

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS  
ENGENHARIA MECÂNICA  
ANTONIO CARLOS VIEIRA DA FONSECA JUNIOR**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DO USO DA ENERGIA SOLAR EM VEÍCULOS  
ELÉTRICOS**

**Varginha  
2019**

**ANTONIO CARLOS VIEIRA DA FONSECA JUNIOR**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DO USO DA ENERGIA SOLAR EM VEÍCULOS  
ELÉTRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel, sob orientação do Prof. Esp. Thiago Luis Nogueira Silva e coorientação de Gustavo Destefani Picheli.

**Varginha  
2019**

**ANTONIO CARLOS VIEIRA DA FONSECA JUNIOR**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DO USO DA ENERGIA SOLAR EM VEÍCULOS  
ELÉTRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em:     /     /

---

Professor (a)

---

Professor (a)

---

Professor (a)

OBS.:

Dedico este trabalho aos meus pais, e a todos os demais que contribuíram para sua realização.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar sabedoria e foco nesse meu objetivo. Agradeço a minha família, por acreditar no meu potencial. Agradeço aos meus professores pelo conhecimento passado, especialmente a professora Luciene, pela ajuda e paciência na construção deste trabalho. Por fim, quero agradecer aos meus amigos pela ajuda e apoio nas dificuldades que surgiram durante todo o ciclo de estudos, especialmente ao meu coorientador Gustavo, a minha colega Daniela e ao Jean Roger que me auxiliou nas dúvidas que surgiram na elaboração deste trabalho.

“A persistência é o caminho do êxito.”

Charles Chaplin

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a viabilidade do uso da energia solar em veículos elétricos. Tal abordagem se faz necessária, a fim de investigar se será viável, em termos de autonomia e custos, a utilização da energia solar através de um painel fotovoltaico no teto de um veículo elétrico, como maneira de aumentar a sua autonomia. A finalidade deste trabalho será a de verificar se autonomia conquistada por meio desta adaptação, será satisfatória quando comparada com a autonomia original do veículo no sentido de ajudar com ele percorra uma nova e considerável distância. Para que a viabilidade seja avaliada ela será analisada por meio de cálculos em dois aspectos que são a produção de energia pela placa fotovoltaica e os custos para que se adapte este sistema fotovoltaico no veículo. A aprovação da viabilidade será confirmada se a nova autonomia que o veículo adquirir se apresentar como satisfatória e realmente ajudar com que ele se desloque por um percurso considerável durante uma viagem. Além do mais, a viabilidade será confirmada também pelos custos de adaptação do veículo, que será considerado viável, caso sejam recuperados em um intervalo de tempo considerável. A alternativa de adaptação do painel fotovoltaico no veículo elétrico é uma alternativa sustentável, que faz com que o veículo se recarregue enquanto está parado ou até mesmo em movimento, enquanto recebe a luz solar, o que acarreta num aumento da autonomia do veículo ocasionado uma redução nos custos com energia elétrica para o proprietário.

**Palavras-chave:** Veículo Elétrico. Autonomia. Viabilidade. Energia Solar.

## **ABSTRACT**

*This paper presents a study on the feasibility of using solar energy in electric vehicles. Such an approach is necessary in order to investigate whether it will be feasible, in terms of autonomy and costs, to use solar energy through a photovoltaic panel on the roof of an electric vehicle, as a way to increase its autonomy. The purpose of this paper will be to verify if autonomy gained through this adaptation will be satisfactory when compared to the original autonomy of the vehicle in order to help it travel a considerable new distance. For the viability to be evaluated it will be analyzed through calculations in two aspects which are the energy production by the photovoltaic plate and the costs to adapt this photovoltaic system in the vehicle. Approval of feasibility will be confirmed if the new autonomy that the vehicle acquires proves to be satisfactory and actually helps it to travel a considerable distance during a trip. Moreover, the viability will also be confirmed by the vehicle adaptation costs, which will be considered viable if they are recovered over a considerable period of time. The alternative of adapting the photovoltaic panel to the electric vehicle is a sustainable alternative, which causes the vehicle to recharge while stationary or even moving while receiving sunlight, which results in an increase of the vehicle's autonomy resulting in a reduction. in electricity costs for the owner.*

**Keywords:** *Electric Vehicle. Autonomy. Viability. Solar energy.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Modelos de módulos fotovoltaicos de silício. ....	14
Figura 2 - Modelos de filmes finos.....	15
Figura 3 - Diagrama de blocos de um veículo elétrico.....	17
Figura 4 - Esquema do funcionamento do veículo elétrico a bateria. ....	18
Figura 5 - Esquema do funcionamento do (VEHPs) – configuração em série.....	19
Figura 6 - Esquema do funcionamento do (VEHPs) – configuração em paralelo. ....	19
Figura 7 - Configuração de um veículo elétrico. ....	21
Figura 8 - Esquema de funcionamento de um módulo de controle. ....	22
Figura 9 - Funcionamento Veículos elétricos híbridos (HEVs). ....	25
Figura 10 - Funcionamento Veículos elétricos (VE).....	26
Figura 11 - Dimensões da placa acoplada ao teto do veículo.....	29

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 ENERGIA SOLAR.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Métodos de captura da energia solar .....</b>	<b>13</b>
2.1.1 Direto .....	13
2.1.2 Indireto .....	13
<b>3 ENERGIA FOTOVOLTAICA.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1 O efeito fotovoltaico.....</b>	<b>14</b>
3.1.1 Confeção de módulos fotovoltaicos.....	14
3.1.2 Tecnologia de Filmes Finos.....	15
<b>4 VEÍCULOS ELÉTRICOS .....</b>	<b>16</b>
<b>4.1 Veículos Elétricos Híbridos (VEH) .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2 Veículos Elétricos Plugáveis (VEP).....</b>	<b>18</b>
<b>4.3 Veículos Elétricos Híbridos Plugáveis .....</b>	<b>18</b>
<b>5 COMPONENTES DE UM VEÍCULO ELÉTRICO.....</b>	<b>21</b>
<b>5.1 Bateria .....</b>	<b>21</b>
<b>5.2 Módulo de Controle.....</b>	<b>22</b>
<b>5.3 Motor Elétrico.....</b>	<b>22</b>
<b>5.4 Transmissão .....</b>	<b>23</b>
<b>5.5 Freio Regenerativo .....</b>	<b>23</b>
<b>5.6 Inversores .....</b>	<b>23</b>
<b>6 FUNCIONAMENTO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS .....</b>	<b>25</b>
<b>6.1 Funcionamento dos veículos elétricos híbridos (HEVs).....</b>	<b>25</b>
<b>6.2 Funcionamento dos veículos elétricos (VE).....</b>	<b>26</b>
<b>7 AUTONOMIA DE UM VEÍCULO ELÉTRICO .....</b>	<b>27</b>
<b>8 METODOLOGIA.....</b>	<b>28</b>
<b>8.1 Técnicas de pesquisa.....</b>	<b>28</b>
<b>8.2 Adaptações do veículo para a acoplagem da placa fotovoltaica.....</b>	<b>28</b>

<b>8.3 Dimensionamentos do painel fotovoltaico .....</b>	<b>29</b>
<b>9 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>9.1 Dados coletados do painel fotovoltaico .....</b>	<b>30</b>
9.1.1 Cálculo do número de células da placa fotovoltaica .....	31
9.1.2 Cálculo da potência da placa adaptada .....	31
9.1.3 Consideração sobre a corrente da placa adaptada .....	31
9.1.4 Cálculo da tensão da placa adaptada .....	32
<b>9.2 Cálculos da quantidade de energia produzida pela placa acoplada ao teto.....</b>	<b>33</b>
<b>9.3 Cálculos do aumento na autonomia em quilômetros adquirido placa fotovoltaica ...</b>	<b>34</b>
<b>9.4 Economia em reais obtida pelo uso da energia elétrica produzida pela placa fotovoltaica .....</b>	<b>36</b>
<b>9.5 Custos para adaptação do painel fotovoltaico no teto do veículo .....</b>	<b>38</b>
9.5.1 Custos da placa fotovoltaica .....	39
9.5.2 Custos do conversor DC/DC .....	39
9.5.3 Custos extras.....	40
<b>9.6 Tempo para recuperar o investimento da instalação do sistema fotovoltaico no veículo a partir da economia realizada nas contas com energia elétrica.....</b>	<b>41</b>
<b>9.7 Vantagens e desvantagens do uso do painel fotovoltaico no teto de um veículo .....</b>	<b>42</b>
<b>10 CONCLUSÃO.....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho possui como tema a investigação sobre viabilidade de ser fazer o uso da energia solar em veículos elétricos. Um veículo elétrico pode ser entendido como um tipo de veículo que é propulsionado por um motor elétrico e que é utilizado para conduzir pessoas e fazer transportes. Este tipo de automóvel é diferente dos veículos movidos a combustão, justamente por não utilizar a combustão para gerar movimento e sim a eletricidade. Atualmente uma das grandes problemáticas que ainda inviabilizam a aceitação do veículo elétrico pelos consumidores é a questão da sua autonomia e o tempo de recarga que ele gasta para que a sua bateria se complete. Mediante estes fatos, o objetivo principal deste trabalho será o de analisar a viabilidade em termos de autonomia e economia de ser utilizar a energia solar neste tipo de veículo. Para que esta viabilidade seja estudada será considerada a adaptação de um painel fotovoltaico sobre o seu teto. Este painel possuirá a finalidade de captar a energia solar, converte-la em energia elétrica e transmiti-la para a bateria do veículo.

A investigação da viabilidade de se fazer o uso da energia solar nestes veículos se faz pertinente, pois o uso da energia solar pode ajudar a resolver o problema da autonomia deste tipo de veículo a aumentando, além de se realizar uma economia significativa nos gastos com energia elétrica do proprietário do veículo. Por fim, o estudo da viabilidade da energia solar nestes veículos é justificável, pois há favorecimento na questão ecológica, pois se trata de uma energia renovável e limpa que não polui o meio ambiente.

Para que a viabilidade seja estudada será necessário primeiramente entender como a adaptação do veículo elétrico poderá ser realizada. Posteriormente a isso, será necessário analisar dois pontos principais que são o custo para se realizar esta adaptação no veículo elétrico e a energia que será adquirida por meio do sistema fotovoltaico. A partir da energia conquistada por este sistema, será possível analisar por meio de cálculos o ganho na autonomia do veículo elétrico. Ainda a partir da energia conquistada por este sistema irá ser possível comparar a economia que estará sendo realizada ao se diminuir o tempo e o número de recargas realizadas pelo proprietário em sua residência. Para analisar a economia conquistada, será necessário verificar a quantidade de energia produzida pela placa fotovoltaica por unidade de tempo e compará-la com o preço que é cobrado por cada kWh pela distribuidora de energia elétrica regional (CEMIG).

Para que a viabilidade seja aprovada, o veículo elétrico deverá apresentar uma autonomia nova considerável que o ajude em um deslocamento com grande quilometragem e

ainda os valores gastos com a adaptação do sistema fotovoltaico deverão ser recuperados, em um tempo médio razoável, mediante a economia nas contas de energia elétrica.

