# Metodologia de Aquisição de Dados Customizada para Otimização de Sistemas de Gerenciamento de Bateria em Veículos Elétricos Militares

Tobias Morato Portilho, Eli Ana Costa Camargo, Andrés Mauricio Oviedo Pinzón, Roberto d'Amore, Marcus Henrique Victor Junior, Lester de Abreu Faria.
Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

***Resumo* – Este artigo apresenta os resultados de um protótipo inovador de sistema de gerenciamento de bateria (BMS) para veículos elétricos, focado na otimização da eficiência, vida útil da bateria e segurança operacional. Discute-se, ainda, sua aplicação estratégica nas Forças Armadas para melhorar a eficiência e confiabilidade operacional. Um BMS é responsável por monitorar, com precisão, as características individuais das células da bateria, como tensão, temperatura e corrente, bem como realizar o balanceamento individual das mesmas. Nas Forças Armadas, o sistema é crucial para veículos táticos elétricos, aumentando a disponibilidade operacional, otimizando o desempenho e garantindo a segurança em missões estratégicas. Além disso, pode ser aplicado em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), prolongando o tempo de voo e aumentando a confiabilidade operacional. O primeiro protótipo desenvolvido e validado foi testado com sucesso, permitindo a coleta de dados para a implementação futura de um algoritmo de estimação e controle.**

***Palavras-Chave* – BMS, Baterias, Veículos elétricos.**

## I. INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO

O cenário global de distribuição e uso de eletricidade está em constante evolução, com um foco crescente nos sistemas de armazenamento de energia (ESS). Além das baterias, um elemento-chave em tais sistemas é o *Battery Management System* (BMS), o qual se mostra como um sistema embarcado (*hardware* e *software*) com funções específicas e determinantes para a funcionalidade e segurança da bateria. Tais funcionalidades incluem o monitoramento e controle de variáveis como tensão, corrente e temperatura, bem como a estimação de parâmetros essenciais para a segurança e saúde das suas células, como estado de carga (SOC) e estado de saúde (SOH) [1]. No entanto, a indústria nacional e, principalmente, a Base Industrial de Defesa, enfrenta desafios em desenvolver um BMS nacional que seja confiável, reprodutível e que proporcione a independência tecnológica do Brasil no setor, devido tanto à alta complexidade quanto à alta qualidade requeridas para tais aplicações, especialmente quando se tratam de aplicações operacionais que demandam situações críticas de operação e de comando e controle. A demanda por eletricidade vem aumentando consideravelmente nos últimos anos, impulsionada principalmente pela crise do petróleo e pela preocupação ambiental, levando ao crescimento do Mercado de energias renováveis [2]. Neste cenário, soma-se o papel significativo que o BMS absorve no desenvolvimento de veículos elétricos, uma bandeira cada vez mais levantada por todos os países, e uma demanda mundial até o ano de 2030.

Assim sendo, a utilização de baterias como parte integrante de sistemas de energia vem contribuindo para diversas funções essenciais de tais sistemas complexos, como, por exemplo, controlar a frequência, fornecer suporte de tensão, aprimorar a qualidade da energia, realocar energia, corrigir a carga, armazenar energia por meio de geração distribuída e integrar fontes de energias renováveis [3],[4]. Em se considerando sistemas complexos militares, tal abordagem de bateria/BMS assume um papel ainda mais relevante, uma vez que tais sistemas exigem fontes de energia confiáveis e eficientes para garantir o funcionamento adequado de equipamentos e veículos nas mais diversas situações operacionais. As baterias proporcionam uma solução viável para atender a essas demandas, fornecendo energia limpa e principalmente silenciosa em comparação com os sistemas tradicionais baseados em combustão, garantindo a viabilizando uma contramedida a sistemas acústicos que detectam som e que são sensíveis a ruídos. Além disso, os sistemas de gerenciamento de bateria (BMS) otimizam o desempenho e a vida útil das baterias, bem como a segurança operacional como um todo, aumentando autonomia e confiabilidade de meios. Na medida em que eles monitoram constantemente o estado das baterias, os BMS podem implementar estratégias de controle, como o balanceamento individual das células da bateria, para garantir a operação eficiente e segura dos sistemas sendo estes essenciais em contextos militares, onde, reforça-se, a confiabilidade e a prontidão operacional são críticas para o sucesso das missões.

