

JAIC

Journal of Applied Instrumentation and Control

Introdução ao conceito *Vehicle-to-Grid*

Denis T. Toyoshima, Carlos W. Mondo, Rafael C. Evangelista, Fernanda C. Corrêa

Resumo — Veículos elétricos e híbridos têm se tornado cada vez mais presentes em nosso cotidiano, seu consumo aumenta ano após ano, o que demonstra aceitação por parte da população que se preocupa não só com a redução de custos totais, mas principalmente com o impacto ambiental. Entretanto, ainda há certa resistência se os preços de compra de um carro elétrico/híbrido forem comparados com os de carros à combustão. Como apelo em relação ao quesito monetário, uma das alternativas que visa atenuar o investimento alto, é o conceito de *Vehicle-to-Grid* (V2G), proporcionando ao proprietário do veículo obter retorno financeiro em troca do fornecimento da energia armazenada em sua bateria.

Palavras-chave — Veículos Elétricos, *Vehicle-to-Grid*, Fornecimento, Bateria

I. INTRODUÇÃO

SABENDO que o perfil de geração do mundo tem mudado, não há mais espaço para sistemas lentos, ineficientes e poluentes. O conceito de *Smart Grid* vem sendo cada vez mais aplicado, não só para monitoramento dos padrões de consumo, mas também para novos meios de fornecimento energético (microgerações, geração própria e distribuída etc.). Neste novo cenário, surge o conceito de *Vehicle-to-Grid* (V2G), que possibilita o fornecimento de energia para a rede por meio da bateria do veículo, quando não utilizado [1].

A Fig. 1 ilustra as conexões entre os veículos elétricos (EV) e a rede de energia elétrica. A energia é gerada através de hidroelétricas, energia solar, energia eólica, energia nuclear entre outras, segue por uma rede de transmissão chegando a residências e demais construções. Junto aos centros residenciais e comerciais pode haver pontos de carga e descarga da energia de um EV de seus diferentes tipos; bateria (BEV - *Battery Electric Vehicle*), célula de combustível (FCEV - *Fuel Cell Electric Vehicle*) ou mesmo híbrido plug-in (PHEV - *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*); e também subestações onde frotas de veículos podem realizar o mesmo processo [2].

Datado de 1996, o conceito V2G vêm sendo então implementado em diversos projetos ao redor do mundo, tanto

em propostas com intuito comercial, quanto como objetos de pesquisa científico-acadêmicas [3]. Avaliando desta nova perspectiva, os veículos tornam-se parte fundamental da estrutura, deixando de ser um componente passivo, auxiliando na complementação da energia e criando mais um apelo financeiro em prol de VEs.

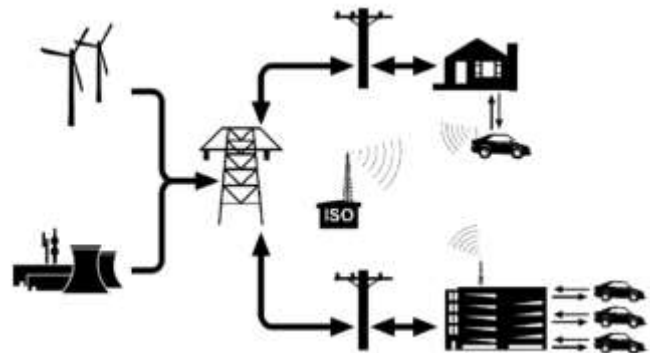


Fig. 1 Rede Elétrica com Implementação de V2G [2]

II. VEHICLE-TO-GRID

A concepção de *Vehicle-to-Grid*, tem como fundamento o fornecimento de energia para a rede enquanto o veículo elétrico/híbrido (EV/PHEV) encontra-se estacionado, por meio de conexões e equipamentos específicos. De tal modo é possível que o proprietário do veículo receba compensações, seja por créditos e abatimentos em seu consumo ou mesmo na moeda local, de maneira semelhante a um comércio de energia [4] [5].