## **2 ENERGIA SOLAR**

O aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera, o aquecimento global e a insegurança energética estão entre os grandes problemas da atualidade. Mediante aos fatos, o uso de energias renováveis tem sido um aspecto de extrema importância e estudo em nosso país. A utilização da energia solar como meio de se produzir energia elétrica, vem ganhando um espaço cada vez maior em nosso meio, bem como o uso de carros elétricos que possibilitam a emissão de 0% de CO<sub>2</sub>, principal causador do efeito estufa (PEREIRA JUNIOR, 2011).

A energia solar é considerada uma fonte de energia renovável e sustentável ela se deriva do sol na forma de radiação solar, em comparação com as outras fontes de energia ela é excelente em lugares remotos e de difícil acesso, pois sua instalação em pequena escala não obriga grandes investimentos em linhas de transmissão (PEREIRA; MENDES, 2018).

### **2.1 Métodos de captura da energia solar**

Segundo Campelo (2019), os métodos de captação podem ser classificados como diretos ou indiretos, conforme definidos a seguir.

#### **2.1.1 Direto**

O sistema direto necessita apenas de uma fase para capturar a energia solar e transformá-la em energia elétrica, à exemplo da Energia Fotovoltaica (CAMPELO, 2019).

#### **2.1.2 Indireto**

O sistema indireto necessita de duas ou mais fases para captura e conversão da energia do sol em eletricidade. Exemplo: Energia Hélio Térmica, onde é necessário o espelho para a captura da radiação solar, que por sua vez concentra o calor em tubos a vácuo, por onde passam água, gerando vapor que alimentará a turbina responsável pela geração de energia elétrica (CAMPELO, 2019).

### 3 ENERGIA FOTOVOLTAICA

Segundo Shayani; Oliveira e Camargo (2006),

O sistema de geração de energia solar fotovoltaica é mais simples que os demais meios de obtenção de eletricidade, trazendo o seu uso benefícios na diminuição de custos com os sistemas de transmissão e distribuição, contribuindo assim para a sustentabilidade e desenvolvimento socioeconômico em lugares remotos.

A energia solar fotovoltaica, que por sua vez, é definida como a energia produzida por meio da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Isto é possível, por meio de um dispositivo reconhecido como célula fotovoltaica que atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico (IMHOFF, 2007).

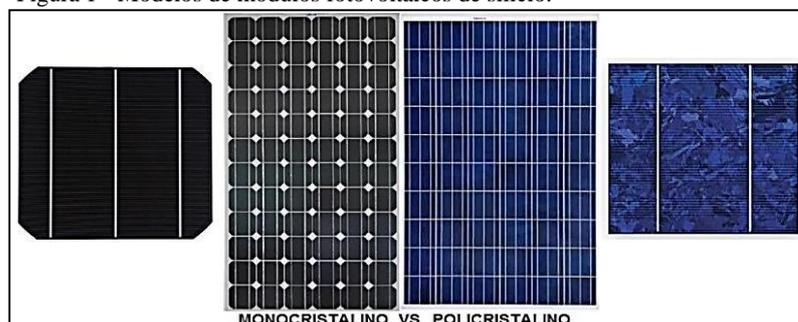
#### 3.1 O efeito fotovoltaico

O efeito fotovoltaico acontece quando a luz solar, através de seus fótons, é absorvida pela célula fotovoltaica que contém um material semicondutor como o silício ou platina. A energia dos fótons da luz é transferida para os elétrons que então ganham a capacidade de movimentar-se. O movimento dos elétrons, por sua vez, gera a corrente elétrica (BARROS, 2013).

##### 3.1.1 Confeção de módulos fotovoltaicos

Existem duas tecnologias aplicadas ao silício cristalino. A primeira delas é o silício monocristalino (m-Si), que consiste no tratamento do silício cristalino com uma quantidade extremamente pura do elemento. Com essa tecnologia, as eficiências dos módulos de m-Si iniciam em 12% e podem chegar a 16% comercialmente (BARROS, 2013).

Figura 1 - Modelos de módulos fotovoltaicos de silício.



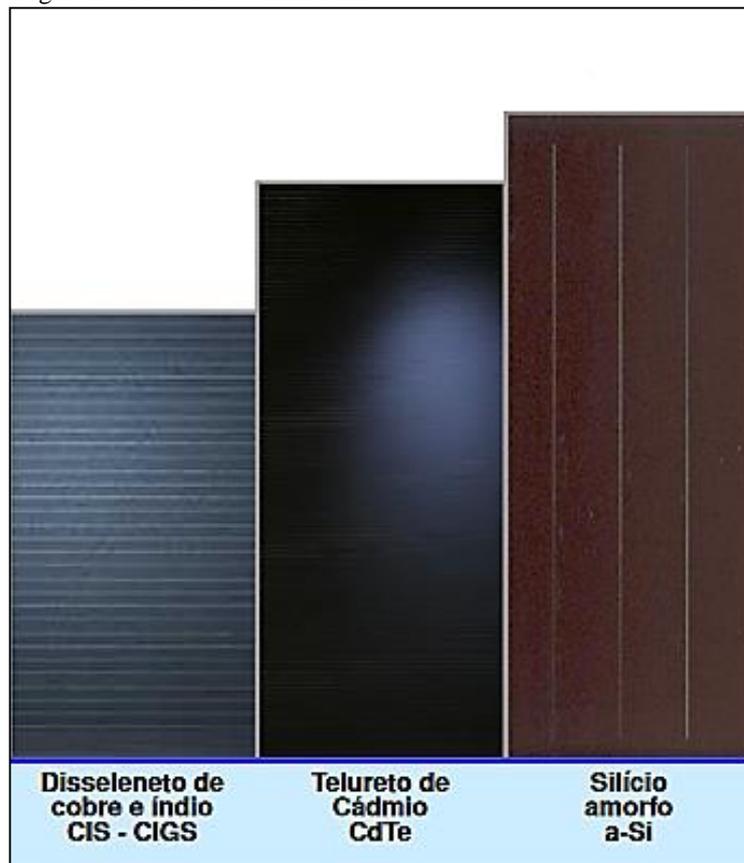
Fonte: Barros (2013).

A segunda trata o c-Si com um processo menos dispendioso e mais rápido, produzindo o silício policristalino (p-Si), que possui uma eficiência menor, mas é compensado quando se analisa o custo de produção. Esse tipo de material é responsável por mais da metade dos módulos fotovoltaicos produzidos no mundo (RUTHER, 2004).

### 3.1.2 Tecnologia de Filmes Finos

Filmes finos são as novas tecnologias que prometem um novo nível de eficiência, pois utilizam menos materiais e podem ser construídos em superfícies curvas, essencial no momento que se quer um sistema fotovoltaico que se adapte à superfície sem comprometer a aparência da instalação (RUTHER, 2004). Dentre elas podem se destacar três tecnologias: Silício amorfo hidrogenado (a-Si), Telureto de cádmio (CdTe) e o Disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS e CIGS) (OLIVEIRA, 2008).

Figura 2 - Modelos de filmes finos.



Fonte: Barros (2013)

## 4 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Os veículos elétricos podem ser definidos como veículos automotores que utilizam pelo menos um motor elétrico para o acionamento das rodas. Estes se caracterizam pela alta eficiência energética, e baixa ou nulo nível de emissão de gases que poluem o meio ambiente. Os veículos elétricos são classificados pela fonte de energia elétrica que alimenta o motor elétrico e pelo arranjo dos componentes do sistema de tração elétrica. Os principais veículos elétricos que são encontrados atualmente no mercado são os veículos híbridos e o veículo totalmente elétrico (SANTOS 2017).

Veículos elétricos são aqueles tracionados por um motor elétrico. Este é provido de energias provenientes de uma bateria, que armazena toda essa carga. Estas baterias podem ser recarregadas de duas formas diferentes, via cabo ou via tomada. A principal vantagem desse tipo de veículo é de não emitir nenhum poluente durante seu funcionamento (CASTRO, 2019).

Oliveira (2019) destaca que embora um veículo com motor a combustão interna disponha de sistemas elétricos e motores elétricos auxiliares, a eletricidade não é usada para tração, somente o motor a combustão. Os autores Pereira; Gomez; Souza e Arruda (2015, p. 2227) complementam que os motores dos carros elétricos podem trabalhar com correntes alternadas ou contínuas e são responsáveis por converter a energia elétrica em mecânica.

De acordo com Assis (2018) nos veículos elétricos a bateria a propulsão ocorre exclusivamente por meio de um motor elétrico, o qual é alimentado pela energia armazenada pelas baterias, as baterias armazenam a energia em forma química e estão instaladas no interior do veículo.

A seguir, pode-se verificar na figura 03 de modo bem resumido e simplificado, um diagrama de blocos no qual o veículo possui corrente elétrica contínua da bateria e corrente alternada no motor. A seta dupla entre o banco de baterias e o inversor, entre este e o motor trifásico e entre o motor trifásico e as rodas indica que o fluxo de energia ocorre nos dois sentidos, ou seja, o banco de baterias de tração provê energia para a movimentação do veículo e, quando em frenagem, recupera parte da energia cinética do veículo sob a forma de energia eletroquímica, no banco de baterias de tração (BARRETO, 1986).

Paredes (2013) Considera-se que veículos elétricos (VE) são aqueles acionados pelo menos por um motor elétrico.



é movido em parte por uma bateria e, em parte, por um motor de combustão interna, dependendo das condições que o veículo apresenta, suas baterias são recarregadas pela própria operação do mesmo (RODRIGUES, 2013).

Os veículos híbridos são aqueles que utilizam duas fontes de potência diferenciadas, no intuito de produzir energia e movimento. Adota-se como critério geral que um veículo híbrido é composto por um motor de combustão interna, e outro elétrico. Assim, alguns autores consideram os veículos híbridos como uma categoria especial dos veículos elétricos, pois também são tracionados por energia elétrica (THEOTONIO, 2018).

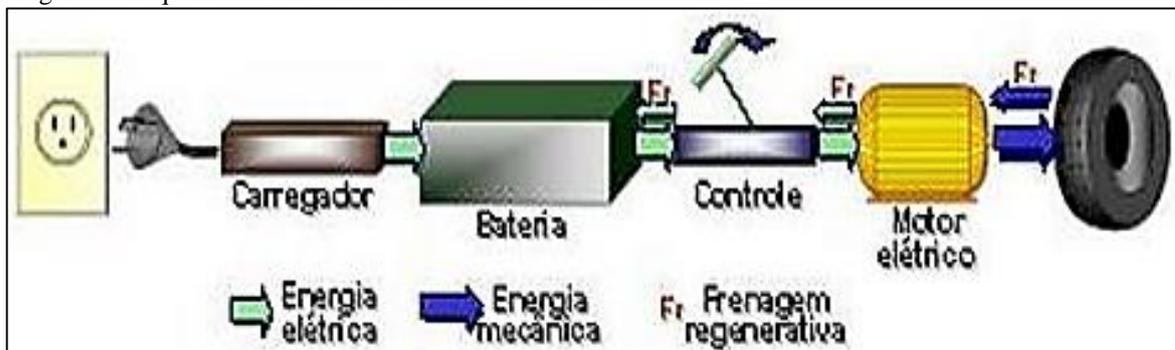
#### 4.2 Veículos Elétricos Plugáveis (VEP)

De acordo com Silva (2014, p. 21) os Veículos Elétricos Plugáveis (VEP) são movidos somente a bateria carregada a rede elétrica.

