



DESAFIOS E TENDÊNCIAS DA IMPLEMENTAÇÃO DO CONCEITO DE *VEHICLE-TO-GRID* (V2G).

ARTIGO DE REVISÃO

GARCIA, Vilson¹

GARCIA, Vilson. **Desafios e tendências da implementação do conceito de *Vehicle-to-Grid* (V2G).** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 08, Ed. 01, Vol. 01, pp. 40-53. Janeiro de 2023. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/desafios-e-tendencias>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/desafios-e-tendencias

RESUMO

Os veículos elétricos e híbridos estão, atualmente, cada vez mais presentes nas ruas e no cotidiano das pessoas. Com isso, o consumo de energia elétrica pelos veículos tem aumentado anualmente. Por outro lado, isso evidencia a aceitação desta tecnologia pela população, a qual se preocupa não apenas com a redução de custos em geral, mas também com o impacto ambiental. Contudo, ainda existe uma certa resistência devido ao preço elevado dos veículos elétricos/híbridos quando comparados aos veículos à combustão. Nesse sentido, em relação à questão financeira, uma opção que visa reduzir o alto investimento para a compra de um veículo elétrico/híbrido é o conceito de *Vehicle-to-Grid* (V2G), o qual permite ao proprietário fornecer a energia armazenada na bateria do veículo em troca da obtenção de uma compensação financeira. A finalidade deste artigo é apresentar o princípio de funcionamento, os componentes e analisar algumas aplicações V2G, identificando vantagens, desvantagens, desafios e tendências em relação a este conceito. Portanto, são analisadas duas aplicações e o resultado obtido, após um ano de análise, foi satisfatório, já que os custos para carregamento do veículo ficam abaixo do retorno obtido com o sistema V2G e, embora ainda existam incertezas sobre o impacto do uso de sistemas V2G na degradação da bateria, a influência observada não a prejudica significativamente, podendo, inclusive, estender a vida útil da bateria em determinadas condições de operação.

Palavras-chave: *Vehicle-to-Grid*, Veículos elétricos/híbridos, Bateria, Rede.



1. INTRODUÇÃO

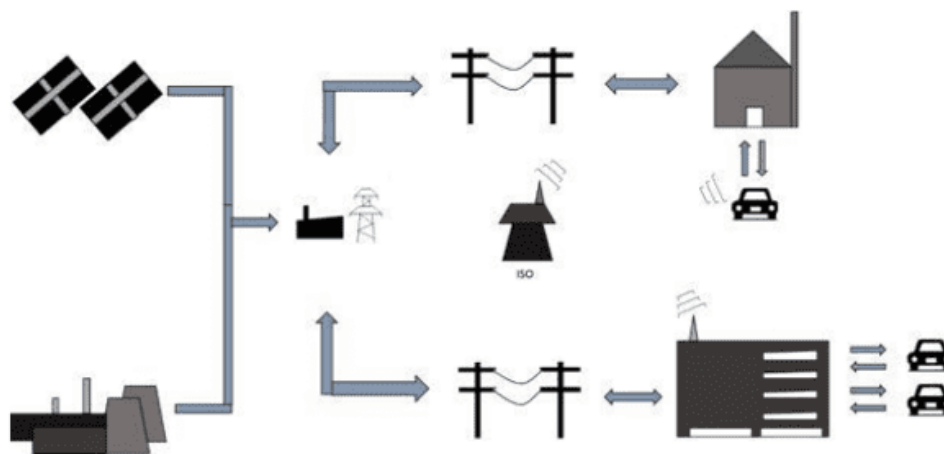
Atualmente, o conceito de redes inteligentes de energia (do inglês, *Smart Grid*) é cada vez mais utilizado, tanto para novas formas de fornecimento de energia (geração própria, geração distribuída, microgeração, entre outras formas), quanto para monitorar os padrões de consumo. Neste contexto, surge um novo conceito denominado *Vehicle-to-Grid* (V2G), o qual permite que a bateria do veículo forneça energia para a rede quando o automóvel não estiver em uso (ROBLEDO *et al.*, 2018).

A energia elétrica é gerada a partir de diferentes fontes (hidrelétrica, eólica, solar, nuclear, entre outras) e percorre por uma rede de transmissão até chegar ao consumidor final, seja nas residências ou nas demais construções. Podem existir, junto aos centros comerciais e/ou residenciais, diferentes pontos de carga e descarga de energia de EV: bateria (do inglês, *Battery Electric Vehicle* – BEV), célula de combustível (do inglês, *Fuel Cell Electric Vehicle* – FCEV) ou híbrido plug-in (do inglês, *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* – PHEV). Além disso, também pode haver subestações em que as frotas de veículos podem realizar esse processo (HASHMI e GUL, 2018).

Em 1997, iniciaram-se as primeiras pesquisas sobre o conceito de V2G, porém, os primeiros testes práticos, foram realizados somente em 2007. Após os primeiros testes em campo, o conceito passou a ser implementado em vários projetos em todo o mundo, tanto como objeto de pesquisa acadêmica, como em propostas com motivação comercial (FUTURE LEARN, s.d.). Analisando por meio deste novo conceito, os veículos elétricos deixam de ser um componente passivo da estrutura e, ao invés disso, passam a desempenhar um papel crucial no sistema de energia. Com isso, tornam-se uma fonte complementar de energia e passam a criar oportunidades financeiras.

As conexões entre a rede elétrica de energia e os veículos elétricos (do inglês, *Electric Vehicle* – EV) podem ser vistas na Figura 1.

