamente a redução da energia armazenada devido à ação do tempo ao manter as células a 60°C mesmo sem uso com diferentes estados de carga.

Figura 18 - Capacidade de recarga restante.



Fonte: Adaptado de BUI et al. (2021).

Outro exemplo interessante é o carregamento sem controle: em testes de Saldaña et al. (2019), mesmo que em menor amplitude do que casos de V2G, foi apontado o aumento de cerca de 15% na degradação da bateria; já no estudo de Manzolli et al. (2022) foi verificada maior degradação na recarga sem controle do que na aplicação do V2G.

Ciclos pequenos são mais favoráveis à vida útil da bateria do que ciclos profundos, já que grandes variações no estado de carga da bateria podem prejudicar seu catodo e, conseqüentemente, gerar perdas. Desta forma, motoristas que têm modo mais “intenso” de

condução e “estressam” mais as baterias proporcionam sua maior degradação (SALDAÑA et al., 2019).

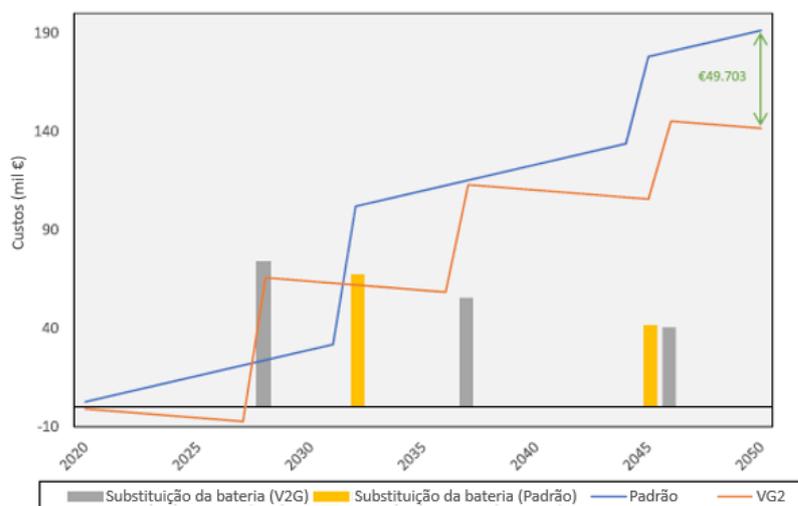
Outro estudo demonstrou que a ação do ciclismo na bateria em um modo de direção suave (denominado para o caso que demanda baixa energia) é menor do que a ação do tempo em sua degradação, que por sua vez tem impacto negativo considerável quando o estado de carga de descanso é alto. Já no modo de direção agressivo não há diferença abundante entre os dois tipos de degradação já que a bateria é muito utilizada e tem pouco tempo de descanso (BUI et al., 2021). Uma vez que no caso do V2G se recomenda que a profundidade de recarga seja inferior a 60%, o modo de direção pode ser mais prejudicial à bateria do que a participação do V2G de forma suave (SALDAÑA et al., 2019). Em complemento, cita-se um estudo que mostrou que limitar a profundidade do ciclo de 90% para 70% pode aumentar em até 10 meses a vida útil da bateria ao prover o serviço de regulação de frequência (JONES et al., 2021).

Portanto é preciso pontuar que o V2G pode ser um fator adicional de degradação de bateria, porém não o único, e que como os demais pode ter restrições de aplicação para limitar sua ação na bateria. Além disso, a receita proveniente da participação do V2G pode compensar os custos atrelados à degradação da bateria, que segundo Saldaña et al. (2019) pode ser reduzido em uma escala de 10 vezes.

Um fato é que tanto a degradação da bateria quanto a receita proveniente ao proprietário do veículo pelo serviço prestado à rede devem entrar no cálculo do TCO, o que pode auxiliar na indicação de viabilidade ou não para condições específicas.

Com objetivo de exemplificar este conceito, a Figura 19 simula uma situação nas condições aplicáveis à Portugal para ônibus elétricos que participam do V2G, em que a vida útil da bateria é assumida como 12 anos sob utilização comum, entretanto quando sujeita à bidirecionalidade, cairia para 8 anos. O caso também considera que o custo de substituição de baterias diminuirá ao longo dos anos. Portanto, por mais que haja necessidade de custo precoce com a troca da bateria, o modelo conclui que ao final de 30 anos ainda haverá vantagem financeira devido às bonificações recebidas pelos participantes do V2G, se o preço da bateria diminuir conforme previsto. Sob esta análise Manzolli, Trovão e Antunes (2022) compreendem que o sucesso do V2G está mais ligado à queda do custo da bateria do que aos ajustes de preços de energia mais favoráveis.

Figura 19 - Comparação de TCO padrão e cenários de aplicação do V2G.



Fonte: Adaptado de MANZOLLI, TROVÃO; ANTUNES (2022).

O texto de UDDIN et al. (2018), por sua vez, propõe que a aplicação do V2G pode, na verdade, aumentar a vida útil de baterias de lítio íon. Em contrapartida, outros autores ainda demonstram sua preocupação sobre se o custo atrelado à degradação da bateria realmente é coberto pela receita relacionada ao V2G (LI et al., 2019).

Desta forma, entende-se o tema de degradação da bateria como um ponto de atenção uma vez que não há um consenso sobre o real impacto do V2G neste parâmetro e que pode levar a não aceitação do modelo por parte de usuários que temem a deterioração de seu bem. Se mostra importante o foco em pesquisas sobre o efeito deletério do V2G nas baterias e em definições de mecanismos que mitigam esse risco, como o texto de AL-OBAIDI et al. (2020) que aponta a aplicação de penalidades atreladas a profundidade de descarga e níveis de reserva a fim de evitar severa degradação da bateria.

Outra dificuldade de desenvolvimento do V2G a ser refletida é a própria dependência da mobilidade elétrica. A partir das estratégias de empresas e montadoras já anunciadas, pode-se inferir que a eletrificação do transporte é inevitável, ao menos no nível de veículos leves, entretanto, conforme pontuado por ARENA (2023), a “velocidade, forma e extensão” desta transição está indefinida, bem como a integração com a rede.

De forma complementar ao processo de eletrificação, aponta-se a própria limitação de veículos que possibilitam a bidirecionalidade. No contexto global, hoje apenas os modelos Nissan Leaf, Nissan E-NV200, Mitsubishi Outlander suportam tal condição e estão disponíveis comercialmente, entretanto apenas a Nissan permite aplicação do V2G dentro da garantia (JONES et al., 2021).

No cenário brasileiro a situação é ainda mais crítica uma vez que, em 2023, o modelo do veículo 100% elétrico Nissan Leaf é o único disponível no mercado com tal tecnologia embarcada, cuja frota registrada é de 1.061 veículos em março deste mesmo ano (CANHA, 2023; SENATRAN, 2023). Esta situação configura um nicho e uma barreira de entrada a consumidores que preferem comprar veículos de outras montadoras por seu bom histórico de relacionamento por exemplo (Sovacool et al., 2020).

Além disso, atualmente os modelos de carregadores CC CHAdeMO são os únicos comercialmente disponíveis e que permitem a bidirecionalidade (UK ORG, 2022), o que dificulta a ampliação de adesão ao V2G uma vez que o conector CCS2 é o mais difundido na Europa e Brasil (ENTSO-E; 2021), além de se entender que para atingir a interoperabilidade da rede de recarga bidirecional, é importante o desenvolvimento e adoção de padrões tanto para a infraestrutura de recarga quanto para a comunicação.

Contudo, acredita-se que esta realidade mudará em breve, uma vez que uma série de montadoras já anunciaram lançamento de modelos de veículos capacitados para o serviço e com conector CCS, conforme resumido na Tabela 4. Com a execução destes anúncios há perspectiva de maior penetração no mercado pelo aumento da oferta, bem como consequente redução de preços. Outra opção para o V2G seriam os carregadores em CA, que por mais que venham sendo testados fisicamente conforme projetos internacionais mencionados, ainda não são aplicados comercialmente.

Tabela 4 - Modelos de veículos elétricos com V2G anunciados.

<b>Montadora</b>	<b>Modelo</b>	<b>Conector Padrão</b>
Hyundai, Kia	Kia EV6, Hyundai Ionic 5	CCS
Ford	Ford F-150 Light	CCS
Volkswagen	A partir de 2023 com baterias acima de 77kWh	CCS
Volvo, Polestar	Volvo EX90, Polestar	CCS
BYD	BYD Atto 3	CCS
Lucid	Lucid Air	CCS
Rivian	Anunciou tecnologia V2G para modelos futuros	CCS

Fonte: Adaptado de Canha (2023).

Apesar da promessa de desenvolvimento, é fato que hoje há poucos veículos habilitados para o V2G. Ainda que não se trate de um entrave técnico e o V2G se apresentar como uma tecnologia de armazenamento de baixo custo por sua funcionalidade adicional para o sistema elétrico (o custo principal está ligado ao veículo e sua função de locomoção) quando comparada a outras, existem custos complementares para viabilizar tais atribuições. Conforme já

comentado, o veículo elétrico em si é caro para o proprietário, e o custo adicional para garantir a bidirecionalidade é um agravante: segundo Jones et al. (2021), um veículo que permite a bidirecionalidade custa \$1.000 mais caro do que aquele que não permite.

Com olhar sob os carregadores é importante salientar que além da baixa disponibilidade comercial e problemas de performance, os carregadores bidirecionais são mais que cinco vezes mais caros que os inteligentes unidirecionais (EVEROZE; 2018). Uma pesquisa com participantes da Dinamarca, Finlândia, Islândia, Noruega e Suécia apontou que a população da Dinamarca, Islândia e Suécia não estaria disposta a pagar mais no veículo elétrico pela capacidade de bi direcionalidade (JONES et al., 2021).

Diante da baixa atratividade para o usuário, é reforçada a importância de posicionamento do cliente no centro do desenvolvimento de tecnologias e padrões que aqueçam e assegurem o mercado, sendo imprescindível a melhoria nas definições de comunicação entre carregador e veículo, que impactam na experiência do usuário.

Um avanço nesta temática foi a definição do padrão internacional ISO 15118-20 (2022), que preenche lacunas da norma IEC 61851-1 que, por sua vez, dispõe do carregamento condutivo de veículos elétricos, mas possui a restrição de não tratar da recarga bidirecional.

A ISO 15118-20 (2022) delibera sobre a interface de comunicação entre veículo e rede, dispondo de parâmetros que apoiam a operação do veículo elétrico e do carregador conforme padrões da rede, buscando a segurança e padronização das conexões. É importante ressaltar que o protocolo ISO 15118 e CHAdeMo (existente anteriormente) não são compatíveis, desta forma o segundo protocolo mencionado vem procurando se adaptar ao primeiro (CUNHA, 2023; SCALE, 2023).

Porém ainda há necessidades de desenvolvimento nos protocolos de comunicação entre as estações de recarga e sistemas de gerenciamento. Atualmente o mais comum é o OCPP 1.6 que provê funcionalidades para o carregamento inteligente, mas não suporta que informações do veículo sejam passadas para a estação de recarga e seu sistema de gestão (em inglês, *Charging Station Management System*, CSMS, e *Electric Vehicle Supply Equipment*, EVSE, respectivamente).

A sua nova versão, OCPP 2.0.1 já permite tal troca de mensagens. Enquanto a proposta da versão OCPP 2.1 é prever a frequência e voltagem local para os modos de operação em sistemas CC e CA, o que facilita o controle sobre as sessões de prestação de serviço à rede.

No caso do V2G com carregador CC, onde se situa o inversor, os códigos de rede se aplicam diretamente à estação de recarga. Já especialmente para o V2G CA, em que o inversor se situa no veículo, a aplicação do OCPP 2.1 e ISO 15118-20 (2022) é interessante pois permite

que o carregador entregue funcionalidades de um inversor inteligente ao enviar comandos de energia ativa ou reativa ao veículo elétrico (SCALE, 2023).

Alterando a temática de análise dos desafios para promoção do V2G, assim como observado nas lições dos países que já aplicam esta tecnologia, dentre outros autores da literatura, Kester et al. (2018) também apontam preocupação com o impacto da dupla taxação na viabilidade do serviço. Uma vez que o participante do V2G responde tanto à figura de consumidor, quanto de produtor, pode existir a obrigação de pagar impostos no consumo de energia para recarga e na venda, pela injeção de energia na rede.

O relatório da ENTSO-E (2021) pontua a importância de se aplicar impostos apenas à quantidade de energia consumida pelo usuário final, através de sistema de medição e liquidação adequado. O Reino Unido pode ser tomado como referência para solução desta problemática já que o regulador de energia, OFGEM, vem incluindo o armazenamento em mudanças regulatórias em termos de eletricidade que desviam da dupla taxação (EVEROZE, 2018).

Uma pesquisa apresentada por OFGEM (2021) aponta que dois terços dos proprietários de veículos elétricos considerariam o carregamento inteligente para evitar tarifas mais caras. Contudo, para o bom funcionamento do V2G é necessário mais do que o interesse financeiro, mas também a disrupção da relação do usuário do veículo elétrico com a concessionária de energia.

Sendo assim, o proprietário que, até então, era consumidor de energia elétrica, na posição de cliente apenas, ganha um novo papel. Ele se torna um prosumidor, pois passa a oferecer serviços ancilares a outros agentes. Este esquema vem sendo modelado em diferentes regiões do mundo, e tem se destacado a importância do input no usuário para estabelecer as condições deste serviço prestado. Por exemplo, AL-OBAIDI et al. (2020) descrevem sobre opções de contrato online em que o usuário escolhe aquele que lhe convém dispendo certa quantidade de energia, período de recarga e preço a ser fornecido.

Entretanto, além da valorização das necessidades do usuário, é importante versar sobre quais serão suas responsabilidades e quais mecanismos garantirão que elas sejam cumpridas uma vez que o sistema nacional passa a confiar e demandar seu serviço. Mesmo que já se tenha discutido a atratividade do V2G aos usuários pelo fato dos veículos não estarem em uso durante grande parte do tempo, uma das principais incertezas deste sistema é a real disponibilidade dos veículos, já que os serviços ancilares serão possíveis apenas se houver suficientes veículos à disposição para a aplicação e com estado de carga satisfatório (Aguilar-Dominguez et al., 2022).

Esta preocupação está atrelada à troca de papéis do consumidor para prosumidor que contrasta com a percepção de conveniência e associação existente entre veículo e liberdade do

condutor, uma vez que o condutor deverá respeitar os períodos de fornecimento acordados (JONES et al., 2021). Portanto, questiona-se o real interesse do usuário nesta alteração de atribuições, o ganho financeiro com a prestação de serviços e arbitragem superaram a limitação de sua liberdade? Como serão definidos os limites de responsabilidade? Quais mecanismos o garantem?