Os veículos elétricos a bateria são aqueles que possuem um motor elétrico para propulsão que obtêm energia a partir de um controlador, o qual regula a quantidade de energia fornecida pelo uso de um pedal acelerador acionado pelo motorista. A energia utilizada pelos sistemas auxiliares do veículo e pelo motor procede da energia química armazenada em baterias instaladas no próprio veículo. A recarga dessas baterias pode ser feita por meio da energia externa convencional fornecida pela rede elétrica (hidráulica) ou por meio de energias alternativas como a eólica e solar (BARACHO, 2016).

A seguir, pode-se verificar de acordo com a figura 04, como funciona esse modelo de veículo elétrico nesse tipo de configuração.

Figura 4 - Esquema do funcionamento do veículo elétrico a bateria.



Fonte: Baracho (2016).

#### 4.3 Veículos Elétricos Híbridos Plugáveis

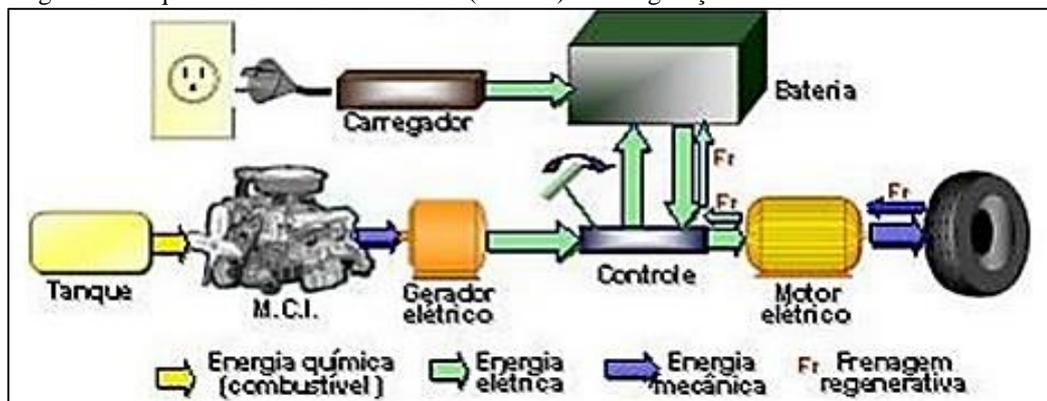
De acordo com Silva (2014, p. 21) os Veículos Elétricos Híbridos Plugáveis (VEHPs) podem ser movidos tanto a combustão interna, através do ciclo Otto, quanto conectados à rede elétrica para carregar as baterias que compõe o mesmo.

Esse tipo de veículo é considerado a forma mais eficiente e moderna de veículo híbrido, pois a bateria pode ser recarregada por meio de uma conexão com uma tomada da mesma forma que um veículo elétrico a bateria. Com isso, há uma redução da utilização de combustível fóssil e, conseqüentemente, as emissões de gases quando comparado com o híbrido não plugável. O funcionamento desse tipo de veículo é por meio do motor elétrico até que a bateria atinja uma determinada porcentagem de carga ou quando é necessário maior aceleração, nesse momento, o motor a combustão é acionado (BARACHO, 2016).

Nesse modelo de veículo elétrico, o funcionamento do mesmo pode ocorrer em duas configurações distintas, a configuração em série e a configuração em paralelo.

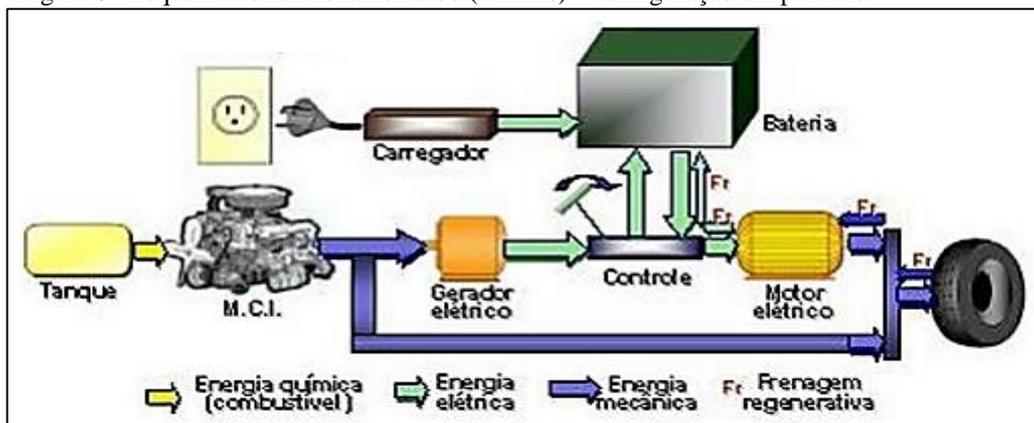
A seguir, podem-se analisar estes dois métodos de funcionamento conforme as figuras 05 e 06, respectivamente.

Figura 5 - Esquema do funcionamento do (VEHPs) – configuração em série.



Fonte: Baracho (2016).

Figura 6 - Esquema do funcionamento do (VEHPs) – configuração em paralelo.



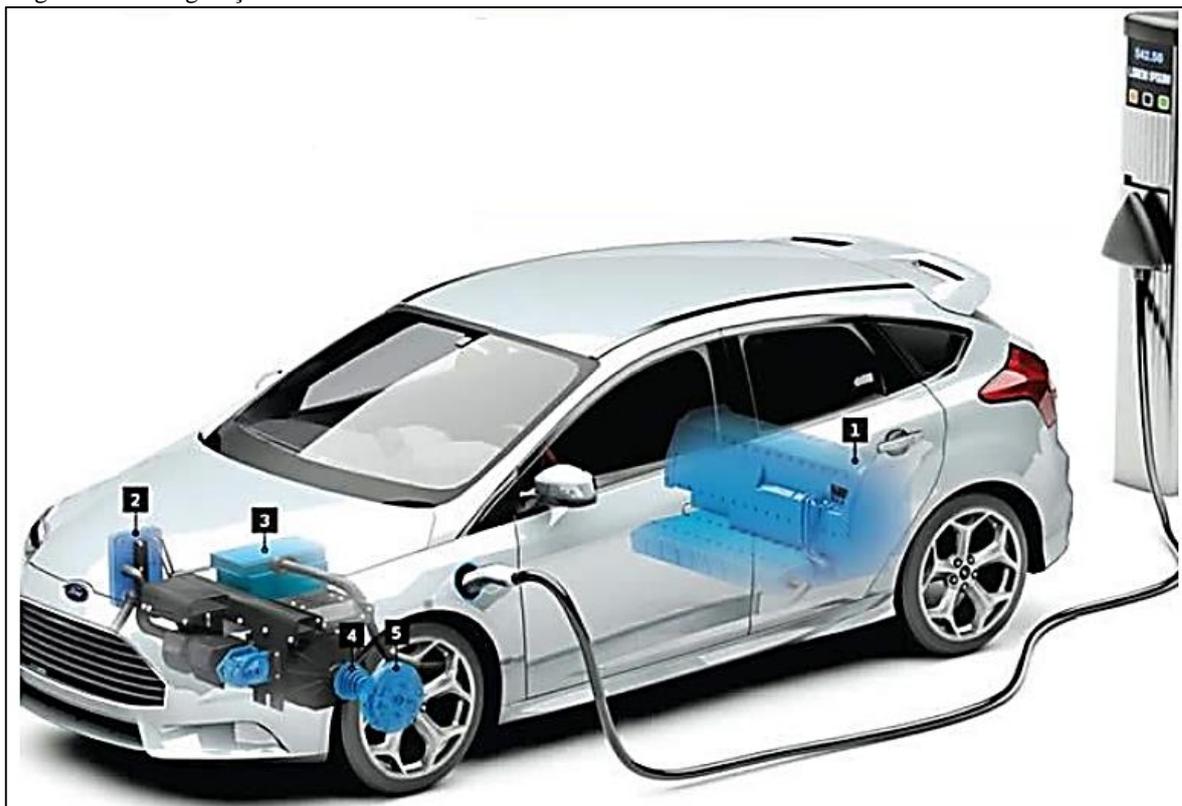
Fonte: Baracho (2016).

A ideia desse tipo de veículo é o motor de combustão interna suprir a primeira enquanto o motor elétrico a segunda. Assim o motor elétrico seria utilizado nos trajetos diários ao passo que o motor a combustão será utilizado em ocasiões em que a autonomia da bateria não for suficiente para suprir a necessidade do usuário que está dirigindo o automóvel (BARACHO, 2016).

## 5 COMPONENTES DE UM VEÍCULO ELÉTRICO

Existem algumas diferenças entre os componentes de um veículo de combustão interna com um veículo elétrico. São componentes específicos que são necessários para que haja um funcionamento harmônico do veículo elétrico. Na figura 07, pode-se observar a estrutura de um veículo elétrico, bem como os seus componentes.

Figura 7 - Configuração de um veículo elétrico.



Fonte: Santos (2019). Legenda: 1) Bateria; 2) Módulo de Controle; 3) Motor Elétrico; 4) Transmissão; 5) Freio Regenerativo.

A seguir, pode-se verificar o funcionamento de cada componente desse veículo, bem como as especificações de cada um deles.

### 5.1 Bateria

As baterias mais populares utilizadas pelos veículos elétricos são de íon-lítio, utilizadas também em celulares. No entanto, para que as mesmas atinjam a capacidade necessária para a utilização em um veículo, seria necessária uma bateria com massa de 200 Kg, o que representa cerca de 10% a 20% da massa de um automóvel, chegando a custar até 40% do seu preço de venda (SANTOS, 2017).

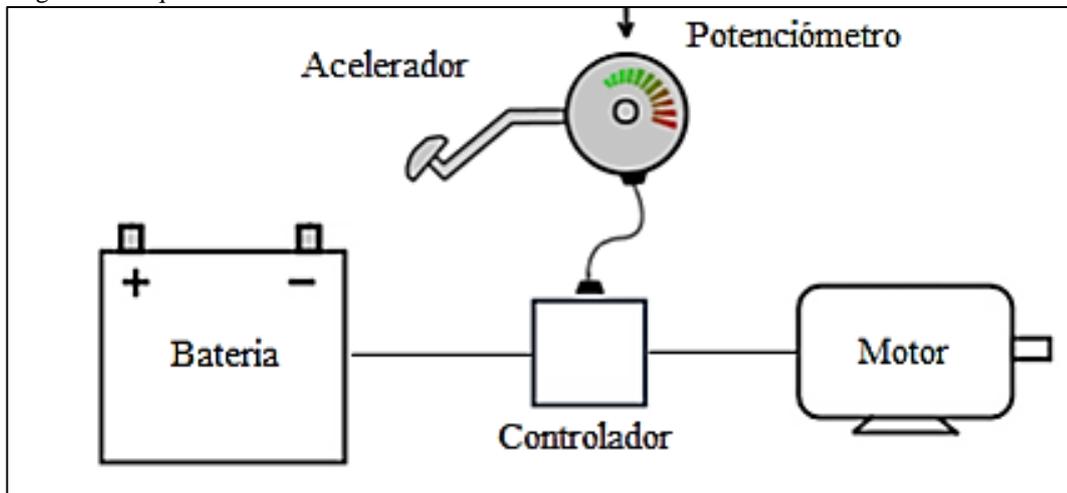
De acordo com Freitas (2012) uma bateria é um dispositivo, composto por uma ou várias células unitárias, que convertem energia química em energia elétrica e vice-versa. Paredes (2013) complementa dizendo que baterias são dispositivos eletroquímicos que convertem energia elétrica em energia química potencial durante a carga, e convertem a energia química em energia elétrica durante a descarga.