Figura 1. Esquema básico do *Vehicle-to-Grid* (V2G)



Fonte: Hashmi e Gul (2018).

2. PRINCÍPIOS DO CONCEITO *VEHICLE-TO-GRID* (V2G)

O conceito de *Vehicle-to-Grid* (V2G) baseia-se no fornecimento de energia à rede quando o veículo elétrico/híbrido estiver parado. Isso é feito por meio de conexões e equipamentos específicos. Dessa forma, o proprietário do veículo poderá receber uma compensação, seja em moeda local ou mesmo na forma de créditos e reduções em seu consumo (LI *et al.*, 2015; VAZ, 2019).

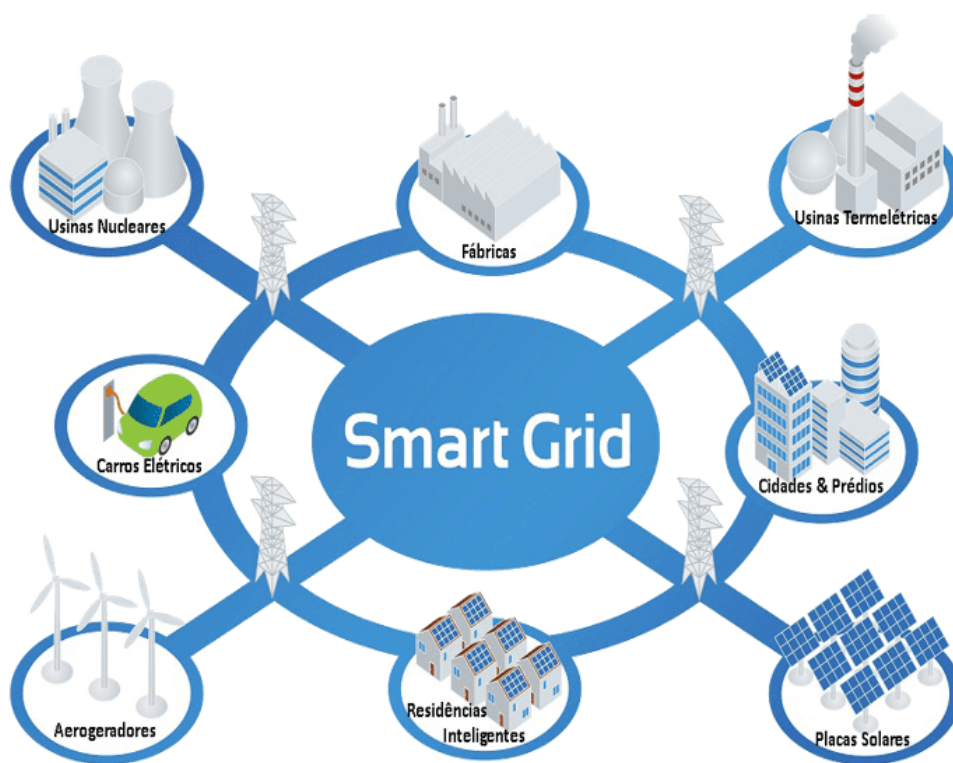
Em um cenário típico, o proprietário de um veículo elétrico/híbrido utiliza o veículo principalmente para se deslocar em suas atividades diárias, que, normalmente, são representadas por viagens entre a sua casa e o seu local de trabalho. Assim, o veículo pode ser conectado à rede enquanto estiver em repouso, e realizar a transferência de energia entre a bateria e a rede por meio de um conversor bidirecional (HASHMI e GUL, 2018). O usuário pode especificar níveis de utilização do veículo e o período de carga. Nesse caso, o sistema de gerenciamento se encarregaria de entregar a carga completa no tempo previamente determinado pelo usuário (VAZ, 2019).

A compensação em relação à energia fornecida é calculada levando em consideração o tempo, a quantidade de energia fornecida e a demanda da rede, quando houve a solicitação da energia da bateria. Essa funcionalidade é atraente para os

consumidores, pois permite compensar o custo mais alto dos veículos elétricos/híbridos por meio do V2G (LI *et al.*, 2015). A atratividade financeira aumenta, sobretudo, quando se tem em conta a oferta em períodos de elevada procura e baixa carga de bateria como, por exemplo, entre 00h00 e 06h00.

Essa alternativa contrasta com o paradigma convencional de distribuição de energia, assim como ocorre com algumas outras fontes alternativas, comumente exploradas no contexto de *Smart Grid*, como pode ser visto na Figura 2. No entanto, ao contrário de outras opções, o uso do V2G depende muito da capacidade e do estado de funcionamento da bateria do veículo (ROBLEDO *et al.*, 2018).

Figura 2. Esquemático de conexões entre produtores e consumidores energéticos em uma *Smart Grid*



Fonte: Pelielo; Accácio e Moysés (2016).