Num cenário convencional, o proprietário do EV/PHEV utiliza-se do veículo para deslocamento basicamente de suas atividades rotineiras, representadas habitualmente pelos percursos entre sua residência e local de trabalho. Sendo assim, quando em repouso, o veículo pode ser conectado à rede e, por meio de um conversor bidirecional, realizar troca de energia entre a bateria e a rede [2]. O período de carregamento pode ser estipulado pelo usuário, sendo possível estabelecer escalas de

utilização do veículo, então o sistema de gerenciamento seria responsável por entregar carga completa até o horário pré-determinado [6].

O cálculo de retorno em relação à energia fornecida é feito levando em conta o tempo e quantidade de fornecimento e demanda da rede quando a bateria foi solicitada. Tal funcionalidade adjacente não tão explorada, sobretudo no cenário nacional, mostra-se como atrativo para o consumidor, de modo que o custo relativamente maior dos carros elétricos e híbridos, possa ser compensado utilizando-se da configuração V2G [4]. O atrativo financeiro se amplifica especialmente se considerado o fornecimento em períodos de alta demanda e carregamento da bateria em baixa (ex: 00:00 –06:00).

Esta alternativa contrasta com o modelo tradicional de distribuição energética, juntando-se à outras fontes também alternativas, comumente exploradas no conceito de *Smart Grid*, como pode ser visto na Fig. 2. Entretanto, diferentemente das demais opções, a aplicação de V2G depende majoritariamente da capacidade e estado de operação da bateria do veículo a ser utilizado [1].



Fig. 2 Topologia *Smart Grid* [7] - Editado

Além da aplicabilidade já mencionada, relacionando-se diretamente com o barramento de energia, há ainda a possibilidade de aplicar diferentes funcionalidades [8]:

- *Vehicle to Home* (V2H) - configuração em que o veículo funciona como backup de energia para a casa (geralmente do proprietário), podendo também garantir suprimento caso haja falta ou interrupções na rede;
- *Vehicle to Building* (V2B) - semelhante ao conceito V2H, porém em escala comercial;
- *Vehicle for Grid* (V4G) - nesta composição o veículo funciona de modo a corrigir irregularidades da rede, ou mesmo funcionando como um filtro de potência ativo, para compensação de harmônicos;

Tanto na configuração V2H quanto na V2B, o consumo da residência ou estabelecimento em horários de pico, pode ser realizado inteiramente em função do veículo elétrico do usuário, evitando assim as altas cobranças inerentes a este período do dia. Uma ilustração simplificada desta situação pode ser vista na Fig. 3.



Fig. 3 Esquema V2G [9]

A. Vantagens

Os benefícios da tecnologia V2G estão além das vantagens econômicas e ambientais. Uma pesquisa realizada em 200 instituições ligadas a tecnologia de veículos elétricos nos países nórdicos, que estão à frente da adoção da tecnologia de veículos elétricos, mostrou que existem mais de 25 categorias de co-benefícios em V2G [10].

Dentre as principais vantagens observadas, pode-se citar o benefício por parte do consumidor final. Esta recompensa existe tanto no fornecimento exclusivo (V2H e V2B) de energia em caso de longas interrupções, compensação em caso de faltas ou quedas abruptas ou mesmo em períodos de pico de demanda, quanto no direto retorno financeiro mensal [8].

Por parte das indústrias automobilísticas, o conceito de V2G, traz a possibilidade de utilizar como objeto de estudo dos impactos no veículo, buscando desenvolver melhores tecnologias (evitar desgaste da bateria, sistemas que consigam suportar melhor a rede, entregando mais qualidade de energia, incentivar o consumo de EVs) [11].

As concessionárias por sua vez, podem planejar novas topologias, incluindo fontes alternativas de energia [12], instigando ainda mais a aplicação e desenvolvimento de conceitos como *Smart Grid* e novas tecnologias do ramo [11].

B. Desafios

Lamentavelmente, há ainda alguns empecilhos que tornam a aplicação do conceito V2G relativamente limitada. Um dos principais inconvenientes seria o investimento necessário requerido para que haja uma instalação capaz de suportar tal aplicação, o que juntamente ao montante relacionado ao veículo elétrico, compromete a propagação desta aplicabilidade [13].

