

ESTUDO DE VIABILIZAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EM VEÍCULOS ELÉTRICOS

GABRIEL MARTINS FRANCO¹, RODRIGO LENCINA DOS SANTOS², CRISTIANE CAUDURO GASTALDINI³

¹Graduando em Engenharia Elétrica, UFSM-CS, Cachoeira do Sul-RS, gabriel.franco@acad.ufsm.com.br;

²Graduando em Engenharia Elétrica, UFSM-CS, Cachoeira do Sul-RS, rodrigolencinadosantos@gmail.com;

³Dra. em Engenharia Elétrica, Prof. Associada, UFSM, Cachoeira do Sul-RS, cristiane.gastaldini@ufsm.br.

RESUMO: Este trabalho objetivou estudar a viabilidade da integração de módulo fotovoltaicos em veículos elétricos, analisando algumas opções existentes no mercado juntamente com uma solução própria. Na metodologia foi utilizada dados de performance do Lightyear 0 e do projeto EV Solar Kits, comparando seus valores de autonomia e de retorno financeiro. Os resultados demonstraram que houve um ganho considerável na autonomia do veículo e a proposta dos autores apresentou um retorno aceitável, porém o custo total com o automóvel foi considerado inviável para consumidores brasileiros. **PALAVRAS-CHAVE:** Mobilidade elétrica, energia fotovoltaica, veículos elétricos.

Study on the viability of photovoltaic modules on electric vehicles

ABSTRACT: This study aimed to study the viability on the integration of photovoltaic modules on electric vehicles, analyzing some of the ongoing options on the market along with one of our own. The methodology used performance data from the Lightyear 0 and the EV Solar Kits project, comparing their autonomy and financial return values. The results showed that there was a considerable autonomy gain for the vehicle and the author's proposal presented an acceptable return, but the total cost with the car was deemed unviable for Brazilians consumers.

KEYWORDS: Electric Mobility, photovoltaic energy, electric vehicles.

INTRODUÇÃO

Um veículo elétrico é entendido como qualquer meio de transporte movido por mecanismo elétrico próprio, os motores elétricos. Atualmente, há um grande interesse na substituição dos habituais veículos à combustão interna pelos elétricos, devido a crescente preocupação com o meio ambiente e com a utilização de combustíveis fósseis, fonte não renovável de energia.

Veículos movidos a combustão interna geram altos índices de poluição, liberando gases de efeito estufa (GEE). Também são energeticamente ineficientes: o rendimento real de motores ciclo Otto está entre 22 a 30%, enquanto motores Diesel estão entre 30 a 38%, de acordo com o Instituto de Física da UFRGS (2017). Considerando o processo de extração do combustível, o rendimento fica ainda menor. (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014).

Veículos elétricos possuem baixa ou nenhuma emissão de poluentes no seu funcionamento, considerando que a energia elétrica abastecida venha de fontes limpas. O motor elétrico possui rendimento de conversão em energia mecânica na faixa de 90% da energia elétrica, um custo de utilização e manutenção inferior aos MCI (Motores de Combustão Interna), além de outras vantagens de desempenho. (JUSSANI, MASIERO e IBUSUKI, 2014).

Por utilizarem energia elétrica recarregável e armazenável em baterias para realizar seu deslocamento, os veículos elétricos apresentam-se como uma alternativa energeticamente eficiente e ecologicamente sustentável quando comparados aos veículos movidos à combustão interna. Porém, existem algumas desvantagens para a utilização de veículos elétricos em grande escala no Brasil: a carência de uma infraestrutura de recarga, a autonomia reduzida e o custo de aquisição.

Uma solução já em andamento no mercado é a utilização de módulos fotovoltaicos para gerar energia enquanto o veículo estiver exposto à incidência solar. Dessa forma, a autonomia média aumentaria, reduzindo o número e o custo das recargas.

Este trabalho procura analisar a viabilidade do uso da energia fotovoltaica em carros elétricos, analisando algumas das opções existentes atualmente, propondo uma alternativa nacional e comparando seus resultados. Para isso, serão observados os valores de custo para essa integração e a energia produzida pelo sistema fotovoltaico. Com esses dados, poderá ser estimado um novo valor de autonomia do veículo e também a economia financeira alcançada pelo mesmo. Uma viabilidade aceitável será observada se a autonomia alcançada for considerável e o investimento inicial para a implementação do sistema demonstrar um retorno em tempo razoável.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar a análise de viabilidade, considerou-se três casos: um veículo já integrado com sistema de geração fotovoltaica, um projeto de kits de geração fotovoltaica que podem ser instalados em veículos elétricos e um módulo fotovoltaico teórico criado pelos autores. Cada um desses casos é especificado a seguir.