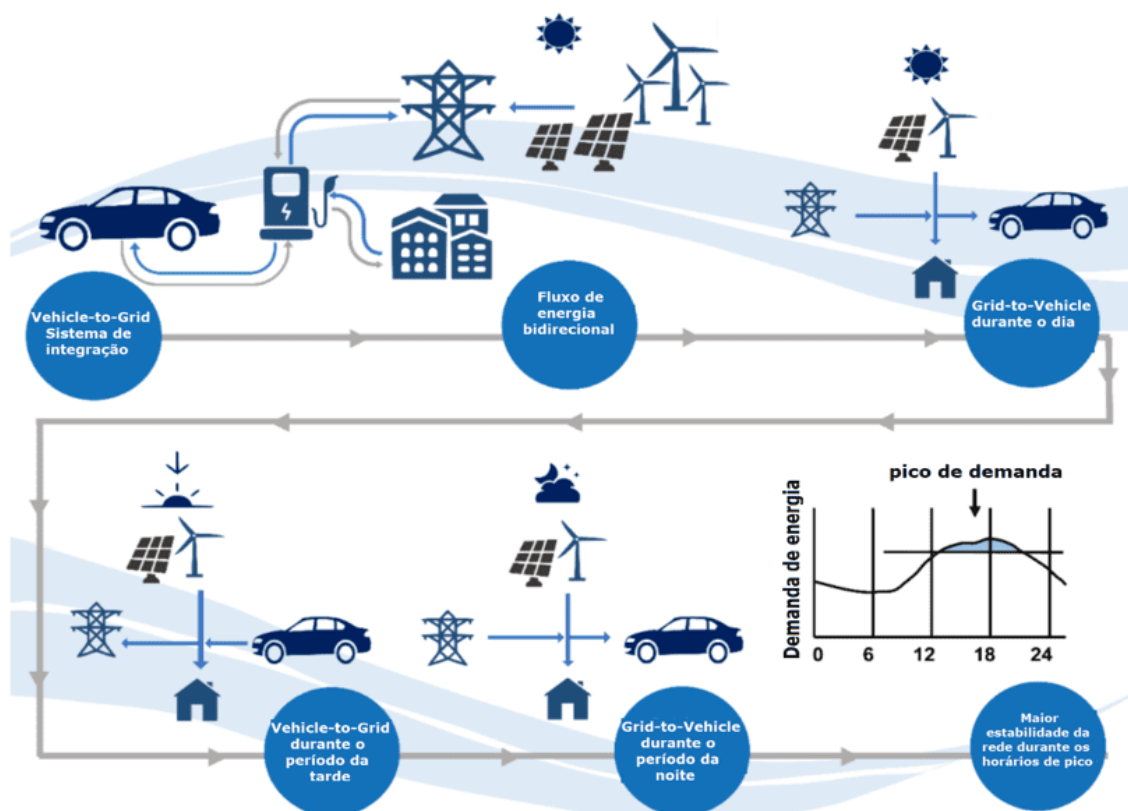
De acordo com Gonçalves (2015), existem ainda outras possibilidades de aplicação com diferentes funcionalidades:



- *Vehicle to Home* (V2H) – é uma configuração em que o veículo é utilizado como backup de energia para a residência (muitas vezes do proprietário), assim pode, entre outras funcionalidades, garantir o abastecimento em caso de falha ou interrupção da rede elétrica;
- *Vehicle to Building* (V2B) – similar ao conceito de V2H, mas em escala comercial;
- *Veículo para Rede* (V4G) – nesta configuração, o veículo possui a função de corrigir irregularidades na rede ou, ainda, como um filtro ativo de energia para compensar os harmônicos (MONTEIRO; PINTO e AFONSO, 2019);

Nas configurações V2H e V2B, o veículo elétrico/híbrido do usuário pode ser utilizado para abastecer completamente sua residência ou estabelecimento comercial nos horários de pico, evitando os altos custos de consumo de energia associados a este horário (GONÇALVES, 2015). A Figura 3 mostra uma ilustração simplificada desta situação.

Figura 3. Ilustração do conceito V2G durante diferentes momentos do dia



Fonte: Ravi e Aziz (2022).

2.1 VANTAGENS E DESAFIOS

As vantagens da tecnologia V2G vão além dos benefícios econômicos e ambientais. Existem mais de 25 categorias de benefícios do V2G, segundo estudo realizado em 200 instituições ligadas à tecnologia de veículos elétricos em países nórdicos, os quais lideram a adoção da tecnologia de veículos elétricos (NOEL *et al.*, 2018).

Um dos principais beneficiários desta tecnologia é o consumidor final. Algumas das vantagens para o consumidor são: o fornecimento exclusivo de energia em caso de interrupções prolongadas (no caso de V2H e V2B); a correção de falhas ou quedas bruscas no fornecimento; a compensação nos horários de pico de demanda; o retorno financeiro todos os meses; entre outros (GONÇALVES, 2015).



Do ponto de vista das indústrias automotivas, o conceito do V2G pode ser utilizado como objeto de estudo, oferecendo a possibilidade de desenvolver veículos elétricos com tecnologias mais robustas capazes de diminuir o desgaste das baterias e incentivar o uso de veículos elétricos/híbridos (HEILMANN e FRIEDL, 2021).

As próprias concessionárias de energia terão a capacidade de planejar novas topologias que incluam fontes alternativas de energia. Com isso, haverá incentivo no uso e desenvolvimento de *Smart Grid* e de novas tecnologias nesta área (HEILMANN e FRIEDL, 2021).

Infelizmente, ainda existem alguns obstáculos que tornam a aplicação do V2G um tanto restrita. Um dos principais empecilhos é o investimento necessário para criar uma instalação capaz de suportar esta aplicação que em conjunto com o custo associado ao veículo elétrico/híbrido, comprometem o emprego desta tecnologia (RAVI e AZIZ, 2022).

A implantação de uma rede de controle que monitorasse o estado da bateria, de forma a maximizar o desempenho da rede como um todo e do próprio armazenamento do veículo, seria outro desafio que precisaria ser superado. A utilização de uma central de controle está intimamente relacionada com a *Smart Grid*, a qual inclui tanto o V2G, quanto o entendimento de vários conceitos (geração distribuída, dispositivos de medição inteligentes, novas arquiteturas de rede, centros de controle, entre outros conceitos) (PELIELO; ACCÁCIO e MOYSÉS, 2016).