Outro desafio a ser superado, seria a necessidade de implementação de uma rede de controle, que realize o monitoramento do estado da bateria, de modo a otimizar o desempenho não somente da rede, como do próprio armazenamento do veículo. A central de controle, está muito relacionada ao conceito de *Smart Grid*, o que envolve tanto V2G, como o entendimento de diferentes conteúdos (produção descentralizada, medidores inteligentes, novas arquiteturas de redes, centrais de controle locais etc.) [14].

Entretanto, acima de tudo, a principal dificuldade está associada à própria bateria do veículo, no que se refere a capacidade da mesma tal qual o desgaste que poderia ser

causado pelos ciclos de carregamento e descarregamento ao fornecer energia nas possíveis configurações apresentadas anteriormente na seção II. Contudo, pesquisas específicas na área [15] [16] mostram que na maioria dos estudos em laboratório em que o foco foi especificamente este fator, a análise era feita considerando somente a quantidade de descarga (ΔSoC) e as taxas de corrente, enquanto importantes fatores não são levados em conta (ex: temperatura e Estado da Bateria - SoC, durante os ciclos e armazenamento) durante situações de stress do sistema. Nestes casos, com análises mais detalhadas, foi possível observar que, caso realizado sob condições específicas, o resultado difere-se amplamente do comumente abordado, que poderá ser visto na próxima seção.

III. FERRAMENTAS

Redes elétricas inteligentes (*Smart Grids*), que permitam a aplicação do conceito V2G, podem possuir divergências entre si, desde a topologia como um todo, até os equipamentos específicos utilizados em cada uma. Entretanto, as ferramentas presentes, em quase sua totalidade, podem ser resumidas em: Medidor inteligente, conversor bidirecional e interruptor programável [8] [17] [18] [19].

A. Medidores Inteligentes

Fundamentais quando se trata do conceito de *Smart Grid*, são equipamentos responsáveis por realizar medições bidirecionais de energia. Diferem-se dos medidores convencionais pois possuem além de comunicação de dados com a central de controle, medição em tempo real, o que possibilita ao usuário um acompanhamento detalhado de seu consumo, podendo mudar se padrão de consumo caso identificadas irregularidades, além de corte e religamento remoto.

B. Interruptor Programável

Este equipamento é usualmente intrínseco ao sistema como um todo. Independentemente da tecnologia utilizada, este componente permite basicamente interromper ou iniciar um fluxo de energia. Em conjunto ao medidor inteligente, após feito o acompanhamento do consumo da rede ou mesmo de edificações específicas, é possível identificar picos de demanda, sendo o interruptor responsável por realizar a conexão nestes períodos.

C. Conversor Bidirecional

Muito utilizado em sistemas de potência, quando há necessidade de fluxo de energia para ambos os lados. Este dispositivo encontra-se interno ao carregador comercialmente utilizado. Durante a etapa de carregamento do veículo, o conversor retifica a tensão entregue e alimenta a bateria através de um conversor de potência redutor de tensão, para adequar a valor entregue pela rede a um nível aceitável de operação da bateria. Já em modo V2G, o conversor efetua o processo contrário, passando por um conversor elevador de tensão, permitindo-o fornecer valores compatíveis com a rede ou objeto de alimentação.

Um diagrama de bloco simplificado pode ser visto na Fig. 4.

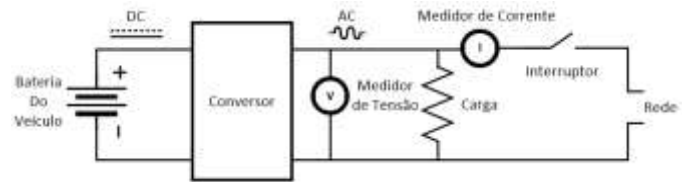


Fig. 4 Diagrama de Blocos do Sistema – Autoria própria

IV. APLICAÇÕES

De modo a comprovar a teoria elaborada, diversos projetos vêm sendo implementados ao redor do mundo, ajudando o conceito V2G a se propagar.

Num projeto [1] realizado na Holanda, um sistema híbrido de fornecimento foi implementado em um conjunto de residências, como mostrado na Fig. 5.