É possível realizar estimativas por dados de tráfego em determinados trechos. Entretanto, podem ocorrer saídas inesperadas de veículos conectados. Estudos apontam que a mitigação da dependência e desconfiança do cumprimento da responsabilidade assumida pelo operador de veículo elétrico deve ocorrer pelo aumento de números de veículos disponíveis, com melhor solução se estiverem integrados sob operação dos agregadores. WANG et al. (2013) dispõe sobre a necessidade de contratos com centenas de milhares de veículos, que permitiria assumir uma constante para percentual de saídas não programadas de forma a não prejudicar o sistema.

Neste contexto, é reforçada a necessidade de definição da atuação e integração entre agregadores, distribuidoras e usuários, bem como estabelecimento de normas para reger tais relações. Portanto, além das barreiras e indefinições regulatórias, o agregador tem o desafio de captar clientes para compor o serviço a ser prestado, e ainda reter tais usuários para manutenção do V2G em níveis de oferta razoáveis.

## 4.2. ESTADO BRASILEIRO E SEU POSICIONAMENTO FRENTE AO V2G

### 4.2.1. *Regulação*

No Brasil o maior obstáculo ao V2G está relacionado à própria regulação inexistente no país. A Resolução Normativa n.º 1000 (ANEEL, 2021c) é um instrumento que define as regras, direitos e deveres de agentes envolvidos no serviço de distribuição de energia elétrica (consumidores, geradores, distribuidora e agentes importadores ou exportadores).

Dentre suas disposições sobre conexões de unidades consumidoras à rede, sistemas isolados, uso do sistema de distribuição, meios de pagamento de energia elétrica, procedimentos irregulares, ressarcimento de danos elétricos, serviços e atividades acessórias e redes particulares, há um capítulo designado às instalações de recarga de veículos elétricos, onde o artigo 555 proíbe a injeção de energia na rede oriunda de veículos elétricos, bem como a participação no sistema de compensação de energia elétrica de geração distribuída. O V2H, no entanto, é permitido uma vez que a norma menciona a possibilidade de fluxo bidirecional desde que limitado a mesma unidade consumidora.

Julga-se importante neste momento o esclarecimento do conceito de geração distribuída. Trata-se da possibilidade de o próprio consumidor produzir energia, de fontes renováveis ou cogeração qualificada. Existe ainda uma divisão entre micro e minigeração distribuída, em que na primeira, a central geradora deve ter potência instalada de até 75 quilowatts (kW), enquanto na segunda a potência deve ser maior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW (ou 5 MW em casos específicos) (ANEEL, 2023b; 2023c).

Atualmente, a fonte predominante no país é a solar, uma vez que, tomando como referência o mês de maio de 2023, de 1.928.719 unidades geradoras, 1.928.030 eram de sistemas fotovoltaicos (ANEEL, 2023a).

Em caso de geração superior ao consumo, existe a possibilidade de injetar o excedente produzido na rede de distribuição a fim de ser computado no Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). Desta forma, são registrados créditos na fatura de energia, que podem abater o consumo em até 60 faturas posteriores, no entanto esta compensação deixou de ser integral no início de 2023.

A mudança mencionada envolve a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) que se divide em Fio A e Fio B, logo para unidades de autoconsumo remoto superiores a 500kW e geração compartilhada onde um consumidor detém de pelo menos 25% dos créditos, há necessidade de pagamento de 100% da TUSD Fio B + 40% da TUSD Fio A + Tarifa Social de Energia Elétrica (TFSEE) + P&D e Eficiência Energética durante o período de transição. Para demais unidades será cobrado um percentual da TUSD Fio B que inicia em 15% em 2023 e aumenta até 90% em 2028 e para os anos seguintes o SCEE fica sujeito às definições da ANEEL (ANEEL, 2012; BRASIL, 2022).

Dentro do mercado de energia solar, existe ainda a modalidade de geração compartilhada em que é possível que diferentes consumidores, em locais e com CNPJ/CPF distintos, usufruam dos créditos de uma usina de geração distribuída. Para isso é necessário que se “unam” através de um consórcio ou cooperativa (NETTO; JUNIOR, 2022).

Neste contexto, aponta-se como uma sensibilidade da RN n.º 1.000 o fato de ela não conseguir garantir que não haja injeção de energia na rede por parte de clientes que possuem sistemas fotovoltaicos em suas edificações. Isto porque os usuários com geração distribuída já possuem medidores bidirecionais, ou seja, que contabilizam a energia fornecida pela unidade consumidora à rede, o que torna viável tal injeção. Como estes equipamentos não fazem distinção da origem da eletricidade, seja por geração solar, seja por armazenamento na bateria de um veículo, se houver excedente de energia ela poderia ser injetada na rede.

Nas demais edificações, de fato, o V2G não é aplicável uma vez que os medidores analógicos não contabilizam a injeção e os digitais contabilizam a injeção como consumo. Portanto, por mais que a norma proíba, o V2G pode acontecer no Brasil sem o conhecimento da distribuidora e dos órgãos reguladores.

Ainda em termos de geração distribuída, destaca-se que a resolução n.º 1000 orienta que, em caso de interesse, a unidade consumidora deve solicitar parecer de acesso à distribuidora que, por sua vez, pode negar a conexão que possibilitaria a injeção de energia na rede. Portanto, se a injeção de energia na rede por geração distribuída ainda não é direito de todos os consumidores, tem-se um indicativo de uma longa jornada até a permissão do V2G, que possui incerteza atrelada maior do que o sistema mencionado.

Apesar do panorama proibitivo apresentado até aqui, a ANEEL (2021a) abriu uma nota técnica para “tomada subsídios para o recebimento de contribuições sobre propostas de modelos regulatórios para a inserção de recursos energéticos distribuídos” incluindo o V2G, portanto entende-se que existe uma movimentação para preparação e liberação deste tipo de operação.

Em suma, mesmo que haja expectativas de desenvolvimento no futuro, é um fato que barreiras regulatórias existem. O setor de energia é densamente regulado e, especialmente no Brasil onde a liberalização de mercado ainda está em seu início, percebe-se a falta de flexibilidade e adaptação aos serviços e ativos distribuídos disponíveis no mercado, que são diversos, em escala de quilowatt, situados “por trás” dos medidores e menos controláveis, como pontua Everoze (2018).

Este posicionamento indubitavelmente dificulta o desenvolvimento de players no mercado que acelerariam o desenvolvimento do V2G. É certo que para liberação deste tipo de serviço são necessários estudos de impactos na rede, da necessidade e adequação dos serviços ancilares oriundos do V2G, porém à medida que não se permite tal prática, pode crescer o fornecimento não regulamentado.

Desta forma, aponta-se necessidade de resposta da ANEEL regulamentando esse serviço para que ele ocorra de forma ordenada e legal, definir métodos de remuneração ou compensação do serviço e instruir os agentes do setor.

#### 4.2.2. *Projetos existentes*

Apesar da RN n.º 1000, existe a permissão da ANEEL para pilotos de V2G que participam de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Um deles envolve a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e a distribuidora COPEL que utilizam do carregador Quasar da marca Wallbox para ensaios em laboratório (CANHA, 2022).

O outro envolve a CPFL Paulista, autorizada pelo Despacho n.º 756 durante o período do Projeto CS3060 aprovado pela Chamada n.º 22/2018, com o intuito de compor um Laboratório Real de Mobilidade Elétrica para coletar dados sobre diversas aplicações associadas à mobilidade elétrica, o que inclui o V2G (CARVALHO, 2018). Para este projeto também fica determinado que a energia injetada na rede não deve ser utilizada com créditos para unidades consumidores no SCEE, além da necessidade de envio de relatórios semestrais contendo resultados sobre períodos e quantidade de energia utilizada para recarga e injeção, ajustes necessários no sistema de proteção da unidade e da distribuidora, análises de impacto na rede e sugestões para a RN n.º 1.000 (ANEEL, 2021c).

Apesar de restrito para pesquisas, este tipo de projeto se mostra interessante pois aumenta e fortalece o repositório de informações nacionais, além de contribuir para mudanças regulatórias locais.

#### 4.2.3. *Estrutura tarifária*

Conforme discutido até aqui, o V2G é um mecanismo contribuinte para o balanceamento de demanda e oferta de energia, mas que também depende da disposição do usuário.

Além do fato de as tarifas de energia serem a forma mais utilizada para mudar o padrão de seu consumo (JONES et al., 2021), as considerações de viabilidade financeira para o usuário praticar a arbitragem via V2G condicionam a existência de um cenário de preço horário, com diferenças de valores estratégicas nos intervalos (necessidade de atratividade com razão entre valor da energia em horário de pico e fora de pico).

Contudo, diferente de países como Austrália, Noruega, Holanda, Dinamarca, Reino Unido e outros, esta não é uma realidade brasileira em sua totalidade, apenas para clientes elegíveis e optantes pelo Mercado Livre de Energia (ABRACEEL, 2021). Este caso é configurado quando o cliente deixa de comprar energia da distribuidora local e tem a opção de escolher seu fornecedor, firmando contratos bilaterais com condições específicas de quantidade, valor e prazo. Assim, a depender do cenário de contratação, existem preços horários. A seção 5.2 deste trabalho detalha o funcionamento deste ambiente.

No Mercado Regulado de Energia não existem tarifas para todas as horas de um dia, mas para horas de alguns períodos. Para clientes do grupo B (unidades consumidoras atendidas em baixa tensão) existe a opção de adesão à Tarifa Branca, modalidade que possui três diferenciações de valores de energia conforme períodos de ponta, fora de ponta e intermediário. Estes horários podem ter diferença de uma hora conforme cada distribuidora de energia,

entretanto, para fins de conhecimento, informa-se que na área de concessão da CPFL Paulista, por exemplo, o horário de ponta corresponde ao período entre 18h e 21h, o intermediário, ao das 16h às 18h e das 21h às 22h, e o fora de ponta ao das 22h às 16h (CPFL, 2023). Contudo, esta estrutura é recente no país, vigente apenas a partir de 2020, e considerada ainda tímida por sua pequena amplitude dos diferentes preços e pequena quantidade de intervalos de diferenciação (SILVA, FRANCATO, PINHEIRO, 2023).

Já para os clientes do grupo A (atendidos em alta ou média tensão ou por rede subterrânea), existe a tarifação horo-sazonal verde e horo-sazonal azul. Na primeira existe um valor para a demanda, sem diferenciação horária, tarifa para consumo de energia em período de ponta e outra tarifa para o consumo durante o posto de ponta. Já na segunda modalidade há tarifas diferentes para os períodos de ponta e fora de ponta tanto para demanda quanto para consumo (ANEEL, 2021c).

A necessidade de tarifa dinâmica e que reflita os custos da eletricidade é reconhecida, por exemplo, pelo Reino Unido que em 2021 anunciou a intenção de implementação de tarifas de meia hora para o setor industrial (OFGEM, 2021).

Portanto, mesmo em um cenário em que a legislação permitisse o V2G, o setor elétrico brasileiro ainda seria incipiente e pouco atrativo para adesão em larga escala deste tipo de serviço, o que demanda a integração de diversos agentes para promoção do mercado.

#### *4.2.4. Relação entre agentes*

Até então, muito se mencionou sobre a interface entre usuário e distribuidora para promoção do V2G. Entretanto, há diversos agentes relacionados a esse serviço durante toda a cadeia de suprimentos, cuja mobilização também é fundamental para a alavancagem do V2G.

Sovacool et al. (2020) apontam 12 tipos de partes relacionadas que serão comentadas a seguir, sendo elas fabricantes do mercado automobilístico, fabricantes de bateria, operadores de frotas, operadores de transporte público, proprietários de veículos, geradores convencionais de energia, geradores independentes de energia renovável, operadores de distribuição e transmissão de energia, agregadores, fornecedores de serviços de mobilidade como serviço (MaaS), provedores de mercado de segunda mão e de mercado secundário.

Os fabricantes de bateria são responsáveis por seu desenvolvimento, melhoria de performance, fabricação e distribuição, que são essenciais para o desempenho do veículo e dos serviços prestados à rede, ao considerar os requisitos adicionais para promoção deste. São atores que atuam diretamente com os fabricantes de veículos. Por exemplo, existe o movimento de

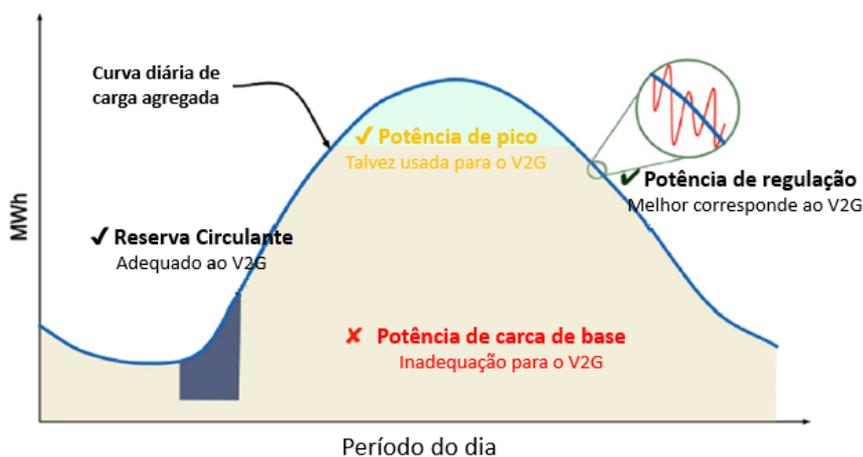
montadoras de veículos investirem em produção própria de baterias, como é o caso da Nissan que criou uma joint venture em 2007 com a NEC.

Como já comentado, a injeção de energia na rede impacta as necessidades do agente posicionado no início da cadeia de suprimento de energia: o gerador convencional. A Figura 20 resume alguns serviços, já descritos neste texto, indicados para o V2G que se relacionam com a geração. Por exemplo, não é indicado que o V2G substitua o gerador convencional para ser a fonte base de suprimento de carga, já que se trata de uma demanda contínua de longa duração e com custo competitivo.

Apesar da potência demandada no período de pico ser alta, ela não é constante, pelo contrário, tem baixa frequência, logo, neste caso o V2G pode aliviar a atuação de geradores convencionais, evitando a aceleração em curto período de certa usina de carvão ou à gás, por exemplo. Apenas destaca-se a ressalva de como se trata de uma necessidade intensa de energia, é preciso cuidado quanto a possibilidade de a capacidade do veículo elétrico ser esgotada. Para o serviço de capacidade circulante, existe a mesma ressalva.

