



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**  
**Instituto de Ciência e Tecnologia**  
Câmpus de Sorocaba

MILENE DA SILVA

## **Aplicação de Energia Fotovoltaica em Veículos Baja**

Sorocaba

2023

MILENE DA SILVA

## APLICAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM VEÍCULOS BAJA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista (UNESP), como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Verri Liberado

Sorocaba

2023

S586a Silva, Milene da  
Aplicação de energia fotovoltaica em veículos baja / Milene da Silva. -- Sorocaba, 2023  
47 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba  
Orientador: Eduardo Verri Liberado

1. Energia solar. 2. Circuitos eletrônicos. 3. Geração de energia fotovoltaica. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Instituto de Ciência e Tecnologia  
Câmpus de Sorocaba

## APLICAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM VEÍCULOS BAJA

MILENE DA SILVA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE **BACHAREL EM**  
**ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

Profº. Dr. Everson Martins

Coordenador

### **BANCA EXAMINADORA:**

Prof. Dr. EDUARDO VERRI LIBERADO

Orientador/UNESP-Campus de Sorocaba

Prof. Dr. MÁRCIO ALEXANDRE MARQUES

UNESP-Campus de Sorocaba

Eng. PEDRO HENRIQUE CORRÊA NUNES

FIT

Dezembro de 2023

Este trabalho é dedicado a Deus e à minha família, que foram meu suporte durante toda graduação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus, por todas as oportunidades presenteadas e por todo alicerce, pois sem Ele, não sou nada. Agradeço também a intercessão de Nossa Senhora Aparecida, que sempre me acolheu em seu colo de mãe, principalmente durante todas as minhas aflições.

Expresso minha gratidão aos meus pais, Sérgio e Rosângela, que sempre me motivaram a estudar, por apoiarem constantemente meus sonhos e por todo o suporte financeiro e emocional durante minha graduação.

Agradeço aos meus irmãos, Gabriel e Manuele, pelo apoio e carinho, sendo a razão de minha perseverança.

Um agradecimento especial ao meu namorado, João Pedro, que foi meu alicerce durante toda a graduação, sendo meu apoio nos momentos mais difíceis, não permitindo que eu desistisse ou me desanimasse, além de ser meu companheiro nos estudos.

Estendo meus agradecimentos ao meu orientador, Prof. Eduardo Verri Liberado, por todo suporte durante o desenvolvimento desse trabalho, pela paciência, pelos conhecimentos compartilhados e por me incentivar na elaboração deste tema.

Agradeço a todos os professores e funcionários da UNESP que tiveram um significado específico e singular durante minha trajetória acadêmica.

Um agradecimento especial ao Prof. Marcelo Grandella Villalva, que tive a honra de ser aluna e que tem servido de inspiração para a área de energia solar.

Agradeço aos meus colegas da UNESP, em especial aos meus amigos Gabriel Sereia, Talles Zillio, Levi Correia, Jose Willian Delmondes e Marcos Kovaes, que foram primordiais durante toda a graduação, cuidando de mim em meio às dificuldades.

Expresso minha gratidão à equipe Baja Búfalos, da qual tive a honra de participar como membro e capitã. Essa equipe foi minha válvula de escape, sendo fonte de felicidade e local onde meu desenvolvimento foi significativo.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos, em especial a Pedro Nunes, Leandro Ayres, Paulo Casmal e Pedro Rebello, que me apoiaram e incentivaram durante todo o processo deste trabalho.

“Todos nascemos originais, mas muitos de nós  
morremos como fotocópias.”  
(Beato Carlo Acutis)

SILVA, Milene da. **Aplicação de energia fotovoltaica em veículos baja**. 2023. 47 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2023.

## RESUMO

A energia solar vem sendo impulsionada para diferentes tipos de aplicações, sendo uma delas os sistemas *off-grid*, especialmente, em veículos. O objetivo central deste trabalho é abordar a aplicação de energia fotovoltaica em veículos baja, buscando desenvolver uma solução que integre um sistema embarcado alimentado por uma bateria recarregável através de um módulo fotovoltaico. A pesquisa envolveu a análise das melhores práticas e tecnologias disponíveis para a implementação de energia fotovoltaica em sistemas *off-grid*, considerando desafios específicos como armazenamento de energia e eficiência do sistema. Assim, por meio da fundamentação teórica, foi possível compreender sobre a energia solar e sua aplicação *off-grid*, implementando um desenvolvimento funcional. Diante disso, verificou-se que o módulo fotovoltaico utilizado apresentou um desempenho satisfatório, viável para a aplicação proposta e também, destaca-se a relevância do módulo de carregador de bateria, essencial para a compreensão da literatura sobre o controlador de carga e aplicável ao desenvolvimento da ideia inicial. Assim, os testes em bancada desempenharam um papel fundamental na validação do circuito antes da inserção do módulo fotovoltaico e com o conjunto completo resultou na comprovação da funcionalidade do protótipo. Isso foi facilitado pelo desenvolvimento de um *firmware*, o qual tem o intuito de interpretar a distância enviada pelo sensor ultrassônico e enviar para o LED, fazendo-o piscar caso a distância seja menor que 15 cm, se mostrando essencial para validar os testes e fornecer uma resposta sem a necessidade de visualização serial. Os resultados obtidos apontam para um desempenho promissor do protótipo, contribuindo para possíveis trabalhos e estudos futuros. A solução demonstrou ser autossuficiente para alimentar os sistemas eletrônicos, confirmando a viabilidade da aplicação. Conclui-se que este estudo promove a implementação de energia solar em sistemas *off-grid*, oferecendo um potencial de inovação no setor automotivo, especialmente em competições baja.

**Palavras-chave:** energia solar; sistema fotovoltaico *off-grid*; baja; sistema embarcado.

SILVA, Milene da. **Application of Photovoltaics in Baja Vehicles**. 2023. 47 p. Final Paper (Bachelor's degree in Control and Automation Engineering) – Institute of Science and Technology, São Paulo State University, Sorocaba, 2023.

### **ABSTRACT**

Solar energy is being used for different types of applications, one of which is off-grid systems, especially in vehicles. The main objective of this work is to address the application of photovoltaic energy in Baja vehicles, seeking to develop a solution that integrates an on-board system powered by a rechargeable battery through a photovoltaic module. The research involved analyzing the best practices and technologies available for implementing photovoltaic energy in off-grid systems, considering specific challenges such as energy storage and system efficiency. Thus, through the theoretical foundation, it was possible to understand solar energy and its off-grid application, implementing a functional development. The photovoltaic module used performed satisfactorily and was viable for the proposed application, and the battery charger module was essential for understanding the literature on the charge controller and applicable to the development of the initial idea. Thus, the bench tests played a fundamental role in validating the circuit before inserting the photovoltaic module, and with the complete set, the prototype's functionality was proven. This was facilitated by the development of firmware, which interprets the distance sent by the ultrasonic sensor and sends it to the LED, causing it to flash if the distance is less than 15 cm, proving essential for validating the tests and providing a response without the need for serial display. The results obtained point to the prototype's promising performance, contributing to possible future work and studies. The solution proved to be self-sufficient in powering the electronic systems, confirming the viability of the application. It is concluded that this study promotes the implementation of solar energy in off-grid systems, offering potential for innovation in the automotive sector, especially in Baja competitions.

**Keywords:** solar energy; off-grid photovoltaic system; baja; embedded system.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Componentes de um sistema fotovoltaico autônomo típico.....                     | 15 |
| Figura 2 – Modo de utilização de um controlador de carga.....                              | 16 |
| Figura 3 – Módulo fotovoltaico.....                                                        | 23 |
| Figura 4 – Módulo Carregador de Bateria de Lítio TP4056.....                               | 24 |
| Figura 5 – Bateria recarregável.....                                                       | 24 |
| Figura 6 – Módulo Regulador de Tensão Ajustável MT3608.....                                | 25 |
| Figura 7 – Placa de desenvolvimento ESP32-DevKitC V4.....                                  | 26 |
| Figura 8 – Sensor Ultrassônico HC-SR04.....                                                | 26 |
| Figura 9 – Diagrama de blocos da estrutura do projeto.....                                 | 27 |
| Figura 10 – Representação em blocos do sistema embarcado desenvolvido.....                 | 28 |
| Figura 11 – Estrutura módulo de carregamento de bateria TP4056.....                        | 30 |
| Figura 12 – Esquemático completo dos componentes do projeto.....                           | 31 |
| Figura 13 – Esquemático do módulo fotovoltaico e diodo em relação ao circuito.....         | 32 |
| Figura 14 – Esquemático do módulo de carregamento TP4056 em relação ao circuito.....       | 32 |
| Figura 15 – Esquemático da bateria em relação ao circuito.....                             | 32 |
| Figura 16 – Esquemático do regulador de tensão em relação ao circuito.....                 | 33 |
| Figura 17 – Esquemático do sistema embarcado em relação ao circuito.....                   | 33 |
| Figura 18 – Implementação física das ligações dos componentes do protótipo do projeto..... | 34 |
| Figura 19 – Validação do funcionamento do módulo fotovoltaico.....                         | 35 |
| Figura 20 – Testes do protótipo em bancada com fonte de alimentação ajustável.....         | 36 |
| Figura 21 – Distâncias coletadas pelo sensor ultrassônico.....                             | 37 |
| Figura 22 – Validação do protótipo com notebook conectado para visualização serial.....    | 37 |
| Figura 23 – Validação do protótipo sem notebook conectado para visualização serial.....    | 38 |
| Figura 24 – Validação do protótipo sem luz solar.....                                      | 39 |

## **LISTA DE TABELAS**

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Componentes e especificações.....                              | 28 |
| Tabela 2 – Representação em blocos do sistema embarcado desenvolvido..... | 31 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                |                                                                                             |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ABSOLAR</b> | Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica                                         |
| <b>ABVE</b>    | Associação Brasileira do Veículo Elétrico                                                   |
| <b>CVT</b>     | <i>Continuously Variable Transmission</i> - Transmissão Continuamente Variável              |
| <b>NOCT</b>    | <i>Nominal Operating Cell Temperature</i> - Temperatura nominal de operação da célula solar |
| <b>RATBSB</b>  | Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE BRASIL                                        |
| <b>SAE</b>     | Society of Automotive Engineers                                                             |
| <b>STC</b>     | <i>Standard Test Conditions</i> - Condições padrões de teste                                |
| <b>Unicamp</b> | Universidade Estadual de Campinas                                                           |
| <b>USJT</b>    | Universidade São Judas Tadeu                                                                |

## SUMÁRIO

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>                                                  | <b>12</b> |
| <b>1.1 Contexto e justificativa.....</b>                                  | <b>12</b> |
| <b>1.2 Objetivos.....</b>                                                 | <b>13</b> |
| 1.2.1 Objetivo Geral .....                                                | 13        |
| 1.2.2 Objetivos Específicos .....                                         | 13        |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>                                       | <b>14</b> |
| <b>2.1 Energia solar .....</b>                                            | <b>14</b> |
| 2.1.1 Energia solar fotovoltaica .....                                    | 14        |
| 2.1.2 Sistemas Fotovoltaicos Autônomos ( <i>off-grid</i> ).....           | 14        |
| 2.1.3 Método da corrente máxima do módulo.....                            | 17        |
| 2.1.4 Dimensionamento do banco de baterias .....                          | 18        |
| 2.1.5 Levantamento do consumo de energia .....                            | 19        |
| <b>2.2 Veículos baja .....</b>                                            | <b>19</b> |
| 2.2.1 Sensoriamento .....                                                 | 21        |
| <b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                                        | <b>23</b> |
| <b>3.1 Materiais.....</b>                                                 | <b>23</b> |
| <b>3.2 Desenvolvimento .....</b>                                          | <b>27</b> |
| <b>3.3 Implementação.....</b>                                             | <b>31</b> |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>                                     | <b>35</b> |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                        | <b>40</b> |
| <b>5.1 Conclusões .....</b>                                               | <b>40</b> |
| <b>5.2 Trabalhos futuros .....</b>                                        | <b>40</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                  | <b>42</b> |
| <b>APÊNDICE A – Código utilizado no protótipo (<i>firmware</i>) .....</b> | <b>46</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Contexto e justificativa

A busca pela utilização de fontes de energia renovável na mobilidade elétrica tem sido objeto de estudo e desenvolvimento em diversos países, incluindo o Brasil, conforme Prates (2019). Organizações como a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), por exemplo, tem trabalhado na promoção da utilização de energia solar na mobilidade elétrica, estimulando iniciativas que visem à criação de infraestrutura de recarga de veículos elétricos alimentados por energia solar (ABSOLAR, 2023).