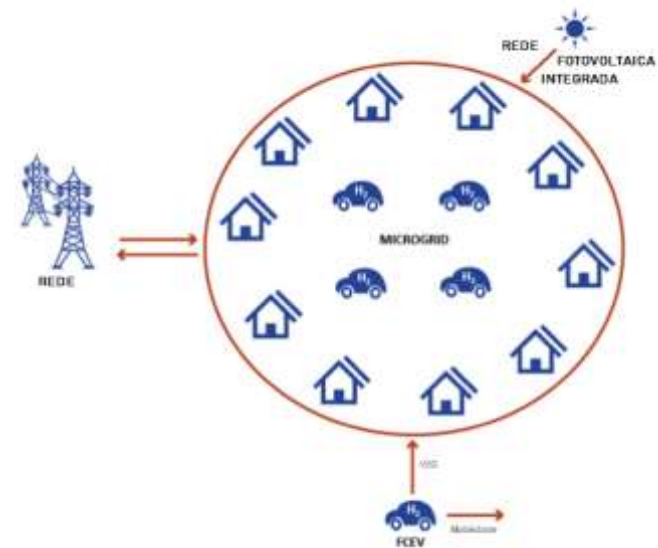


Fig. 5 - Diagrama de Implementação [1] - Editado

A alimentação era realizada por uma estrutura V2G conectada à FCEVs (*Fuel Cell Electric Vehicles*), juntamente à painéis fotovoltaicos. A estrutura constituía-se por meio de 10 casas, cada qual com seu sistema de microgeração e mais 5 veículos com o mesmo conjunto de alimentação. A Fig. 6 ilustra o experimento realizado.



Fig. 6 Projeto Híbrido de Fornecimento [1] - Editado

Após um ano de análise, o resultado obtido foi satisfatório,

em determinados pontos o sistema chegou até a apresentar auto sustentabilidade. Mostrando também que a aplicação de V2G torna-se mais vantajosa ainda em períodos de baixa de outras fontes, quando pode se comportar de forma complementar.

Já em outro projeto [20], de modo a ilustrar o contraste relacionado à tecnologia de diferentes fabricantes, bem como de carregadores, foram comparados três modelos de EVs (Nissan Leaf, Mitsubishi MiEV, Ford Focus Electric e Honda Fit EV) em relação ao seu desempenho, assim como diferentes potências de carregador na função V2G.

Após percorridos diferentes percursos e conectados em configuração V2G, pôde-se observar que, obviamente, o lucro obtido depende das distâncias percorridas diariamente pelo condutor, pois são afetados tanto o nível da bateria, quanto o tempo de carga do veículo. Em seguida, foi feita uma comparação entre potências diferentes (através da alteração da capacidade de corrente do circuito de alimentação) de carregadores modo 2 (7,2 kW e 14,4 kW), tendo-se que mesmo na condição de menor potência, os custos de carga do veículo apresentam-se abaixo do obtido na configuração V2G. Quando utilizado o sistema de maior potência, o montante obtido como retorno, superava em mais de duas vezes a quantidade gasta para carregamento. Os gráficos que ilustram os resultados obtidos, podem ser vistos nas Fig. 7 e Fig. 8.