Ademais a regulação de frequência é fortemente indicada já que se trata de um serviço contínuo de rápida resposta, mas de capacidades energéticas limitadas, o que é plenamente atendido pelos veículos elétricos (SOVACOOOL et al., 2020).

Figura 20 - Serviços indicados para o V2G.



Fonte: Adaptado de Sovacool et al. (2020).

A fim de exemplificar as vantagens do V2G aos geradores e operadores de rede, menciona-se um estudo realizado nos Estados Unidos que apontou que com *market share* de 60% de veículos elétricos, eles poderiam apoiar empresas de utilidade a recuperar seus custos fixos ao gerarem renda em horários fora de pico de forma mais rápida do que se essas empresas

não vendessem energia para tais veículos. O estudo aponta ainda que para a empresa Cincinnati Gas & Electric (CGE), geradora da sua própria energia, seria possível alcançar uma redução na tarifa de 0,4 centavos de dólar por kWh, enquanto para a empresa San Diego Gas & Electric (SDGE), comerciante, distribuidora e transmissora de energia, cinco centavos de dólares. Isto permitiria o aumento de investimento em eficiência da operação, o que diminui custo e, conseqüentemente, o preço para o cliente (SOVACOOOL et al., 2020).

Para os geradores independentes de energia renovável o V2G é uma possibilidade de somar benefícios aos já obtidos pela geração distribuída, já que o V2G oferece uma fonte de backup para sua geração.

É importante recordar a importância dos operadores de frotas, uma vez que eles agregam diversos veículos para oferta do V2G que se tornam uma entidade mais atrativa de se trabalhar, do que com centenas de unidades diferentes. Logo há oportunidade a ser explorada por diversos segmentos como taxis, ônibus escolares, clubes, estacionamentos, etc.

Em específico, para os operadores de transporte público existe uma oportunidade de integração entre diferentes modais: o usuário de um veículo elétrico que dirige até o embarque de transporte público, via trem, ônibus ou outro, poderia deixar seu veículo estacionado até seu retorno praticando o V2G. Neste caso percebe-se que existe uma complementariedade entre o transporte público e privado. Além dessa possibilidade, os próprios ônibus elétricos são potenciais elementos para promoção do V2G em momentos de não utilização para fins de transporte, sua frota no mundo em março de 2023 era de 800.000 unidades (VEPH e VEB) (IEA, 2023).

Já os fornecedores de MAAS podem oferecer diversos serviços combinados entre si, que além de estimular a mobilidade elétrica, podem promover o V2G, como exemplo, cita-se o compartilhamento de carros cuja utilização também pode prever a injeção de energia na rede em momentos de inutilização para transporte.

A existência do V2G implica na necessidade de troca de informações entre os agentes mencionados anteriormente e os agregadores. Contudo, os agregadores precisam ser coordenados e regulados também. Neste caso aponta-se novamente para a necessidade de normas que orientem esta interligação, mas também da definição de órgãos responsáveis por reger os serviços prestados por esses agentes.

Por mais que esta forma de armazenamento não seja o objetivo de estudo deste trabalho, a mobilidade elétrica e o V2G constroem oportunidades para segundo uso de baterias, e, portanto, envolvem os usuários de segunda mão. Isto porque depois de findada a vida útil da

bateria para finalidade automotiva, ainda é possível utilizá-la e eventualmente gerar receita com sua capacidade de armazenamento.

Além de segunda vida, existe também a necessidade de reciclagem, por exemplo, na Europa é apontada uma grande oportunidade de reciclagem das baterias: com uma projeção de que em 2040 haverá 5,4 milhões de baterias veiculares em seu final de vida que podem gerar 12.000 empregos para coleta e desmonte, além de outros 3.000 para reciclagem (SOVACOOOL et al., 2020).

Ademais das oportunidades associadas à bateria, também haverá revenda dos próprios veículos e outros componentes, sendo elas relacionadas a geração de emprego, mas também de permeação no mercado de modo que, gradualmente, informações específicas dos materiais com tecnologia para o V2G tendem a se popularizar.

Por fim os provedores de mercado secundário possuem papel muito importante para consolidação do V2G, são aqueles que prestam “serviços de software e segurança da informação, proteção de privacidade, financiamento de terceiros, marketing e publicidade, back office, programas para operação de carregador e similares” (SOVACOOOL et al., 2020).

Neste tópico, ao comentar as atuações e pontos de atenção dos principais agentes associados ao V2G, percebe-se aspectos técnicos, econômicos e social que precisam ser desenvolvidos considerando a interligação entre eles. E justamente para que isto seja possível, é reforçada a necessidade de reguladores nacionais e internacionais que esclareçam os requisitos e procedimentos que parem sobre o veículo, o carregador e relações entre atores. A Tabela 5 resume necessidades para alavancagem do V2G conforme diferentes dimensões.

Tabela 5 - Aspectos e atores para adoção do V2G.

<b>Dimensão</b>	<b>Usuários</b>	<b>Agregadores</b>	<b>Operadores de rede</b>	<b>Governo</b>	<b>Industria de VE</b>	<b>Geradores de energia</b>
Técnica	Aceitação da degradação da bateria	Desenvolvimento de algoritmos para minimizar impactos técnicos e garantir privacidade	Desenvolver padrões de segurança e privacidade para operação	Investimento em pesquisas sobre baterias	Pesquisas sobre eficiência de operação e baterias	Sem papel
Econômica	Consciência sobre receitas do V2G e disposição a seus custos	Convencer usuários sobre os benefícios pela estruturação de modelos de negócio	Especificar seu papel no modelo de negócio e evitar regras de dupla taxação	Reduzir barreiras, definir papéis, incentivar VEs e V2G	Reduzir custos de VEs e carregadores	Contribuição para modelos de negócios
Regulatória	Beneficiários de normas favoráveis ao V2G	Precisa de normas e liberação de barreiras para atuar	Desenvolver normas para participação do V2G	Autoriza e orienta distribuidoras e transmissoras a promover o V2G	Integração com o governo para medidas regulatórias e projeções que favoreçam o V2G	Possibilidade de papel de garantia de balanceamento entre as partes
Social	Engajamento como usuário, conhecimento e aceitação da tecnologia	Atuar na promoção de informações de barreiras sociais, para estímulo do usuário e definir alvos de tipos de clientes	Promoção de campanhas informativas para o mercado de energia	Desenvolvimento para consumidor e subsídio para pesquisas	Encoraja os usuários ao padronizar tecnologias de V2X em veículos	Promoção de campanhas informativas para o mercado de energia

Fonte: Adaptado de Sovacool et al. (2020).

## 5. MERCADO DE ENERGIA BRASILEIRO

### 5.1. CARACTERIZAÇÃO DA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

Anteriormente neste texto já foi mencionada parte da composição da matriz elétrica brasileira. Entretanto aprofundar-se-á sobre este tema para que seja possível discutir suas implicações quanto à aplicabilidade do V2G no mercado brasileiro.

Comparando tanto a matriz elétrica mundial geral quanto dos países que compõem a Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE), percebe-se que a composição de combustíveis fósseis no Brasil é muito inferior à média: seus 19,8% correspondem a cerca de três vezes menos que a taxa do mundo e OCDE, de 62,7% e 52,7%, respectivamente, como evidenciado na Tabela 6.

Como a maior parte dos países que praticam o V2G está dentro da OCDE, pode-se tomar como referência sua dependência da geração fóssil. Uma vez que a rampa de acionamento da geração térmica é lenta, o V2G se mostra muito vantajoso devido ao seu rápido poder de resposta para balancear as curvas de demanda e oferta em momentos de necessidade. Em oposição, para o Brasil, com 56,8% da geração de energia elétrica oriunda das hidrelétricas que possuem rápido acionamento para despacho, a vantagem relativa do V2G pode ser inferior devido à eficácia das hidrelétricas para um rápido despacho de energia.

Tabela 6 - Geração de energia elétrica (em %).

<b>Fonte</b>	<b>Brasil</b>	<b>OCDE</b>	<b>Mundo</b>
Petróleo e Derivados	2,6	1,4	2,4
Gás Natural	12,8	29,6	23,8
Carvão Mineral	2,6	21,3	36,3
Urânio	2,2	17,8	10,1
Hidro	56,8	12,2	15,1
Outras não renováveis	1,8	0,4	0,2
Outras Renováveis	21,3	17,3	12,1
<i>Biomassa Sólida</i>	8,2	3,2	2,2
<i>Eólica</i>	10,6	9,1	6,2
<i>Solar</i>	2,5	4,6	3,4
<i>Geotérmica</i>	-	0,5	0,4
Total (%)	100	100	100
<i>das quais renováveis</i>	78,1	29,5	27,2

Fonte: Adaptado de MME (2022).

Contudo, é preciso também comparar o histórico de evolução da matriz ao longo dos anos. Na Figura 21, é apresentada a composição parcial da matriz elétrica brasileira, composta pelas fontes hidráulica, eólica e solar. Através dela é possível perceber que por mais que a

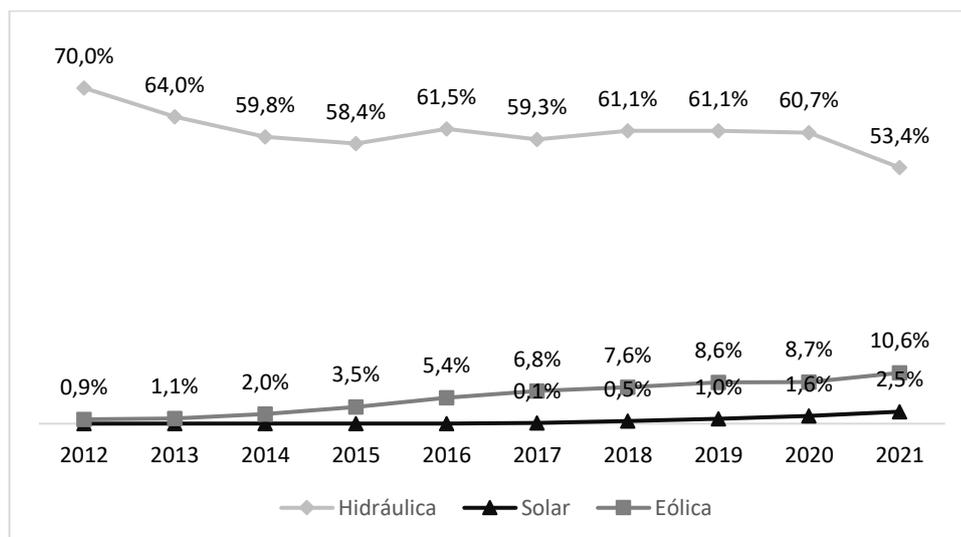
contribuição da fonte hidráulica seja muito maior do que das fontes solar e eólica, ela vem caindo, ao passo que o percentual de fornecimento das demais fontes vem aumentando.

Na Tabela 7 também fica destacado o crescimento percentual de cada tipo de geração em relação ao ano anterior e, evidenciado o rápido e contraposto crescimento das fontes intermitentes quando comparado com a hidráulica, cujo crescimento é inexpressivo, resultando na queda de representação frente ao crescimento das demais fontes.

Entretanto é importante destacar que existe um limite técnico para a representação das fontes intermitentes, devido aos seus desafios operacionais de integração à rede, já que são mais suscetíveis à instabilidade de frequência e voltagem em caso de falhas elétricas, além de não serem uma geração flexível para acompanhar a carga. São exemplos tanto a insuficiência de geração para suprir a demanda, quanto a sobre geração que excede a demanda.

Neste sentido, o texto de Thamae e Mokeke (2021) aponta que a penetração máxima da geração fotovoltaica em subestações de Lesotho variam entre 19% e 27%, enquanto o estudo de Denholm et al. (2015) indica penetração máxima de 20% na Califórnia, sem associação de serviços ancilares ou limitação de injeção de energia na rede. A previsão deste nível varia conforme as condições de reserva girante disponível em cada país para superar a intermitência da geração solar e atingir um equilíbrio dinâmico e instantâneo de oferta e demanda (Sivaneasan; Lim; Goh, 2017).

Figura 21 - Evolução da composição da matriz elétrica brasileira.



Fonte: Adaptado de MME (2014-2022).

Tabela 7 - Variação da oferta interna de energia elétrica em relação ao ano anterior.

FONTE	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
HIDRÁULICA	-6%	-4%	-4%	6%	-3%	5%	2%	0%	-8%
SOLAR	-	220%	269%	44%	879%	316%	92%	62%	56%
EÓLICA	30%	86%	77%	55%	29%	20%	21%	8%	31%

Fonte: Adaptado de MME (2014-2022).

A partir da análise dos dados da Figura 21 e Tabela 7, entende-se que a necessidade de acionamento rápido de geração adicional pode não ser uma necessidade eminente, entretanto este cenário pode mudar no futuro, já que a perda de capacidade de regularização das hidrelétricas se acentuará, conforme já se vem vivenciando esse decaimento do poder de despachabilidade. De qualquer forma, com os dados, demonstra-se mais uma vez a crescente necessidade de balanceamento das curvas com o aumento da participação das fontes intermitentes.

Outra necessidade do setor associada à fonte hidráulica é o suprimento em eventos extremos de seca que inviabilizam a geração de energia para o país por esta fonte de relevância predominante. Interpreta-se assim que, no Brasil, o grande apelo do V2G esteja voltado para a segurança energética, a ser garantida tanto no contexto de transição energética, em que as fontes intermitentes são estimuladas, quanto no cenário de agravamento das mudanças climáticas que intensificam eventos como secas, que também impactam o despacho de energia através das hidrelétricas.

Com o intuito de apontar oportunidades no mercado de energia brasileiro para operação do V2G, analisar-se-á semelhanças com outros mecanismos já existentes. Para isso se faz necessária uma contextualização dos conceitos e regras atuais, conforme próxima sessão.

## 5.2.AMBIENTES E MECANISMOS DE CONTRATAÇÃO

Consumidor cativo é aquele que adquire eletricidade da concessionária de energia local e não tem opção na escolha da fonte e fornecedor de energia, ou seja, está enquadrado no Ambiente de Contratação Regulada (ACR). Neste mercado, a fim de alcançar a modicidade tarifária, a comercialização de energia ocorre através de leilões, em que o vencedor é o gerador que oferece menor preço. Portanto, neste leilão as distribuidoras também precisam fazer uma previsão de carga futura, cuja soma embasará o montante a ser contratado no leilão. Objetivando a garantia de energia para todos os clientes, existem diferentes leilões.