Exemplos claros da importância de um adequado, confiável e customizado BMS para aplicações operacionais podem ser percebidos em veículos militares elétricos, proporcionando energia silenciosa para operações táticas e aumentando a mobilidade em campo. Ainda, a integração de baterias e BMS em sistemas de energia portáteis para soldados em campo garantem o fornecimento contínuo de energia para dispositivos de comunicação, sistemas de visão noturna e equipamentos eletrônicos essenciais. Já no caso de aplicação em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), permite-se maior tempo de voo, autonomia operacional e coleta de informações estratégicas para a automatização do voo. Por fim, podem ainda ser usados em áreas isoladas e de difícil acesso, nas quais podem armazenar energia renovável,

Tobias Morato Portilho, tobias_vot@hotmail.com; Eli Ana Costa Camargo, eli.ccamargo@yahoo.com.br; Andrés Mauricio Oviedo Pinzón, andresoviedopinzon@gmail.com; Roberto d'Amore, roberto.damore@gp.ita.br; Marcus Henrique Victor Junior, marcus.victor@gp.ita.br; Lester de Abreu Faria, lester@ita.br.
Este trabalho foi financiado pela Fundep, através do Projeto ROTA2030 (BMS-Auto), PROCESSO Nº: 27192.03.03/2021.01-00.

proporcionando um suprimento confiável de eletricidade, mesmo em caso de falhas na rede de suprimento, aumentando a resiliência e segurança energética da base.

Dessa forma, o presente trabalho visa ao desenvolvimento de um sistema embarcado para o monitoramento de tensão, corrente e temperatura de células de bateria Li-ion 18650, com a intenção de funcionar com diferentes químicas de células de bateria e, mostrando assim, amplo espectro de implementação e uso em diferentes vetores e aplicações. O protótipo inicial apresentado nesse trabalho foi desenvolvido visando a ser uma ferramenta conceitual para obtenção de dados e desenvolvimento de algoritmos para BMS podendo ser conectadas a inúmeras células via conexão Daisy-Chain. Tal solução se mostra como inovadora e diferencia-se das demais soluções disponíveis na literatura por utilizar componentes de baixo custo disponíveis nacionalmente, além de atender às operações em condições adversas e de alta exigência. Tal solução garante a independência tecnológica nacional e mantém o Brasil no controle de seus desenvolvimentos, sem depender de peças ou sistemas importados.

## II. ESTADO DA ARTE

Durante uma farta pesquisa realizada na literatura ostensiva foi observada uma escassez de publicações sobre o sistema de gerenciamento de baterias, o que ressalta a relevância do presente trabalho para contribuir com o tema em questão. A maioria dos artigos encontrados aborda principalmente o desenvolvimento de estimativas do estado de carga (SOC), estado de saúde (SOH) e balanceamento das baterias. No entanto, há uma lacuna em relação ao desenvolvimento de "hardware e software" para sistemas de gerenciamento de baterias, o que demonstra, mais uma vez, a relevância do tema apresentado. Para ampliar a pesquisa, foram explorados também artigos que abordassem o uso de BMS em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) [6] e [7], todos relacionados à problemática principal deste trabalho e sua aplicação direta em áreas de Defesa. A Tabela I apresenta pontos importantes de alguns dos artigos encontrados que discutem as principais funções de um BMS, seus conceitos e características de construção e operação.

Conforme pode ser visto na Tabela I, alguns artigos, ainda que apresentem uma visão panorâmica do BMS, estão somente focados em funções que estimam os parâmetros pertinentes e tratam do balanceamento, sendo poucos os que apresentam um desenvolvimento focado em *hardware* e *software* e que se destinem a detalhar os processos do desenvolvimento e o que foi utilizado.