Contudo, o principal desafio do V2G está relacionado à própria bateria do veículo, especificamente a sua capacidade, pois os ciclos frequentes de carga e descarga causariam o desgaste acelerado na bateria. Quanto a isso, Wang *et al.* (2016) e Uddin *et al.* (2017), mostram que na maioria dos testes em laboratório, a análise era realizada levando em consideração apenas a quantidade de descarga e as taxas de corrente, enquanto fatores significativos, como: temperatura e estado da bateria durante as situações de estresse do sistema, eram desprezados. Nesses casos, com análise mais aprofundada, é possível constatar que, quando realizado em condições



específicas, o resultado difere significativamente da forma como costuma ser abordado, como será visto na seção a seguir.

2.2 COMPONENTES DO SISTEMA V2G

As redes elétricas inteligentes (*Smart Grids*), que possibilitam a aplicação do conceito de V2G, são capazes de apresentar diferenças entre si, desde a topologia geral até os equipamentos particulares utilizados em cada uma. No entanto, as ferramentas disponíveis podem ser resumidas da seguinte forma: interruptor programável, conversor bidirecional e dispositivo de medição inteligente (GONÇALVES, 2015; GANZENMÜLLER, 2020; USTUN; OZANSOY e ZAYEGH, 2013).

2.2.1 MEDIDORES INTELIGENTES

Quando se trata da ideia de uma *Smart Grid*, os componentes fundamentais são os dispositivos encarregados de realizar medições bidirecionais relacionadas à energia. Eles diferem dos medidores convencionais porque também possuem comunicação de dados com uma central de controle. Isso permite ao usuário acompanhar detalhadamente ou mudar seu padrão de consumo, além da realização de corte e religamento de forma remota.

2.2.2 INTERRUPTOR PROGRAMÁVEL

Geralmente integrado ao sistema como um todo, este componente permite iniciar ou interromper o fluxo de energia. Após a realização do monitoramento do consumo da rede por meio do medidor inteligente, é possível identificar os períodos do pico de demanda e, assim, acionar o interruptor para conexão à rede.

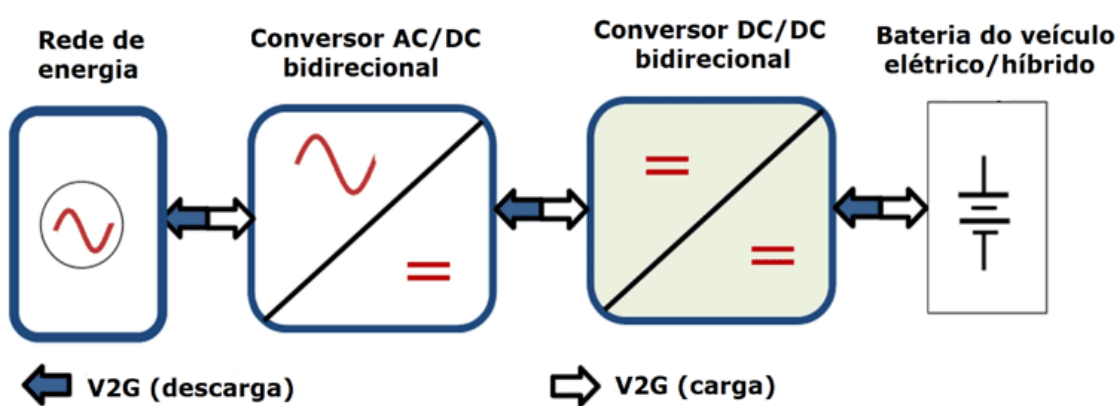
2.2.3 CONVERSOR BIDIRECIONAL

O conversor bidirecional é bastante comum em sistemas de potência onde é necessário um fluxo de energia entre os dois lados. Para ajustar a tensão entregue pela rede a um nível adequado ao funcionamento da bateria, ao longo da etapa de carregamento, este conversor retifica a tensão fornecida pela rede e, por meio de um

conversor de potência, reduz a tensão para adequar ao nível de tensão de operação da bateria. Enquanto, no modo V2G, o conversor de potência faz a operação inversa, ou seja, passa por um conversor para elevar a tensão ao nível compatível com a rede de alimentação (ZHANG e WANG, 2020).

Demonstra-se, na Figura 4, um diagrama simplificado deste sistema.

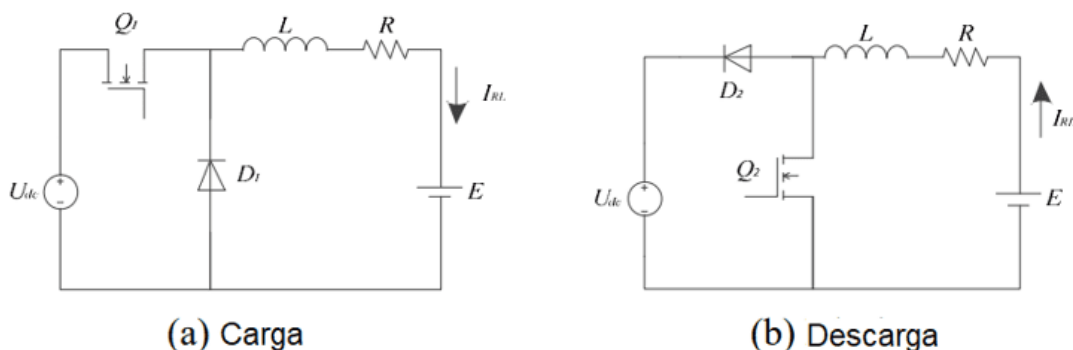
Figura 4. Diagrama geral simplificado de um sistema V2G com conversor bidirecional



Fonte: Jarraya et al. (2019).