A seguir são apresentados os principais tipos, começando pelo leilão de energia nova que busca suprir o aumento de carga e de empreendimentos de geração que ainda serão construídos. Há o leilão de energia existente que envolve empreendimentos já construídos e o leilão de ajuste contratual da distribuidora.

Destaca-se o leilão de reserva, em que há o objetivo de assegurar o fornecimento de energia elétrica ao SIN pela compra de reserva de capacidade na forma de potência de usinas hidrelétricas e termelétricas, conforme disposto em BRASIL (2021b). Já a energia associada aos empreendimentos constitui lastro que pode ser negociado pelo vendedor segundo as regras de comercialização, como por leilões para atendimento às distribuidoras, consumidores livres, especiais e autoprodutores, com a condição de que exista demanda declarada (MME, 2021b).

Reforça-se ainda que é de responsabilidade da CCEE a gestão e liquidação da reserva de capacidade para potência pela Conta de Potência de Reserva de Capacidade (CONCAP), sendo previstas penalidades para os agentes vendedores que não cumprirem os compromissos firmados em leilão (BRASIL, 2021a).

Por fim, cita-se os leilões de fonte alternativa que são leilões de energia nova, mas de fontes renováveis, portanto incentivam a geração dessas fontes, uma vez que o leilão é exclusivo para este tipo de geração.

As distribuidoras de energia, por sua vez, também contratam energia dos geradores através de leilões regulados para que ela seja distribuída às unidades consumidoras de cada área de concessão. Neste ambiente a eletricidade é comercializada através da conta de energia que contempla todas as despesas relacionadas a este insumo através de uma tarifa regulada, que é composta pelos impostos, encargos, custeio de iluminação pública e custo de fornecimento de energia (tarifa energia e do uso do sistema de distribuição).

Do ponto de vista da demanda, além dos consumidores cativos, existem os livres e especiais. Os dois últimos participam do Mercado Livre de Energia, ambiente de contratação em que o consumidor é livre para escolher seu fornecedor de energia e firma sua compra através de contratos acordados bilateralmente de forma livre.

Podem participar do Ambiente de Contratação Livre (ACL) clientes com demanda mínima de 500kW e tensão de alimentação igual ou superior a 2,3 kV ou alimentação subterrânea. Entretanto, para esse limite, os consumidores se denominam especiais e têm a obrigação de contratar energia incentivada, em outras palavras, energia proveniente de fontes renováveis, como solar, eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH). Já na categoria de consumidores livres, adequam-se aqueles que demandam no mínimo 1,0 MW e, portanto, podem comprar energia de qualquer origem. Recordar-se que demanda mínima é a

potência mínima que a unidade consumidora precisa receber para atender sua carga em qualquer momento do dia, independente do seu consumo, em outras palavras, a chamada demanda mínima deve suprir a demanda máxima prevista para tal instalação. A Figura 22 exemplifica este conceito.

Figura 22 - Exemplificação de demanda mínima.



Fonte: Adaptado de CCEE (2022b).

Existe ainda a possibilidade de somar as cargas de diferentes unidades para que, juntas, atinjam o requisito para migração ao ACL desde que as cargas individuais sejam superiores a 0,03MW. No conceito de Comunhão de Fato, as unidades consumidoras devem estar localizadas em áreas contíguas para serem agrupadas, e na Comunhão de Direito, as unidades consumidoras de uma mesma matriz de CNPJ e situadas no mesmo submercado também podem ser agrupadas para migração. Contudo, a Portaria Normativa Nº. 50 (MME, 2022b) estabelece que a partir de 2024 todos os consumidores do Grupo A poderão aderir ao ACL, além disso a partir de 2028 está prevista a liberalização de clientes residenciais (MME, 2022c).

Recorda-se que em cada contrato bilateral do ACL são definidos os valores de energia comercializada, incluindo garantias financeiras (que os agentes devem aportar para caso de situação devedora para evitar inadimplências), penalidades, encargos e contribuição associativa. O consumidor livre também fica sujeito ao MCP que contabiliza as diferenças de consumo com perdas e contrato através da liquidação financeira, em que se analisa a ocorrência de diferenças, podendo ocorrer exposições negativas ou positivas, que são valoradas ao Preço de Liquidação das Diferenças (PLD), gerando valores a pagar ou receber.

Entretanto, recorda-se que além do valor da energia, o consumidor ainda deverá pagar a TUSD à distribuidora em que está conectado, pela utilização de sua infraestrutura e, em caso,

da unidade estar ligada direto à transmissora, se aplica a Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TUST).

Em termos de geração, é importante ainda tratar da figura do produtor independente, que é um agente com permissão para geração de energia a fim de comercializá-la no ACL. Há ainda o autoprodutor que diferente do agente anterior, tem permissão para gerar energia para seu próprio uso apenas (há casos em que a ANEEL permite a comercialização do excedente de energia). Existe ainda um terceiro agente que seria o concessionário de serviço público de geração, definido como aquele que possui concessão para exploração de determinada fonte de energia a título de serviço público.

É importante destacar que agentes vendedores de energia têm direito de desconto na TUSD e TUSTM existindo o desconto da usina, mas também o de repasse, aplicado na comercialização no ACL. Existe o nível de desconto de 50% para usinas incentivadas, de 80%, para empreendimentos solares que entraram em operação até 2017 e de 100%, para casos específicos que atendam aos requisitos da Resolução nº. 77/04 da Aneel. Porém, a Lei 14.120/21 já dispõe sobre a transição para fim do desconto uma vez que as usinas já estão consolidadas (BRASIL, 2021b; CCEE, 2013; ANEEL, 2022b).

Dentre os agentes que integram o mercado de comercialização de energia do Brasil está a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que é a instituição responsável por gerenciar os processos de comercialização de energia entre os agentes, ou seja, administrar os ambientes e infraestrutura para Registro dos Contratos, contabilizar e liquidar o Mercado de Curto Prazo (MCP).

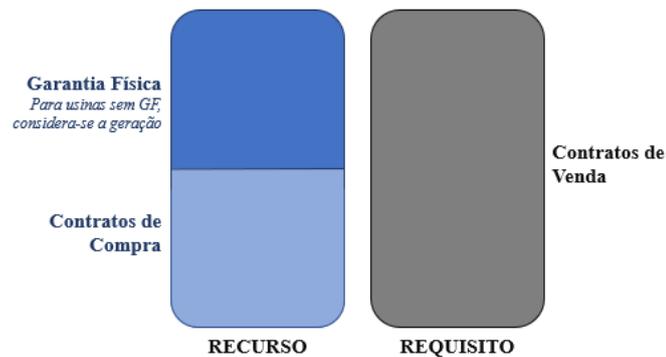
Em termos de comercialização, existem ainda os importadores e exportadores de energia, as comercializadoras e os varejistas. As comercializadoras representam operacionalmente agentes perante a CCEE, além de comprar e vender energia, neste caso o agente ainda tem responsabilidades diretas com a CCEE. Já os varejistas representam e são responsáveis por unidades consumidoras e geradoras em todos os efeitos frente à CCEE, atuam, portanto, na adesão, contabilização, penalidade e liquidações financeiras das entidades que por sua vez não são agentes da CCEE (ANEEL, 2022a).

É importante ressaltar que dentro dos processos de comercialização, há quatro fundamentais: a contabilização, os ajustes, a divulgação de resultados e a liquidação financeira de curto prazo.

A fim de diminuir os riscos de mercado, se exige lastro dos agentes, que é um recurso cujo objetivo é suprir 100% do requisito de energia de determinado agente, seja ele comprador ou vendedor, em 12 meses de apuração, conforme seu perfil (CCEE; 2022a). A Figura 23

auxilia visualmente a compreender um caso em que um gerador possui certo montante de requisito, representado pelos contratos de venda de energia e por outro lado, se sua garantia física não é recurso (lastro) suficiente, deve complementar comprando energia.

Figura 23 - Exemplo de Lastro de Gerador.



Fonte: CCEE (2022a).

Diferente do MCP em que a apuração é realizada mês a mês, a apuração mensal de lastro é realizada considerando o comportamento das operações do agente nos 12 meses anteriores, de forma que se carrega uma curva de 12 meses comparando recurso e requisitos. Em caso de insuficiência de lastro, se paga uma penalidade conforme a diferença vezes o maior valor entre a média dos PLD e do valor de referência, dividido por 12.

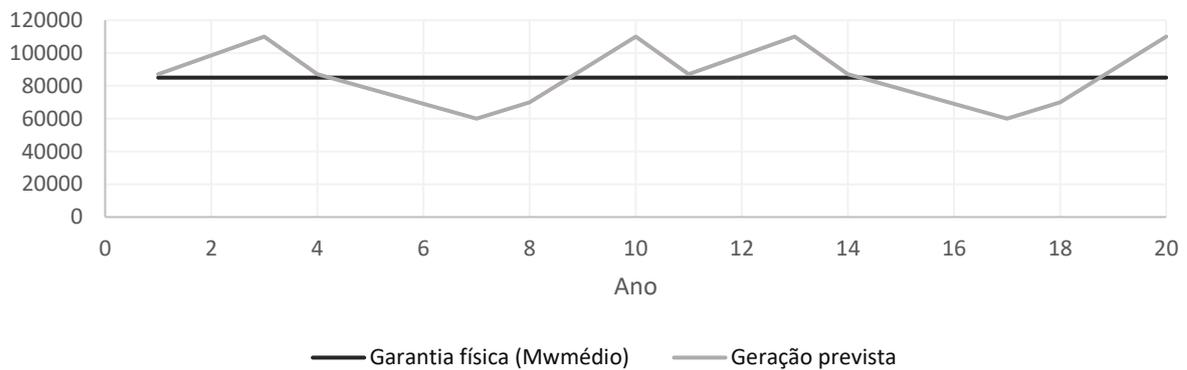
Ainda no intuito de aumentar a segurança do mercado, existem as garantias financeiras para diminuir os efeitos da inadimplência. Portanto, na pré contabilização, os agentes identificados como devedores são chamados a aportar sua Garantia Financeira. Caso o agente não realize o aporte, haverá exposição de lastro (ANEEL, 2021b).

Existe também a garantia física equivalente à expectativa de geração de certa usina ao longo do tempo. Ela auxilia, portanto, em termos de planejamento: a quantidade de energia que suprirá o SIN comparada com a demanda aponta para a necessidade ou não de expansão. Nos contratos das unidades geradoras, é ela quem parametriza a quantidade de energia máxima que o empreendimento pode vender, mas não necessariamente toda essa capacidade será acionada ao longo do contrato.

É importante ressaltar que a garantia física na verdade é uma média da expectativa de geração, uma vez que é definida antes da construção da usina, e é calculada pela EPE/MME apenas, onde é considerado o fator de perdas, o fator de operação comercial, que considera a parcela da usina que opera comercialmente, e o fator de disponibilidade. A

Figura 24 ilustra sua definição de forma simplificada. A garantia física pode ser sazonalizada para valores mensais que, por sua vez, podem ainda ser modulados ao longo das horas no mês.

Figura 24 - Geração prevista vs garantia física.



Fonte: CCEE (2022a).

Outro conceito muito importante no mercado e já abordado neste trabalho é o de balanço energético, que busca equilibrar a energia verificada com a contratada. A energia verificada corresponde à medição da geração ou consumo, enquanto a energia contratada é a diferença entre os contratos de venda e compra. Os processamentos são realizados em contexto horário, para cada perfil de agente e cada submercado.

Se equalizarmos este termo, teríamos que balanço energético é igual à soma da geração total às alocações provenientes do Mecanismo de Realocação de Energia (MRE), subtraídos da soma do consumo de geração, consumo total e posição contratual líquida. Onde consumo de geração corresponde ao consumo energético da própria usina em períodos de não geração, e posição contratual líquida seria a diferença entre os contratos de venda e compra (ANEEL, 2022b).

O MRE, por sua vez, é um recurso para compartilhar os riscos financeiros atrelados às usinas hidrelétricas despachadas de modo centralizado pelo ONS. Considerando as diferenças hidrológicas entre regiões do país (que implicam em diferentes fluxos hidrológicos), a impossibilidade de os proprietários de usina controlarem o nível de geração em certos casos, e

influência da operação de uma usina em outra (caso de usinas em cascatas), existe um desequilíbrio de geração entre as usinas do SIN.

Portanto, é objetivo do MRE otimizar a operação de forma que, independentemente da geração da usina, ela receba sua garantia física pela realocação de outras usinas integrantes do mecanismo. Ou seja, usinas que produziram acima de sua garantia física, cedem para aquelas que geraram abaixo (CCEE, 2018).

Por fim, destaca-se que da mesma forma que existem mecanismos para garantia de geração, também há o controle de ultrapassagem de potência injetada. Existe uma aferição horária e se forem constatadas ultrapassagens dentro de um mês, a usina pode perder seu desconto da tarifa fio e lastro especial, o que varia conforme cenário de classificação da usina (incentivada/convencional e especial/não especial) e conforme reincidência da ultrapassagem.

### 5.3.MECANISMO DE DESLOCAMENTO DE DEMANDA

Até agora foram apresentadas a organização comercial do mercado de energia que objetiva dispor de oferta suficiente para toda demanda, além das possibilidades de estruturas tarifárias existentes no Brasil que objetivam a alteração da curva de demanda.

Contudo, existe ainda um mecanismo denominado resposta de demanda, ou resposta do lado da demanda, que consiste em um instrumento que possibilita que o consumidor, de forma proativa, altere seu consumo no sentido de diminuir a carga em períodos de alta demanda do setor em geral.

Existem dois mecanismos para tal: os programas baseados em preços, também denominados como resposta de demanda implícita, e os programas baseados em incentivos, ou então, resposta de demanda explícita. No primeiro caso, o operador de energia utiliza de estratégias tarifárias para que o consumidor mude seu consumo, enquanto no segundo caso, o consumidor recebe um incentivo financeiro diretamente para alterar temporariamente seu consumo (IEA, 2022a). A metodologia pode englobar o controle direto da carga do consumir por parte das empresas de energia, que ligam e desligam determinados equipamentos durante os períodos de pico (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2022). Este controle pode ser assumido ainda pelas figuras de agregadores independentes.

No Brasil, o Programa de Resposta de Demanda teve início em outubro de 2022 e funciona de forma que consumidores de grande porte e que integram o Mercado Livre de Energia, ou um grupo de consumidores, informam semanalmente, via plataforma eletrônica, sua disponibilidade de redução de consumo de energia ou deslocamento para horário de menor demanda do Sistema Interligado Nacional (SIN) para a semana seguinte, com os detalhes de

quantidade (mínimo de 5MW), duração (de quatro a 17 horas) e valor cobrado pela disponibilidade.