-Lightyear 0: um protótipo de carro elétrico movido a energia solar, criado pela empresa Holandesa Lightyear. O modelo possui células fotovoltaicas integradas no teto e no capô do veículo que, segundo a empresa, adicionariam sozinhas aproximadamente 70 km de autonomia, gerando mesmo com o carro em movimento. (LIGHTYEAR, 2022). Pode-se verificar algumas especificações técnicas do modelo no site da empresa Lightyear, sendo os pertinentes para a análise: Autonomia diária solar de até 70 km, consumo médio de 83 Wh/km, valor total de \$265.000,00, que equivale a R\$ 1.378.000,00 (custo sem impostos e cotação do dólar de R\$ 5,20).

-EV Solar Kits: Um kit de carregamento solar para carros elétricos que traz painéis para serem montados no veículo. A empresa EV Solar Kits de Austin, Texas, atualmente está em uma campanha no site de financiamento Indiegogo (EV Solar Kits, 2022) e promete obter até 96,5 km de autonomia por dia, em condições ideais. O kit é composto por um painel instalado no teto do veículo, um conjunto de painéis empilhados que são expandidos quando o veículo está estacionado, uma bateria e um inversor. Inicialmente criado para atender os modelos da Tesla 3 e Y, a instalação é feita no interior do carregador, no formato Y splitter: dos painéis para o inversor e depois para o veículo/bateria. Pode-se verificar alguns dados do kit no site Indiegogo, como potência total do sistema de 2 kW, autonomia gerada de 90 km por dia e valor total de \$5598, que equivale a R\$ 29.110,00 (custo sem impostos e cotação do dólar de R\$ 5,20).

-Proposta: A ideia é construir um kit fotovoltaico hipotético comparativo perto da realidade, já que tanto o Lightyear 0 quanto o EV Solar Kits estão em fases de testes. Para isso, elaborou-se uma adaptação de um módulo fotovoltaico convencional em um próprio para veículos elétricos. Primeiramente, escolheu-se um veículo elétrico com relativo baixo custo e bom rendimento, o Renault Zoe, com dados técnicos obtidos no site da Renault. (RENAULT RETAIL GROUP, 2022). Dentre esses dados pode-se citar a autonomia em condições reais de 300 km, consumo médio de 146 Wh/km e valor de 23.700 €, que equivale a R\$ 127.980,00 (custo sem imposto e cotação do euro de R\$ 5,40).

Além disso, é necessário um modelo de placa fotovoltaica para ser integrado ao veículo. Escolheu-se dentro do catálogo da Canadian Solar o MAXPOWER CS6U – 330P, por questões de custo e acesso aos dados técnicos. Alguns dos dados incluem a potência nominal de 330 Wp, dimensões de 1,96 m X 0,94 m X 0,35 m e média de custo de R\$ 1.400,00. (CANADIAN SOLAR). Estima-se que o valor total para a adaptação do módulo no veículo elétrico seja de R\$ 4.000,00, incluindo conversor DC/DC e outros materiais.

O teto do Renault Zoe possui dimensões de aproximadamente 2,0 x 1,38 metros, que comportaria o módulo MAXPOWER 330 P, com devidas alterações no design. Dessa forma, considera-se então que o módulo funcionará adaptado no veículo com potência nominal, de 330 Wp. A energia produzida esperada, em condições ideais, é dada pela equação 1.

$$E = P * h \quad (1)$$

Onde:

E: Energia gerada pela placa (kWh);

P: Potência nominal da placa (kW);

h: Tempo de exposição da placa à radiação solar (h).