A topologia do conversor utilizada por Zhang e Wang (2020) para o V2G é o conversor *buck-boost*. Na Figura 5 é apresentado o circuito equivalente da topologia *buck-boost* bidirecional durante o carregamento e o descarregamento, o qual é controlado através da abertura e fechamento das chaves Q1 e Q2.

Figura 5. Circuito equivalente da topologia *buck-boost* bidirecional: (a) carga e (b) descarga

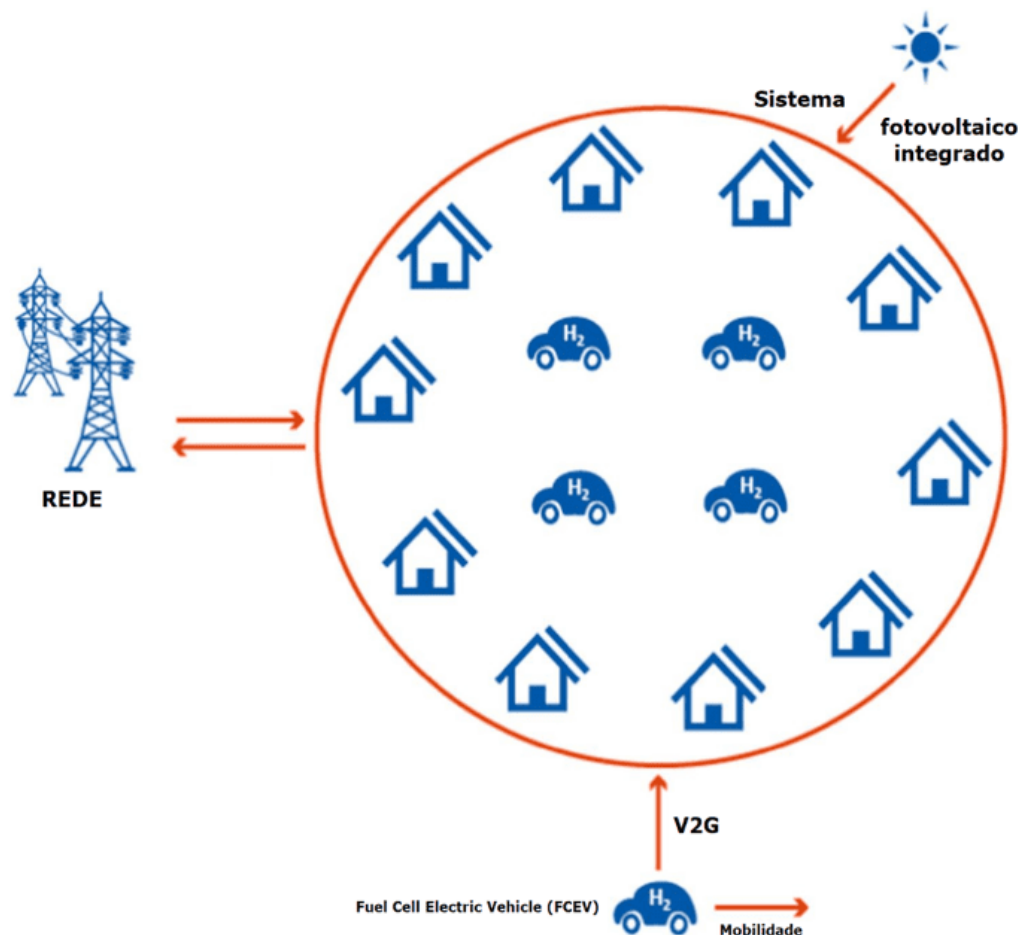


Fonte: Zhang e Wang (2020).

2.3 APLICAÇÕES DO SISTEMA V2G

Inúmeros estudos estão sendo realizados atualmente em todo o mundo para validar e testar as possibilidades dessa nova tecnologia desenvolvida, auxiliando na disseminação do conceito V2G. No trabalho de Robledo *et al.* (2018), um sistema de abastecimento híbrido foi implementado em um conjunto de residências, conforme ilustrado no esquemático da Figura 6.

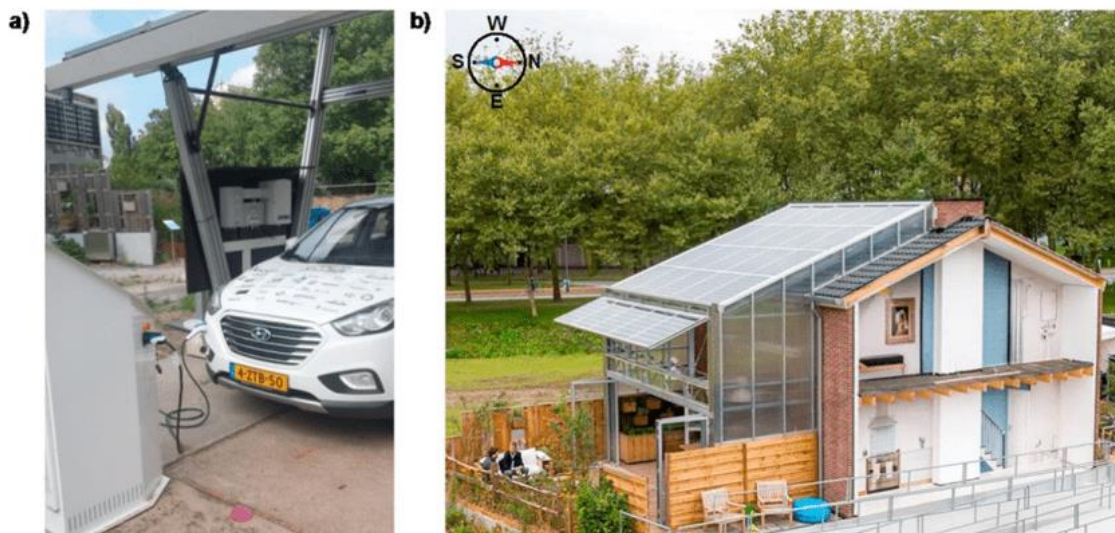
Figura 6. Esquemático da microrrede em análise com 10 casas, 5 FCEVs de hidrogênio e sistema de energia fotovoltaico