A partir dessas informações e da estimativa de energia necessária para operar o SIN, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) informa as unidades para exercer sua oferta com um dia de antecedência, seguindo a prioridade das ofertas mais baratas (ANEEL, 2022c). Por fim, o pagamento é realizado através da CCEE (CCEE, 2023).

Esta solução está voltada para grandes consumidores, uma vez que usuários de pequeno porte teriam pouco impacto na estabilidade da rede.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma vez que esta pesquisa consiste em uma revisão bibliográfica, parte dos resultados foram apresentados ao longo dos tópicos, contudo são destacados, resumidos e discutidos nesta sessão. Também são apontados os resultados da interpretação de tal revisão. A iniciar pela Tabela 8, que associa as vantagens de cada serviço possível pelo V2G.

Tabela 8 - Serviços possíveis pelo V2G.

<b>Serviço ancilar</b>	<b>Vantagem</b>
Corte de pico de demanda	Permite menor custo e esforço geração adicional de energia para curtos períodos de necessidade
Preenchimento de vale	Possibilita aproveitamento de disponibilidade de geração
Deslocamento de carga	Compatibiliza demanda com a capacidade de geração, reduzindo a necessidade de custos marginais
Equilíbrio de demanda e geração	Evita interrupções de fornecimento e danos materiais na rede. Permite maior penetração de fontes intermitentes
Reserva girante	Possibilita a redução no investimento em equipamentos e plantas de geração
Black Start	Permite energização de pontos em momentos de impossibilidade de ação do operador
Fator de carga	Permite maior eficiência do sistema elétrico.
Regulação de frequência e voltagem	Supre necessidade de operação usualmente de alto custo para estabilidade da rede
Arbitragem	Possui motivação de ganho financeiro ao usuário, que proporcionalizará equilíbrio entre demanda e geração se a tarifa de energia refletir as necessidades do setor.

Dentre as possibilidades listadas, destaca-se o equilíbrio de demanda e geração, já que se percebe um aumento considerável da participação das fontes solares e eólicas, contudo há limitação para sua representação, conforme já revisado na sessão 5.1. Neste cenário, o V2G é importante para permitir a recarga dos veículos em momentos de geração intermitente e injeção de carga nos momentos de não geração.

No caso de geração solar em residências por exemplo, durante o dia usualmente os habitantes estão em locais de trabalho ou estudo, logo haveria geração durante o dia, que não seria consumida pelos veículos. Em um caso que não exista o V2G e recarga inteligente, aponta-se que o pico de demanda que já existe por volta das 19h seria amplificado pela demanda para veículos elétricos por coincidir com horário usual de chegada dos habitantes, e provável conexão do veículo ao carregador, à exemplo da Figura 13. Este cenário já seria oposto se no período da noite, de pico, o veículo pudesse injetar energia na rede.

Pela revisão dos conceitos e necessidades do V2G, bem como da estrutura do mercado de energia brasileiro, é possível identificar que por mais que não exista regulação para a bidirecionalidade de energia, existem definições para mecanismo semelhantes.

Este tópico discute tais similaridades com intuito de apontar possíveis caminhos para regulação do serviço no país, logo as oportunidades de aproveitamento dos mecanismos do mercado de energia são resumidas na Tabela 9, onde a última coluna aponta conclusões próprias deste trabalho.

Tabela 9 - Associações entre Mercado Brasileiro de Energia e necessidades para V2G.

Ambiente	Instrumento	Limites	Definição	Normativo	Órgão contabilizador	Possibilidade de aproveitamento
ACR	Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) de Micro e Mini Geração Distribuída (MMGD)	≤ 3 MW	Injeção do excedente de energia na rede é computada como créditos na fatura de energia, que podem abater o consumo em até 60 faturas posteriores	RN nº 1059/2023 Lei 14.300/2022	Distribuidora local	Regulação que permite injeção de energia na rede e compensa o usuário
ACR	Leilão de reserva	-	Contrata certa reserva de capacidade na forma de potência de usinas hidrelétricas e termelétricas, com livre comercialização da energia	Lei 14.120/2021	CCEE	Mecanismo que prevê remuneração por disponibilidade de potência sem necessidade de acionamento
ACL	Comunhão de direito	≥ 30kW individual para somar 500kW	Permite agregar unidades consumidoras para alcançar o requisito mínimo para migração ao ACL, desde que estejam no mesmo CNPJ ou região	RN nº 1000/2021	CCEE	Ampliar regulação para agregação de capacidade independente da relação entre unidades
ACR	Geração Compartilhada	≤ 3 MW	Possibilidade de conjunto de consumidores, em locais e com CNPJ/CPF distintos, se unirem através de um consórcio ou uma cooperativa para usufrir de energia gerada de forma distribuída	RN nº 1059/2023	Distribuidora local	Instrumento jurídico que poderia se estender para agregação de capacidade dos VEs para prover serviços
ACL	Migração na Modalidade Varejista	≥ 500kW	Forma de migração em que os comercializadores varejistas representam as UCs ou geradoras em todos os efeitos frente à CCEE	RN nº 1011/2022	CCEE	Aproveitamento da figura do varejista para atuação e regulamentação como agregador de VEs
ACR	Incentivos na TUSD para MMGD	≤ 3 MW	Até 2023 havia isenção ao pagamento do Fio B, que compõe a TUSD	RN 482/2012 (antiga) Lei 14.300/2022	CCEE	Incentivo à adesão ao V2G em período inicial
ACL	Incentivos na TUSD para Consumidores Especiais	≥ 500kW	Desconto varia de 50% a 100%, a depender do tipo de energia e período de operação	RN 1.031/2022 RN nº. 77/04 Lei 14.120/21	CCEE	Incentivo à adesão ao V2G em período inicial
ACR/ACL	Lastro	-	Recurso para suprir 100% do requisito de energia do comprador ou vendedor. Em caso de insuficiência, se paga uma penalidade	RN 957/2021	CCEE	Mecanismo para mitigar o risco de descumprimento de oferta e disponibilidade de VEs
ACR/ACL	Garantia Financeira	-	Recurso a ser aportado quando identifica-se agentes como devedores. Caso o agente não realize o aporte, há exposição de lastro.	RN 957/2021	CCEE	Mecanismo para mitigar o risco de descumprimento de oferta e disponibilidade de VEs

ACR	Mecanismo de Realocação de Energia (MRE)	-	Recurso para compartilhar os riscos das usinas hidrelétricas, para que independentemente da geração da usina, ela receba sua garantia física pela realocação de outras usinas integrantes do mecanismo.	RN 1035/2022	CCEE	Instrumento para agregar VEs de forma a garantir oferta mínima
ACL	Programa de Resposta de Demanda	≥5MW	Programa em que consumidores informam disponibilidade de redução de consumo de energia ou deslocamento para horário de menor demanda, e o ONS informa as unidades para exercer sua oferta por prioridade das ofertas mais baratas	RN 1040/2022	CCEE	Regulação que poderia englobar o V2G para oferta de serviços ancilares nos mesmos moldes
ACL	Crédito de PIS/COFINS e isenção de ICMS	≥ 500kW	Norma tributária permite o crédito de imposto PIS/COFINS na venda de energia com associação ao custo de compra, e ICMS fica sob responsabilidade do consumidor, sendo isento o comercializador.	Lei nº 10.637/2002 Lei nº 10.833/2003 Lei Complementar nº 87/1996	CCEE	Extensão da norma à arbitragem do V2G mitiga os impactos da tributação.

A partir das associações anteriores, é possível inferir que é mais provável que os atores que já trabalham com serviços associados à energia sejam aqueles que oferecerão serviços de integração entre rede e veículo, como varejistas, fornecedores de infraestrutura de recarga, gestores de frotas, montadoras de veículos, fornecedores de combustível e empresas de telecomunicações (JONES et al., 2021). A própria norma técnica n.º 76 da ANEEL faz associação do agregador a agentes já existentes no Mercado Livre de Energia, os atacadistas e varejistas, que vendem certo serviço à rede como intermediário entre consumidores, proprietários de recursos elétricos distribuídos (RED) e operadores da rede (ANEEL, 2021a).

Em especial o varejista pode representar junto à CCEE os consumidores livres e geradores de capacidade instalada inferior a 50 MW, portanto este agente poderia desempenhar o papel de agregador de usuários de veículos elétricos até atingir uma oferta mínima de potência. O texto de Jones et al. (2021) também aponta que os varejistas já possuem a expertise de gerenciar carteiras de clientes contra a volatilidade do preço de energia, portanto estariam bem-posicionados para assumir tal resposta de demanda pelo V2G. Acredita-se que este ator é apropriado tanto para a prática de arbitragem, quanto de serviços ancilares, uma vez que o varejista assume toda a responsabilidade perante o cliente.

Tendo em vista a necessidade de agregar as potências individuais para prestação de serviços ancilares, seria necessária a possibilidade de comunhão de cargas semelhante ao que já existe no ACL, pela comunhão de fato e direito. Contudo seria necessário reduzir a restrição de potência mínima individual para participação, além da necessidade de unidades de

propriedade diferentes precisarem estar em área contínua para configurar a comunhão. Uma avaliação seria necessária, mas por se tratar de um recurso distribuído, é pouco provável o alcance de potência total mínima necessária para prover serviços com veículos de propriedades diferentes apenas em uma área comum.

A proposta do parágrafo anterior se assemelha à solução de geração compartilhada que permite que a composição de uma cooperativa ou consórcio usufrua dos benefícios da geração distribuída, mesmo sem vínculo hierárquico e geográfico entre os componentes. O que também poderia ser uma proposta para agregar os veículos elétricos como única entidade a prover serviços.

Sob o ponto de vista que o usuário do veículo pratica a arbitragem para se beneficiar da comercialização de energia, entende-se que o órgão responsável por administrar esse processo deveria ser a CCEE, ao passo que quem o regularia seria a ANEEL, como nos outros mecanismos.

Reforça-se ainda a necessidade de preços de energia horários para viabilizar o serviço em todos os grupos de unidades consumidoras. Por exemplo, se o balanceamento de carga e demanda é realizado em contexto horário, e o V2G pode atuar neste objetivo, sua precificação e remuneração também deveria ocorrer neste período de tempo.

Neste trabalho também foi exposto que existe certa insegurança quanto ao cumprimento da disponibilidade dos veículos para o V2G. Mesmo que em diferentes proporções, este risco também existe no ACL, o que motivou a definição dos mecanismos estudados como exigência de lastro, garantia financeira e penalidades, portanto uma forma de mitigar este problema seria a aplicação de contratos com garantia física.

Ainda no intuito de minimizar riscos de oferta, aponta-se o MRE com o compartilhamento de risco através das várias usinas participantes que poderia refletir em uma política de compartilhamento de riscos entre veículos agregados para a prestação de serviço.

Além disso, seria interessante aproveitar da estrutura de funcionamento dos leilões de reserva, de forma que o proprietário do veículo elétrico poderia ser remunerado apenas por sua disponibilidade de potência, mas também utilizar ou comercializar sua energia buscando seu próprio benefício.

São diversas as formas de V2G e as possibilidades para sua remuneração, mas reforça-se que uma das fontes bibliográficas desde trabalho menciona um esquema de leilão entre veículos que ofertam o serviço na seção 3.1, sendo que esta modalidade de contratação está consolidada no país e também foi revisada no texto, portanto surgiria o desafio de sua atualização para modelo digital e diário.

Recorda-se que assim como unidades com geração distribuída ou do ACL, os locais que eventualmente praticassem o V2G manteriam seu relacionamento com as distribuidoras. Logo, enxerga-se como uma oportunidade de estímulo ao V2G subsídios em forma de descontos na TUSD para os clientes que praticam este serviço, como já ocorre para os dois setores mencionados. Pelo histórico destes incentivos nos anos iniciais da tecnologia apoiariam a desoneração do serviço ao passo seria possível avaliar a conquista de popularidade da tecnologia.

Retornando à temática encontrada na literatura sobre a dupla taxação da energia, pode-se inferir que esta também seria uma preocupação no Brasil, devido a sua alta carga tributária. Contudo, acredita-se que seria possível aproveitar instrumentos que regem a comercialização para minimizar os custos com impostos, por exemplo, se os órgãos reguladores entenderem que o V2G constitui uma forma de comercialização de energia, as operações de compra e venda de energia poderiam ser isentas de ICMS, uma vez que a Lei Complementar N.º 87 isenta sua incidência sobre este tipo de operação (BRASIL, 1996).

Além disso, empresas com apuração da contribuição ao PIS e COFINS de forma não cumulativa podem aproveitar créditos destes impostos na alíquota total de 9,25%, ou seja, com a venda da energia, que foi tributada, é creditado à empresa tal alíquota sobre o custo da energia que foi revendida. Isso é aplicado pois o entendimento das Leis nº 10.637/2002 e nº 10.833/2003 é de que a energia adquirida de terceiros é um insumo para a prestação de serviço e, considerando que esta mesma lógica se aplica a energia relacionada ao V2G, seria possível aproveitar do creditamento para preservar-se da bitributação de PIS/COFINS (CCEE, 2021).

Apesar das mudanças comentadas sobre a matriz energética do Brasil, é concreto o alto potencial hidráulico para geração no país, o que, frente ao cenário de outros, pode aparentar menor necessidade de exploração de serviços à rede pelo V2G. Por isso existe a possibilidade de subutilização deste mecanismo, ou seja, de que seja desenvolvido um esquema de recurso distribuído semelhante ao de microgeração distribuída, em que a unidade apenas injeta energia conforme sua disponibilidade, de forma descoordenada e desagregada, e recebe créditos no Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

Sob outro ponto de vista, tem-se que o V2G nada mais é que uma resposta do lado da demanda, serviço que já existe e é regulamentado, com a necessidade apenas de ser agregado. Portanto surge mais uma oportunidade de inclusão regulatória para possibilitar o serviço. Destaca-se ainda que neste caso o V2G proporcionaria um resultado semelhante à resposta de demanda ao mesmo tempo em que eliminaria uma barreira de acesso, já que os clientes

residenciais poderiam oferecer este tipo de serviço, além de não haver desconforto ao usuário da edificação, uma vez que o fornecimento de energia funcionaria de forma imperceptível a ele.

Apesar de todas as vantagens e possibilidades de implementação do V2G, é importante a ciência dos desafios para seu desenvolvimento que, por sua vez, podem fomentar planos de ação para sua concretização, conforme resumido na Tabela 10.

Tabela 10 - Desafios para implementação do V2G.