Para determinar um valor de autonomia, é importante destacar que o consumo kWh por quilômetro percorrido varia com a velocidade do veículo. Conforme os dados do Renault Zoe, o modelo percorre em torno de 100 km a 48 km/h com um consumo de 14,6 kWh. A velocidade é aceitável para uma comutação urbana segura, então será escolhido esse valor de velocidade e consumo. Utilizando-se de uma proporção equivalente, pode-se determinar a autonomia conquistada através da equação 2.

$$\begin{aligned} 14,6 \text{ kWh} &\rightarrow 100 \text{ km/h} \\ E &\rightarrow x \end{aligned} \quad (2)$$

Onde:

E: Energia gerada pela placa (kWh);

x: Distância percorrida com energia fotovoltaica (km/h).

Dadas as equações 1 e 2, pode-se então montar uma previsão de autonomia gerada pelo módulo fotovoltaico projetado, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Estimativa de autonomia adquirida pelo modelo projetado

Relação entre tempo de exposição, quantidade de energia gerada e distância percorrida com dada energia		
Tempo de exposição à radiação solar (h)	Energia produzida pelo módulo (kWh)	Distância percorrida com a energia fotovoltaica (km)
2	0,66	4,52
4	1,32	9,04
6	1,98	13,56
8	2,64	18,08

Fonte: Autor (2022)

Um tempo ideal de exposição diária seria de 8 horas, tendo assim uma autonomia de 18,08 km por dia ou 542,4 km por mês (considerando um mês de 30 dias).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo de viabilidade irá considerar os três casos para um usuário residente na cidade de Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, que utiliza o veículo diariamente. A média de quilometragem utilizada foi a constatada pelo estudo da Cetesb (Agência Ambiental Paulista), que constatou que carros se deslocam em média 15 mil km por ano, ou 1.250 km/mês. (CETESB, 2014). Para o valor da taxa de energia elétrica, utilizou-se uma média dos valores no período de um ano (julho 2021 a julho 2022) pela concessionária RGE, já que o valor varia mensalmente e também com as bandeiras tarifárias. Considerando isso, o valor médio do kWh ficou em R\$ 1,00.

No caso do EV Solar Kits, optou-se por simular uma instalação também em um Renault Zoe, para fins comparativos. Finalmente, construiu-se o Quadro 1, para visualizar o consumo e autonomia de cada caso, e o Quadro 2, com os respectivos valores de economia e retorno.

Quadro 1 - Dados de consumo e autonomia para cada caso estudado

Consumo e autonomia				
Caso	Consumo médio do veículo	Consumo total mensal	Autonomia solar mensal	Saldo de autonomia mensal
Lightyear 0	83 Wh/km	103,75 kWh	2100 km	+850 km
EV Solar Kits	146 Wh/km	182,5 kWh	2700 km	+1450 km
Projeto próprio	146 Wh/km	182,5 kWh	542,4 km	-707,6 km

Fonte: Autor (2022)

Onde:

Consumo total mensal: (consumo médio do veículo) * (1.250 km/mês);

Autonomia solar mensal: (autonomia solar diária) * (30 dias);

Saldo de autonomia mensal: (autonomia solar mensal) – (1.250 km/mês).

Quadro 2 - Dados de economia e retorno do investimento inicial

Economia e retorno						
Caso	Custo mensal de recarga	Máxima economia mensal	Economia mensal projetada	Custo inicial ⁽¹⁾	Retorno em meses	Retorno em anos
Lightyear 0	R\$ 103,75	R\$ 174,30	R\$ 103,75	-	-	-
EV Solar Kits	R\$ 182,50	R\$ 394,20	R\$ 182,50	R\$ 29.110,00	160	13,3
Projeto próprio	R\$ 182,50	R\$ 79,19	R\$ 79,19	R\$ 4.000,00	51	4,2

Fonte: Autor (2022)

(1) Optou-se por omitir os valores de retorno do Lightyear 0 pois trata-se de um custo de veículo completo, não sendo justa a comparação com os outros projetos.