Fonte: Robledo et al. (2018).

Uma infraestrutura V2G conectada a FCEVs e painéis fotovoltaicos foram responsáveis pelo fornecimento de energia. A estrutura era composta por cerca de dez casas, cada uma com o seu próprio sistema de microgeração, e cinco veículos com o mesmo sistema de alimentação. Alguns dos componentes utilizados no experimento são mostrados na Figura 7.

Figura 7. (a) Veículo FCEV conectado em V2G, fornecendo potência para a rede; (b) Residência com placas fotovoltaicas



Fonte: Robledo et al. (2018).

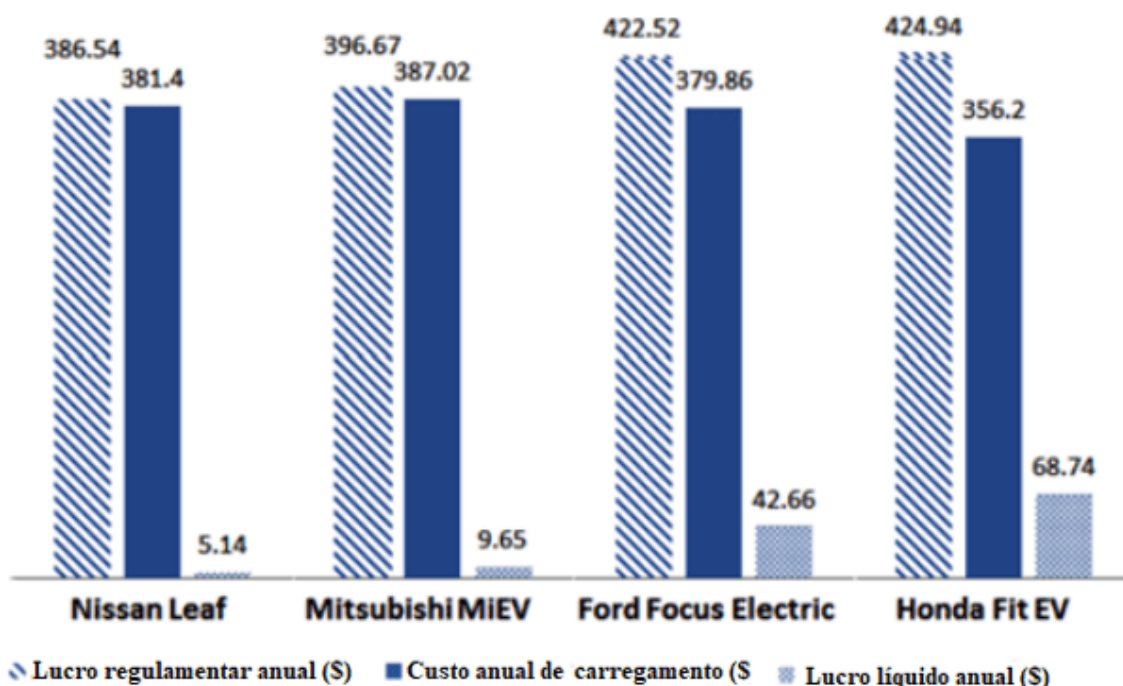
O resultado obtido após um ano de análise, foi satisfatório, sendo que o sistema chegou a ser autossustentável, em alguns pontos. Isso mostra que o conceito V2G se torna ainda mais importante nos períodos em que outras fontes estão em nível baixo, pois, assim, o V2G pode atuar como complemento.

Em outro estudo, realizado por Li *et al.* (2015), três modelos diferentes de veículos elétricos (*Nissan Leaf*, *Mitsubishi MiEV*, *Ford Focus Electric* e *Honda Fit EV*) foram selecionados. Para ilustrar o contraste entre as tecnologias utilizadas pelos diferentes fabricantes de veículos e carregadores, esses veículos foram comparados em termos de desempenho e de carregadores com diferentes potências para a funcionalidade de V2G.

Depois de submeter os veículos a vários percursos e conectá-los na configuração V2G, foi observado que o lucro obtido depende da distância percorrida diariamente pelo motorista, pois, tanto o nível da bateria, quanto o tempo de carregamento do veículo são impactados. Também foi realizada uma comparação com carregadores de 7,2kW e 14,4kW, ajustados para diferentes potências por meio de alterações na capacidade de corrente do circuito.