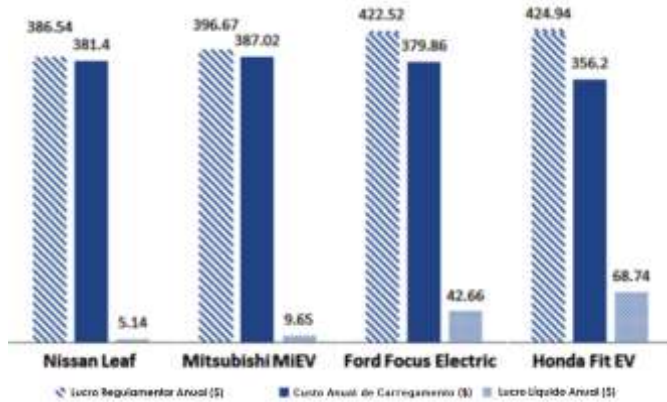


Fig. 7 Valores (US) obtidos com 7,2 kW [20] - Editado

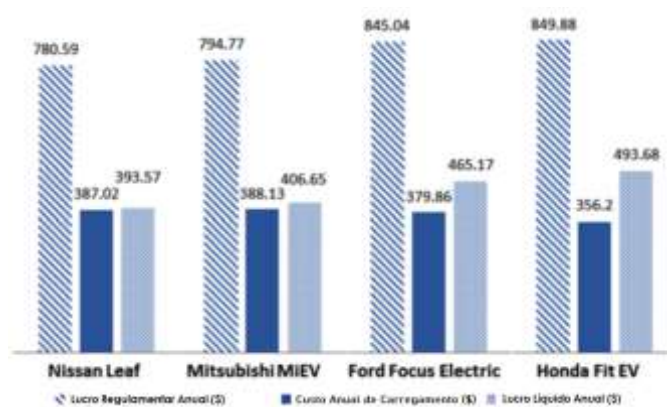


Fig. 8 Valores (US) obtidos com 14,4 kW [20] - Editado

Já em relação ao desgaste da bateria, concluiu-se que há a depreciação de aproximadamente 1% a cada ano utilizado para V2G, não importando a quantidade de uso deste sistema. Comparado ao gasto normal de utilização do veículo, o impacto

do sistema V2G é cerca de menos de um terço do total de depreciação da bateria.

Como citado na seção II-B, a maioria dos experimentos cujo foco seria o impacto da utilização de V2G no desgaste total da bateria, não considera todas as variáveis necessárias, levando a um resultado ligeiramente diferente da realidade. Com o objetivo de desmistificar esta incógnita, um projeto [16] implementado no Reino Unido realizou 50 testes de longa duração da degradação de baterias utilizadas comercialmente, nos quais estas são impostas sob determinadas condições de operação ($0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 45^{\circ}\text{C}$, $15\% \leq \text{SoC} \leq 95\%$, $0\% \leq \Delta\text{SoC} \leq 80\%$), incluindo os limites máximos definidos pelos fabricantes.

O objetivo final da pesquisa visou propor um sistema funcionando em uma condição de operação ótima, que na verdade aumente a vida útil da bateria. No projeto, foi explicitado que o nível da bateria teria relação direta com o aquecimento da mesma, sendo assim, quanto maior a carga, maior a resistência interna, ocasionando maior efeito Joule e consequentemente mais desgaste. Conseguiram então, através de um carregador com gerenciável, manter o nível da bateria no estado entregue, carregando somente perto do horário pré-estipulado para uso do veículo.

Os resultados mostraram uma redução do desgaste da capacidade da bateria de aproximadamente 10%, se comparado ao sistema em que a bateria é carregada a 100% diariamente.

V. CONCLUSÃO

Ainda com as vantagens inerentes ao próprio veículo elétrico/híbrido, há certa resistência por parte da população, justificada pelo maior custo em relação aos veículos à combustão convencionais. O conceito V2G traz como grande vantagem a possibilidade de ressarcimento monetário em relação à energia fornecida para a rede ou mesmo suprimento de consumo do imóvel do próprio usuário em períodos de pico, dando assim um maior apelo ao consumo de VEs e PHEVs.

Embora existam diversos projetos implementados no exterior, criação de empresas especializadas na área e objetos de estudo, ainda há incerteza em relação a influência da utilização de sistemas V2G no desgaste da bateria. Entretanto, como citado no corpo deste trabalho, o impacto observado não afeta de maneira considerável, sendo possível, inclusive, prolongar a vida útil da mesma, se em condições de específicas de operação.

Os motivadores de avanços na área no país são os mesmos que conduzem os principais projetos no exterior, buscando-se confiabilidade, eficiência, estabilidade do sistema e acima de tudo desenvolvimento sustentável. Logo, com o constante avanço e aceitação por parte do mercado, é possível ter uma boa perspectiva, já que projetos de diferentes escalas vêm sendo implementados com sucesso, o que nos indica um horizonte próspero não tão distante.