## 5.2 Módulo de Controle

De acordo com Santos (2017), esse componente tem a função de receber a informação do acelerador do automóvel, a fim de gerenciar a eletricidade que flui da bateria para o motor, controlando a velocidade do veículo.

Freitas (2012) complementa que o controlador do motor é o aparelho responsável por controlar parâmetros como a velocidade, a aceleração e em alguns casos pela travagem regenerativa dos veículos elétricos. Opera nos circuitos de potência e controle.

Figura 8 - Esquema de funcionamento de um módulo de controle.



Fonte: Freitas (2012).

## 5.3 Motor Elétrico

O motor elétrico tem como função transformar a energia elétrica em movimento, resultando no giro do eixo do carro para fazê-lo movimentar. Esse sistema é cerca de 3 vezes mais eficiente que o movido a gasolina, além de possuir metade do peso e volume, sem contar que esse processo não faz barulho (SANTOS, 2017).

Segundo Freitas (2012) o motor elétrico converte energia elétrica em energia mecânica usada para a tração do automóvel.

## 5.4 Transmissão

O autor Santos (2017) destaca que no carro elétrico só existe uma marcha (mais a ré). Tendo como base essa informação, a força que movimenta o veículo é diretamente proporcional a energia fornecida pelo motor, então não se usam as engrenagens típicas de um carro normal.

## 5.5 Freio Regenerativo

Este componente tem como função transformar cerca de 90% do calor gerado através do atrito entre as pastilhas e o disco de freio do automóvel, em energia elétrica, esta que reabastece a bateria do mesmo, diminuindo a necessidade de recarga e resultando numa maior autonomia do veículo (SANTOS 2017).

De acordo com Baran (2012) a frenagem regenerativa, que consiste em transformar a energia cinética do automóvel em energia elétrica durante a frenagem. A frenagem regenerativa é um processo que permite recuperar a energia cinética e armazená-la em dispositivos baterias ou supercapacitores (PAREDES, 2013).

A frenagem regenerativa tem como objetivo obter energia e armazená-la nas baterias. Este processo ocorre quando o motorista pisa no freio para reduzir a velocidade do veículo elétrico, os motores elétricos de tração são chaveados para atuar como geradores de eletricidade e acionados pelas rodas ou eixos das rodas (BARACHO, 2016).

Numa frenagem normal a energia cinética é transformada em energia térmica, por atrito, sendo dissipada nos discos e pastilhas de travão. A travagem regenerativa consegue recuperar e armazenar parte dessa energia, de forma que esta possa ser reutilizada como força motriz. Assim o rendimento global do veículo poderá aumentar significativamente, nomeadamente em percursos citadinos, além de diminuir o custo de manutenção associado ao desgaste dos travões (FREITAS, 2012).

## 5.6 Inversores

Os inversores tem a função de converter a potência de uma corrente contínua (CC), proveniente do arranjo fotovoltaico, em corrente alternada (CA) para a utilização em uma bateria. O desenvolvimento dessa tecnologia eletrônica de potência permitiu considerável incremento na eficiência de conversão CC/CA, significando num aumento da confiabilidade e consequentemente na redução de custos, tendo em vista que se utilizado o inversor, a

possibilidade de possíveis danos a equipamentos, como a bateria, são considerados mínimos ao consumidor. A utilização desse componente ao veículo elétrico, não será necessária em todos os modelos, tendo em vista que alguns modelos possuem outras tecnologias que dispensam a utilização deste equipamento (RAMPINELLI, 2010).

Conhecendo os componentes do veículo elétrico, faz-se necessário aprofundar os estudos a respeito do funcionamento destes componentes.

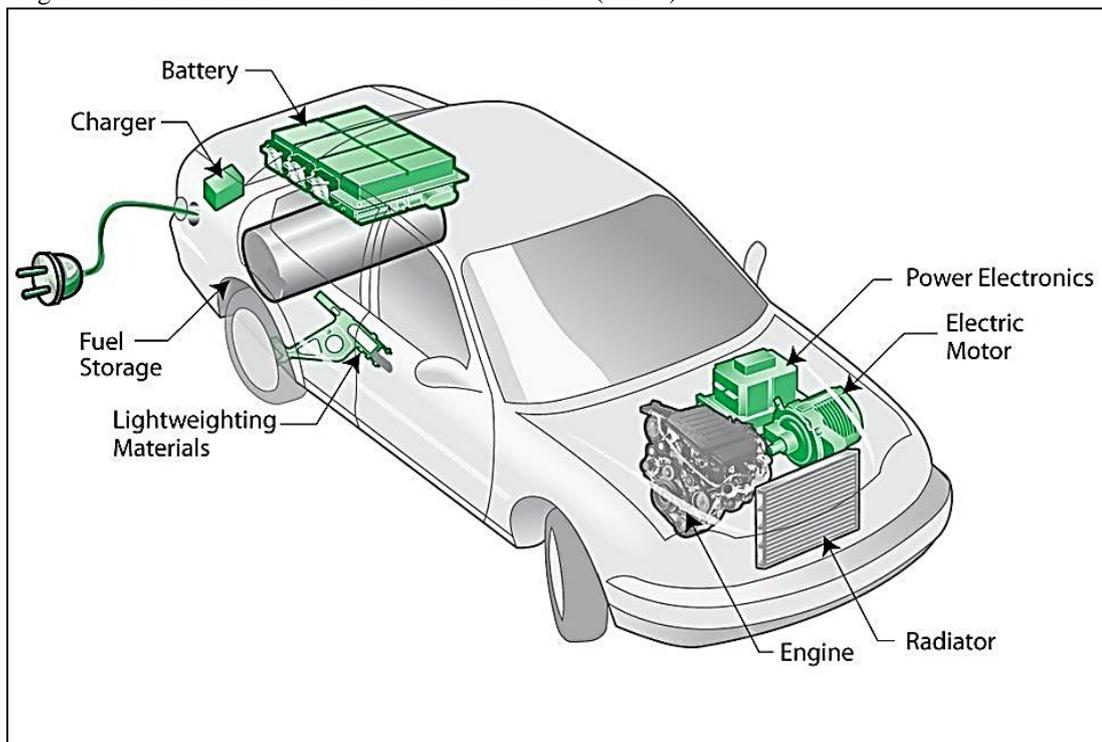
## 6 FUNCIONAMENTO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

Veículos elétricos são aqueles que utilizam um ou mais motores elétricos, em parte ou completamente, para propulsão. A eletricidade que pode ser obtida de diferentes maneiras, essa eletricidade, em seguida, é armazenada em baterias químicas que alimentam o motor elétrico (COSTA, 2013).

### 6.1 Funcionamento dos veículos elétricos híbridos (HEVs)

Existem dois tipos de HEV: um em que o motor elétrico atua em paralelo ao motor à combustão na tração do carro, e outro em que o motor à combustão não gera tração, mas sim aciona um gerador, que gera energia para alimentar um motor elétrico e um banco de baterias e apenas o motor elétrico gera tração. Em ambos os tipos a energia para o banco de baterias é gerada pelo gerador que está acoplado ao motor à combustão, por frenagem regenerativa e, em alguns casos pode-se recarregar através de uma fonte de energia externa como, por exemplo, os carregadores veiculares (SANTOS, 2013).

Figura 9 - Funcionamento Veículos elétricos híbridos (HEVs).



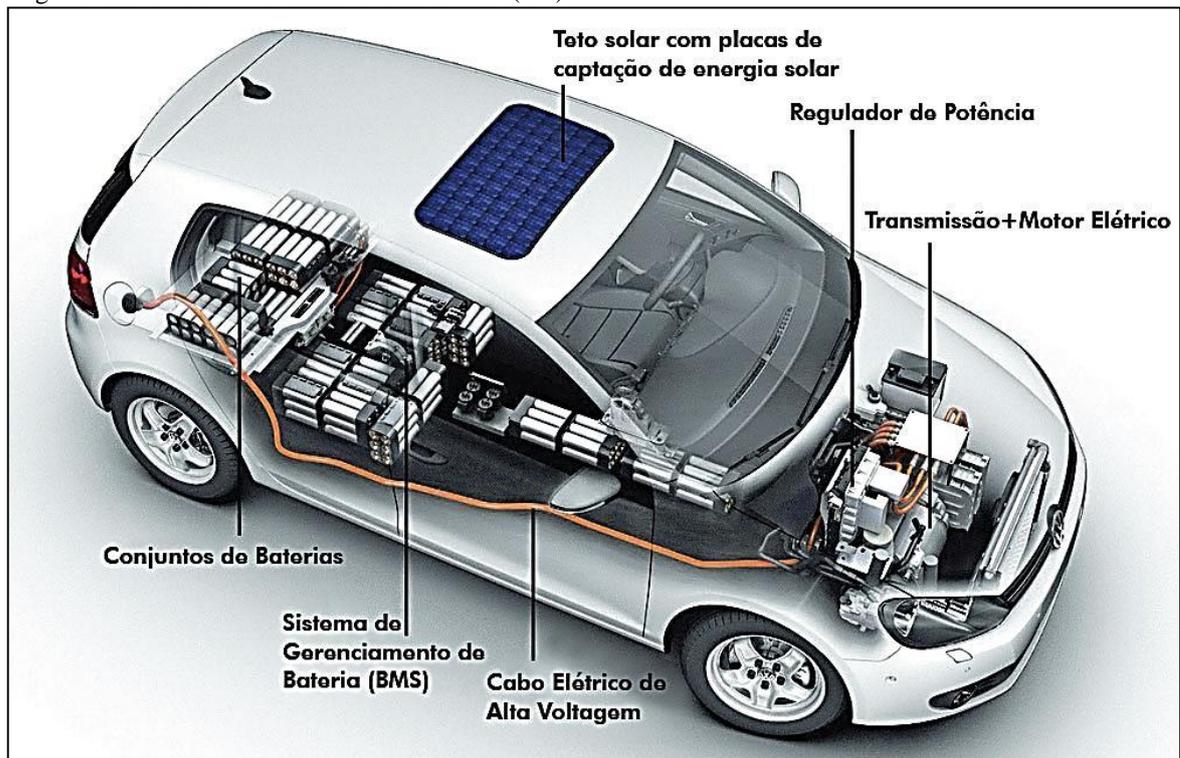
Fonte: Santos (2013).

Observa-se que existem diferenças significativas entre um veículo de combustão interna e um veículo elétrico, e a principal delas é a bateria.