No Brasil e no mundo, veículos elétricos e híbridos têm conquistado crescente notoriedade. Segundo a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), nos primeiros oito meses de 2023, o mercado de veículos eletrificados leves no Brasil emplacou 49.052 unidades, um crescimento de 76%, na comparação com o mesmo período de 2022 (27.812) e praticamente o total de todo o ano passado (49.245).

As competições Baja Society of Automotive Engineers (SAE) BRASIL são eventos que desafiam estudantes universitários a projetarem e construírem veículos *off-road* para enfrentar adversidades e obstáculos em terrenos acidentados e de difícil acesso. Essas competições têm ganhado cada vez mais visibilidade e importância, sendo reconhecidas internacionalmente, além de proporcionar um espaço livre para a aprendizagem e desenvolvimento de habilidades técnicas e profissionais para os estudantes (SAE BRASIL, [2015]).

Nesse cenário, visando abordar a discussão sobre como a energia fotovoltaica pode se relacionar com veículos, especialmente, bajas, esse trabalho justifica-se devido à crescente preocupação com a preservação do meio ambiente e a busca pela sustentabilidade.

Sendo assim, a capacidade de usar conscientemente os recursos naturais sem afetar o bem-estar das futuras gerações, com isso o fomento de estudos sobre fontes renováveis de energia vem ganhando cada vez mais notoriedade e sendo um grande desafio para a mobilidade elétrica (Piovani *et al.*, 2017).

Consequentemente, levando em consideração o panorama atual acerca da utilização da energia solar *off-grid*, esse estudo tem por motivação integrá-la com a mobilidade elétrica. Outro estímulo vem da experiência da autora em uma equipe de baja e também na sua atuação

profissional em energia solar. Além disso, existe a possibilidade de pioneirismo e inovação na utilização de módulos fotovoltaicos em veículos baja com o intuito de alimentar o sistema embarcado e seus sensores.

Dessa forma, o presente trabalho partiu da necessidade de entender como o estudo sobre a aplicação de energia fotovoltaica em veículos baja pode impactar direta ou indiretamente a mobilidade elétrica, trazendo alternativas reais e replicáveis a outros veículos, além de contribuir na dispersão da mobilidade elétrica mais sustentável.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma aplicação de energia fotovoltaica em veículos baja, baseada na integração de um sistema embarcado cuja alimentação é proveniente de uma bateria recarregável por meio de um módulo fotovoltaico, com o intuito de não apenas aprimorar a eficiência energética desses veículos, mas também promover a sustentabilidade e a redução da dependência de fontes de energia convencionais.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Investigar as melhores práticas e tecnologias disponíveis para implementar energia fotovoltaica em sistemas *off-grid*, levando em consideração desafios específicos, como armazenamento de energia e eficiência do sistema.
- Projetar e desenvolver um sistema embarcado alimentado por uma bateria recarregável através de um módulo fotovoltaico.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Energia solar

O Sol retrata um dos mais cruciais recursos de energia, sendo aproveitado pela humanidade ao longo de milênios para suprir necessidades térmicas, contudo, vem desempenhando um papel vital na geração de eletricidade. Sendo uma fonte energética sustentável, a energia solar deriva da radiação eletromagnética (luz e calor) proveniente do sol (Portal Solar, [2015]).

#### 2.1.1 Energia solar fotovoltaica

A energia solar pode ser convertida em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico, na qual a radiação solar é transformada diretamente em energia elétrica. Assim, a célula fotovoltaica é o elemento indispensável para essa transformação, sendo fabricado com material semicondutor (Pinho e Galdino, 2014).

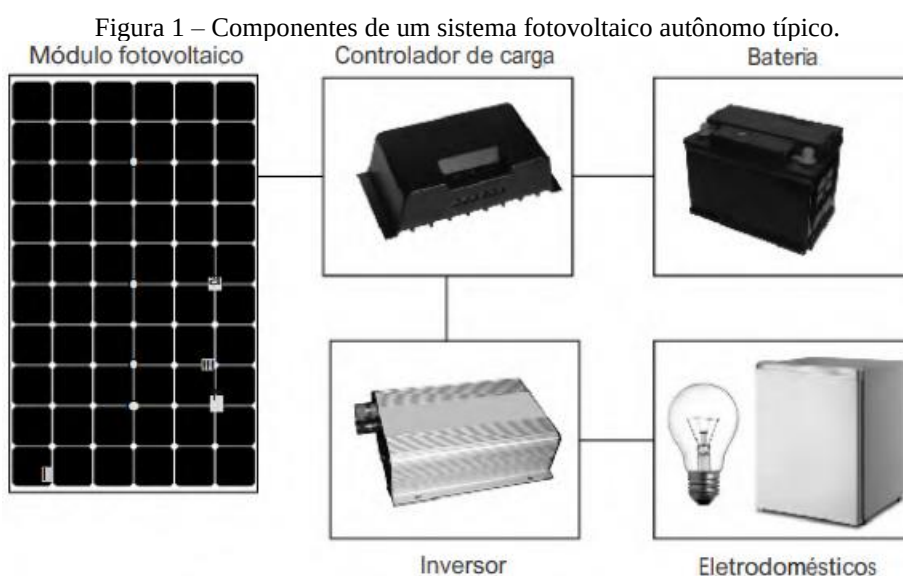
Em 1839, Edmond Becquerel constatou que o efeito fotovoltaico, quando absorve luz visível, resume-se na presença de uma diferença de potencial nos extremos de um semicondutor (Souza, [201-]).

Dessa maneira, apresenta inúmeras vantagens sobre a utilização da energia fotovoltaica já que é uma matéria prima inesgotável, não existir emissão de poluentes durante a geração de eletricidade, além de existir a possibilidade de ser instalado em todo o mundo. Porém a energia solar disponível em uma localidade varia sazonalmente, além de ser afetada pelas condições climatológicas e os equipamentos de captação e conversão requerem investimentos financeiros iniciais mais elevados que os sistemas convencionais (Souza, [201-]).

#### 2.1.2 Sistemas Fotovoltaicos Autônomos (*off-grid*)

O sistema fotovoltaico autônomo, também conhecidos como *off-grid*, consiste em aplicações quando não há outro modo de geração, sendo aplicados em casos ou locais sem atendimento de rede elétrica, visando disponibilizar eletricidade em qualquer local onde a energia elétrica esteja acessível, como ilhas, zonas rurais, camping (Souza, [201-]).

Além do mais, podem ser utilizados para fornecer eletricidade para veículos terrestres e marítimos e para uma infinidade de aplicações, desde pequenos dispositivos eletrônicos portáteis até sistemas aeroespaciais, como iluminação pública, sinalização de trânsito, alimentação de sistemas de telecomunicações e carregamento de baterias de carros elétricos (Villalva e Gazoli, 2012). A Figura 1 apresenta componentes de um sistema fotovoltaico *off-grid* típico.



Fonte: Villalva e Gazoli (2012, p. 102).

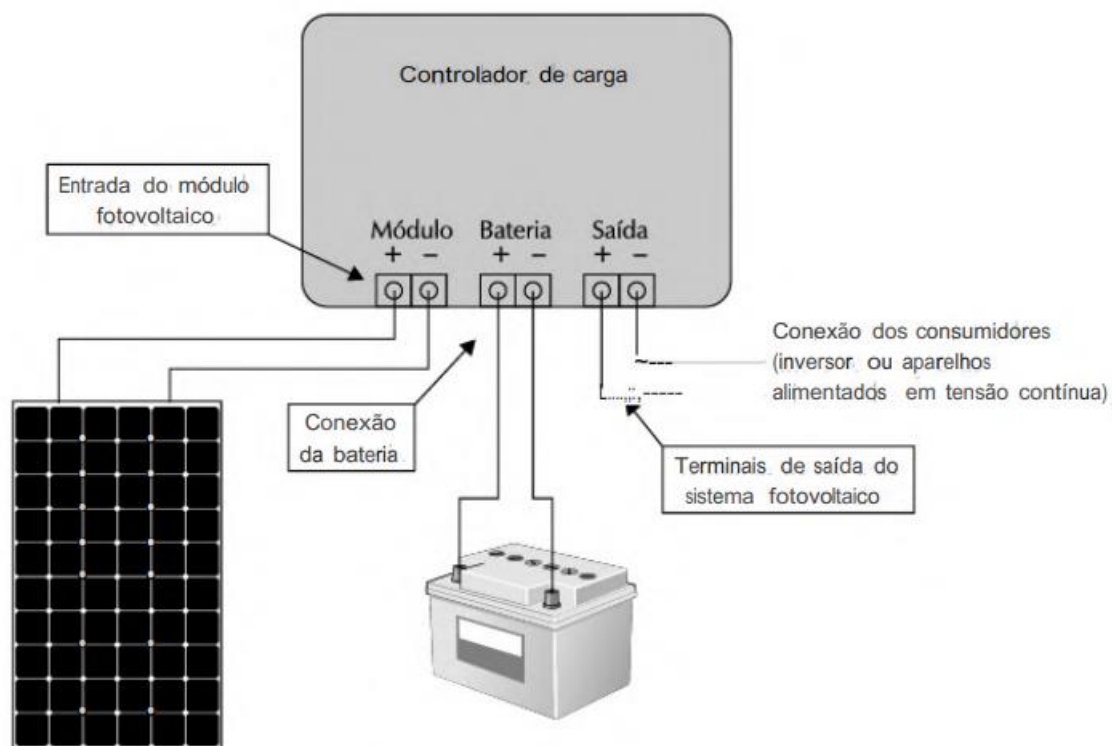
As baterias desempenham um papel vital nos sistemas *off-grid*, uma vez que a geração e o consumo de energia nem sempre coincidem devido à natureza intermitente da radiação solar ao decorrer do dia. As baterias são essenciais para garantir um fornecimento constante de energia aos consumidores, além de possibilitar o armazenamento de energia para uso subsequente e assim, evitando o desperdício quando o consumo é baixo. Esse armazenamento é crucial para o uso, especialmente, durante períodos de pouca ou nenhuma radiação, como à noite, em dias nublados e chuvosos. Também são importantes na estabilização da tensão fornecida aos equipamentos e inversores eletrônicos, uma vez que a tensão de saída dos módulos fotovoltaicos não é constante, podendo variar. Assim, as baterias atuam como um acoplador entre os módulos fotovoltaicos e o restante do sistema, mantendo uma tensão de trabalho constante (Villalva e Gazoli, 2012).