REFERENCIAS

- [1] 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* 215 (2018): 615-629.
- [2] Kempton, Willett, and Jasna Tomić. "Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue." *Journal of power sources* 144.1 (2005): 268-279.
- [3] Nuve. "Vehicle-To-Grid (V2G) Technology Invented in 1996." San Diego, CA, USA. [Online]. Available: <https://nuve.com/our-story/>. [Accessed: 1. Dec. 2019].
- [4] Shirazi, Yosef, Edward Carr, and Lauren Knapp. "A cost-benefit analysis of alternatively fueled buses with special considerations for V2G technology." *Energy Policy* 87 (2015): 591-603.
- [5] PIRES, António Eduardo Manso. AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE SISTEMAS VEHICLE-TO-GRID. 2018. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2018.
- [6] M. Singh, P. Kumar, I. Kar, "Implementation of Vehicle-to-Grid Infrastructure Using Fuzzy Logic Controller," *Transport Policy*, vol. 71, 30 November 2018, pp.130-137.
- [7] Reis, M. (n.d.). Smart Grid: conheça a rede elétrica inteligente. [Online] PROOF. Available at: <https://www.proof.com.br/blog/smart-grid/> [Accessed 12 Sep. 2019].
- [8] Fernandes, Lúcio Mascarenhas. ESTUDOS PARA A IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO VEHICLE-TO-GRID NA REDE ELÉTRICA DO CT/UFRJ. Diss. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.
- [9] Costello, E. Your car could act as a giant battery to power your home. [Online]. Available at: <https://octopus.energy/blog/vehicle-to-grid/> [Accessed 1 Dec. 2019].
- [10] Noel, Lance, et al. "Beyond emissions and economics: Rethinking the co-benefits of electric vehicles (EVs) and vehicle-to-grid (V2G)." *Transport Policy* 71 (2018): 130-137.
- [11] A U.S. Department of Energy National Laboratory Operated by the University of California. Applications For Different Stakeholders. [Online]. Available at: <http://v2gsim.lbl.gov/applications> [Accessed 1 Dec. 2019].
- [12] VONBUN, C. IMPACTOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS PLUG-IN: UMA REVISÃO DA LITERATURA. Cadernos do Centro de Ciências Sociais da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. SYNTHESIS, Rio de Janeiro, vol.8, nº 2, 2015, p.45-63. DOI: 10.12957/synthesis. 2015.30472
- [13] do Valle, Helena Bento Martins. Aplicação do conceito vehicle-to-grid para nivelamento de carga e suprimento de pico de demanda. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.
- [14] G. Pelielo, R. Acácio and R. Moysés, "Smart Grid - Redes Inteligentes", Poli UFRJ, 2016. [Online]. Available: https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-2016-1/16_1/smartgrid/. [Accessed: 12. Sep. 2019].
- [15] Wang, Dai, et al. "Quantifying electric vehicle battery degradation from driving vs. V2G services." 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM). IEEE, 2016.
- [16] 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* 133 (2017): 710-722.
- [17] Kashima, Maisa. PROJETO DE UM INVERSOR BIDIRECIONAL APLICADO EM CARREGADORES DE VEÍCULOS ELÉTRICOS PARA CONFIGURAÇÃO G2V E V2G. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.
- [18] Ustun, Taha Selim, Cagil R. Ozansoy, and Aladin Zayegh. "Implementing vehicle-to-grid (V2G) technology with IEC 61850-7-420." *IEEE Transactions on Smart Grid* 4.2 (2013): 1180-1187.
- [19] T. S. Ustun, C. R. Ozansoy, A. Zayegh, "Implementing Vehicle-to-Grid (V2G) Technology With IEC 61850-7-420," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, June 2013, vol. 4, no. 2, pp. 1180-1187.
- [20] Li, Z., 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*

Received: 2020-08-27

Accepted: 2021-02-01

Published: 2021-04-20



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative

Commons Attribution (CC-BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introduction to the Vehicle-to-Grid Technology

Abstract - Electric and hybrid vehicles have become increasingly present in our daily lives, their consumption increases year after year, which shows acceptance by the population that is concerned not only with the reduction of total costs, but mainly with the environmental impact . However, there is still some resistance if the purchase prices of an electric/hybrid car are compared to those of combustion cars. As an appeal in relation to the monetary question, one of the alternatives that aims to mitigate the high investment, is the concept of Vehicle-to-Grid (V2G), providing the vehicle owner to obtain financial return in exchange for supplying the energy stored in its battery.

Keywords - Electric Vehicles, Vehicle-to-Grid, Supply, Battery