## 6.2 Funcionamento dos veículos elétricos (VE)

O veículo elétrico é um automóvel que não possui motor à combustão, toda a energia que alimenta o motor elétrico parte do banco de baterias, que por sua vez traciona o carro. O banco de baterias é recarregado principalmente por frenagem regenerativa e através de uma fonte externa (por cabo). Seja híbrido ou elétrico, estes veículos possuem baterias de alta tensão (SANTOS, 2013).

Figura 10 - Funcionamento Veículos elétricos (VE).



Fonte: Santos (2013).

Como visto, pode-se perceber que existem diferenças significativas entre os veículos elétricos híbridos e os veículos puramente elétricos, destaco a principal que seria a diferença nos motores que cada veículo possui, sendo que os HEVs possuem tanto o motor elétrico como o de combustão, já os veículos puramente elétricos possuem somente o motor elétrico como o principal de seus componentes.

## 7 AUTONOMIA DE UM VEÍCULO ELÉTRICO

Os últimos lançamentos de automóveis elétricos estão focando na autonomia. É o caso, por exemplo, do BMW i3, que ganhou baterias com maior capacidade. De acordo com a montadora de Munique, as baterias de alta voltagem elevaram em 30% a autonomia do i3, a marca alemã informa que o novo modelo consegue rodar 260 km. O modelo atual (vendido no Brasil) tem autonomia estimada de cerca de 180 km entre recargas. Como comparação, quando foi lançado, em 2013, o i3 tinha bateria de 60 ampères hora (Ah) e 22,6 quilowatts hora (kWh). Em 2016, a segunda geração da bateria chegou com capacidade para 94 Ah e 33 kWh, respectivamente. Agora, o conjunto foi para 120 Ah e 42,2 kWh. (CAMPELO, 2019).

Ainda de acordo com Campelo o Porsche Taycan é um esportivo que deverá conciliar grande autonomia com ótimo desempenho, e que deve vir para concorrer com o Tesla Modelo S. A empresa anuncia aceleração de 0 a 100 km/h em menos de 3,5 segundos, e 0 a 200 km/h em menos de 12 segundos. A previsão é a de que o modelo entre em produção no fim do ano que vem. Para o Brasil, ele é esperado para 2020. Antes dele, a Audi deverá lançar aqui o e-tron, um SUV que tem autonomia na casa dos 500 km, em condições de laboratório. Em situações do dia a dia, a montadora sediada em Ingolstadt divulga autonomia de aproximadamente 400 km. O modelo tem dois motores que em conjunto rendem até 402 CV de potência e 67,7 mkgf de torque. No fim dos testes que são feitos nos veículos elétricos, o veículo é levado de volta para o ponto de recarga, e é medida a quantidade de energia necessária para recarregá-lo. Assim, é possível calcular a autonomia real de carros elétricos (CAMPELO, 2019).

A seguir, pode-se verificar na tabela 01, a autonomia declarada pelos fornecedores de alguns modelos de carros elétricos, bem como a real autonomia que o mesmo possui.

Tabela 01 – Comparativa de autonomia declarada e autonomia real dos veículos elétricos

<b>MODELO</b>	<b>AUTONOMIA DECLARADA</b>	<b>AUTONOMIA REAL</b>
BMW I3 94AH	313,8 km	194,7 km
HYUNDAI KONA 64KWH	449 km	416,8 km
NISSAN LEAF	270 km	205,9 km
RENAULT ZOE Q90	281,6 km	212,4 km
TESLA MODEL S	539,1 km	328,3 km
TESLA MODEL X	474,7 km	374,9 km
VOLKSWAGEN E-GOLF	300 km	188,2 km

Fonte: Adaptado de Campelo (2019).

## **8 METODOLOGIA**

Nesse capítulo, serão informados quais métodos foram utilizados para a realização das pesquisas e análises sobre custo e autonomia de um veículo elétrico, bem como o desenvolvimento do trabalho.

### **8.1 Técnicas de pesquisa**

No referencial teórico, foi utilizada a pesquisa bibliográfica, contida em materiais já elaborados por outros autores sobre o assunto, como por exemplo, teses de doutorado, dissertações de mestrado, artigos científicos dentre outros.

### **8.2 Adaptações do veículo para a acoplagem da placa fotovoltaica**

O sistema de adaptação funcionará da seguinte forma, a placa fotovoltaica será instalada no teto do veículo, o painel deverá ser parafusado a uma estrutura que por sua vez estará parafusada no teto do veículo. Esse painel terá a função de captar a luz solar e produzir a energia (eletricidade) em corrente contínua para ajudar no carregamento da bateria do automóvel.

Devido à diferença entre a tensão de saída (placa solar) e a tensão de entrada (bateria do automóvel) será necessário utilizar um conversor DC/DC para fazer com que a tensão de saída da placa seja aumentada e assim essa energia consiga ser transferida e armazenada na bateria. O conversor DC/DC ficará entre o painel solar e as baterias.

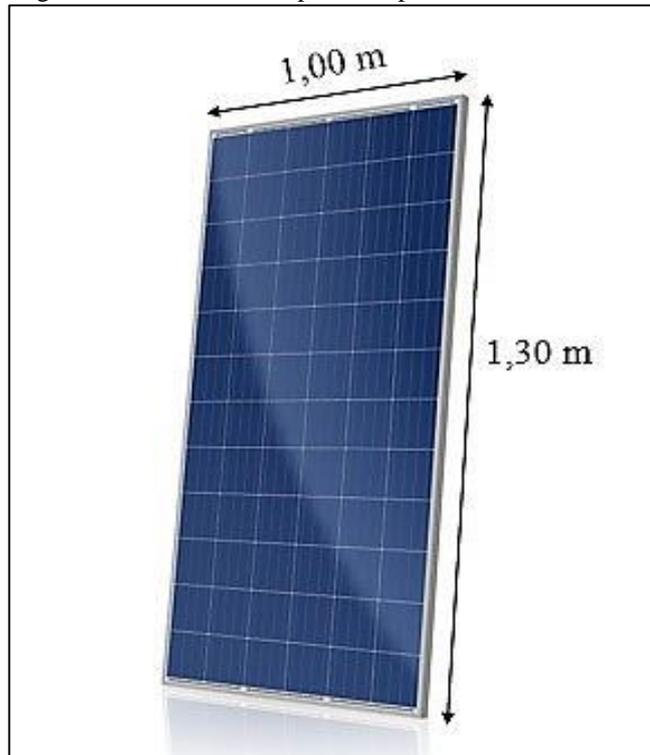
O sistema fotovoltaico gerará energia durante todo o tempo em que a luz solar estiver presente, mas a geração poderá sofrer variações com a irradiação solar incidente, posição do veículo e incidência de sombreamento. Para efeito de análise, o estudo realizado neste trabalho adotará um sistema fotovoltaico trabalhando nas condições ótimas para a produção de energia, ou seja, trabalhando na melhor eficiência possível para produção de energia. Sendo assim, todos os cálculos envolvidos neste trabalho envolverão condições ótimas de produção de energia elétrica pela placa, como recebimento de bom índice de radiação, boa posição e inclinação da placa referente a posição do sol, dentre outros fatores.

### 8.3 Dimensionamentos do painel fotovoltaico

Para a realização dos cálculos em relação à autonomia e custos relacionados a uma placa fotovoltaica acoplada a um veículo elétrico, as dimensões que serão utilizadas serão de 1,30 x 1 metro. Essa dimensão foi obtida através da medição do teto de um carro modelo Palio ano 2007 da marca Fiat.

A seguir podem-se verificar de acordo com a figura 11, as dimensões em metros, da base e altura deste painel.

Figura 11 - Dimensões da placa acoplada ao teto do veículo.



Fonte: O autor (2019).

O modelo do veículo foi utilizado somente para a coleta das medidas, tendo em vista que o intuito dessa dimensão resume-se como um dado padrão, de uma placa fotovoltaica que pode ser utilizada nos tetos de veículos elétricos de todas as marcas e modelos, aceitando-se ressalvas em alguns casos.

## 9 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão apresentados os resultados dos cálculos, considerando todo o conteúdo que foi acrescentado e pesquisado no decorrer deste trabalho. Através dos resultados desses cálculos, poderá ser analisado se a utilização de um painel fotovoltaico no teto de um veículo elétrico, visando uma autonomia que forneça uma quilometragem considerável para realizar uma viagem é viável e se essa viabilidade se confere também nos custos de se realizar a adaptação. Tanto nas condições mecânicas do automóvel como nas condições de consumidor.

### 9.1 Dados coletados do painel fotovoltaico

Para a realização dos cálculos, foi-se necessário utilizar um modelo de painel fotovoltaico já existente no mercado. Depois de algumas pesquisas, chegou-se à conclusão que o modelo de placa fotovoltaica mais viável nesse aspecto, foi o modelo encontrado no catálogo da Canadian Solar, que compreende no perfil Policristalinos MAXPOWER CS6U – 330P. No modelo MAXPOWER da Canadian Solar usam-se a mais recente tecnologia inovadora de célula de cinco barras, aumentando a saída de potência do módulo e a confiabilidade do sistema. O modelo MAXPOWER é composto pela ligação em série de 72 células fotovoltaicas, organizadas em 6 x 12.

No quadro 01, podem-se verificar as especificações técnicas do modelo encontrado no catálogo da Canadian Solar.

Quadro 01 – Especificações técnicas do painel fotovoltaico encontrado no catálogo.

<b>PAINEL FOTOVOLTÁICO MAXPOWER 330 P – 1,94 x 0,99 x 0,4 m</b>			
<b>Potência nominal (W)</b>	<b>Tensão Operacional (V)</b>	<b>Corrente Operacional (A)</b>	<b>Eficiência (%)</b>
330	37,2	8,88	16,97

Fonte: O autor (2019).

Tendo em vista que o modelo citado acima possui dimensões mecânicas maiores do que as dimensões que serão utilizadas no trabalho, fez-se necessário alterar os dados desse modelo, de acordo com a dimensão de 1,30 x 1,0 x 0,4 metros que serão utilizados para fins de cálculo no decorrer deste trabalho. Os seguintes cálculos realizados abaixo são compostos por regras de proporção em comparação com equipamentos dispostos de pronta entrega no mercado. Devido a estes fatores os resultados destes cálculos, possuem valores aproximados aos reais.

### 9.1.1 Cálculo do número de células da placa fotovoltaica

Os valores encontrados na tabela basearam-se através de uma simples regra de três, levando-se em consideração a área nominal da placa encontrada no catálogo que é 1,92 m<sup>2</sup> e número de células que compreende este painel, que é de 72 células.

$$\begin{array}{r} 1,92\text{-----}72 \\ 1,30\text{-----}X \\ \mathbf{X \cong 48 \text{ células}} \end{array}$$

Nas condições propostas, chega à conclusão que a placa solar conterá aproximadamente 48 células fotovoltaicas. Para que estas células se organizem perfeitamente no formato de 1,30 x 1 metros, elas deverem ser organizadas no formato de 6 x 8.

### 9.1.2 Cálculo da potência da placa adaptada

Para a realização do cálculo da potência, foram considerados os dados representados no quadro 01.