Conforme apresenta Villalva e Gazoli (2012) é imprescindível a presença de um controlador ou regulador de carga em um sistema fotovoltaico com bateria. O controlador de

carga é responsável por fazer a conexão adequada entre o módulo fotovoltaico e a bateria, evitando sobrecarga ou descarga excessiva da bateria. Alguns controladores são capazes de carregar a bateria respeitando seu perfil de carga, o que contribui para uma vida útil mais longa e uma utilização otimizada. Controladores mais avançados possuem a capacidade de rastrear o ponto de máxima potência do módulo ou conjunto de módulos fotovoltaicos, aumentando a eficiência do sistema.

Além disso, a conexão dos consumidores deve ser feita através do controlador de carga, permitindo que o controlador mantenha o controle sobre a bateria. Isso viabiliza a desconexão dos consumidores quando o nível de carga da bateria atinge um ponto crítico, oferecendo proteção contra danos. Caso os consumidores sejam alimentados diretamente dos terminais da bateria, sem passar pelo controlador, essa camada de proteção se perde. Consequentemente, a presença e o correto uso do controlador de carga são fundamentais para preservar a integridade das baterias e otimizar o funcionamento do sistema fotovoltaico (Villalva e Gazoli, 2012). A Figura 2 ilustra o modo de utilização de um controlador de carga.

Figura 2 – Modo de utilização de um controlador de carga.



Fonte: Villalva e Gazoli (2012, p. 113).

### 2.1.3 Método da corrente máxima do módulo

Quando não é possível obter o aproveitamento máximo de energia solar no sistema, emprega-se o método da corrente máxima do módulo. Nessa circunstância, o módulo fotovoltaico opera em um ponto condicionado pela tensão da bateria ou do banco de baterias, impedindo-o de atingir seu ponto de máxima potência e limitando sua produção de eletricidade (Villalva e Gazoli, 2012).

Segundo Villalva e Gazoli (2012), para o cálculo da energia produzida por esse método, é necessário adquirir as características do módulo a partir de sua folha de dados, optando pelas condições normais de operação do módulo, utilizando as condições de temperatura nominal de operação da célula solar (NOCT) para garantir uma maior proximidade com as características reais de operação, em vez das condições padrão de teste de módulo (STC).

O cálculo da energia produzida pelo módulo nesse método é realizado pela equação (1):

$$E_P = P_M \times H_S \quad (1)$$

sendo:

$E_P$  = Energia produzida pelo módulo diariamente [Wh].

$P_M$  = Potência do módulo [W].

$H_S$  = Horas diárias de insolação [horas].

Já a potência do módulo pode ser calculada por meio da equação (2):

$$P_M = I_{SC} \times V_{BAT} \quad (2)$$

sendo:

$P_M$  = Potência do módulo [W].

$I_{SC}$  = Corrente de curto-circuito do módulo [A].

$V_{BAT}$  = Tensão da bateria ou do banco de baterias [V].

A quantidade de horas diárias de insolação pode variar ao longo do ano e é específica para cada localidade, geralmente variando entre quatro e seis horas para resultados precisos. Segundo Villalva e Gazoli (2012), o dimensionamento do sistema fotovoltaico por meio desse método é altamente empírico, e os resultados obtidos podem exigir ajustes com base nas condições reais de operação do sistema. Esses ajustes só podem ser realizados após a verificação prática das condições reais de produção e consumo de energia.

### 2.1.4 Dimensionamento do banco de baterias

O dimensionamento do banco de baterias em um sistema fotovoltaico envolve a seleção dos tipos, quantidade e organização das baterias. Esse processo inicia-se com a análise da energia a ser armazenada em watt-hora (Wh), dependendo da demanda energética dos consumidores e da profundidade de descarga permitida nas baterias, também é imprescindível o conhecimento da energia consumida e a tensão de operação do banco de baterias.

O número de baterias em série é determinado pela tensão das baterias e a desejada para o banco, enquanto a capacidade de carga do banco de baterias, expressa em ampère-hora (Ah) determinará a quantidade de elementos em paralelo.

O número de baterias em série pode ser calculado pela equação (3):

$$N_{BS} = \frac{V_{BANCO}}{V_{BAT}} \quad (3)$$

sendo:

$N_{BS}$  = Número de baterias ligadas em série.

$V_{BANCO}$  = Tensão do banco de baterias [V].

$V_{BAT}$  = Tensão da bateria utilizada [V].

Já a capacidade do banco de baterias é determinada pela equação (4):

$$C_{BANCO} = \frac{E_A}{V_{BANCO}} \quad (4)$$

sendo:

$C_{BANCO}$  = Capacidade de carga do banco de baterias em ampère-hora [Ah].

$E_A$  = Energia armazenada no banco de baterias [Wh].

$V_{BANCO}$  = Tensão do banco de baterias [V].

E, a energia armazenada é calculada pela equação (5):

$$E_A = \frac{E_C}{P_D} \quad (5)$$

sendo:

$E_A$  = Energia armazenada no banco de baterias [Wh].

$E_C$  = Energia consumida [Wh].

$P_D$  = Profundidade de descarga permitida (20%, 50%, 80%, etc.)

### 2.1.5 Levantamento do consumo de energia

Para Villalva e Gazoli (2012) o dimensionamento de um sistema fotovoltaico autônomo requer uma análise detalhada do consumo de energia elétrica. Essa avaliação inclui a identificação dos aparelhos elétricos a serem utilizados e a determinação do tempo de funcionamento diário ou mensal de cada um deles.

A energia necessária para alimentar um aparelho elétrico ou eletrônico é calculada multiplicando a potência do aparelho pelo número de horas de uso. Em sistemas fotovoltaicos autônomos, a ênfase normalmente está na estimativa diária de consumo, pois visa-se dimensionar os módulos fotovoltaicos e as baterias para garantir o suprimento diário desses aparelhos (Villalva e Gazoli, 2012). A equação (6) para calcular a energia elétrica consumida por um aparelho é:

$$E_c = P \times T \quad (6)$$

sendo:

$P$  = Potência [W].

$T$  = Tempo [h].

## 2.2 Veículos baja

O programa Baja SAE BRASIL representa um desafio significativo destinado a estudantes de Engenharia, proporcionando-lhes a oportunidade de aplicar, de maneira prática, os conhecimentos adquiridos em sala de aula e, assim, aprimorar sua preparação para ingressar no mercado de trabalho. Ao participar desse programa, os alunos se envolvem em um projeto real de desenvolvimento de um veículo *off-road*, abrangendo desde sua concepção até a fase de testes, incluindo a construção detalhada (SAE BRASIL, [2015]).

A participação no Baja SAE BRASIL implica na formação de equipes representativas das Instituições de Ensino Superior dos participantes. Essas equipes são desafiadas anualmente a participar da Competição Baja SAE BRASIL, um evento que reúne estudantes e promove a avaliação comparativa dos projetos. Destaca-se que as equipes vencedoras têm a oportunidade de representar o país na competição internacional, realizada nos Estados Unidos. Além de permitir a aplicação prática dos conhecimentos teóricos, o Baja SAE BRASIL oferece aos

participantes a chance de viajar e apresentar seus projetos a profissionais estrangeiros durante a competição internacional nos Estados Unidos (SAE BRASIL, [2015]).

O histórico do programa revela sua origem na Universidade da Carolina do Sul, EUA, em 1976, sob a direção do Dr. John F. Stevens. A SAE BRASIL iniciou suas atividades em 1991 e lançou o Projeto Baja SAE BRASIL em 1994, com a primeira competição nacional ocorrendo em 1995, inicialmente no Autódromo de Interlagos, São Paulo, e posteriormente, a partir de 2003, em Piracicaba, São Paulo, no ECPA - Esporte Clube Piracicabano de Automobilismo. Desde 1997, a SAE BRASIL também tem apoiado a realização de eventos regionais do Baja SAE BRASIL por meio de suas Seções Regionais, estendendo a competição para diversos estados do país, como Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais e Bahia (SAE BRASIL, 2023).

Conforme estabelecido no Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil (RATBSB) (2023), a participação na Competição Baja SAE BRASIL requer que cada equipe desenvolva um veículo monoposto, esportivo e fora-de-estrada, cuja estrutura inclua o condutor. O veículo deve ser concebido como um protótipo para eventual produção em série, sendo confiável, de fácil manutenção, ergonômico e econômico, visando atender às demandas do mercado consumidor, com uma estimativa anual de produção pela equipe, podendo ser referenciada pelo valor de 4000 unidades por ano.

Para a SAE, o projeto do veículo precisa aspirar a um desempenho líder de mercado em aspectos como velocidade, manobrabilidade, conforto e robustez em terrenos acidentados e condições fora-de-estrada. O sucesso nas provas das competições será o critério para avaliação do desempenho do veículo. Os alunos devem colaborar em equipe ao longo de todas as fases do projeto, incluindo design, construção, testes, promoção e operação, assegurando o cumprimento das regras estipuladas no documento regulamentar (SAE BRASIL, [2015]).

Atualmente, os veículos baja, seguindo o RATBSB (2023), possuem um motor à combustão, entretanto existe a previsão de uma nova categoria – a Elétrica – para 2024, com o desenvolvimento de uma regulamentação própria para a categoria elétrica, fomentando assim, mais estudos nessa área (SAE BRASIL, 2022).

Todavia, a equipe Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) Baja SAE, projetou, fabricou e operou o primeiro veículo movido a célula de hidrogênio (H<sub>2</sub>). Sendo a primeira equipe estudantil do mundo a colocar em funcionamento um veículo baja totalmente elétrico com propulsão de hidrogênio (Nunes, 2022).

### 2.2.1 Sensoriamento

O sistema elétrico de um veículo é importante para alimentar todos os componentes elétricos do veículo, incluindo a partida do motor de combustão interna através do circuito de partida. Isto se torna ainda mais importante à medida que os veículos modernos possuem mais componentes elétricos. O sistema elétrico é responsável por diversos componentes como computador de bordo, iluminação do painel, sensores, direção eletrônica, injeção eletrônica, câmera retrovisora, vidros elétricos, travas, rádio, central de entretenimento, alarme, faróis e transmissão. Funcionando como as veias do carro, ele é fundamental para o correto desempenho de peças cruciais dependentes de eletricidade (INTERMEC AUTOMOTIVE, 2021).

Sensores veiculares são dispositivos eletrônicos que identificam sinais específicos e os convertem em informações úteis ao motorista, contribuindo para a segurança e permitindo diagnósticos precisos durante a manutenção do veículo. Cada sensor atua como um coletor de dados dos sistemas eletrônicos do veículo, processando essas informações e comparando-as com padrões pré-determinados (Nakata, 2018).

Conforme apresenta Nakata (2018), existem diferentes tipos de sensores que desempenham funções específicas. Por exemplo, os sensores de estacionamento traseiros utilizam ondas de radar para emitir ondas que refletem em objetos próximos e fornecem avisos sonoros e visuais. Sensores associados à operação de motores modernos monitoram variáveis como qualidade do combustível, temperatura, níveis de oxigênio, rotação do virabrequim e velocidade das rodas, fornecendo informações às unidades de controle eletrônico para otimizar o desempenho do motor.

Outros exemplos incluem sensores de ponto cego que emitem ondas na lateral de um carro para alertar sobre objetos próximos, e pedestres que usam câmeras e tecnologia infravermelha para detectar contornos semelhantes aos humanos e alertar motoristas e leitores. Ele usa câmeras para identificar sinais de trânsito, emitir avisos e ajustar a velocidade do piloto automático (Nakata, 2018).