Onde:

Custo mensal de recarga: (consumo total mensal) * (taxa de energia R\$ 1,00 por kWh);

Máxima economia solar mensal: (autonomia solar mensal) * (consumo médio do veículo) * (taxa de energia);

Economia mensal projetada: Se a máxima economia mensal for maior que o custo mensal de recarga, será igual ao custo mensal de recarga, do contrário é igual a máxima economia mensal;

CONCLUSÃO

Analisando o Quadro 1, pode-se afirmar que tanto o Lightyear 0 quanto o EV Solar Kits suprem a demanda média de deslocamento de 1.250 km/mês e ainda produzem um excedente de autonomia: para o Lightyear 0, o valor extra é de 850 km (68% da média de deslocamento) e para o EV Solar Kits o valor é de 1450 km (116% da média de deslocamento). Já no caso do projeto feito pelos autores, a geração do módulo fotovoltaico atende somente 542,4 km (43,4% da média de deslocamento), faltando ainda 707,6 km (56,6% da média). Essa diferença entre os casos pode ser atribuída ao fato que o projeto criado possui uma potência de geração (330 Wp) inferior aos demais, além de ter sido utilizado uma tecnologia de módulo fotovoltaico mais antiga.

Porém, os valores de economia calculados do Quadro 2 são consideravelmente baixos: ambos o Lightyear 0 e EV Solar Kits apresentam um tempo de retorno muito elevado (Lightyear 0, com custo de veículo completo, teria retorno em mais de 1000 anos), tornando-se inviáveis no Brasil. Isso é devido principalmente ao fato de serem produtos importados, com um valor alto do dólar (R\$ 5,40 no dia 26/07/2022). Em relação ao projeto dos autores, o retorno do custo inicial é consideravelmente mais aceitável, porém devido à baixa autonomia mostrada no Quadro 1, o investimento extra na compra desse módulo pode não ser tão atraente para o consumidor.

Mesmo sem a viabilidade atual, a autonomia extra proporcionada pela geração de energia solar integrada amenizaria ou até resolveria os problemas de baixa autonomia de veículos elétricos e de dispersão e escassez de estações de recarga. Além disso, estipula-se que veículos elétricos maiores, como caminhões, consigam utilizar a integração de módulos fotovoltaicos de maneira mais eficiente,

com áreas e períodos de tempo maiores de exposição à irradiação solar. Acredita-se que, com incentivos governamentais apropriados e uma produção em massa nacional de veículos elétricos com energia fotovoltaica, os valores de retorno tornem-se mais interessantes para o consumidor brasileiro em um futuro próximo, já que a autonomia desses veículos seria mais que o suficiente para o uso cotidiano.

REFERÊNCIAS

CANADIAN SOLAR. CS6U MAXPOWER 330 P. 2018. Disponível em: <<https://download.aldo.com.br/pdfprodutos/Produto34223IdArquivo4478.pdf>>. Acesso em: jul. 2022.

CETESB. CETESB disponibiliza estudo inédito sobre intensidade de uso da frota paulistana. 2014. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/blog/2014/04/07/cetesb-disponibiliza-estudo-inedito-sobre-intensidade-de-uso-da-frota-paulistana>>. Acesso em: jul. 2022.

EV RIDER. Austin Company Developing EV Solar Kits For Cars. 2022. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=H4RMfAAdmis>>. Acesso em: jun. 2022.

EV Solar Kits. EV Solar Kits: Charge Anywhere. 2022. Disponível em: <https://www.indiegogo.com/projects/ev-solar-kits-charge-anywhere/coming_soon>. Acesso em: jun. 2022.

FONSECA JÚNIOR, Antônio Carlos Vieira da. ESTUDO DE VIABILIDADE DO USO DA ENERGIA SOLAR EM VEÍCULOS ELÉTRICOS. 2019.

INSTITUTO DE FÍSICA. Motor de Combustão Interna. UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/leila/motor.htm>>. Acesso em: jul. 2022.

JUSSANI, A. C.; MASIERO, G; IBUSUKI, U. Carro-elétrico vs híbrido: Qual alternativa ambientalmente sustentável para o Brasil? XVII SEMEAD: Seminários em Administração. 2014. Disponível em: <<http://sistema.semead.com.br/17semead/resultado/trablhosPDF/221.pdf>>. Acesso em: jul. 2022.

LIGHTYEAR. Lightyear 0. 2022. Disponível em: <<https://lightyear.one/lightyear-0>>. Acesso em: jun. 2022.

RENAULT RETAIL GROUP. New Renault Zoe. Disponível em: <<https://www.retailgroup.co.uk/renault/new-renault-cars/renault-zoe>>. Acesso em: jul. 2022.

SANTOS, Ana Carolina Fabricio da Rocha. Análise da viabilidade técnica e econômica de um veículo elétrico versus veículo a combustão. 2017.