<b>Desafio</b>	<b>Contexto</b>	<b>Necessidade</b>
Degradação da bateria	V2G pode acentuar a degradação da bateria, assim como outros fatores não relacionados. Contudo não há consenso sobre a magnitude e mitigação de seus impactos.	Pesquisas que fundamentem seu impacto a fim de proporcionar aceitação do usuário quanto ao tema.
Nível de penetração da eletrificação do transporte	Para implementação do V2G é imprescindível a oferta em larga escala e em opções diversas de veículos, carregadores e sistemas adequados, além de atratividade financeira destes itens, o que não é realidade no mundo hoje.	Maior desenvolvimento da indústria associado a subsídios e incentivos à mobilidade elétrica.
Dupla taxação do serviço	Alguns países onde o V2G é permitido experenciam a tributação nas operações de compra e venda de energia, o que diminui a atratividade financeira do serviço ao usuário.	Regulamentação que evite a dupla taxação.
Cumprimento dos compromissos por parte do usuário do veículo elétrico	Sob o viés social de que até o momento o usuário é apenas um consumidor, com baixa atribuição de deveres, existe a preocupação quanto ao seu fiel cumprimento de requisitos assumidos na oferta de serviços à distribuidora.	Normas que disponham sobre as responsabilidades do prosumidor, através de mecanismos de garantia de cumprimento e penalidades em caso de transgressão de seu compromisso.
Regulação	V2G é proibido no Brasil hoje e sua regulação no mundo é tida como incipiente.	Há necessidade de norma específica com definição de possibilidades e responsabilidades de atores que integrariam o V2G, formas de prestação do serviço, junto de sua dinâmica de funcionamento e remuneração.
Estrutura tarifária brasileira	Não existe no Mercado Cativo tarifas horárias. Apenas a opção da Tarifa Branca, com três períodos de precificação. Isto contrasta com algumas das possibilidades do V2G que requer precificação horária para atratividade do usuário.	A partir da definição dos órgãos reguladores quanto aos tipos de serviços interessantes para o SIN, deverá ser associada uma forma de remuneração, que por sua vez poderia se basear no princípio de arbitragem através de implementação de tarifa horária de energia condizente com o esforço marginal do sistema para disponibilidade de carga.

Por fim, aponta-se que existem diferentes níveis em que se pode aprofundar o V2G, mas não necessariamente aquele adotado no Brasil será o mais complexo. A partir da Tabela 11 aponta-se os cenários de implementação do V2G que se interpreta como possíveis na realidade do Brasil.

Tabela 11 - Cenários elegidos para o V2G no Brasil.

Possível cenário	Nível de implementação do V2G	Consequência na rede
Eletrificação do transporte sem recarga inteligente	Nulo	Agravamento dos picos de demanda Instabilidade na Rede Riscos de interrupções
Eletrificação do transporte com possibilidade de injeção na rede e participação do SCEE	Baixo	Injeção de energia ocorre, mas não age sobre o pico de demanda noturno, que inclusive pode continuar ocorrendo
Eletrificação do transporte com V2G como serviço ancilar	Alto	Promove benefícios para redução do pico de demanda, mas também para outras necessidades da rede como equilíbrio de demanda e geração, regulação de tensão e frequência, reestabelecimento do fornecimento, entre outros. Além disso permite benefício econômico ao usuário

Deste modo, o V2G pode permanecer como proibido no país, o que ignoraria uma necessidade de flexibilidade da rede, que inclui necessidades da própria eletrificação do transporte.

Um cenário intermediário consiste na permissão de injeção de energia como ocorre na geração distribuída. Esta consiste em uma solução mais simples, já que apenas se injetaria energia na rede pontual e individualmente. Contudo isso implicaria a perda de todas outras possibilidades de serviço que poderiam ser agregadas como uma entidade, conforme cenário de alta implementação.

Acredita-se que não há razões para impedir a atuação do agregador, em cenário de alto grau de implementação de V2G, para composição de serviço ancilares, afinal este agente é como um outro fornecedor de energia distribuída, à exemplo novamente de um comercializador varejista ou do representante para resposta da demanda.

## 7. CONCLUSÃO

A partir do estudo é possível perceber que no cenário global o V2G está em seus primeiros níveis de maturidade. Apesar de pesquisas e projetos pilotos relacionados existirem há mais de uma década, são incipientes as normas que regulam o serviço, os elementos físicos necessários para a injeção de energia na rede e a consciência e aceitação da sociedade para a tecnologia. Em partes, isto está relacionado com a própria transição para mobilidade elétrica, que ainda é pouco expressiva na maior parte dos países.

No Brasil, a proibição do V2G inibe desenvolvimentos com objetivo de implementação deste serviço, contudo é possível perceber a relação do conceito do V2G como outros serviços existentes e já regulados no país, como a geração distribuída e resposta do lado da demanda. Portanto existe a possibilidade de inovação dos modelos de negócios pela proposta de aproveitamento e reforma de infraestrutura existente, além de remodelar regras e normas.

Neste sentido, aponta-se a necessidade de trabalhos futuros que orientem o desenvolvimento de tais normativos em aspectos comerciais, contábeis, tributários e técnicos. Destaca-se mais uma vez a necessidade de pesquisas que fundamentem um parecer sobre o real efeito do V2G na degradação da bateria.

Também se recorda a pequena disponibilidade de equipamentos que permitem o V2G, portanto enfatiza-se a necessidade de pesquisas que permeiem o desenvolvimento de novos sistemas de recarga e descarga, ou alternativas elétricas e eletrônicas que viabilizem a interação entre a carga da bateria e rede nos dois sentidos em novo cenário a ser desenvolvido.

É importante ainda frisar que o impacto do V2G se dará fortemente na distribuição de energia, de forma que se acredita que haverá várias empresas ofertando diferentes serviços de conexão à rede em uma mesma região geográfica. Neste contexto, enxerga-se a necessidade da figura do Operador do Sistema de Distribuição, assim como hoje a ONS atua na rede básica. Sendo assim, este operador deveria gerenciar todos os agentes prestadores de serviços ancilares.

Além disso, ainda tendo em vista o impacto do V2G na rede de distribuição, entende-se que a previsão de fluxo inverso deve ser elemento ativo na tomada de decisão e no planejamento das redes.

E justamente tratando da necessidade da rede, entende-se ainda que o V2G tem melhor aplicação em um cenário futuro provável de precificação horária de energia, o que permite que prosumidor perceba vantagem em injetar energia em horários que serão interessantes para ele e para o sistema elétrico como um todo.

Também como percebido pelas experiências de outros países, em caso de indefinições de normas e especificações, os serviços para os operadores de rede são evitados, o que leva os usuários a limitarem o serviço à edificação.

Em contrapartida, percebe-se que as necessidades do setor elétrico não se concentram na disponibilidade de energia, mas sim de potência em períodos específicos, o que está associado com a curva de demanda, mas também à carga líquida disponível pelas fontes intermitentes que variam e impactam tais momentos de maior “estresse” do sistema elétrico.

Contudo, é justamente sobre estas necessidades que o V2G pode agir beneficentemente. Logo, para maximizar o aproveitamento dos benefícios possíveis a partir do V2G é necessário em primeiro lugar sua permissão em cenário de funcionalidade completas, além do desenvolvimento de padrões e especificações que regulem os agentes do setor. Para isso é imprescindível o apoio do governo e órgãos reguladores para suportar os agentes e permitir desenvolvimento da tecnologia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABB. **Electric vehicle charging infrastructure**. ABB's website, 2022. Disponível em: <https://new.abb.com/ev-charging>. Acesso em: 12 out. 2022.

Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia. (ABRACEEL). **Ranking Internacional de Liberdade de Energia Elétrica**. 2021. Disponível em: <https://abraceel.com.br/biblioteca/cartilhas/2021/03/ranking-internacional-de-liberdade-de-energia-eletrica-2/>. Acesso em: 20 mai. 2023.

Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE). **Eletrificados fecham 2022 com novo recorde**. 2023a. Disponível em: <http://www.abve.org.br/eletrificados-fecham-2022-com-novo-recorde-de-vendas/>. Acesso em: 05 mar. 2023.

Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE). **Em ano de recordes, veículos plug-in avançam**. 2023b. Disponível em: <http://www.abve.org.br/em-ano-de-records-veiculos-plug-in-ganham-mercado/>. Acesso em: 10 mar. 2023.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Nota Técnica nº 76**. 2021a, 59 p. Disponível em: [https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/consultas-publicas?p\\_p\\_id=participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet&p\\_p\\_lifecycle=2&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_cacheability=cacheLevelPage&p\\_p\\_col\\_id=column-2&p\\_p\\_col\\_pos=1&p\\_p\\_col\\_count=2&participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet\\_ideDocumento=47698&participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet\\_tipoFaseR\\_euniao=fase&participacaopublica\\_WAR\\_participacaopublicaportlet\\_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp](https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/consultas-publicas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_ideDocumento=47698&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseR_euniao=fase&participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp). Acesso em: 20 mai. 2023.

ANEEL. **Geração Distribuída**. 2023a. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2VmMmUwN2QtYWFiOS00ZDE3LWI3NDMtZDk0NGI4MGU2NTkxIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 20 mai. 2023.

ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída**. 2023b. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao->

[distribuida#:~:text=Denomina%2Dse%20microgera%C3%A7%C3%A3o%20distribu%C3%ADda%20a,do%20Par%C3%A1grafo%20%C3%9Anico%20do%20art.](#) Acesso em: 20 mai. 2023.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012 (revogada)**. 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 03 set. 2023.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 957, de 7 dezembro de 2021**. 2021b. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021957.html>. Acesso em: 03 set. 2023.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 1.000**. Diário Oficial da União, ed. 238, seção 1, pág. 206, 2021c. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651>. Acesso em: 27 out. 2022.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 1.011**. Diário Oficial da União, ed. 63, seção 1, pág. 187, 2022a. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.011-de-29-de-marco-de-2022-390343924>. Acesso em: 27 out. 2022.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 1.031, de 26 de julho de 2022**. 2022d. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20221031.pdf>. Acesso em: 03 set. 2023.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 1.035**. 2022b. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20221035.pdf>. Acesso em: 03 set. 2023.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 1.040**. 2022c. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20221040.pdf>. Acesso em: 03 set. 2023.

ANEEL. **Resolução Normativa ANEEL Nº 1.059, de 7 de fevereiro de 2023**. 2023c. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html>. Acesso em: 03 set. 2023.

AGUILAR-DOMINGUEZ, Donovan; EJEH, Jude; BROWN, Solomon F.; DUNBAR, Alan D.F. Exploring the possibility to provide black start services by using vehicle-to-grid. **Energy Reports**, 25 jun. 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.06.111>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722012537>. Acesso em: 29 ago. 2022.

AL-OBAIDIA, Abdullah; KHANIA, Hadi; FARAGA, Hany E.Z.; MOHAMEDB, Moataz. Bidirectional smart charging of electric vehicles considering user preferences, peer to peer energy trade, and provision of grid ancillary services. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, 27 jul. 2020. DOI 10.1016/j.ijepes.2020.106353. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142061520307468>. Acesso em: 29 ago. 2022.

AMAMRA, Sid-Ali; MARCO, James. **Vehicle-to-Grid Aggregator to support power grid and reduce Electric Vehicle charging cost**. IEEE Access, 10 dez. 2019. DOI 10.1109/ACCESS.2019.2958664. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8930487>. Acesso em: 3 out. 2022.

Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA). **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. 2022. Disponível em: <https://anfavea.com.br/anuario2022/2022.pdf>. Acesso em: 24 set. 2022.

Australian Renewable Energy Agency (ARENA). **Realising Electric Vehicle-to-Grid Services**. Australian Government, 2023. Disponível em: <https://arena.gov.au/projects/realising-electric-vehicle-to-grid-services/#:~:text=The%20Realising%20Electric%20Vehicle%2Dto%2DGrid%20Services%20project%20acknowledges%20that,connected%20to%20the%20electricity%20grid>. Acesso em: 30 abr. 2023.

BARRASSA, Edgar. **A ascensão do veículo elétrico no século XXI: trajetória tecnológica e ações em curso**. Dissertação de Mestrado, UNICAMP, 2015.

Battery Storage and Grid Integration Program (BSGIP). **Realising Electric Vehicle-to-grid Services**. Australian National University, 2022. Disponível em: <https://bsgip.com/research/realising-electric-vehicles-to-grid-services/>. Acesso em: 30 abr. 2023.

Blue Bird. **Nuvve and Colorado/West Equipment Deploy First V2G Electric School Bus Solution in Colorado**. 2023. Disponível em: <https://www.blue-bird.com/about-us/press-releases/223-nuvve-and-colorado-west-equipment-deploy-first-v2g-electric-school-bus-solution-in-colorado>. Acesso em: 30 abr. 2023.

Blue Bird. **V2G Electric School Bus Commercialization Project**. 2021. Disponível em: [https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-06/elt095\\_moore\\_2021\\_o\\_5-14\\_416pm\\_LR\\_TM.pdf](https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-06/elt095_moore_2021_o_5-14_416pm_LR_TM.pdf). Acesso em: 30 de abr. 2023.

BloombergNEF. **Electric Vehicle Outlook 2022 y mercado latinoamericano de vehículos eléctricos**. P. 56, 7 jul. 2022.

BLOOMBERG. **Vendas de veículos elétricos devem crescer mais do que nunca; Porém, políticas adicionais são necessárias para alcançar a neutralidade de carbono**. 2021. Disponível em: <https://www.bloomberg.com.br/blog/vendas-de-veiculos-eletricos-devem-crescer-mais-do-que-nunca-porem-politicas-adicionais-sao-necessarias-para-alcancar-a-neutralidade-de-carbono/>. Acesso em: 05 mar. 2023.

BRASIL. **Decreto Nº 10.707, de 28 de maio de 2021**. Diário Oficial da União, ed. 100-A, s. 1 – Extra A, p. 1, 2021a. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.707-de-28-de-maio-de-2021-322920673>. Acesso em: 09 jun. 2023.

BRASIL. **Lei Nº 14.120, de 1º de março de 2021** Diário Oficial da União, ed. 40, seção 1, pg. 3, 2021b. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.120-de-1-de-marco-de-2021-306116199>. Acesso em: 20 jun. 2023.

BRASIL. **Lei Complementar Nº 87, de 13 de setembro de 1996**. 1996. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/lcp/lcp87.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp87.htm). Acesso em: 18 jun. 2023.

BRASIL. **Lei Nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Diário Oficial da União, ed. 5, s.1, p.4, 2022. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: 20 jun. 2023.

BUI, Truong M. N; SHEIKH, Muhammad; DINH, Truong Q.; GUPTA, Aniruddha; WIDANALAGE, Dhammika W.; MARCO, James. A Study of Reduced Battery Degradation Through State-of-Charge Pre-Conditioning for Vehicle-to-Grid Operations. **IEEE Access**, v.9, 26 p., 2021. DOI 10.1109/ACCESS.2021.3128774. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9617644>. Acesso em: 12 mai. 2023.