Além disso, sensores de mudança de faixa detectam sinalização no asfalto e avisam o motorista caso o veículo se aproxime ou cruze a faixa sem usar seta. Por fim, os sensores de obstáculos na frente do veículo avançam no conceito de sensores de estacionamento, detectando objetos na frente do veículo e emitindo avisos e, em alguns casos, aplicando os freios para evitar colisões (Nakata, 2018).

Nas competições, conforme o RATBSB (2023), existe somente a obrigatoriedade de no sistema elétrico conter pelo menos duas chaves gerais, uma luz de freio e uma bateria, não sendo exigido a presença de um sistema eletrônico. Todavia é fomentado e muito utilizado pelas equipes baja, as quais compreendem que com uma eletrônica de qualidade, irá auxiliar outras partes que compõem o baja em melhorias, além de uma melhor visualização do estado do carro durante os testes e provas tanto para o piloto quanto para o restante da equipe.

As equipes promovem o uso de diferentes tipos de sensores, com o intuito de suprir suas necessidades. Por exemplo, Araújo *et al.* (2006), apresenta que na equipe Paraibaja sua eletrônica, no caso o painel de instrumentos, foi desenvolvido em razão da demanda de fornecer ao piloto informações precisas a respeito das condições do veículo durante as provas dinâmicas. Foram utilizados sensores de velocidade (*reed switch*), de nível de óleo e nível de combustível (boia), de temperatura do motor (termômetro eletrônico) e de rotação (bobina acoplada ao cabo de vela).

Outro exemplo, é a equipe Universidade São Judas Tadeu (USJT) BAJA SAE, na qual Costa (2021) apresenta a implementação de uma arquitetura eletrônica onde utiliza sensores como: o sensor indutivo para leitura da velocidade e rotação, de temperatura para medir a temperatura da *Continuously Variable Transmission* (CVT) e de temperatura infravermelho para a leitura da temperatura do motor.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Materiais

- **Módulo fotovoltaico**

No presente trabalho, o módulo fotovoltaico tem a função de converter a luz solar diretamente em eletricidade através do efeito fotovoltaico. Com uma tensão de saída de 5 V e uma corrente de saída de 200 mA, sendo capaz de fornecer uma potência máxima de 1W em condições ideais de iluminação. Possui também, tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) de 6 V e corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ) de 220 mA. Esse módulo é feito com células solares monocristalinas, conhecidas por sua eficiência na conversão da luz solar em eletricidade. As células são envoltas em um material durável e transparente que oferece proteção contra condições ambientais adversas sem dificultar a passagem da luz (WSL Solar, [2020]). A Figura 3 apresenta o módulo fotovoltaico utilizado no projeto.

Figura 3 – Módulo fotovoltaico.



Fonte: Ardushop Eletrônica ([2023]).

- **Módulo Carregador de Bateria de Lítio TP4056**

O módulo Carregador de Bateria de Lítio TP4056 funciona como o controlador de carga, sendo o principal componente do projeto. O carregador recebe tensão de entrada vinda do módulo fotovoltaico e carrega a bateria de lítio, mas também possui saída para alimentar uma carga. Isso significa que não há necessidade de retirar o módulo para carregar a bateria, pois a alternância entre a alimentação da bateria e a alimentação de entrada é automática (Thomsen, 2022).

O módulo, ilustrado na Figura 4, conta com o CI controlador TP4056, possui uma tensão de operação de 5V e com capacidade máxima de carga de 1A, tendo a possibilidade de ser ajustado através da mudança do valor do resistor contido no módulo. Sua tensão de corte na saída é de 3,7 a 4,2V, possuindo proteção contra sobrecarga e operando em temperaturas de -10°C à 85°C (Maker Hero, [2020]).

Figura 4 – Módulo Carregador de Bateria de Lítio TP4056.



Fonte: Maker Hero ([2020]).

- **Bateria recarregável de *lí-on***

Neste projeto, a bateria recarregável de *lí-on* tem como função alimentar o sistema embarcado junto do sensoriamento quando não há energia vinda do módulo solar. A bateria do modelo BPK260-001 da marca Verifone possui tensão de 3,7 V; capacidade de potência de 9,1 Wh e capacidade de corrente de 2450 mAh, sendo suficiente para alimentar o sistema por várias horas. A bateria, apresentada na Figura 5, é carregada pelo módulo fotovoltaico, garantindo que ela será utilizada somente quando imprescindível, no caso, no período noturno, nublado ou com baixa irradiância solar (AGE Eletrônicos, [2023]).

Figura 5 – Bateria recarregável.



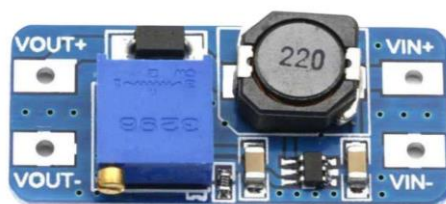
Fonte: AGE Eletrônicos ([2023]).

- **Módulo Regulador de Tensão Ajustável MT3608 Step Up 2,5 V a 28 V**

Regulador de Tensão Ajustável MT3608 Step Up trabalha com tensões de entrada de 2 V a 24V, oferecendo em sua saída tensão regulada de 2,5 V a 28 V que pode ser ajustada por meio de um *trimpot*, porém com diferença mínima entre a entrada e saída de 0,5 V. Possui corrente de saída máxima de 2 A, regulação de carga de  $\pm 0,5\%$ , uma eficiência máxima de conversão de 91% e uma frequência de comutação de 150 Hz (Casa da Robótica, [2020]).

No presente trabalho, o regulador de Tensão Ajustável MT3608 Step Up, apresentado na Figura 6, tem como objetivo aumentar a tensão vinda da bateria/módulo para 5 V, garantindo estabilidade na saída para alimentar o sistema embarcado juntamente com o sensoriamento.

Figura 6 – Módulo Regulador de Tensão Ajustável MT3608



Fonte: Casa da Robótica ([2020]).

- **Placa de desenvolvimento ESP32-DevKitC V4**

O ESP32-DevKitC V4 é uma placa de desenvolvimento da Espressif, contendo o módulo Wifi e Bluetooth ESP32-WROOM-32U, que possui IPEX para conectar uma antena externa, dando possibilidade de aumentar seu alcance operacional. O ESP32-WROOM-32U possui processador Xtensa LX6 de 32 bits, além da presença de dois núcleos de CPU (processador dual-core), permitindo que aplicações sejam compatíveis com sensores, módulos e diversas interfaces (Espressif, 2023).

O ESP32-DevKitC V4 possui memória SRAM de 520 Kb e memória Flash Externa de 32-Bit de acesso e 4Mb com WiFi de 2.4 a 2.5 GHz com segurança WPA / WPA2 / WPA2-Enterprise / WPS e Bluetooth de 4.2 BR / EDR e BLE (*Bluetooth Low Energy*) (Espressif, 2023).

Além disso, possui baixo consumo de energia, tipicamente 80 mA, mas podendo chegar a 500 mA com temperatura de trabalho entre  $-40^{\circ}$  à  $85^{\circ}\text{C}$ . Também oferece atualizações de *firmware* via WiFi, regulador de tensão integrado, além de conversor analógico digital (ADC) e conversor digital analógico (DAC), contendo 38 pinos com interfaces para UART, SPI, SDIO, I2C, I2S, IR, PWM (Espressif, 2023).

Neste projeto, a placa de desenvolvimento ESP32, apresentado na Figura 7, tem como função controlar a recepção dos dados vindos do sensor, interpretá-los e enviar os resultados por meio de comandos ou mensagens, sendo a central de processamento de dados do projeto.

Figura 7 – Placa de desenvolvimento ESP32-DevKitC V4.



Fonte: UsinaInfo ([2021])

- **Sensor Ultrassônico HC-SR04**

O Sensor de Distância Ultrassônico HC-SR04 tem como função medir distâncias através do ultrassom, ou seja, sem contato físico. O Sensor HC-SR04, ilustrado na Figura 8, possui alcance mínimo de 2 cm e máximo de 4 m com ótima precisão, podendo chegar a 3 mm, com medição de ângulo de 15°. Além disso, possui tensão de operação de 5 V, consumo de corrente de 2 mA e frequência de trabalho de 40 Hz (Maker Hero, [2014]).

Esse sensor, tem como objetivo enviar as distâncias captadas e assim, exemplificar a aplicação de possíveis sensores a serem utilizados para monitorar o veículo baja durante os testes e provas das competições, auxiliando os estudantes participantes de equipes de baja a serem assertivos em suas soluções.

Figura 8 – Sensor Ultrassônico HC-SR04.



Fonte: Maker Hero ([2014]).

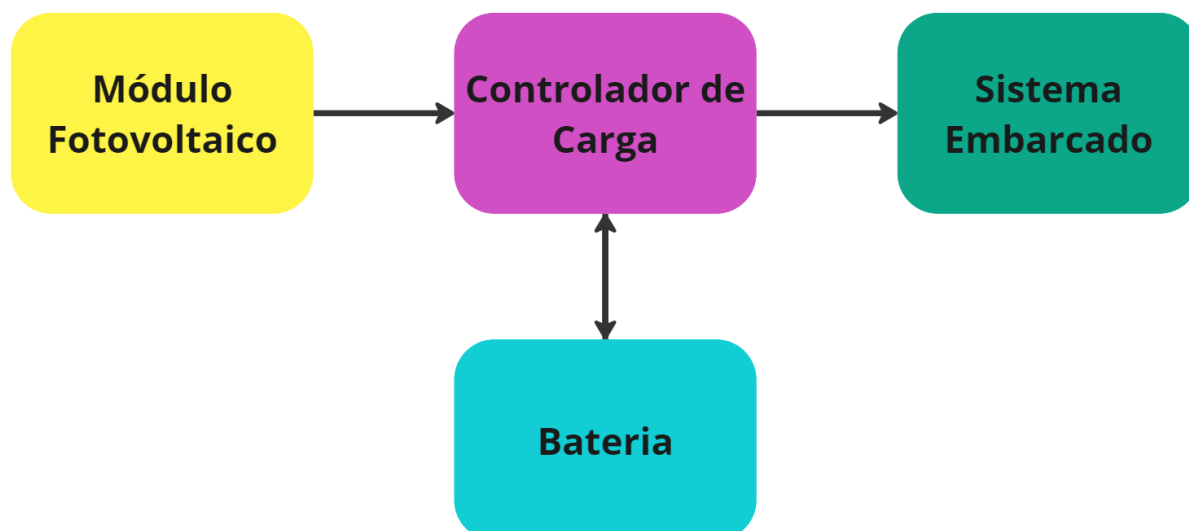
### 3.2 Desenvolvimento

Como apresentado na fundamentação teórica por Villalva e Gazoli (2012), um sistema fotovoltaico autônomo é formado por controlador de carga, módulos fotovoltaicos, bateria e carga. A partir disso, pensando na utilização em veículos, especialmente bajas, foi proposto o uso desse sistema, o qual o módulo irá fornecer energia diretamente para a bateria e a carga, sem precisar de fonte externa conectada.

Segundo RATBSB (2023), o enduro de resistência possui uma grande importância por ter a possibilidade de maior pontuação para as equipes baja, podendo chegar a 400 pontos, sendo a última prova da competição, onde os veículos devem completar voltas em uma pista de terreno irregular com obstáculos juntamente dos veículos das outras equipes durante 4 horas.