## III. REQUISITOS DE PROJETO

Considerando o estágio prematuro da indústria nacional na fabricação de componentes complexos e de alto valor agregado, entendem-se que os maiores consumidores de tais sistemas de gerenciamento de Baterias sejam aqueles pertencentes ao contexto automotivo, os quais vêm buscando, cada vez mais, BMS's de alta qualidade a um custo competitivo. Assim sendo, adotou-se como objetivo geral do projeto o de desenvolver um BMS que atenda a tal demanda, equilibrando baixo custo e alta qualidade. Estimativas de JP Morgan [5] mostram que, globalmente, os veículos elétricos

TABELA I. ESTADO DA ARTE SOBRE BMS: DESENVOLVIMENTO E CARACTERISTICAS

| Artigo | Resumo | Ref. |
|---|---|---|
| *Battery Management System: An Overview of Its Application in the Smart Grid and Electric Vehicles* | Neste trabalho, são abordadas as principais funções e requisitos do BMS em duas áreas específicas: nas aplicações móveis em veículos elétricos e na integração à geração distribuída. O estudo destaca a relevância, características, demandas, arquiteturas e diferentes formas de um BMS. | [1] |
| *A new BMS architecture based on cell redundancy* | É apresentada uma proposta de arquitetura de BMS voltada para baterias de lítio, visando sua aplicação em veículos elétricos de pequeno porte. Essa arquitetura utiliza o conceito de redundância de células, permitindo a desconexão de uma célula específica da bateria durante o processo de balanceamento. Isso é feito com o intuito de otimizar o desempenho e a vida útil das células, garantindo uma operação mais eficiente e segura do sistema. | [9] |
| *Hardware and Software Development of an Open-Source Battery management System* | Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de bateria de código aberto, abrangendo tanto o *hardware* quanto o *software*. | [8] |
| *Advanced Battery Management & diagnostic system for smart grid infrastructure* | Este artigo apresenta o projeto e implementação de um avançado Sistema de Gerenciamento de Bateria (BMS). O conceito básico é dividir cada conjunto de baterias em subconjuntos, onde cada bateria é monitorada e gerenciada individualmente. O BMS proposto monitora continuamente a voltagem, corrente e energia de cada bateria. | [10] |
| *An intelligent battery management system for unmanned aerial vehicles* | O estudo apresenta um sistema inteligente de gerenciamento de bateria destinado a Veículos Aéreos Não Tripulados (UAVs). O sistema proposto emprega algoritmos inteligentes para monitorar e otimizar o uso da bateria, levando em consideração fatores como a carga de trabalho do UAV e as condições ambientais | [7] |
| *Design and Implementation of Battery Management System for Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* | O presente estudo aborda o projeto e implementação de um sistema de gerenciamento de bateria para Veículos Aéreos Não Tripulados (UAVs). A pesquisa propõe uma arquitetura específica para UAVs, que contempla o monitoramento e controle de parâmetros-chave da bateria, tais como tensão, corrente e temperatura. O sistema proposto foi efetivamente implementado e testado em um UAV real, demonstrando sua funcionalidade e eficiência no gerenciamento de energia. | [6] |
| *Experimental validation for Li-ion battery modeling using Extended Kalman Filters* | Propõe um BMS para as baterias de íons de lítio. A metodologia do filtro Kalman Estendido é empregada neste sistema não linear para determinar o SOC da bateria. Esta metodologia é implementada experimentalmente usando a linguagem C através do microcontrolador. | [12] |

devam representar 20% da frota até 2025, ante 1% em 2015. Já o BCG estima que mais do que o dobro desse indicador até 2026. Como justificativa, mostram que as vendas de carros e SUVs eletrificados passaram de 8% em 2019 para 12% em 2020, resultando em um impacto financeiro significativo para este mercado. Essas são somente algumas amostras de que o cenário para este tipo de tecnologia é promissor e suas

aplicações, dependendo da qualidade, confiabilidade e relevância, podem ir muito além de aplicações somente em veículos automotores, mas também serem expansíveis para sistemas e vetores mais complexos, como aqueles utilizados nas Forças Armadas.

Assim, como requisito principal tal objetivo, buscou-se o desenvolvimento de um BMS para veículos elétricos, sendo eles de largo espectro, abordando desde automotores até veículos militares e VANTs, aplicando técnicas avançadas de gerenciamento de bateria e considerando as particularidades de tais contextos. O BMS desenvolvido e apresentado neste trabalho visa a proteger as células de bateria contra sobrecarga, bem como à descarga excessiva, prolongando sua vida útil e garantindo eficiência e segurança.