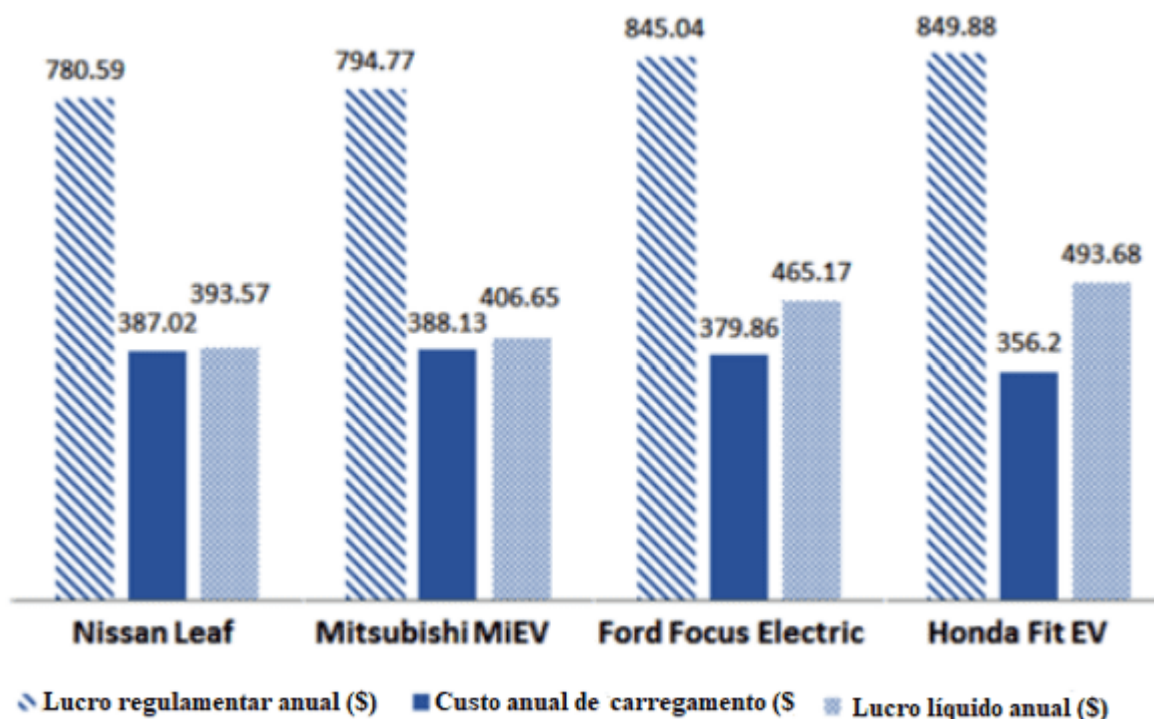
Verificou-se que, mesmo no caso de menor potência, os custos para carregamento do veículo ficam abaixo do retorno obtido com o V2G. Quando o sistema mais potente foi usado, o valor recebido como retorno do V2G era mais que o dobro do valor gasto com o carregamento do veículo. Nos gráficos das Figuras 8 e 9 são mostrados os resultados obtidos.

Figura 8. Lucros e custos com V2G e carregamento de veículos elétricos utilizando carregador de potência de 7,2 kW



Fonte: Li et al. (2015).

Figura 9. Lucros e custos com V2G e carregamento de veículos elétricos utilizando carregador de potência de 14,4 kW



Fonte: Li et al. (2015).

Por outro lado, foi verificado que a bateria se degrada cerca de 1% ao ano quando usada para V2G, independentemente de quanto esse sistema é usado. Em comparação ao gasto pela utilização do veículo, a influência do sistema V2G é responsável por menos de um terço da degradação total da bateria.

Conforme já citado, a maior parte dos experimentos cujo foco é o efeito do uso do V2G na degradação da bateria não leva em consideração todas as variáveis, fazendo com que os resultados sejam relativamente distantes da realidade. Para dissipar esse equívoco, Uddin *et al.* (2017) realizou 50 testes medindo a degradação a longo prazo de baterias disponíveis comercialmente sob condições operacionais, incluindo os limites máximos de tolerância dos fabricantes.

A proposta da pesquisa foi desenvolver um sistema que operasse em condições ótimas, estendendo efetivamente a vida útil da bateria. No estudo foi dito



explicitamente que o nível da bateria tinha relação direta com o com aquecimento dela, portanto, quanto maior a carga, maior a resistência interna e, consequentemente, maior a degradação. Eles, então, conseguiram manter o nível da bateria usando um carregador gerenciável, realizando o carregamento apenas dentro da janela de tempo previamente designada para uso do veículo.

Os resultados obtidos mostraram que houve uma redução de 10% na perda de capacidade da bateria em comparação com o sistema em que a bateria é carregada a 100% da sua capacidade todos os dias (UDDIN *et al.*, 2017).

3. CONCLUSÃO

Mesmo com as vantagens únicas inerentes ao veículo elétrico/híbrido, ainda persiste uma certa resistência por parte do público em geral, o que se justifica pelo custo mais elevado quando comparado aos veículos movidos a combustão. A ideia do V2G tem o potencial de retorno financeiro por meio da energia fornecida à rede ou do provimento de energia para o imóvel do proprietário do veículo nos horários de pico, o que pode estimular a compra de veículos elétricos e híbridos.

Embora existam vários estudos e empresas especializadas neste tópico espalhadas pelo mundo, ainda existem incertezas sobre o impacto do uso de sistemas V2G na degradação da bateria. Todavia, conforme exposto neste artigo, a influência observada não prejudica significativamente, podendo, inclusive, estender a vida útil da bateria em determinadas condições de operação.