Baseado nisso, o presente trabalho tem como ideia inicial a aplicação *off-grid* adaptado para a utilização no sistema eletrônico em veículos baja, pensando em suprir a necessidade durante o enduro de resistência com uma margem de tempo, totalizando um sistema com capacidade de duração de 6 (seis) horas. A Figura 9 apresenta um diagrama de blocos ilustrativo da estrutura do projeto.

**Figura 9** – Diagrama de blocos da estrutura do projeto.

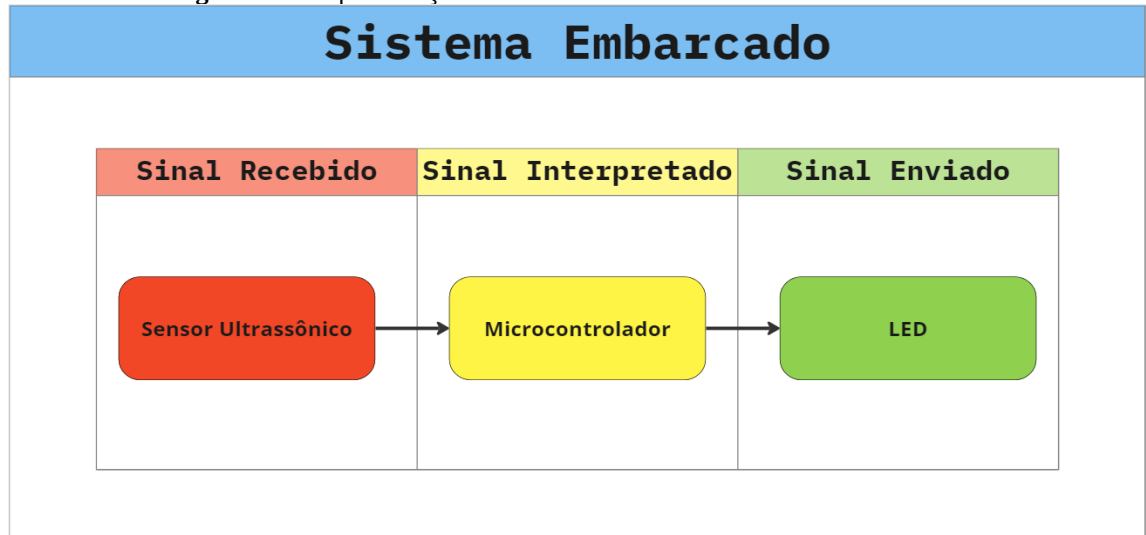


Fonte: Autoria própria.

Importante ressaltar que na Figura 9 o sistema embarcado representa a carga alimentada eletricamente pela bateria e pelo sistema fotovoltaico. Este sistema embarcado tem o intuito de exemplificar uma pequena parcela da possibilidade de aplicação de um sistema eletrônico em

veículos baja. Para essa finalidade foram escolhidos, um microcontrolador, um sensor ultrassônico e um led como ilustrado na Figura 10.

**Figura 10** – Representação em blocos do sistema embarcado desenvolvido.



Fonte: Autoria própria.

Após a definição dos componentes do sistema embarcado, foram verificados as tensões e o consumo de operação de cada um para iniciar os cálculos dos dimensionamentos (Tabela 1).

Tabela 1 – Componentes e especificações.

| Consumidores        | Tensão de operação | Consumo de operação |
|---------------------|--------------------|---------------------|
| ESP32               | 5 V                | 80 mA               |
| Sensor Ultrassônico | 5 V                | 15 mA               |
| LED                 | 5 V                | 20 mA               |

Fonte: Autoria própria.

Realizando o somatório do consumo de operação, temos o valor de 115 mA. Logo, para encontrar a capacidade da bateria para durar o tempo especificado tem-se a equação (7):

$$C = I \times T \quad (7)$$

sendo:

$C$  = Capacidade de corrente [Ah].

$I$  = Corrente [A].

$T$  = Tempo [h].

E assim, a capacidade mínima da bateria será:

$$C = 115 \times 10^{-3} \times 6$$

$$C = 0,7 \text{ Ah} = 700 \text{ mAh}$$

Para encontrar a potência, tem-se a Lei de Ohm, que é dado por meio da equação (8):

$$P = V \times I \quad (8)$$

sendo:

$V$  = Tensão [V].

$I$  = Corrente [A].

Logo, a potência será:

$$P = 5 \times 115 \times 10^{-3}$$

$$P = 0,6 \text{ W}$$

Contudo, para o dimensionamento da bateria é necessário calcular a energia consumida obtida por meio da equação (6), assim:

$$E_c = 0,6 \times 6$$

$$E_c = 3,6 \text{ Wh}$$

Da mesma forma, é imprescindível calcular a energia armazenada na bateria, dada pela equação (5), que será:

$$E_A = \frac{3,4}{40\%}$$

$$E_A = 9,0 \text{ Wh}$$

Contudo, para encontrar a potência do módulo aplica-se a equação (2) e as condições NOCT:

$$P_M = 220 \times 10^{-3} \times 3,7$$

$$P_M = 0,8 \text{ W}$$

E assim, o cálculo da energia produzida no método da corrente máxima do módulo, obtida por meio da equação (1), será:

$$E_P = 0,8 \times 5$$

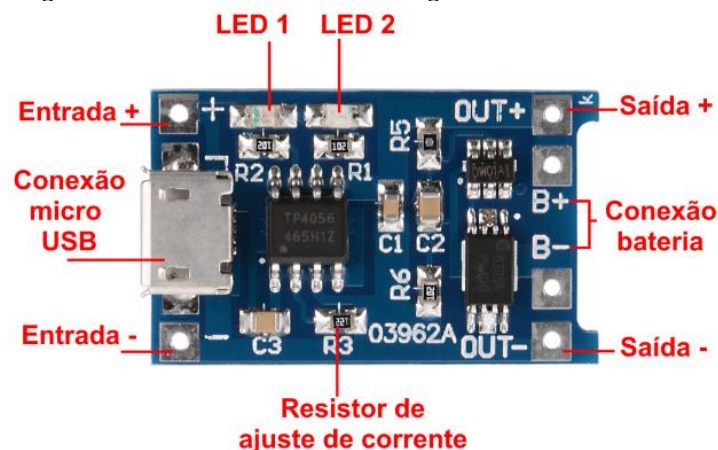
$$E_p = 4,0 \text{ Wh}$$

Importante ressaltar que em relação as competições, segundo o RATBSB (2023), as baterias devem possuir capacidade menor que 240 Wh e a soma da capacidade de todas as baterias deve ser menor ou igual a 360 Wh. Dessa forma, foi utilizado no projeto a bateria com tensão de 3,7 V com capacidade de potência de 9,1 Wh e capacidade de corrente de 2450 mAh, visto que para o sistema foi encontrado a capacidade de corrente de 700 mA e a capacidade de potência de 9,0 Wh. Importante ressaltar que foi utilizado uma profundidade de descarga de 40%, pois mesmo que a prova enduro de resistência tenha duração de 4 horas, os dias de evento de competição possuem cerca de 10 horas, garantindo uma segurança para que não haja descarga da bateria antes da finalização do evento em casos que a radiação solar esteja baixa.

No que diz respeito a potência do módulo e o sistema, pode-se afirmar que a potência do módulo de 0,8 W satisfaz a potência do sistema de 0,6 W, logo, sendo necessário utilizar somente um módulo fotovoltaico para alimentar o circuito.

A propósito, o módulo de carregamento de bateria TP4056 tem como função ser o controlador de carga do projeto, o qual possui uma conexão micro USB (5 V) e pinos Entrada+ e Entrada- que servem como alimentação. Já do lado oposto, possui quatro diferentes pinos, B+ e B- conectando os polos da bateria e OUT+ e OUT- (Saída+ e Saída-) onde é ligado a carga (Figura 11).

Figura 11 – Estrutura módulo de carregamento de bateria TP4056.



Fonte: Thomsen (2022).

Na Figura 11, também é observado a presença de dois LEDs, sendo o LED 1 vermelho e o LED 2 azul, dispondo de três estados diferentes de funcionamento como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Representação em blocos do sistema embarcado desenvolvido.

| LED 1 Vermelho | LED 2 Azul | Estado                |
|----------------|------------|-----------------------|
| Aceso          | Apagado    | Bateria em carga      |
| Apagado        | Aceso      | Carga completa        |
| Piscando       | Aceso      | Bateria não conectada |

Fonte: Adaptado de Thomsen (2022).

Sendo assim, com uma saída de 3,7 V do módulo de carregamento e uma tensão de operação do sistema embarcado de 5 V é essencial a presença do regulador de tensão *step up*, para aumentar a tensão de saída do módulo 3,7 V para os 5 V.

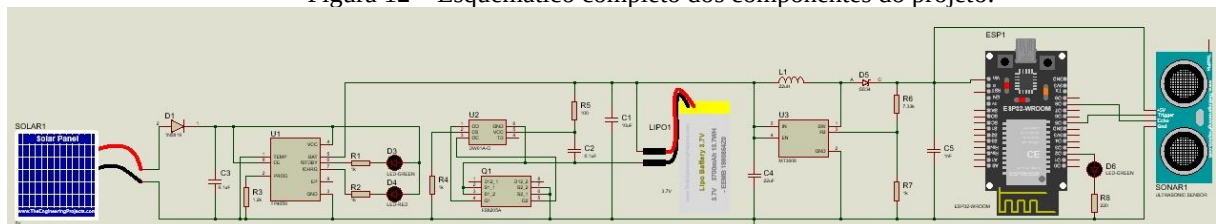
Além disso, servirá como estabilizador para que não haja oscilações que possam prejudicar o funcionamento do circuito.

### 3.3 Implementação

Com os propósitos mapeados, foi realizado o esquemático dos componentes do projeto com a finalidade de validar as ligações utilizando o *software Proteus* ilustrado na Figura 12. A existência do diodo entre o módulo fotovoltaico e o restante do circuito fará com que a eletricidade produzida seja entregue ao módulo de carregamento da bateria como uma “válvula elétrica de direção única”.

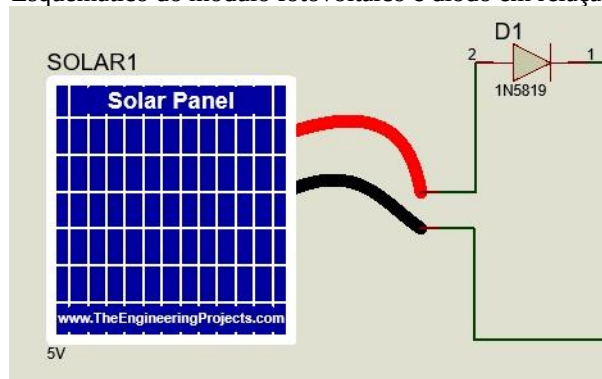
As Figuras 13, 14, 15, 16 e 17 destacam cada parte do circuito apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Esquemático completo dos componentes do projeto.