Diante disso, propõe o desenvolvimento de um sistema embarcado para o monitoramento da tensão, corrente e temperatura de células de bateria Li-ion 18650, mas com a intenção de que a topologia funcione para diferentes químicas de células de bateria. O protótipo inicial foi desenvolvido visando a ser uma ferramenta conceitual para obtenção de dados e desenvolvimento de algoritmos para BMS podendo ser conectadas inúmeras células via conexão Daisy-Chain. Ainda, diferencia-se de outras soluções disponíveis na literatura por utilizar componentes de baixo custo disponíveis nacionalmente, além de atender às operações em condições adversas e de alta exigência.

O sistema embarcado é composto por *hardware* e *firmware.* Para fins de visualização e interação com o *hardware* utiliza-se o USB, *Bluetooth* e CAN como meio de comunicação entre o protótipo e o computador no qual é possível solicitar parâmetros como tensão, corrente e temperatura via comandos definidos no código do firmware.

O protótipo desenvolvido trata-se de um modelo com nível de maturidade tecnológica em TRL 5, no qual a validação de todo o desenvolvimento de componentes e placa ocorre em um ambiente laboratorial. Estima-se estar desenvolvendo um segundo protótipo, o qual vislumbra-se operar com TRL 6, onde o modelo é demonstrado em um ambiente relevante.

É importante ressaltar que a estimativa de parâmetros como o estado de carga (SOC) e o estado de saúde (SOH) envolve conceitos que requerem um desenvolvimento preciso e detalhado. Portanto, tais conceitos serão abordados de forma mais aprofundada em artigos dedicados exclusivamente a esses temas, conforme abordado na seção de estado da arte.

O processo de desenvolvimento do BMS é descrito abaixo, desde a sua concepção até os testes iniciais do protótipo, com resultados que contribuem para a elaboração de um novo modelo que demonstra a eficácia do BMS no desempenho máximo das baterias dos veículos elétricos, proporcionando maior eficiência e segurança.

## IV. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO BMS

O processo de desenvolvimento do BMS iniciou-se com pesquisas sobre o mercado nacional e notou-se que não existem paralelos nacionais que sejam comerciais e disponíveis para aquisição. Na sequência foram realizados estudos sobre as topologias gerais existentes e aplicáveis para um BMS, tendo sido encontradas 4 diferentes, quais sejam: Centralizada, Modular, Mestre/Escravo e Distribuída.

Baseado em uma série de requisitos de desempenho e aplicação, dentre os quais os já explicitados na seção III, escolheu-se a topologia Mestre/Escravo, por ser uma topologia de baixo custo e por prover o controle individual de cada célula, cujas características são apresentadas na Tabela II, visando sempre a facilitar o controle e a aquisição de parâmetros delas.

TABELA II. CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DAS CÉLULAS LI-ÍON 18650 UTILIZADAS

| | |
|---|---|
| Tensão máx. de carga | 4,2 V |
| Capacidade nominal | 2,574 Ah |
| Tensão de corte | 3,0 V |
| Corrente de fim de Carga | 0.026 A |
| Taxas de descarga | C/5 – 3C/5 |
| Temperatura | 20-25°C |

Uma vez definida a arquitetura a ser implementada, buscou-se dimensionar e selecionar o arranjo experimental que é responsável pela validação do protótipo, para o que foi escolhido o ciclador iDCLT, mostrado na Figura 1, o qual possui software próprio iDLCT-View, sendo possível realizar diversos ensaios das células e coletar dados delas.

Fig. 1. Ciclador iDCLT.

Uma vez tendo-se definido tais componentes e requisitos, todas as premissas que o *hardware* BMS deveria conter foram refinadas e feito um esboço de um diagrama de blocos que pudesse modelar e representar o sistema como um todo. Tal diagrama é mostrado na Fig. 2, para a qual os componentes escolhidos foram baseados no fato de terem certificação para uso automotivo, uma vez que se entendeu ser esse um requisito restritivo e que daria uma grande confiabilidade para o sistema como um todo, fosse qual fosse a aplicação desejada.