Será necessário encontrar a potência proporcional às dimensões pré-estabelecidas no projeto, tendo em vista que 1,92 m<sup>2</sup> e 330 W são os dados da área e potência da placa do catálogo respectivamente. Por meio destes dados pode-se encontrar a potência da placa com área de 1,30 m<sup>2</sup>.

$$\begin{array}{r} 1,92 \text{ m}^2 \text{ -----}330 \text{ W} \\ 1,30 \text{ m}^2\text{-----} P \\ \mathbf{P \cong 223 \text{ W}} \end{array}$$

Nas condições propostas, a potência que placa apresentará nas dimensões utilizadas no trabalho é de 223 W.

### 9.1.3 Consideração sobre a corrente da placa adaptada

O modelo original de placa fotovoltaica da MAXPOWER da Canadian Solar possui uma área total de 1,92 m<sup>2</sup> e um valor de corrente de 8,88 A, como pode ser verificado em seu catálogo. A placa fotovoltaica a ser analisada neste trabalho para adaptação no veículo, possui

uma dimensão menor, ou seja, possui uma área de superfície total de 1,30 m<sup>2</sup>. Apesar da placa fotovoltaica necessária neste trabalho possuir uma dimensão menor e um conseqüente menor número de células fotovoltaicas, o valor da sua corrente permanecerá inalterado. Este fato se justifica devido à corrente elétrica característica da placa ser devido ao tamanho de cada célula fotovoltaica e ao tipo de material que são constituídas.

Como as células fotovoltaicas estão ligadas em série e não em paralelo, o valor de corrente que uma única célula possui, será também o valor de corrente do painel por um todo. Este fato também justifica o motivo pelo qual a diminuição de células não ter afetado o valor da corrente. Portanto o valor da corrente elétrica da placa fotovoltaica de 1,30 m<sup>2</sup> será também de 8,88 A.

#### 9.1.4 Cálculo da tensão da placa adaptada

Para determinação do valor da tensão, podemos seguir dois caminhos. Um deles é usar a regra de proporção para encontrar o valor de tensão da placa de 1,30 m<sup>2</sup>, a partir da área do painel fotovoltaico do catalogo e sua tensão, que são respectivamente de, 1,92 m<sup>2</sup> e 37,2 V.

$$\begin{array}{ccc} 1,92 & \text{-----} & 37,2 \\ 1,30 & \text{-----} & T \\ & & \mathbf{T \cong 25 V} \end{array}$$

Nas condições propostas, a tensão que placa apresentará nas dimensões utilizadas no trabalho será de 25 V.

O outro método para encontrar o valor da tensão da placa, é o de usar o valor de voltagem de cada célula fotovoltaica deste painel e o número de células em que o painel é composto. Como estas células estão todas ligadas em série, o que faz com que haja aumento do valor da tensão do conjunto, basta realizar a multiplicação destas duas variáveis para se obter o valor da tensão. Sabe-se que o painel é composto por aproximadamente 48 células fotovoltaicas e ainda que elas possuem uma tensão de 0,5166 V, portanto:

$$\begin{array}{c} \mathbf{T \cong 48 \times 0,5166 V} \\ \mathbf{T \cong 25 V} \end{array}$$

## 9.2 Cálculos da quantidade de energia produzida pela placa acoplada ao teto

Tendo em vista que a placa nas dimensões especificadas possui uma potência aproximada de 223 W, foram elaborados alguns intervalos de tempo para analisar o quanto de energia que a placa acoplada ao teto do veículo iria captar num determinado tempo exposta aos raios solares.

Para a realização dos cálculos da tabela 02, levou-se em consideração a potência aproximada de 223 W encontrada na placa fotovoltaica e também a quantidade de horas que ela ficou exposta a luz solar, nesse aspecto utilizou-se a fórmula descrita a seguir como método de cálculo.

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

Onde:

E: Quantidade de energia armazenada pela placa (kWh);

P: Potência produzida pela placa (kW);

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

Na tabela 02, pode-se verificar e analisar as informações e resultados obtidos nos cálculos desta pesquisa.

Tabela 02 – Comparação entre intervalos de tempo que a placa ficará exposta ao sol e produção de energia.

<b>PRODUÇÃO DE ENERGIA DA PLACA FOTOVOLTAICA ACOPLADA AO TETO DO VEÍCULO</b>	
<b>Tempo de Exposição da Placa a Radiação Solar (h)</b>	<b>Quantidade de Energia Armazenada pela Placa (kWh)</b>
2	0,44
4	0,88
6	1,33
8	1,78
10	2,23

Fonte: O autor (2019).

### 9.3 Cálculos do aumento na autonomia em quilômetros adquirido com a placa fotovoltaica

Para a verificação da viabilidade autonômica que o sistema composto pelo veículo elétrico e a placa fotovoltaica irá alcançar, será necessária a utilização dos dados de energia produzida pela placa fotovoltaica em intervalos de tempos que podem ser verificados na tabela 02. A partir destes dados será possível analisar por meios de cálculos, o efeito desta energia na autonomia de um veículo elétrico específico. Ao se analisar a energia fornecida pela placa e para que ela seja convertida em autonomia, será necessária a adoção de um tipo de veículo elétrico para realização deste estudo.

Para solucionar este fato, foi escolhido um modelo de veículo elétrico já em comercialização no Brasil, o Renault Zoe. A partir das informações contidas na ficha técnica deste veículo, será calculada a influência na autonomia que será causada pela instalação da placa fotovoltaica em seu sistema. Com base na pesquisa realizada na ficha técnica deste veículo, chegou-se a informação que o modelo Renault Zoe percorre em torno de 100 km com a quantidade de 14,6 kWh a uma velocidade de 48 km/h. Sabe-se que o consumo de kWh por quilometragem percorrida varia segundo a velocidade que o veículo é conduzido. Sendo assim, a velocidade de 48 km/h foi escolhida, pois é considerada uma velocidade média para um veículo que transite em segurança dentro dos centros urbanos.

Para a realização dos cálculos da tabela 03, levou-se em consideração o consumo médio de energia utilizado pelo veículo que será 14,6 kWh e também a autonomia conquistada através desse consumo médio de energia que será 100 km/h, nesse aspecto utilizou-se a fórmula descrita a seguir como método de cálculo.

$$\frac{14,6 \text{-----} 100}{E \text{-----} X}$$

Uma observação importante em relação à fórmula descrita acima, é que o valor especificado na constante “E” é o valor da quantidade de kWh que a placa produziu e ele irá mudar de acordo com o tempo de exposição do veículo ao sol, conforme especificado na tabela 02.

Na tabela 03, pode-se verificar e analisar as informações e resultados obtidos nos cálculos dessa pesquisa.

Tabela 03 –Tabela estimativa entre tempo x quantidade de energia x autonomia conquistada.

<b>RELAÇÃO ENTRE TEMPO X QUANTIDADE DE ENERGIA X QUILOMETRAGEM PERCORRIDA</b>		
<b>Tempo de Exposição da Placa a Radiação Solar (h)</b>	<b>Quantidade de Energia produzida pela Placa (kWh)</b>	<b>Quantidade de Quilômetros percorridos com a energia proveniente da placa (km)</b>
2	0,44	3,01
4	0,88	6,02
6	1,33	9,11
8	1,78	12,19
10	2,23	15,27

Fonte: O autor (2019).

Para termos de análise e conhecimento, nota-se pela tabela 03 que a cada 2 horas de exposição à luz solar, o veículo elétrico nas condições específicas, irá conseguir um aumento de aproximadamente 3 km em sua autonomia. Este fato demonstra a inviabilidade deste sistema quando ele for analisado no aspecto que o veículo tenha que percorrer uma grande quilometragem, que seja maior que sua autonomia suporte, pois ele aumentará muito pouco a autonomia do veículo em relação a sua autonomia original de fábrica. Esta situação ainda pode ficar pior, caso o veículo se desloque a uma velocidade maior do que a utilizada pelos cálculos, pois o seu consumo de kWh por quilômetros percorridos aumentará e a autonomia será menor ainda.

Os dados da tabela 03 ainda permitem concluir que este sistema é inviável se for utilizado como maneira única para que o veículo se recarregue, pois a produção de energia necessária para fornecer autonomia significativa ao veículo é bastante demorada e limitada pela pequena dimensão que o painel possui.

Para uma análise mais agregada da influência do sistema fotovoltaico no veículo, serão feitas algumas observações. Sabe-se que em média um dia possui 12 horas de exposição solar, o que pode variar segundo as estações do ano. A partir destas informações, considera-se um tempo de exposição de 6 horas diárias, um tempo razoável para que o veículo permaneça no sol e a placa fotovoltaica receba a luz solar podendo produzir a energia elétrica.

Sabe-se que em condições ótimas para a produção de energia, a placa fotovoltaica mencionada neste trabalho pode produzir uma quantidade de 1,33 kWh de energia elétrica, o que pode gerar um aumento de cerca de 9 km na autonomia do veículo elétrico em questão. Segundo estes dados, na tabela 04 logo abaixo, pode-se analisar que, se o veículo ficar exposto

ao sol durante um período de 6 horas diariamente, em um acumulativo de tempo, sua autonomia poderá atingir um nível mais satisfatório.

Tabela 04 – Autonomia fornecida pela Placa Fotovoltaica em quilômetros (Acumulativo).

<b>AUTONOMIA FORNECIDA PELA PLACA FOTOVOLTAICA ACOPLADA AO TETO DO VEÍCULO (ACUMULATIVO)</b>			
<b>Tempo de exposição da placa a radiação solar (h)</b>	<b>Período de Tempo (meses)</b>	<b>Quantidade de energia elétrica produzida no período</b>	<b>Quantidade de Quilômetros percorridos agregadamente com a energia proveniente da placa (km)</b>
6	1	39,9	273,28
6	6	239,4	1639,68
6	12	478,8	3279,36
6	24	957,6	6558,72
6	36	1436,4	9838,08

Fonte: O autor (2019).

#### **9.4 Economia em reais obtida pelo uso da energia elétrica produzida pela placa fotovoltaica**

Para que sejam realizados os cálculos da economia em reais obtida pelo uso da energia elétrica produzida pela placa fotovoltaica em detrimento ao uso da energia elétrica vinda de recargas realizadas na propriedade do dono do automóvel, é preciso analisar alguns fatores como a produção de energia realizada pelo painel fotovoltaico conforme unidade de tempo e ainda o preço do kWh cobrado pela rede de distribuição de energia regional, no caso a CEMIG.

Para analisar o primeiro fator, ou seja, a quantidade de energia produzida pelo painel fotovoltaico segundo a unidade de tempo, basta realizar a consulta na tabela 02. Nesta tabela, a quantidade de energia elétrica produzida pela placa fotovoltaica em relação ao seu tempo de exposição à luz solar poderá ser analisada. Após análise desta tabela, para efeitos de cálculo, vamos adotar a consideração já mencionada abaixo da tabela 02, em que se estimou em 6 horas diárias como um tempo razoável para que o veículo permaneça sobre a luz solar e assim sua placa fotovoltaica consiga produzir eletricidade. Como observado na tabela 02, durante o intervalo de tempo de 6 horas a placa poderá produzir 1,33 kWh de energia elétrica, que serão transmitidas para a bateria do veículo elétrico.

Para analisar o segundo fator, ou seja, o preço do kWh cobrado pela CEMIG, foi realizada a consulta em um de seus boletos de cobrança de energia elétrica, onde informações importantes são consideradas. Durante a consulta, foi verificado o preço cobrado pelo uso de cada kWh na residência do proprietário, que chegou a aproximadamente a R\$ 0,97.