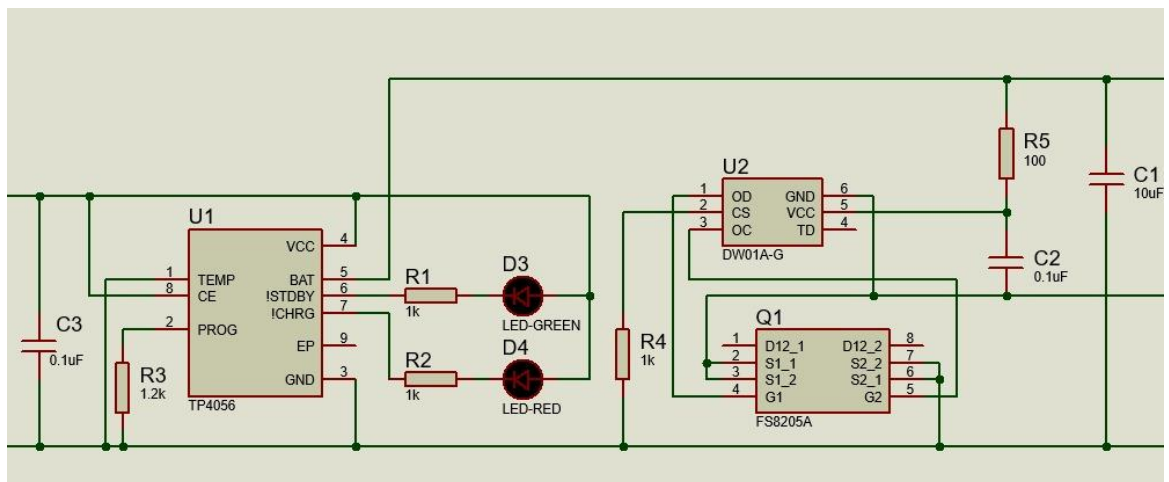
Fonte: Autoria própria.

Figura 13 – Esquemático do módulo fotovoltaico e diodo em relação ao circuito.



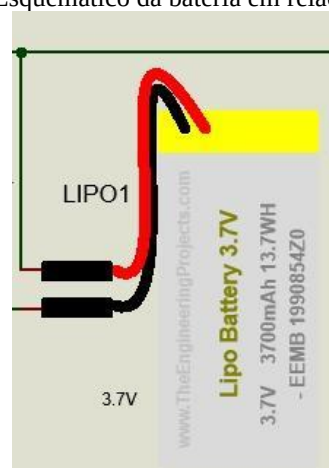
Fonte: Autoria própria.

Figura 14 – Esquemático do módulo de carregamento TP4056 em relação ao circuito.



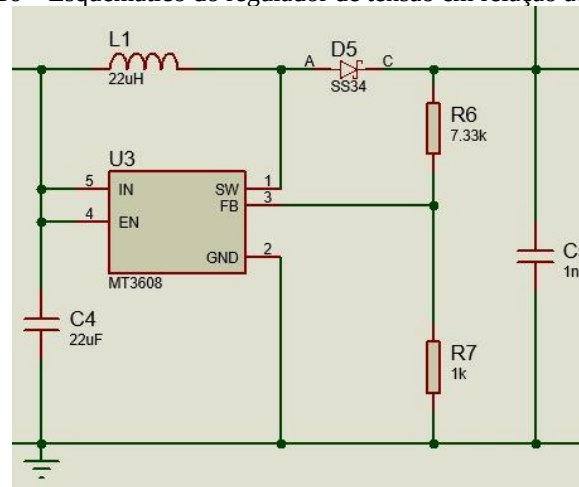
Fonte: Autoria própria.

Figura 15 – Esquemático da bateria em relação ao circuito.



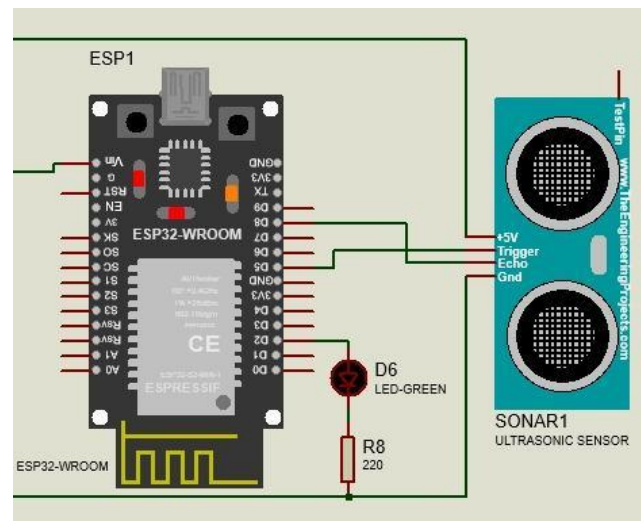
Fonte: Autoria própria.

Figura 16 – Esquemático do regulador de tensão em relação ao circuito.



Fonte: Autoria própria.

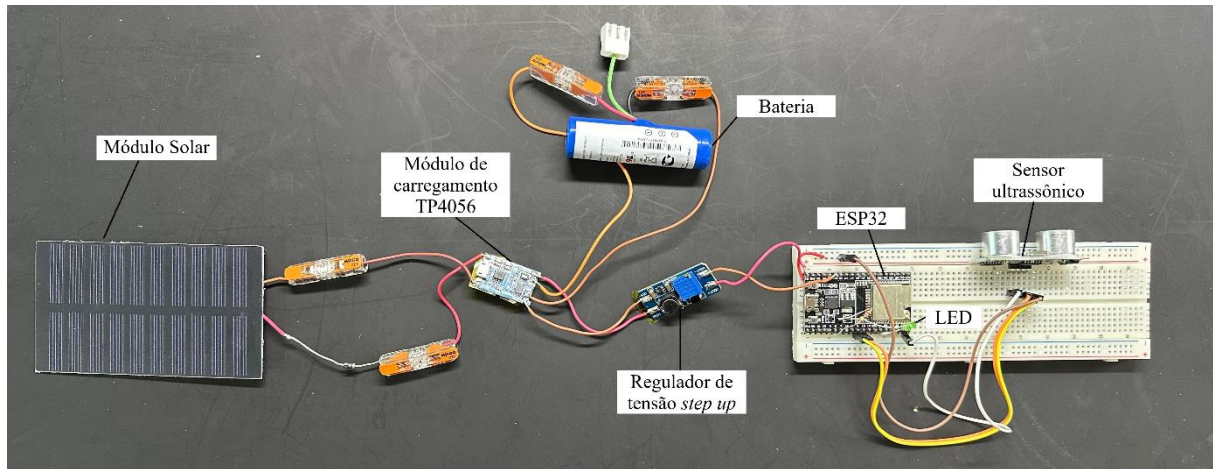
Figura 17 – Esquemático do sistema embarcado em relação ao circuito.



Fonte: Autoria própria.

Assim, para exemplificação do protótipo do projeto, os componentes foram conectados seguindo as ligações validadas no *software Proteus*, utilizando também os conectores de emenda para auxiliar e facilitar os testes, como apresentado na Figura 18.

Figura 18 – Implementação física das ligações dos componentes do protótipo do projeto.



Fonte: Acervo pessoal.

Do mesmo modo, para realizar uma validação completa do sistema, foi desenvolvido um *firmware* com o intuito de interpretar os valores provenientes do sensor ultrassônico e transmitir seu resultado com acionamento do LED, além de ser apresentado os valores das distâncias em tela por meio serial.

A lógica consiste em converter os valores advindos do sensor ultrassônico e através da equação (9) e disponibilizado em seu datasheet:

$$D = \frac{T_{ECHO} \times V_{som}}{2} \quad (9)$$

sendo:

$D$  = Distância [cm].

$T_{ECHO}$  = Tempo ECHO em nível alto = a duração do sinal captado pelo sensor.

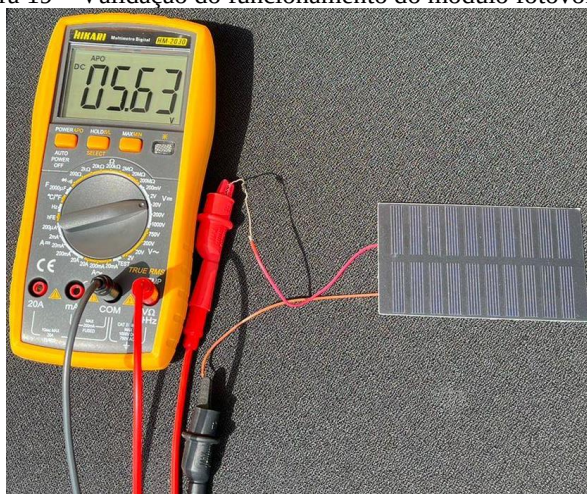
$V_{som}$  = Velocidade do som = 340 m/s.

Assim, o LED irá piscar caso a distância seja menor que 15 cm, caso contrário, permanecerá aceso ininterruptamente, o código completo pode ser visto no APÊNDICE A.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, foi realizado o teste de funcionamento do módulo fotovoltaico como apresentado na Figura 19. O teste foi realizado no período da manhã por volta de 10:30, sendo evidente que a geração foi de 5,63 V mesmo com o diodo conectado. Além disso, durante esse teste, foi possível observar uma variação na tensão chegando até 5,9 V.

Figura 19 – Validação do funcionamento do módulo fotovoltaico.

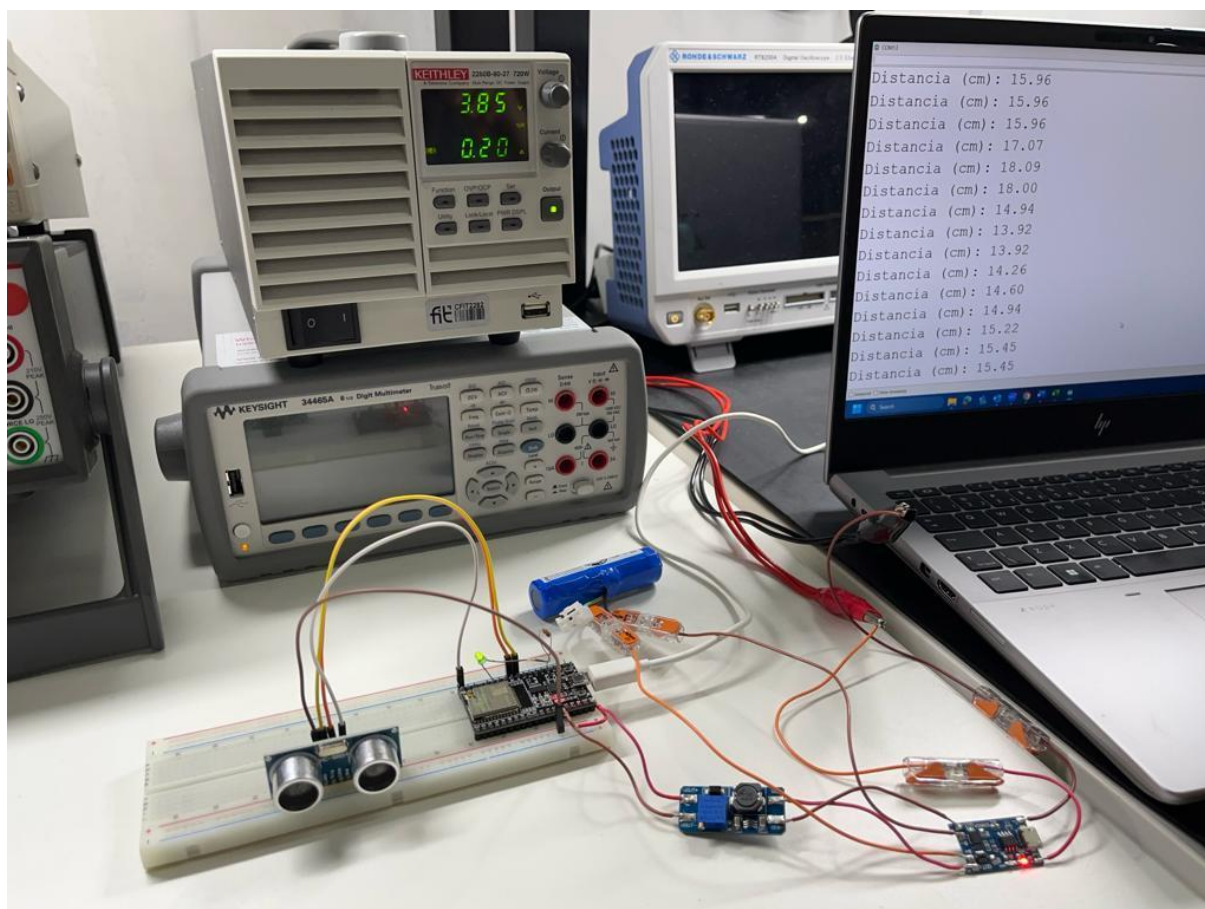


Fonte: Autoria própria.