BURGESS, Rachel. **Renault Zoe will not be replaced for another generation**. Autocar, 2022. Disponível em: <https://www.autocar.co.uk/car-news/new-cars/renault-zoe-will-not-be-replaced-another-generation>. Acesso em: 13 mai. 2023.

BYD. **Chassis de ônibus 100% elétricos**. 2023. Disponível em: <https://www.byd.com.br/produtos/onibus/>. Acesso em: 20 fev. 2023.

Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). **Cálculo do Desconto Aplicado à TUSD/TUST**. 2013. Disponível em: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiymqy99L\\_AhVJI7kGHVrWB6AQFnoECCUQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.ccee.org.br%2Fccce%2Fdocumentos%2FCCEE\\_076366&usg=AOvVaw2\\_MKa7ZSISI2aO0uL1RKns&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiymqy99L_AhVJI7kGHVrWB6AQFnoECCUQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.ccee.org.br%2Fccce%2Fdocumentos%2FCCEE_076366&usg=AOvVaw2_MKa7ZSISI2aO0uL1RKns&opi=89978449). Acesso em: 12 jun. 2022.

CCEE. **Cartilha: Obrigações Fiscais na Comercialização de Energia Elétrica - Consumidores Livres e Especiais**. 2021, v.4, 34p. Disponível em: [https://www.ccee.org.br/ccce/documentos/CCEE\\_661168](https://www.ccee.org.br/ccce/documentos/CCEE_661168). Acesso em: 18 jun. 2023.

CCEE. **Garantia Física**. Capacita CCEE – Portal de Aprendizado, 2022a. Disponível em: [https://capacita.ccee.org.br/course\\_view/18282/classes/182112?team\\_id=45377&productId=12425#messages](https://capacita.ccee.org.br/course_view/18282/classes/182112?team_id=45377&productId=12425#messages). Acesso em: 10 dez. 2022.

CCEE. **Introdução a Comunhão de Ativos**. Capacita CCEE – Portal de Aprendizado, 2022b. Disponível em: [https://capacita.ccee.org.br/course\\_view/10513/classes/127735?team\\_id=45354&productId=8464#messages](https://capacita.ccee.org.br/course_view/10513/classes/127735?team_id=45354&productId=8464#messages). Acesso em: 10 dez. 2022.

CCEE. **Regras de Comercialização – Mecanismos de Realocação de Energia**. 2018, 58 p.

Disponível em:

[https://www.ccee.org.br/o/ccee/documentos/download/CCEE\\_076159#:~:text=O Mecanismo de Realocação de Energia é um mecanismo financeiro,energia elétrica realizado pelo ONS.](https://www.ccee.org.br/o/ccee/documentos/download/CCEE_076159#:~:text=O Mecanismo de Realocação de Energia é um mecanismo financeiro,energia elétrica realizado pelo ONS.)

Acesso em: 2023.

CCEE. **Resposta de Demanda**. 2023. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/resposta-demanda>. Acesso em: 12 dez. 2022.

CANHA, Luciane Neves. Mobilidade elétrica e as oportunidades para o setor elétrico: aplicações do V2H, V2G e V2X. **Revista O setor elétrico**, ISSN 1983-0912, Ano 18 – Edição 192, P. 14-18, 2023. Disponível em:

[https://issuu.com/revistaosetoreletrico/docs/edicao\\_192\\_finaisimplesalta?fr=sYjM2MjQ1NTgxODA](https://issuu.com/revistaosetoreletrico/docs/edicao_192_finaisimplesalta?fr=sYjM2MjQ1NTgxODA). Acesso em: 01 abr. 2023.

CANHA, Luciane Neves. Oportunidades da Mobilidade Elétrica. **Mobilidade Estádio**, 2022.

Disponível em: <https://mobilidade.estadao.com.br/inovacao/oportunidades-da-mobilidade-eletrica/>. Acesso em: 30 mai. 2023.

CARVALHO, Lígia Lima. **Projeto Emotive**. Repositório da Escola Nacional de Administração Pública (ENAP), 2018, 6p. Disponível em:

<https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/3622/1/CFL%20-%20Projeto%20Emotive.pdf>.

Acesso em: 30 mai. 2023.

CASTRO, Nivalde; FALCÃO, Djalma; COLOMBARI, Camila. **Veículos Elétricos e possíveis impactos nas redes de distribuição**. Agência Canal Energia, Grupo de Estudos do Setor Elétrico – UFRJ, 2p., 2019. Disponível em:

<https://www.canalenergia.com.br/artigos/53087671/veiculos-eletricos-e-possiveis-impactosnas-redes-de-distribuicao>. Acesso em: 14 set. 2023.

COLTHORPE, Andy. General Motors partners with California utility on vehicle-to-grid, vehicle-to-home tech. **Energy Storage News**, 2022. Disponível em: <https://www.energy-storage.news/general-motors-partners-with-california-utility-on-vehicle-to-grid-vehicle-to-home-tech/>. Acesso em: 30 abr. 2023.

COSTA, C.M.; BARBOSA, J.C.; CASTRO, H.; GONÇALVES, R.; LANCEROS-MÉNDEZ, S. Electric vehicles: To what extent are environmentally friendly and cost effective? – Comparative study by european countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 29 jul. 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111548>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032121008261>. Acesso em: 20 fev. 2023.

CPFL ENERGIA. **FAQ Tarifa Branca**. 2023. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br/faq-tarifa-branca>. Acesso em: 24 jan. 2023.

DENHOLM, Paul; O'CONNELL, Matthew; BRINKMAN, Gregory; JORGENSEN; Jennie. **Overgeneration from Solar Energy in California: A Field Guide to the Duck Chart**. National Renewable Energy Laboratory, 46p., 2015. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/65023.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2023.

ECHEVARRIA, Carlos; WEISS, Mariana; BORGES, Talita; DEL CASTILLO, Harold; BIOSCA, Oriol; HALLACK, Michelle. **Estimando a demanda potencial de energia para veículos elétricos: Um estudo de caso para o Sul do Brasil e seus possíveis desdobramentos**. Banco Interamericano de Desenvolvimento, 62p., 2022. Disponível em: <https://publications.iadb.org/pt/estimando-demanda-potencial-de-energia-para-veiculos-eletricos-um-estudo-de-caso-para-o-sul-do#:~:text=Os%20resultados%20do%20estudo%20de,consumo%20de%20energia%20da%20regi%C3%A3o>. Acesso em: 12 set. 2023.

European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E). **Electric Vehicle Integration into Power Grids**. ENTSO-E Position Paper, 31 mar. 2021. Disponível em: [https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/Publications/Position%20papers%20and%20reports/210331\\_Electric\\_Vehicles\\_in\\_tegration.pdf](https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/Publications/Position%20papers%20and%20reports/210331_Electric_Vehicles_in_tegration.pdf). Acesso em: 13 set. 2022.

ELECTRIC VEHICLE DATABASE. **Current and Upcoming Electric Vehicles**. 2023. Disponível em: <https://ev-database.org/#sort:path~type~order=.rank~number~desc|range-slider-range:prev~next=0~1200|range-slider-acceleration:prev~next=2~23|range-slider-topspeed:prev~next=110~350|range-slider-battery:prev~next=10~200|range-slider-towweight:prev~next=0~2500|range-slider->

[fastcharge:prev~next=0~1500|paging:currentPage=0|paging:number=9](#). Acesso em: 20 fev. 2023.

Energy Smart Communities Initiative. **California Vehicle-Grid Integration (VGI) Roadmap: Enabling vehicle-based grid services**. 2014. Disponível em: <https://www.esci-ksp.org/wp/wp-content/uploads/2016/11/vehicle-gridintegrationroadmap.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2023.

EVEROZE. **V2G Global Roadtrip: Around the world in 50 projects**. Everoze & EV Consult report, 2018. Disponível em: <https://innovation.ukpowernetworks.co.uk/wp-content/uploads/2018/12/V2G-Global-Roadtrip-Around-the-World-in-50-Projects.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2023.

GATON, Bryce. What is an ‘EV’?. **The Driven**, 28 ago. 2018. Disponível em: <https://thedriven.io/2018/08/28/what-is-an-ev/>. Acesso em: 25 set. 2022.  
Government of Canada. Vehicle to Grid Demand Response (V2G-DR). 21 set. 2021. Disponível em: <https://www.nrcan.gc.ca/science-and-data/funding-partnerships/funding-opportunities/current-investments/vehicle-grid-demand-response-v2g-dr/23800> . Acesso em: 15 out. 2022.

GREENV. Carregador P/ Carro Elétrico Wallbox ABB de 7,4kW - T2. 2023. Disponível em: [https://loja.greenv.com.br/carregador-p-carro-eletrico-wallbox-abb-de-74kw-t2?utm\\_source=Site&utm\\_medium=GoogleMerchant&utm\\_campaign=GoogleMerchant](https://loja.greenv.com.br/carregador-p-carro-eletrico-wallbox-abb-de-74kw-t2?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant). Acesso em: 02 set. 2023.

HAMMOND, Tiffany. **Get your fair share of new, zero-emission school bus funding from the EPA**. Clean Energy News, 2022. Disponível em: <https://nuvve.com/free-grant-assistance-for-zero-emission-school-bus-funding-from-the-epa/>. Acesso em: 30 abr. 2023.

HUANG, Shaotang; LIU, Wei; ZHANG, Jiawei; LIU, Cuicui; SUN, Huiqin; LIAO, Qiangqiang. Vehicle-to-grid workplace discharging economics as a function of driving distance and type of electric vehicle. **Sustainable Energy**, Grids and Networks, 2022, V. 31. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352467722000923>. Acesso em: 13 mar. 2023.

International Energy Agency (IEA). **Demand Response**. 2022a. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/demand-response>. Acesso em: 29 out. 2022.

IEA. **Global Energy Review: CO2 Emissions in 2021 Global emissions rebound sharply to highest ever level**. 2021(a). Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c3086240-732b-4f6a-89d7-db01be018f5e/GlobalEnergyReviewCO2Emissionsin2021.pdf>. Acesso em: 23 set. 2022.

IEA. **Energy Technology Perspectives 2020**. 2021(b). Disponível em: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/7f8aed40-89af-4348-be19-c8a67df0b9ea/Energy\\_Technology\\_Perspectives\\_2020\\_PDF.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/7f8aed40-89af-4348-be19-c8a67df0b9ea/Energy_Technology_Perspectives_2020_PDF.pdf). Acesso em: 23 out. 2022.

IEA. **Global EV Data Explorer**. 2022b. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer>. Acesso em: 05 mar. 2023.

IEA. **Global EV Outlook 2022: Securing supplies for an electric future**. 2022c. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ad8fb04c-4f75-42fc-973a-6e54c8a4449a/GlobalElectricVehicleOutlook2022.pdf>. Acesso em: 24 set. 2022.

IEA. **Global EV Data Explorer – Historical EV stock, buses, World, 2010-2022**. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer>. Acesso em: 05 mar. 2023.

International Electrotechnical Commission (IEC). Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements. **IEC 61851-1**. International Standard, n. 3, p. 4545, Fev. 2017.

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Vehicle to Grid (V2G) Technology. **IEEE Innovation at work**. 2019. Disponível em: <https://innovationatwork.ieee.org/vehicle-to-grid-v2g-technology/>. Acesso em: 07 set. 2022.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability, the Working Group II: Summary for Policymakers**. Sixth

Assessment Report, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>. Acesso em: 23 out. 2022.

International Organization for Standardization (ISO). **ISO 15118-20**. Road vehicles - Vehicle to grid communication interface - Part 20: 2nd generation network layer and application layer requirements. 2022

JAC MOTORS. **JAC E-JT 12,5 – Performance**. 2023. Disponível em: [https://www.jacmotors.com.br/veiculos/eletricos-detalhes/e-jt\\_125?comerciais=1](https://www.jacmotors.com.br/veiculos/eletricos-detalhes/e-jt_125?comerciais=1). Acesso em: 04 mar. 2023.

JONES, Laura; LUCAS-HEALEY, Kathryn; STURMBERG, Björn; TEMBY, Hugo; ISLAM, Monirul. **The A–Z of V2G: A comprehensive analysis of vehicle-to-grid technology worldwide**. BSGIP, 2021. Disponível em: <https://arena.gov.au/assets/2021/01/revs-the-a-to-z-of-v2g.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2023.

KESTER, Johannes; NOEL, Lance; DE RUBENS, Gerardo Zarazua; SOVACOOOL, Benjamin K. Promoting Vehicle to Grid (V2G) in the Nordic region: Expert advice on policy mechanisms for accelerated diffusion. **Energy Policy**, 2018, v. 116, p. 422-432. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.02.024>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421518300995>. Acesso em: 11 mar. 2023.

Los Angeles Times (LA TIMES). **California should tap its growing fleet of EVs to prevent blackouts**. Editorial, 2023. Disponível em: <https://www.latimes.com/opinion/story/2023-03-12/vehicle-to-grid-car-batteries>. Acesso em: 30 abr. 2023.

LI, Xinzhou; TAN, Yitong; LIU, Xinxin; LIAO, Qiangqiang; SUN, Bo. A cost-benefit analysis of V2G electric vehicles supporting peak shaving in Shanghai. **Electric Power Systems Research**, 17 out. 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.106058>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779619303773>. Acesso em: 29 ago. 2022.

MAISCH, Marija. The mobility rEVolution: PG&E obtains first V2G export rate for commercial EVs in US. **PV Magazine**, 2022. Disponível em: <https://www.pv-magazine.com/2022/10/31/the-mobility-revolution-pge-obtains-first-v2g-export-rate-for-commercial-evs-in-us/>. Acesso em: 01 abr. 2023.

MANZOLLI, Jônatas Augusto; TROVÃO, João Pedro F.; ANTUNES, Carlos Henggeler. Electric bus coordinated charging strategy considering V2G and battery degradation. **Energy** (254), 11 p., 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124252>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544222011550>. Acesso em: 14 mar. 2023.

MAO, Tian; LAU, W. H.; SHUM, Chong; CHUNG, Henry; TSANG, K. F.; TSE, Norman C. **F. A new schedule-controlled strategy for charging large number of EVs with load shifting and voltage regulation**. IEEE PES, Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2015.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Resenha Energética Brasileira**. Edição 2014, Ano Base 2013. 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/resenha-energetica-brasileira/resenhas/Resenha-Energetica-Brasileira-2014/view>. Acesso em: 23 nov. 2022.