Com o conhecimento da quantidade de energia produzida pela placa diariamente, que fora considerado como 1,33 kWh e o conhecimento do preço do kWh cobrado pela CEMIG, pode-se chegar ao valor da economia realizada na conta de energia.

Primeiramente será analisado o valor da economia diária que pode ser alcançada com uso do sistema fotovoltaico no veículo. Utilizando o valor de um kWh cobrado pela rede de distribuição de energia elétrica e a energia produzida pelo painel durante 6 horas, pode-se chegar ao valor da economia diária conquistada.

$$1 \text{ kWh} \text{ ----- R\$ } 0,97$$

$$1,33 \text{ kWh} \text{ ----- X}$$

$$X = \text{R\$ } 1,29$$

Logo se observa que pela utilização do sistema fotovoltaico serão economizados diariamente R\$ 1,29 na conta de energia elétrica do proprietário do veículo.

A partir do valor do cálculo da economia diária conquistada com painel fotovoltaico recebendo diariamente 6 horas de luz solar, pode-se chegar a valores agregados de economia conforme demonstrado na tabela abaixo

Tabela 05 – Relação de economia de energia com a utilização do painel no veículo.

<b>ECONOMIA EM REAIS CONQUISTADA COM A UTILIZAÇÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO NO VEÍCULO EM RELAÇÃO AO PERÍODO DE USO</b>		
<b>Tempo de Exposição da Placa a Radiação Solar em horas diárias</b>	<b>Período de Tempo (Meses)</b>	<b>Valor em reais da economia conquistada na conta de energia elétrica</b>
6	1	R\$ 38,70
6	6	R\$ 232,20
6	12	R\$ 464,40
6	24	R\$ 928,80
6	36	R\$ 1393,20
6	48	R\$ 1857,60
6	60	R\$ 2322,20

Fonte: O autor (2019).

Pela análise da tabela, observa-se que em valores agregados o sistema oferece uma boa economia com gastos nas contas de luz. Uma observação a ser considerada é que preço de R\$ 0,97 é o menor preço cobrado pela utilização dos kWh fornecidos pela distribuidora de energia elétrica. Este fato leva a concluir que o valor da economia na conta de energia elétrica alcançada por meio do sistema fotovoltaico no veículo, poderá ser maior, pois o preço do kWh fornecido pela CEMIG pode variar conforme a quantidade de energia que o proprietário da residência consome. Quanto mais kWh o dono da residência consumir, maior será o valor cobrado pelo uso de cada kWh.

### **9.5 Custos para adaptação do painel fotovoltaico no teto do veículo**

Para uma posterior análise onde se possa comprovar numericamente a viabilidade econômica do sistema composto pelo veículo elétrico e painel fotovoltaico, é preciso apresentar os custos necessários para se realizar a adaptação do painel fotovoltaico em um veículo desejado. Como já foi citado anteriormente, para que esta adaptação seja realizada, serão necessários dois componentes principais, sendo um a painel fotovoltaico e o outro o conversor de tensão DC/DC. Apesar de parecer simples a determinação do preço destes componentes, a exatidão de seus custos não pode ser comprovada em consulta simples ao mercado, pois a placa solar nas dimensões específicas citadas neste trabalho, e o conversor DC/DC necessário neste sistema, não são encontrados para venda de pronta entrega pelo fabricante.

Sendo assim, para adquirir estes dois equipamentos nas especificações desejadas, ambos devem ser encomendados. Um fato curioso que circunda o conversor DC/DC necessário neste sistema é a diferença de tensões. A placa fotovoltaica utilizada para realizar a adaptação deste sistema, possui uma tensão em torno de 25 volts. As baterias dos veículos elétricos possuem uma tensão bem superior, como pode ser comprovado ao se analisar um veículo elétrico já em venda no Brasil, como o veículo Renault ZOE. A tensão da bateria de um veículo elétrico pode chegar a valores superiores a 300 volts, o que demonstra que a diferença de tensão pode chegar a ser mais de 10 vezes superior.

Um conversor DC/DC que faça a conversão de tensão necessária aqui neste trabalho, não é encontrado para comercialização de pronta entrega, o que impossibilita a consulta de seu preço. Para adquirir este componente, será necessária a encomenda ao seu fabricante. Por este fato, a determinação do preço do conversor descrito neste trabalho não é exata. Para a determinação do preço destes dois componentes serão realizadas regras de proporção, que supostamente determinaram um custo médio destes equipamentos.

### 9.5.1 Custos da placa fotovoltaica

Para determinação do preço da placa fotovoltaica na dimensão necessária, foi utilizado como dado padrão o preço do painel fotovoltaico MAXPOWER 330 P da Canadian Solar, que possui as dimensões de 1,94 x 0,99 x 0,4 m e uma área de 1,92 m<sup>2</sup>. Para efeitos de comparação de custo, será utilizado a área deste painel e seu valor em reais, que é de aproximadamente R\$ 800,00.

A partir destas informações é possível calcular o custo da placa solar de 1,30 x 1,0x 0,4 com 1,30 m<sup>2</sup> de área descrita neste trabalho. Para isto será utilizada a regra de 3 com estas informações para determinar o custo aproximado deste item.

$$\begin{array}{r} 1,92 \text{ m}^2\text{-----} \text{R\$ } 800,00 \\ 1,30 \text{ m}^2 \text{-----} \text{X} \\ \mathbf{X \cong \text{R\$ } 541,67} \end{array}$$

Pela análise dos cálculos, pode-se determinar que a placa solar com área de 1,30 m<sup>2</sup>, que possui em média 48 células fotovoltaicas, irá ter um custo de aproximadamente RS 541, 67 reais.

### 9.5.2 Custos do conversor DC/DC

Para determinar o valor médio do conversor DC/DC, necessário para ser utilizado no veículo, será utilizado como fator de comparação os conversores existentes em sistemas residências de energia fotovoltaica off-grid. Estes tipos de conversores possuem função quase semelhante às necessárias no sistema proposto no veículo elétrico, exceto pelo fato que transformam a energia em corrente contínua proveniente das placas em energia de corrente alternada.

Durante pesquisas relacionadas ao custo destes conversores, chegou-se à conclusão de que um conversor de tensão possui em média um valor de R\$ 1000,00 para cada 1 kW de potência que ele deverá trabalhar, o que pode variar conforme a sua marca. Como o conversor DC/DC necessário no veículo precisará trabalhar com uma potência aproximada de 223 watts vindas da placa e considerando que esta placa solar produzirá uma potência de pico bem próxima deste valor, será necessário um conversor DC/DC que trabalhe com 400 watts.

Considera-se que o conversor irá trabalhar com uma potência maior do que a necessária por motivos de segurança, ou seja, como fator de segurança para proteger o conversor de qualquer dano que possa ocorrer caso a potência fornecida pela placa seja maior do que a que o conversor suporte. Devido estas informações, pode-se estimar o preço deste conversor aproximadamente pela regra de 3, onde utilizará as informações de kW trabalhados relacionando-os ao custo de trabalho:

$$\begin{aligned} 1 \text{ kW} & \text{-----R\$ } 1000,00 \\ 0,4 \text{ kW} & \text{----- X} \\ \mathbf{X} & \cong \mathbf{\text{R\$ } 400,00} \end{aligned}$$

Pela análise dos cálculos, pode-se determinar que o conversor DC/DC, poderá ter o custo aproximadamente de R\$ 400,00.

### 9.5.3 Custos extras

Com o preço dos componentes principais já calculados, ainda serão necessários alguns equipamentos extras para se concretizar a instalação. Estes equipamentos serão o suporte para a placa, os parafusos para fixação da placa ao suporte, os fios e os conectores.

Estima-se que os custos de todos estes componentes extras acrescentem um valor de R\$ 200,00 ao montante, para que a adaptação esteja completa. A seguir serão demonstrados resumidamente os equipamentos necessários e os seus respectivos custos estimados.

Tabela 06 – Equipamentos x Custos

<b>EQUIPAMENTOS X CUSTOS</b>	
<b>Equipamentos</b>	<b>Custos</b>
<b>Placa Solar</b>	R\$ 541,67
<b>Conversor DC/DC</b>	R\$ 400,00
<b>Suporte, parafusos, fios e conectores</b>	R\$ 200,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 1141,67</b>

Fonte: O autor (2019).

Pela análise da tabela, o custo para montar este sistema no veículo elétrico será de aproximadamente R\$ 1141,67.

### **9.6 Tempo para recuperar o investimento da instalação do sistema fotovoltaico no veículo a partir da economia realizada nas contas com energia elétrica**

Logo acima foi demonstrado o custo médio que será gasto para adaptar o veículo elétrico com o sistema fotovoltaico. Conforme consulta na tabela 06, pode-se comprovar que o custo da adaptação gira em torno de aproximadamente R\$ 1141,67. Um pouco mais acima, na tabela 05 foi demonstrada em valores agregados, a economia que será conquistada pelo uso do painel fotovoltaico no veículo elétrico. Essa economia ocorrerá, pois o proprietário do veículo elétrico precisará de menos kWh nas recargas realizadas na tomada de sua residência, pois uma quantidade de energia considerável já fora produzida pela placa fotovoltaica e transmitida para a bateria do veículo. Partindo primeiramente do custo da adaptação do veículo e posteriormente do valor de R\$ 1,29 que será economizado diariamente na conta de energia elétrica se a placa receberá 6 horas diárias de luz solar, pode-se calcular em dias o tempo necessário para que se pague o investimento da adaptação do veículo.

$$\begin{array}{r} 1\text{-----} \text{R\$ } 1,29 \\ X \text{-----} \text{R\$ } 1141,67 \\ X = 885,01 \text{ dias} \end{array}$$

A partir da realização destes cálculos serão gastos aproximadamente 885 dias para que se consiga recuperar o investimento da adaptação do veículo elétrico com a placa fotovoltaica.

Como um ano possui 365 dias, e realizando a divisão pelo total de dias necessários para realizar a recuperação do investimento, constata-se que o investimento será recuperado em 2,42 anos, o que corresponde a aproximadamente 2 anos, 5 meses e 1 dia de uso do sistema, como pode ser observado abaixo:

$$\begin{array}{r} 1 \text{ ano -----} 365 \text{ dias} \\ X \text{ -----} 885 \text{ dias} \\ X = 2,42 \text{ anos} \end{array}$$

Logo que passado este tempo de recuperação de investimento, o painel fotovoltaico passará a fornecer lucros ao seu proprietário.

### 9.7 Vantagens e desvantagens do uso do painel fotovoltaico no teto de um veículo

O quadro 02 exibido a seguir, apresentará algumas vantagens e desvantagens do uso do painel fotovoltaico no teto de um veículo elétrico.