Posteriormente, foram realizados testes em bancada do sistema embarcado, com a finalidade de testar seu funcionamento utilizando uma fonte de alimentação, além da validação do *firmware* (Figura 20).

Em relação ao funcionamento, o primeiro teste foi feito com o valor da tensão de 5 V e a corrente de 0,20 mA que é especificado no módulo fotovoltaico utilizado com seus valores de máxima potência. Esse teste foi realizado tanto com a bateria conectada, quanto com ela desconectada, porém é recomendável pelo fabricante sempre a utilização de uma bateria conectada. No segundo teste, foi adotada uma tensão mais baixa de 3,85 V, porém com a corrente de 0,20 mA como é apresentado na Figura 20. Nessa análise indica a tensão aproximada da bateria, sendo visível que o funcionamento continua o mesmo.

Figura 20 – Testes do protótipo em bancada com fonte de alimentação ajustável.



Fonte: Autoria própria.

No contexto da validação do *firmware*, é observado na Figura 20 a distância coletada pelo sensor, já interpretada, em centímetros (cm), a qual é apresentada na tela por meio serial. Nota-se também na Figura 20 o LED verde acionado, que fica aceso ininterruptamente enquanto a distância coletada é maior que 15 cm, caso contrário, o LED piscará indicando que a distância é menor que os 15 cm. Esse valor foi escolhido arbitrariamente, com o intuito de ter ações diferentes durante os testes.

A Figura 21 apresenta as distâncias coletadas pelo sensor ultrassônico em um certo período a cada 1 s. Nota-se que as distâncias vão de 8,65 cm a 181,19 cm, o qual foi utilizado a mão como anteparo para captar essas diferentes distâncias, mas como já apresentado anteriormente, o sensor ultrassônico possui uma variação possível de 2 cm a 4 m.

Figura 21 – Distâncias coletadas pelo sensor ultrassônico.

```

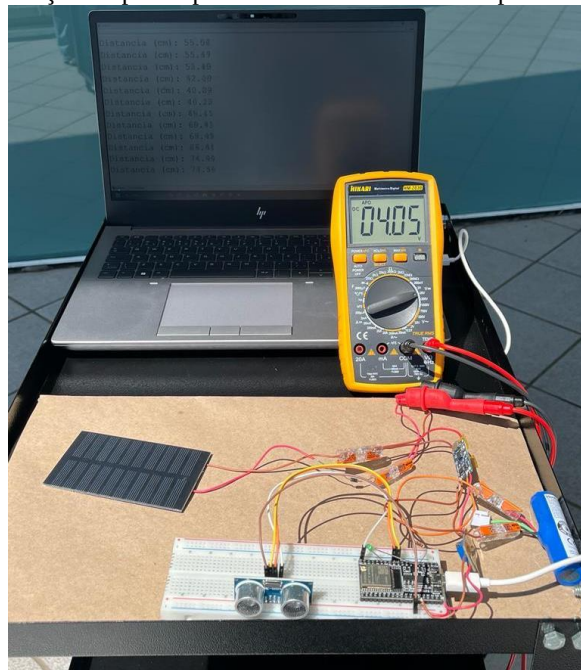
COM13
Distancia (cm): 18.16
Distancia (cm): 21.03
Distancia (cm): 17.90
Distancia (cm): 11.97
Distancia (cm): 21.54
Distancia (cm): 21.37
Distancia (cm): 11.29
Distancia (cm): 10.52
Distancia (cm): 8.65
Distancia (cm): 9.76
Distancia (cm): 9.50
Distancia (cm): 9.50
Distancia (cm): 18.07
Distancia (cm): 31.55
Distancia (cm): 44.61
Distancia (cm): 48.60
Distancia (cm): 52.33
Distancia (cm): 181.19
Distancia (cm): 180.40
Autoscroll Show timestamp

```

Fonte: Autoria própria.

Com os testes em bancada finalizados e validados, foi possível adicionar o módulo fotovoltaico ao circuito e assim realizar os testes em situação real como apresentado na Figura 22. Nota-se que a tensão na saída do módulo caiu, isso pode-se dizer que está diretamente relacionado por estar conectada ao circuito. Na Figura 22 também é perceptível que o sistema funcionou perfeitamente, com os dados sendo transmitidos na tela por meio serial e pelo LED verde.

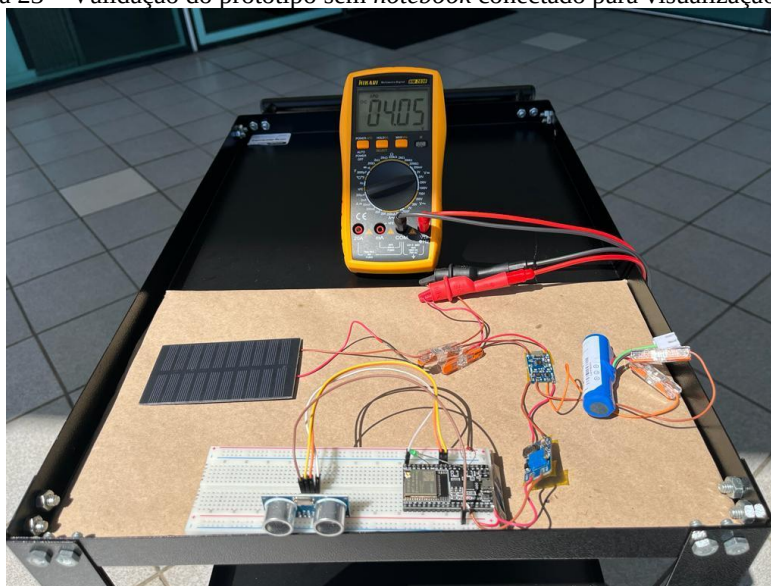
Figura 22 – Validação do protótipo com *notebook* conectado para visualização serial.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 23, apresenta o mesmo circuito, porém sem o microcontrolador conectado ao *notebook*, validando que o circuito continua funcionando da mesma forma, visto que a alimentação não está sendo feita pelo *notebook* e que a tensão do módulo continua a mesma, sem variação. Inclusive, foi constatado por conta da presença do LED verde que, segundo o *firmware*, alterava o estado de aceso ininterruptamente para modo piscante quando a distância era menor que 15 cm.

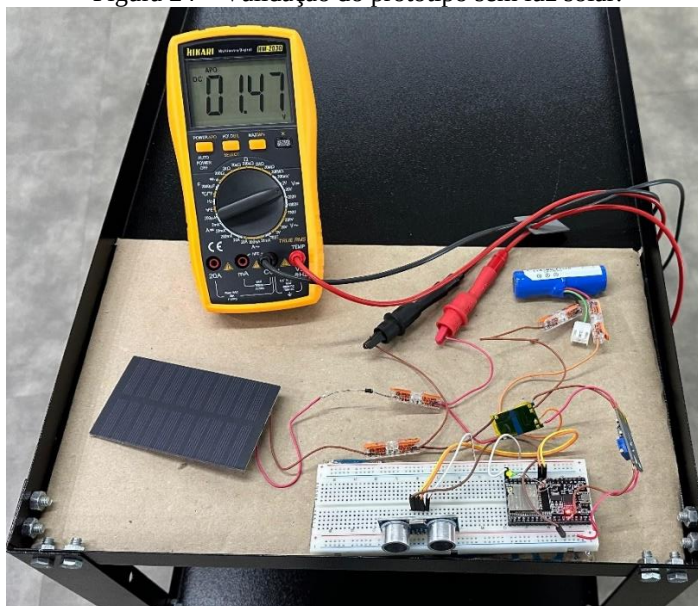
Figura 23 – Validação do protótipo sem *notebook* conectado para visualização serial.



Fonte: Autoria própria.

Para finalizar os testes, foi validado que quando não há disponibilidade solar ou ela é muito baixa, a bateria fornece a tensão ao sistema embarcado sem nenhum prejuízo para o seu funcionamento. Isso pode ser verificado pela Figura 24, onde o circuito está em uma sala e a tensão gerada pelo módulo fotovoltaico é muito baixa, entretanto a bateria conseguiu suportar o sistema, também sendo validado pela lógica do LED verde.

Figura 24 – Validação do protótipo sem luz solar.



Fonte: Autoria própria.

Os resultados obtidos indicam um desempenho promissor do protótipo proposto, com destaque para o funcionamento e a combinação do módulo fotovoltaico, da bateria e, principalmente, do módulo de carregador de bateria. Eles são significativos para a validação da ideia inicial para uma aplicação *off-grid*, possibilitando a exequibilidade em testes utilizando veículos *baja*, oferecendo uma solução autossuficiente para alimentação dos sistemas eletrônicos.

Para uma análise mais robusta e completa do sistema proposto, será relevante coletar e analisar os dados do carregamento da bateria ao longo do tempo e do comportamento do circuito em diferentes situações, como variações de temperatura, vibrações intensas, devido as condições desafiadoras que as equipes enfrentam nas competições *baja*. Além de ser indispensável o estudo de novas tecnologias de módulos fotovoltaicos, destacando a emprego de módulos fotovoltaicos flexíveis, visto que os veículos estão sujeitos a potenciais quedas e capotamentos.

Sendo assim, ao considerar a implementação em veículos *baja*, onde são esperados sistemas eletrônicos mais complexos e possivelmente com maior consumo de energia, é imprescindível refazer o dimensionamento. Ademais, os ajustes no design serão fundamentais para maximizar a eficiência energética do módulo fotovoltaico implementado. Contudo, é fundamental ressaltar que os princípios fundamentais e os passos adotados permanecerão consistentes ao longo desse processo de adaptação.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Conclusões

Com o impulso das pesquisas e estudos sobre energia solar, especialmente em aplicações *off-grid*, o projeto abrangeu o desenvolvimento de uma aplicação de energia fotovoltaica em veículos baja, possibilitando a apresentação conjunta do funcionamento de um sistema embarcado.

Através dos resultados, constatou-se que a aplicação é viável, principalmente pela utilização de energias renováveis, especialmente a energia solar e no caso da aplicação em veículos baja, impulsiona significativamente no desenvolvimento de novas tecnologias e inovação.

Nesse sentido, observou-se que o módulo fotovoltaico utilizado apresentou um bom desempenho, sendo viável para as aplicações. Destaca-se também o funcionamento do módulo de carregador de bateria, de suma importância para a compreensão sobre o controlador de carga e aplicável para o desenvolvimento da ideia inicial.