MME. **Resenha Energética Brasileira**. Edição 2015, Ano Base 2014. 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/resenha-energetica-brasileira/resenhas/Resenha-Energetica-Brasileira-2015/view>. Acesso em: 23 nov. 2022.

MME. **Resenha Energética Brasileira**. Edição 2016, Ano Base 2015. 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/resenha-energetica-brasileira/resenhas/Resenha-Energetica-Brasileira-2016/view>. Acesso em: 23 nov. 2022.

MME. **Resenha Energética Brasileira**. Edição 2017, Ano Base 2016. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/resenha-energetica-brasileira/resenhas/Resenha-Energetica-Brasileira-2017/view>. Acesso em: 23 nov. 2022.

MME. **Resenha Energética Brasileira**. Edição 2018, Ano Base 2017. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/resenha-energetica-brasileira/resenhas/Resenha-Energetica-Brasileira-2018/view>. Acesso em: 23 nov. 2022.

MME. **Resenha Energética Brasileira**. Edição 2019, Ano Base 2018. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/resenha-energetica-brasileira/resenhas/Resenha-Energetica-Brasileira-2019/view>. Acesso em: 23 nov. 2022.

MME. **Resenha Energética Brasileira**. Edição 2020, Ano Base 2019. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/resenha-energetica-brasileira/resenhas/Resenha-Energetica-Brasileira%202020/view>. Acesso em: 23 nov. 2022.

MME. **Resenha Energética Brasileira**. Edição 2021, Ano Base 2020. 2021a. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/resenha-energetica-brasileira/resenhas/resenha-energetica-brasileira-2021/view>. Acesso em: 23 nov. 2022.

MME. **Resenha Energética Brasileira**. Edição 2022, Ano Base 2021. 2022a. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/resenha-energetica-brasileira/resenhas/resenha-energetica-2022.pdf/view> . Acesso em: 23 out. 2022.

MME. **Portaria Nº 50**. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, edição 185, seção: 1, pág. 188, 28 set. 2022b. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-normativa-n-50/gm/mme-de-27-de-setembro-de-2022-432279937>. Acesso em: 08 dez. 2022.

MME. **Portaria Nº 690**. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, edição 187, seção: 1, pág. 74, 30 set. 2022c. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-690/gm/mme-de-29-de-setembro-de-2022-433220204> . Acesso em: 27 out. 2022.

MME. **Publicadas regras para contratação de reserva de capacidade na forma de potência**. 2021b. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/publicadas-regras-para-contratacao-de-reserva-de-capacidade-na-forma-de-potencia>. Acesso em: 09 jun. 2023.

MOBILIZE BRASIL. **Veículos elétricos x Veículos a combustão**. Mobilize Brasil/Ucorp, 14 jul. 2021. Disponível em: <https://www.mobilize.org.br/noticias/12738/veiculos-eletricos-x-veiculos-a-combustao.html>. Acesso em: 24 set. 2022.

MOKEKE, Sebota; THAMAE, Leboli, Z. The impact of intermittent renewable energy generators on Lesotho national electricity grid. **Electric Power Systems Research**, v. 196, 12 p., 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779621001772>. Acesso em: 21 ago. 2023

NETTO, Allana de Moura; JUNIOR, Jair Urbanetz. **Análise da Geração Compartilhada de Energia Elétrica no Brasil**. IX Congresso Brasileiro de Energia Solar, Florianópolis, 10p., 2022. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1203>. Acesso em: 22 ago. 2023.

NOEL, Lance; DE RUBENS, Gerardo Zarazua; KESTER, Johannes; SOVACOO; Benjamin K. **Vehicle-to-Grid: A Sociotechnical Transition Beyond Electric Mobility**. Energy, Climate and the Environment, 271 p. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-04864-8>. Acesso em: 21 mai. 2023.

NREL. **Black Start**. NREL Transforming Energy, 2020. Disponível em: <https://www.nrel.gov/grid/black-start.html>. Acesso em: 1 out. 2022.

NREL. **Electric School Bus Evaluation**. NREL Transforming Energy, 2023. Disponível em: <https://www.nrel.gov/transportation/fleettest-electric-school-bus.html>. Acesso em 30 abr. 2023.

NUVVE. **Nuvve CEO Testifies in Support of California's SB 233 to Turn EVs into Mobile Energy Storage**. 2023a. Disponível em: <https://nuvve.com/nuvve-ceo-testifies-in-support-californias-sb233/>. Acesso em: 30 abr. 2023.

NUVVE. **Projects: Torrance Electric School Buses**. 2023b. Disponível em: <https://nuvve.com/projects/torrance-electric-school-buses/>. Acesso em: 30 abr. 2023.

Office of Gas and Electricity Markets (OFGEM). **Enabling the transition to electric vehicles: The regulator's priorities for a green, fair future**. 2021. Disponível em: <https://www.ofgem.gov.uk/sites/default/files/2021-09/Enabling%20the%20transition%20to%20electric%20vehicles%20-%20the%20regulators%20priorities%20for%20a%20green%20fair%20future.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2023.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). **Energia Agora: Carga e Geração**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/energia-agora/carga-e-geracao>. Acesso em: 26 out. 2022

PACTO GLOBAL. **ESG**. Rede Brasil, 2023. Disponível em: <https://www.pactoglobal.org.br/pg/esg>. Acesso em: 05 mar. 2023.

Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica (PNME). **2º Anuário Brasileiro da Mobilidade Elétrica**. 2022. Disponível em: <https://www.pnme.org.br/biblioteca/2o-anuario-brasileiro-da-mobilidade-eletrica-pnme/>. Acesso em: 20 fev. 2023.

PURNELL, K.; BRUCE, A. G.; MACGILL, I. Impacts of electrifying public transit on the electricity grid, from regional to state level analysis. **Applied Energy**, DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.118272, 21p, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261921015348>. Acesso em: 14 set. 2023.

PLUGSHARE. **Mapa de carregadores de VE**. 2023. Disponível em: <https://www.plugshare.com/br>. Acesso em: 11 mar. 2023.

RAMOS, Andre. Caminhão elétrico Mercedes-Benz eActros Long Haul roda até 500 km e chega em 2024. **Estadão**, 2022. Disponível em: <https://estradao.estadao.com.br/caminhoes/caminhao-eletrico-mercedes-benz-eactros-long-haul-roda-ate-500-km-e-chega-em-2024/>. Acesso em: 04 mar. 2023.

RENAULT. **Kangoo Z.E. Maxi – Autonomia e Carregamento**. 2023. Disponível em: <https://www.renault.com.br/veiculos-eletricos/kangoo-maxi-eletric/autonomie-recharge.html>. Acesso em: 04 mar. 2023.

RITCHIE, Hannah; ROSER, Max; ROSADO, Pablo. **CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions**. OurWorldInData.org, 2020. Disponível em: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector#annual-greenhouse-gas-emissions-by-sector>. Acesso em: 23 set. 2022.

SALDAÑA, Gaizka; SAN MARTIN, Jose Ignacio; ZAMORA, Inmaculada; ASENSIO, Francisco Javier; OÑEDERRA, Oier. Electric Vehicle into the Grid: Charging Methodologies Aimed at Providing Ancillary Services Considering Battery Degradation. **Energies**, MDPI, v.12, 25 jun. 2019. DOI doi:10.3390/en12122443. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/12/2443>. Acesso em: 15 out. 2022.

SAWLUZ. **Mercado de carros elétricos no Brasil será de 180 mil unidades/ano em 2030**. 2019. Disponível em: <https://www.sawluz.com.br/mercado-de-carros-eletricos-no-brasil-sera-de-180-mil-unidades-ano-em-2030/>. Acesso em: 27 out. 2022.

Secretaria Nacional de Trânsito (SENATRAN). **Frota de Veículos – 2023: Quantidade de Veículos por UF Município Marca e Modelo (Março de 2023)**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2023>. Acesso em: 13 mai. 2023.

SILVA, I. A.; FRANCATO, A. L.; PINHEIRO, V. C. N. **Armazenamento Residencial Estratégico de Energia: Viabilidade e Perspectivas Para o Futuro**. 2023. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 7 p.

Sivaneasan, B; Lim, M. L; GOH, K.P. Overcoming Solar PV Intermittency using Demand Response Management in Buildings. **Energy Procedia**, v. 143, pg. 210-215, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217364378>. Acesso em: 21 ago. 2023.

Smart Charging Alignment for Europe (SCALE). **Analysis of hard- and software requirements: Project deliverable 1.5**. 2023. Disponível em: <https://www.v2g-hub.com/reports>. Acesso em: 15 abr. 2023

SORTOMME, Erick; HINDI, Mohammad H.; MACPHERSON, S. D. James; VENTAKA, S. S. **Coordinated Charging of Plug-In Hybrid Electric Vehicles to Minimize Distribution System Losses**. IEEE Transactions on Smart Grid, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 198-205, mar. 2011. DOI 10.1109/TSG.2010.2090913. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5664815> . Acesso em: 2 out. 2022.

SOVACOOOL, Benjamin K.; KESTER, Johannes; NOEL, Lance; DE RUBENS, Gerardo Zarazua. Actors, business models, and innovation activity systems for vehicle-to-grid (V2G) technology: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 131, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032120302549>. Acesso em: 22 mar. 2023.

SSE ENERGY SOLUTIONS. **BUS2GRID**. 2023a. Disponível em: <https://www.sseenergysolutions.co.uk/distributed-energy-infrastructure/our-solutions/bus2grid>. Acesso em: 11 abr. 2023.

SSE ENERGY SOLUTIONS. **BUS2GRID Bidirectional charging**. 2023b. Disponível em: <https://www.sseenergysolutions.co.uk/news-and-insights/case-studies/bus2grid-project>. Acesso em: 11 abr. 2023.

SUTTO, Giovanna. Nem tão raro, mas caro: o que impede carro elétrico (além do preço) de estar na garagem dos brasileiros? **Infomoney**, 2022. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/consumo/nem-tao-raro-mas-caro-o-que-impede-carro-eletrico-alem-do-preco-de-estar-na-garagem-dos-brasileiros/>. Acesso em: 02 abr. 2023.

TEPE, Benedikt; FIGGENER, Jan; ENGLBERGER, Stefan; SAUER, Dirk Uwe; JOSSEN, Andreas; HESSE, Holger. Optimal pool composition of commercial electric vehicles in V2G fleet operation of various electricity markets. **Applied Energy**, v. 308, 2022. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261921015981>. Acesso em: 14 mar. 2023.

TOYOSHIMA, Denis T.; MONDO, Carlos W.; EVANGELISTA, Rafael C.; CORRÊA, Fernanda C. **Introdução ao conceito Vehicle-to-Grid**. Journal of Applied Instrumentation and Control, DOI: ISSN: 2318-4531, 2021. Disponível em:

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwic6YOo7dP9AhWDILkGHXY7A-EQFnoECCAQAQ&url=https%3A%2F%2Fperiodicos.utfpr.edu.br%2Fbjic%2Farticle%2Fdownload%2F13082%2Fpdf&usg=AOvVaw07mh8vtLlml2r03T11xEbX>. Acesso em: 11 mar. 2023.

UDDIN, K.; DUBARRY, M.; GLICK, M. B. **The viability of vehicle-to-grid operations from a battery technology and policy perspective**. Energy Policy. 113,2018. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421517307619>. Acesso em: 12 dez. 2022.

UNFCCC. CONFERENCE OF THE PARTIES (COP). **Paris Agreement**, Paris Climate Change Conference, 11/2015. COP21. Treaties and agreements. Disponível em:

<https://unfccc.int/documents/9064> . Acesso em: 23 set. 2022.

UK ORG. **Why is the V2G charger only available for selected Nissan EV drivers?**

Electric Nation Vehicle do Grid. 2022, Disponível em: <https://electricnation.org.uk/faqs/why-is-the-v2g-charger-only-available-for-nissan-ev-drivers/>. Acesso em: 22 out. 2022.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Demand Response**. Office of electricity. Disponível em: <https://www.energy.gov/oe/activities/technology-development/grid-modernization-and-smart-grid/demand-response>. Acesso em: 28 out. 2022.

V2G HUB. **Insights**. Website, 2023a. Disponível em: <https://www.v2g-hub.com/insights>. Acesso em: 13 abr. 2023.

V2G HUB. **Torrance V2G School Bus**. 2023b. Disponível em: <https://www.v2g-hub.com/projects/torrance-v2g-school-bus/>. Acesso em: 30 abr. 2023.

WALLBOX. **Conheça o tipo de carregador em cada modelo de carro**. WALLBOX For Electric Vehicles, 2022. Disponível em: <https://www.wallbox.in.th/%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%A0%E0%B8%97%E0%B8%AB%E0%B8%B1%E0%B8%A7%E0%B8%8A%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%88%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B8%A3%E0%B8%96/>. Acesso em: 12 out. 2022.

WALLBOX. [Correspondência eletrônica]. Destinatário: Isabela Assis da Silva. Cotação Comercial do Carregador Quasar, 25 ago. 2023.

WANG, Ran; LI, Yifan; WANG, Ping; NIYATO, Dusit. **Design of a V2G Aggregator to Optimize PHEV Charging and Frequency Regulation Control**. IEEE, 24 out. 2013. DOI 10.1109/SmartGridComm.2013.6687945. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6687945>. Acesso em: 3 out. 2022.

WEG. **Estação de Recarga para Veículos Elétricos**. Website da WEG, 2022. Disponível em: [https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Infraestrutura-para-Mobilidade-El%C3%A9trica/Esta%C3%A7%C3%A3o-de-Recarga-para-Ve%C3%ADculos-El%C3%A9tricos/Esta%C3%A7%C3%A3o-de-Recarga-para-Ve%C3%ADculos-El%C3%A9tricos/p/MKT\\_WDC\\_BRAZIL\\_RE\\_ELECTRIC\\_VEHICLE\\_G2](https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Infraestrutura-para-Mobilidade-El%C3%A9trica/Esta%C3%A7%C3%A3o-de-Recarga-para-Ve%C3%ADculos-El%C3%A9tricos/Esta%C3%A7%C3%A3o-de-Recarga-para-Ve%C3%ADculos-El%C3%A9tricos/p/MKT_WDC_BRAZIL_RE_ELECTRIC_VEHICLE_G2). Acesso em: 12 out. 2022.

ZHANG, Ao; SUN, Bo; LIU, Tian; TAN, Xiaoqi; WANG, Su; TSANG, Danny H.K. **Joint Voltage and Frequency Regulation by EV Charging Scheduling in the Distribution Network**. IEE, 9 jul. 2018. DOI 10.1109/ISGT.2018.8403363. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8403363>. Acesso em: 2 out. 2022.