A confiabilidade, a eficiência, o desenvolvimento sustentável e a estabilidade do sistema V2G, são os principais motivadores dos estudos nessa área. Com o sucesso na implementação de sistemas V2G de várias escalas, o avanço constante e a aceitação pelo público, é possível ter uma perspectiva positiva em relação ao crescimento no uso do V2G.



REFERÊNCIAS

FUTURE LEARN. The History of V2G. **Future Learn**, s.d. Disponível em: <https://www.futurelearn.com/info/courses/everything-you-need-to-know-about-vehicle-to-grid-charging/0/steps/291444>. Acesso em: 01 dez. 2022.

GANZENMÜLLER, William Hertz. **Conversor de energia para estação de carregamento de veículos elétricos puros por meio de transmissão de energia elétrica sem fio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista. Sorocaba, 2020. 103 f.

GONÇALVES, José Miguel Ribeiro. **Soluções de tecnologias de informação e comunicação para implementação do conceito V2G**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica - Área de Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia) – Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra, 2015. 140 f.

HASHMI, Awais; GUL, Muhammad Talha. Integrating E-vehicle into the power system by the execution of vehicle-to-grid (V2G) terminology—A review. In: **2018 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET)**. IEEE, 2018. p. 1-5. Disponível em: DOI: 10.1109/ICEET1.2018.8338642. Acesso em: 03 jan. 2023.

HEILMANN, Christoph; FRIEDL, Gunther. Factors influencing the economic success of grid-to-vehicle and vehicle-to-grid applications—A review and meta-analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 145, p. 1-15, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111115>. Acesso em: 03 jan. 2023.

JARRAYA, Fatma. *et al.* Design considerations, modelling, and control of dual-active full bridge for electric vehicles charging applications. **The Journal of Engineering**, v. 03, n. 12, p. 8439-8447, 2019. Disponível em: DOI:10.1049/joe.2018.5279. Acesso em: 03 jan. 2023.

LI, Zi. *et al.* Optimizing the performance of vehicle-to-grid (V2G) enabled battery electric vehicles through a smart charge scheduling model. **International Journal of Automotive Technology**, v. 16, n. 5, p. 827-837, 2015. Disponível em: DOI 10.1007/s12239-015-0085-3. Acesso em: 03 jan. 2023.

MONTEIRO, Vítor; PINTO, J. G.; AFONSO, João L. Improved vehicle-for-grid (iV4G) mode: Novel operation mode for EVs battery chargers in smart grids. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 110, p. 579-587, 2019. Disponível em: DOI:10.1016/j.ijepes.2019.03.049. Acesso em: 03 jan. 2023.

NOEL, Lance. *et al.* Beyond emissions and economics: Rethinking the co-benefits of electric vehicles (EVs) and vehicle-to-grid (V2G). **Transport Policy**, v. 71, p. 130-137, 2018. Disponível em: DOI: 10.1016/j.tranpol.2018.08.004. Acesso em: 03 jan. 2023.



PELIELO, Gabriel; ACCÁCIO, Rafael; MOYSÉS, Rodrigo. Smart Grid – Redes Inteligentes. **Escola Politécnica da UFRJ**, 2016. Disponível em: https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-2016-1/16_1/smartgrid/. Acesso em: 02 dez. 2022.

RAVI, Sai Sudharshan; AZIZ, Muhammad. Utilization of electric vehicles for vehicle-to-grid services: progress and perspectives. **Energies**, v. 15, n. 2, p. 589, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en15020589>. Acesso em: 03 jan. 2023.

ROBLEDO, Carla B. *et al.* Integrating a hydrogen fuel cell electric vehicle with vehicle-to-grid technology, photovoltaic power and a residential building. **Applied energy**, v. 215, p. 615-629, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.02.038>. Acesso em: 03 jan. 2023.

UDDIN, Kotub. *et al.* On the possibility of extending the lifetime of lithium-ion batteries through optimal V2G facilitated by an integrated vehicle and smart-grid system. **Energy**, v. 133, p. 710-722, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.116>. Acesso em: 03 jan. 2023.

USTUN, Taha Selim; OZANSOY, Cagil R.; ZAYEGH, Aladin. Implementing vehicle-to-grid (V2G) technology with IEC 61850-7-420. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 4, n. 2, p. 1180-1187, 2013. Disponível em: DOI:10.1109/TSG.2012.2227515. Acesso em: 03 jan. 2023.

VAZ, Pedro Gustavo Pereira Granjo. **Análise dos sistemas G2V e V2G no Contexto da Integração de Geração Renovável**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, na especialização de Energia) - Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra. Coimbra, 2019. 88 f.

WANG, Dai. *et al.* Quantifying electric vehicle battery degradation from driving vs. vehicle-to-grid services. **Journal of Power Sources**, v. 332, p. 193-203, 2016. Disponível em: [10.1016/j.jpowsour.2016.09.116](https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.09.116). Acesso em: 03 jan. 2023.

ZHANG, Weijie; WANG, Jiansheng. Research on V2G Control of Smart Microgrid. In: **2020 International Conference on Computer Engineering and Intelligent Control (ICCEIC)**. **IEEE**, p. 216-219, 2020. Disponível em: DOI:10.1109/icceic51584.2020.00050. Acesso em: 03 jan. 2023.

Enviado: Dezembro, 2022.

Aprovado: Dezembro, 2022.

¹ Engenheiro Mecatrônico pela Universidade Federal de Santa Catarina. ORCID: 0000-0002-0616-0115.