Quadro 02 – Vantagens e desvantagens da utilização da placa solar no teto do veículo.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Garante que o veículo se torne mais ecológico, pois a produção de energia elétrica pelo painel fotovoltaico não produz emissão de CO <sub>2</sub>	Produção pequena de eletricidade em relação ao tempo de exposição à luz solar, o que faz com que o veículo não dependa somente deste sistema para realizar suas recargas da bateria. Sendo assim, ele será utilizado apenas para diminuir a duração das recargas realizadas na residência.
Em valores agregados, garante uma economia considerável na conta de luz	Custo de adaptação consideravelmente alto, o que conseqüentemente faz com que o retorno financeiro seja demorado
Considerável aumento de autonomia do veículo elétrico em valores agregados	O aumento na autonomia em relação ao tempo de exposição à luz solar é pequeno se não for analisado em valores agregados, o que, por exemplo, pouco interferirá em uma viagem longa com veículo sendo conduzido em uma estrada.
Os painéis solares geralmente possuem 10 anos de garantia de fábrica e uma vida útil acima de 20 anos.	A placa fotovoltaica quando acoplada ao teto do veículo poderá afetar a estética do veículo e como é um equipamento adicional aumenta também o seu peso em cerca de 25 quilos.
Utilização de uma energia que é fornecida gratuitamente na natureza	O painel fotovoltaico necessita ficar em exposição da luz solar, para que produza energia elétrica para o veículo. Este fator faz com que o veículo também receba esta luz, o que pode gerar desgaste na pintura e aos equipamentos do veículo, como painel, bancos, etc.

Fonte: O autor (2019).

Como podem ser observadas no quadro 02 existem vantagens e desvantagens em se realizar a adaptação do veículo elétrico com painel fotovoltaico. Ao se analisar as vantagens

apresentadas por esta adaptação, pode-se observar que elas demonstram um aspecto bastante positivo, como o fato de se utilizar uma fonte de energia limpa e gratuita para gerar autonomia para o veículo. Outra vantagem a ser mencionada é a do sistema fotovoltaico possibilitar uma boa economia em dinheiro para o proprietário nas contas de energia elétrica, mas que somente poderá ser observadas em valores agregados.

Apesar destas vantagens, as desvantagens apresentadas são bem marcantes e importantes para não serem levadas em consideração. Como pode ser observada, a área sobre o teto do veículo é pequena, o que faz com que a dimensão da placa também seja pequena e conseqüentemente produza uma quantidade de energia pequena em relação ao tempo de exposição ao sol. Graças a este fator, a autonomia fornecida ao veículo elétrico pela placa fotovoltaica é baixa se não for analisada em valores agregados e ela nada ou pouco interferirá se o veículo necessitar realizar uma viagem mais longa onde se necessite de um aumento considerável de autonomia para percorrer certa quantidade de quilômetros maior do que a autonomia de fábrica do veículo permite.

Outro fator importante a ser considerado nas desvantagens é que o investimento realizado na adaptação do veículo somente será recuperado depois de um tempo considerável de uso do sistema. Para que o retorno financeiro ocorra de forma mais rápida possível, é necessário que haja comprometimento do proprietário do veículo em deixar seu veículo o por 6 horas diárias ou pelo maior tempo possível recebendo luz solar durante o passar dos dias. Além deste fator, o retorno financeiro ainda pode ser mais adiado devido a condições climáticas que possam ocorrer que prejudiquem a captação de luz pelo painel fotovoltaico.

Dois outros pontos importantes a serem citados ainda como desvantagem, são o aumento peso do veículo e o seu comprometimento estético. O aumento de cerca de 25 quilos no veículo elétrico é pequeno e quase pode ser desconsiderado, mas como se sabe qualquer aumento de peso em um veículo pode fazer com que o seu consumo de energia por quilometragem se altere. Já sobre a estética do veículo, pode se afirmar que esta ficará comprometida, pois sobre o teto ficará em evidencia a placa fotovoltaica, que será vista no formato retangular sobre a superfície do veículo. Devido ao comprometimento estético, muitas pessoas podem optar em não colar este sistema em seus veículos.

Após a análise das vantagens e desvantagens apresentadas, a adaptação do veículo elétrico com painel fotovoltaico se mostra inviável nas condições propostas pelo trabalho, pois a área para instalação do painel fotovoltaico é pequena e a dimensão que o painel possui não permitiu a produção de uma quantidade de energia necessária para gerar uma autonomia que fosse considerável e fizesse a diferença durante uma viagem em que o veículo deva percorrer

muitos quilômetros. Além disto, a inviabilidade de se instalar o painel fotovoltaico sobre o veículo pode ser justificada pelo tempo considerável de se obter o retorno financeiro do investimento e que ainda vai demandar de um compromisso do proprietário automóvel em deixar seu veículo ao sol diariamente durante o tempo necessário.

## 10 CONCLUSÃO

Este trabalho possibilitou analisar através de pesquisas, cálculos e materiais teóricos, se a utilização de uma placa fotovoltaica no teto de um veículo seria viável ou não. Tal análise se justificou devido há alguns fatores específicos como descobrir uma maneira de aumentar a eficiência do veículo elétrico e a possibilidade de utilização de uma energia renovável não poluidora neste processo.

Os resultados obtidos através das pesquisas e cálculos provaram que a utilização de um painel fotovoltaico no teto de um veículo elétrico, nas condições propostas pelo trabalho, não são viáveis em termos de autonomia, pois a autonomia conseguida em um dia com a utilização do painel fotovoltaico é considerada baixa para que se realize uma viagem mais longa, em que a autonomia original do veículo não permita. A viabilidade em termos de custos também pode ser questionada se o objetivo for uma rápida recuperação de investimento. Os custos gastos para se realizar a adaptação do veículo elétrico, poderão levar um tempo considerável para sejam recuperados, o que ainda pode ser atenuado por fatores de não comprometimento do dono do veículo em deixá-lo no sol, além de condições climáticas desfavoráveis. O fator primordial para conclusão de não viabilidade é que as dimensões da placa não produzem a energia suficiente para dar a autonomia esperada pelo consumidor em uma viagem mais longa, que possua uma considerável quilometragem a ser percorrida.

Apesar de não se apresentar viável utilizar a energia solar nas condições deste trabalho, o estudo foi válido, pois possibilitou visualizar que a autonomia em valores agregados foi aumentada e que mesmo que leve um tempo considerável, os custos da adaptação do veículo podem ser recuperados.

Uma hipótese para continuar os estudos e pesquisas futuramente e para que a utilização da energia solar seja considerada vantajosa, seria a criação de um modelo de placa mais eficiente, que produza mais energia elétrica e possua células menores, por exemplo, pois estas células poderiam ser dispostas de maior forma em série, o que conferiria à placa fotovoltaica um maior valor de tensão que dispensaria o uso do conversor DC/DC. Com a dispensa deste equipamento o custo de adaptação seria reduzido. Uma proposta paralela para se continuar os estudos, é a de pensar na criação de um teto planejado para veículo elétrico, composto por células fotovoltaicas, ou seja, a criação de um ‘teto fotovoltaico’ que dispense a colocação de uma placa em cima do veículo. Sendo assim as montadoras de veículos elétricos já colocariam este ‘teto fotovoltaico’ nos veículos em suas fábricas no lugar do teto tradicional, solucionando assim o problema estético. Como este ‘teto fotovoltaico’ seria supostamente produzido em

maior quantidade, seu custo poderia ser reduzido e conseqüentemente ele não afetaria de maneira significativa no preço do automóvel nas revendedoras.

## REFERÊNCIAS

- ASSIS, Filippo Savoi de. **Análise da estrutura relacional das patentes: o caso domínio tecnológico no seguimento dos veículos elétricos e híbridos**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- BARACHO, Gabrielle Monique Maciel de Oliveira. **Veículos elétricos: estudo preliminar das estratégias de suprimento de energia por eletro posto solar fotovoltaico**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Brasília, Gama.
- BARAN, Renato. **A introdução de veículos elétricos no Brasil: avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- BARRETO, Gilmar. **Veículo elétrico à bateria: contribuições à análise de seu desempenho e seu projeto**. 1986. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- BARROS, Leonardo Lehmann. **Requisitos para fornecimento de energia elétrica para recarga de veículo elétrico em Curitiba através de sistemas fotovoltaicos e concessionária de energia**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- CAMPELO, Bruno Henrique De Souza. **Sistema de energia solar**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade Anhanguera, Piracicaba.
- Canadian Solar. Disponível em: <<https://www.canadiansolar.com/>>. Acesso em: 02 de out. 2019.
- CASTRO, Laira Augusta Freitas. **Análise de veículos elétricos no setor de logística em centros urbanos**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Nove de Julho, São Paulo.
- COSTA, Evaldo. O que são veículos elétricos? BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 32, out. 2013.
- FREITAS, Joaquim Carlos Novais de. **Projeto e análise ao funcionamento de carros elétricos**. 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho, Guimarães.
- IMHOFF, Johninson. **Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos**. 2007. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- OLIVEIRA, Giovanni Filipe Leone. **Abastecimento de veículos elétricos considerando energia fotovoltaica**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- PAREDES, Marina Gabriela Sadith Perez. **Frenagem regenerativa em veículo elétrico acionado por motor de indução: estudo, simulação e verificação experimental**. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PEREIRA JUNIOR, Luiz Carlos. **A interação entre geradores solares fotovoltaicos e veículos elétricos conectados à rede elétrica pública**. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PEREIRA, Elisa Almeida; GOMEZ, Juan Pablo Espana; SOUZA, Adriana Cristina; ARRUDA, Fabiana Serra de. **Análise comparativa dos custos dos veículos de combustão interna e veículos elétricos: estudo de caso dos Correios**. In: **Congresso Anual de Pesquisa em Transporte da ANPET**. 2015. p. 2225-2235.

PEREIRA, Fabiana Luzia; MENDES, Marina Alves. **O uso de energia solar fotovoltaica como alternativa à redução da fatura de energia elétrica em blocos universitários**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão.

RAMPINELLI, Giuliano Arns. **Estudo de características elétricas e térmicas de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Renault Zoe – Manual do Proprietário disponível em:  
[https://www.cdn.renault.com/content/dam/Renault/BR/personal-cars/ZOE/catalogos-manuais/Manual\\_do\\_Proprietario\\_ZOE\\_2018.pdf](https://www.cdn.renault.com/content/dam/Renault/BR/personal-cars/ZOE/catalogos-manuais/Manual_do_Proprietario_ZOE_2018.pdf) Acesso em: 17 de out. de 2019.

RODRIGUES, Francisco Carlos Tadeu Starke. **As estratégias tecnológicas das montadoras globais e as verticais tecnológicas em motorização**. 2013. Tese de Doutorado. Faculdade de São Paulo, São Paulo.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Editora UFSC, 2004.

SANTOS, Alexandre Carvalho dos. Carros elétricos é o futuro. Menos no Brasil. **Revista CESVI**, v. 16. n.83, 2013.

SANTOS, Ana Carolina Fabricio da Rocha. **Análise da viabilidade técnica e econômica de um veículo elétrico versus veículo a combustão**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Maria, Santa do Livramento.

SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves de; CAMARGO, Ivan Marques de Toledo. **Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais**. 2006. Artigo Científico. Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Brasília.

SILVA, João Paulo Niggli. **Avaliação de impactos da inserção dos veículos elétricos nos sistemas de distribuição das concessionárias EDP Bandeirante e EDP ESCELSA**. 2014. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

THEOTONIO, Sergio Barcelos. **Veículos Elétricos e Híbridos panorama patentário no Brasil**. 2018. Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI. Rio de Janeiro.