Os testes em bancada foram essenciais para a validação do circuito antes da inserção do módulo fotovoltaico e com a adição foi possível comprovar a funcionalidade do protótipo. Essa verificação foi auxiliada pelo desenvolvimento do *firmware*, essencial para validar os testes e proporcionar uma resposta nos testes que não envolviam a visualização serial.

Portanto, de acordo com os resultados obtidos, o protótipo proposto indica um desempenho promissor para possíveis trabalhos e estudos, proporcionando uma solução autossuficiente para alimentar os sistemas eletrônicos e comprovando a viável aplicação.

Assim, conclui-se, que esse estudo contribui para a fomentação da implementação de energia solar em sistemas *off-grid*, além da possibilidade de inovação no ramo automotivo, principalmente nas competições baja SAE.

### 5.2 Trabalhos futuros

Baseado no desenvolvimento do protótipo, nos resultados e nas discussões obtidas, é viável o planejamento dos passos subsequentes. Para implementação em veículos baja a serem apresentados em congresso e até mesmo participarem de futuras competições, o afeiçoamento

do que foi desenvolvido nesse trabalho é imprescindível para tornar exequível, como o refinamento do *hardware* explorando a integração com novos sensores para potencializar a aplicação. Ademais, possibilita a oportunidade de criar e implementar um *datalogger* com componentes dedicados ao monitoramento do circuito e um sistema de telemetria, capaz de transmitir os dados dos sensores e do *datalogger* para análise e monitoramento em tempo real.

Seguindo a linha de implementação, destaca-se os estudos de tecnologias de módulos fotovoltaicos, dando ênfase para os veículos *baja*, que estão sujeitos a potenciais quedas e capotamentos, mas também para aplicações em veículos de modo geral.

Além disso, é viável, ao adotar princípios sustentáveis, reaproveitar módulos fotovoltaicos e baterias de segunda vida, desenvolvendo aplicações úteis para que o descarte seja de forma consciente e ambientalmente responsável.

Contemplando uma visão mais abrangente e diversificada, surge a oportunidade de pesquisar e estudar a implementação de módulos fotovoltaicos em veículos híbridos e elétricos até mesmo veículos movidos a combustão, possibilitado a utilização em carros, caminhões, trens e até mesmo tratores agrícolas de grande porte para diferentes finalidades.

## REFERÊNCIAS

ABSOLAR. **O impacto do carro elétrico ao meio ambiente.** Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/o-impacto-do-carro-eletrico-ao-meio-ambiente/>>. Acesso em: 15 out. 2023.

ABVE. **Os oito meses que mudaram a eletromobilidade.** Disponível em: <<http://www.abve.org.br/oito-meses-que-mudaram-o-mercado-de-eletromobilidade/>>. Acesso em: 10 out. 2023.

AGE ELETRONICOS. **Bateria Verifone 3.7v Para Vx685 BPK260-001.** [S. l.]: Age Eletrônicos, [2023]. Disponível em: <<https://www.ageeletronicos.com.br/18-BATERIAS-E-PILHAS/bateria-verifone-3-7v-para-vx685-bpk260-001?sort=p.model&order=DESC>>. Acesso em: 12 out. 2023.

ARAÚJO, T. V. G. P. et al. **Projeto mini baja como estudo de caso para instrumentação eletrônica.** Anais do XXXIV Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. **Anais...**2006. Disponível em: <[https://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/13/artigos/1\\_282\\_582.pdf](https://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/13/artigos/1_282_582.pdf)>. Acesso em: 7 set. 2023

ARDUSHOP ELETRÔNICA. **Placa Solar 5V 200mA 1W.** [S. l.]: Ardushop Eletrônica, [2023]. Disponível em: <<https://www.ardushopeletronica.com.br/produto/placa-solar-5v-200ma-1w>>. Acesso em: 13 out. 2023.

SOUZA, R. **Os sistemas de energia solar fotovoltaica: livro digital de introdução aos sistemas solares.** [S. l.]: Blue Sol Educacional, [201-]. Disponível em: <<https://issuu.com/ecologicosecovida/docs/livro-digital-de-introducao-aos-s/9>>. Acesso em: 13 out. 2023.

CASA DA ROBÓTICA. **Módulo Regulador de Tensão Ajustável MT3608 Step Up - 2,5V a 28V.** [S. l.]: Casa da Robótica, [2020]. Disponível em: <<https://www.casadarobotica.com/fontes-conversores/conversores-dc-dc/step-up/modulo-regulador-de-tensao-ajustavel-mt3608-step-up-2-5v-a-28v>>. Acesso em: 12 out. 2023.

COSTA, B. F. **Implementação da arquitetura eletrônica em protocolo controller area network para veículo off-road tipo baja.** Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/18951>>. Acesso em: 7 set. 2023.

ELEC FREAKS. **Datasheet: Ultrasonic Ranging Module HC -SR04.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://www.makerhero.com/img/files/download/Datasheet\\_HCSR04.pdf](https://www.makerhero.com/img/files/download/Datasheet_HCSR04.pdf)>. Acesso em: 13 out. 2023.

ESPRESSIF. **ESP32-DevKitC V4 Getting Started Guide - ESP32 - — ESP-IDF Programming Guide latest documentation.** Disponível em: <<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/esp32/get-started-devkitc.html>>. Acesso em: 12 out. 2023.

ESPRESSIF. **ESP32WROOM32D & ESP32WROOM32U Datasheet.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32d\\_esp32-wroom-32u\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32d_esp32-wroom-32u_datasheet_en.pdf)>. Acesso em: 12 out. 2023.

ESPRESSIF. **ESP32 Series Datasheet Including.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)>. Acesso em: 12 out. 2023.

INTERMEC AUTOMOTIVE. **Sistema elétrico do carro: o que é e como avaliar falhas?** Disponível em: <<https://www.intermecautomotive.com.br/sistema-eletrico-do-carro/>>. Acesso em: 7 set. 2023.

MAKER HERO. **Sensor de Distância Ultrassônico HC-SR04.** [S. l.]: Maker Hero, [2014]. Disponível em: <<https://www.makerhero.com/produto/sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04/#tab-blogrelacionados>>. Acesso em: 13 out. 2023.

MAKER HERO. **Módulo Carregador de Bateria de Lítio TP4056.** [S. l.]: Maker Hero, [2020]. Disponível em: <<https://www.makerhero.com/produto/modulo-carregador-de-bateria-de-litio-tp4056>>. Acesso em: 12 out. 2023.

NAKATA. **Entenda como os sensores para carros funcionam na prática.** Disponível em: <<https://blog.nakata.com.br/entenda-como-os-sensores-para-carros-funcionam-na->

pratica/#:~:text=Sensores%20para%20carros%20s%C3%A3o%20dispositivos>. Acesso em: 10 out. 2023.

NUNES, T. **Equipe da Unicamp desenvolve e faz rodar 1º veículo Baja movido a hidrogênio.** Disponível em: <<https://www.unicamp.br/unicamp/index.php/noticias/2022/09/02/equipe-da-unicamp-desenvolve-e-faz-rodar-1o-veiculo-baja-movido-hidrogenio>>. Acesso em: 15 jul. 2023.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** [s.l.] CEPEL - CRESESB, 2014.

PIOVANI, J. T. et al. **Carro elétrico movido a energia solar.** Connection line - revista eletrônica do UNIVAG, v. 0, n. 17, 16 out. 2017.

PORTAL SOLAR. **Energia Solar: O que é, Como Funciona e Benefícios.** [S. l.]: Portal Solar, [2015]. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar>>. Acesso em: 7 set. 2023.

PRATES, T. C. **Veículo elétrico movido a energia fotovoltaica com sistema de rastreamento solar Cerro Largo-RS.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/3556/1/PRATES.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2023.

SAE BRASIL. **Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE BRASIL.** [S. l.]: SAE Brasil, [2023]. Disponível em: <[http://arquivos.saebrasil.org.br/2023/Baja/RATBSB\\_emenda\\_05.pdf](http://arquivos.saebrasil.org.br/2023/Baja/RATBSB_emenda_05.pdf)>. Acesso em: 7 set. 2023.

SAE BRASIL. **Baja Nacional.** [S. l.]: SAE Brasil, [2015]. Disponível em: <<https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/baja-sae-brasil/>>. Acesso em: 8 jul. 2023.

SAE BRASIL . **Baja SAE BRASIL Nacional volta com 69 equipes e lança desafio do e-Baja.** [S. l.]: SAE Brasil, [2022]. Disponível em: <<https://saebrasil.org.br/noticias/baja-sae-brasil-nacional-volta-com-69-equipes-e-lanca-desafio-do-e-baja/>>. Acesso em: 10 out. 2023.

THOMSEN, A. **Saiba como funciona o módulo TP4056**. Disponível em: <<https://www.makerhero.com/blog/saiba-como-funciona-o-modulo-tp4056/>>. Acesso em: 12 out. 2023.

USINAINFO. **ESP32-WROOM-32U DevKitC V4 com Wifi e Bluetooth**. [S. l.]: Usinainfo, [2021]. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/esp32/esp32-wroom-32u-devkitc-v4-com-wifi-e-bluetooth-7077.html>>. Acesso em: 12 out. 2023.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Editora Érika, 2012.

WSL SOLAR. **5V 1W solar panel**. [S. l.]: WSL Solar, [2020]. Disponível em: <<https://www.wsl-solar.com/5v-1w-solar-panel.html>>. Acesso em: 12 out. 2023.

## APÊNDICE A – Código utilizado no protótipo (*firmware*)

```

1 | #define GPIO_LED 2
2 |
3 | const int trigPin = 5;
4 | const int echoPin = 18;
5 |
6 | #define VELOCIDADE_DO_SOM 0.034
7 |
8 | long duracao;
9 | float distCm;
10|
11| void setup() {
12|   pinMode(GPIO_LED, OUTPUT);
13|   Serial.begin(115200); // Inicia a comunicação serial
14|   pinMode(trigPin, OUTPUT); // Define o trigPin como uma saída
15|   pinMode(echoPin, INPUT); // Define o echoPin como uma entrada
16| }
17|
18| void loop() {
19|   digitalWrite(GPIO_LED, HIGH); // Liga o LED
20|   digitalWrite(trigPin, LOW);
21|   delayMicroseconds(2);
22|   digitalWrite(trigPin, HIGH); // Define o trigPin no estado ALTO
23|   delayMicroseconds(10);
24|   digitalWrite(trigPin, LOW);
25|
26|   // Lê o echoPin, retorna o tempo de viagem da onda sonora
27|   duracao = pulseIn(echoPin, HIGH); // Calcula a distância
28|
29|   distCm = duracao * VELOCIDADE_DO_SOM / 2; // Converte para centímetros
30|
31|   Serial.print("Distancia (cm): "); // Imprime a distância no Serial
Monitor
32|   Serial.println(distCm);
33|
34|   // Lógica para verificar se a distância é menor ou maior que 15cm
35|   if (distCm <= 15) { // Se a distância for menor que 15cm:
36|     digitalWrite(GPIO_LED, HIGH); // Liga o LED

```

```
37|     delay(250); // espera 250ms
38|     digitalWrite(GPIO_LED, LOW); // Apaga o LED
39|     delay(250); // espera 250ms
40|     digitalWrite(GPIO_LED, HIGH); // Liga o LED
41|     delay(250); // espera 250ms
42|     digitalWrite(GPIO_LED, LOW); // Apaga o LED
43|     delay(250); // espera 250ms
44| } else { // Caso contrário:
45|     delay(1000); // o LED permanecerá ligado e esperará 1000ms
46| }
47| }
```