O primeiro e o mais crítico componente a ser escolhido foi o microcontrolador da família PIC, uma vez que muitos ainda têm as restrições em usar este microcontrolador por ser antigo quando comparado com os demais encontrados comercialmente. Porém, entende-se que este ainda mostra o seu valor na medida em que tem uma alta capacidade de operação e atende a todo o requisito necessário para o projeto, além do ótimo custo/benefício. Para a placa *Master* foi utilizado o PIC18F46K80 que tem uma memória programável de 64 Kbytes, memória de dados 3.648 Bytes, 40 pinos onde 11 são canais ADC, compatível com CAN, enquanto para as placas *Slave* foram utilizados PIC16F1823 que tem de memória 128 bytes de SRAM e 256 bytes de EEPROM e 8 canais ADC. Os PICS apresentam baixo custo quando comparados a outros modelos similares. Já para as comunicações foram utilizados módulo CAN e USB e as

conexões entre as *Slaves* são feitas pela metodologia *Daisy-Chain*.

Para a aquisição de tensão foi desenvolvido um circuito individual por cada placa *Slave.* O circuito que faz a aquisição de tensão é formado por resistores de precisão de 1% e capacitor de 1uF, a fim de dar estabilidade e confiabilidade de medição. Já para o circuito do termistor utilizou-se um resistor de 1% e capacitor de 100nF, bem como um conector JS 2 vias para fazer a conexão do termistor. Por fim, para o sistema de proteção contra sobretensão utilizou-se diodo 1N4733A em todas as placas *Slaves* e para verificar o status de funcionamento colocaram-se LEDs indicativos em cada placa, os quais indicam recebimento/transmissão de dados.

Para aquisição de corrente, um sensor automotivo LEM60 não-invasivo baseado em efeito Hall para medição de corrente com capacidade de 60A bidirecional, o qual mede somente a corrente total de todas as células conectadas ao sistema foi usado. Para verificar todos estes dados medidos utilizou-se ainda um conversor USB Serial FT232RL a fim de estabelecer a conexão da placa com o computador, tendo-se ainda utilizado do *software TERMITE,* para o qual, uma vez inseridos os comandos definidos retornam-se os valores medidos do sistema representado na Fig. 3.

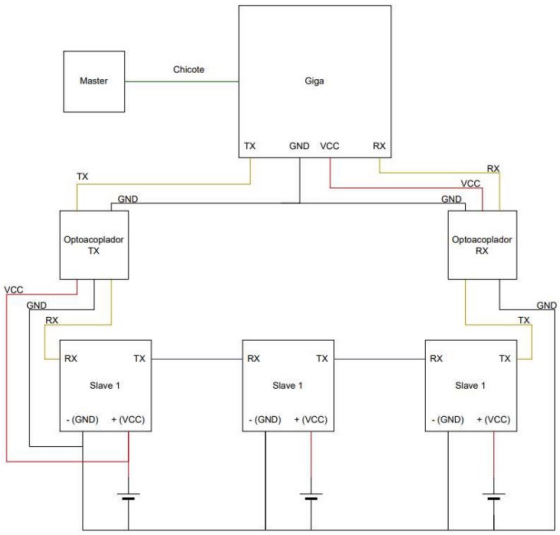


Fig. 2. Topologia de *Hardware* proposta.

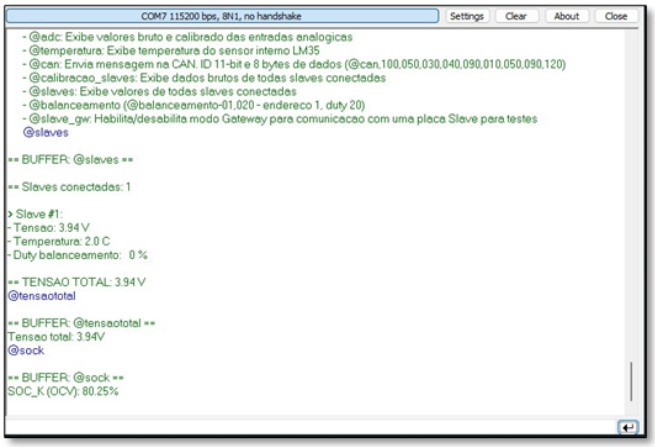


Fig. 3. Software TERMITE para visualização de dados.

## V. MONTAGEM E TESTES

Para a etapa de implementação tanto da Placa *Master* quanto da placa *Slave,* foi utilizada a plataforma de desenvolvimento de circuitos *EasyEda* que é uma plataforma gratuita e que atendeu a todas as necessidades do projeto. A versão do BMS que foi desenvolvida até o momento da escrita deste artigo é a apresentada na Fig. 4, na qual os testes executados indicaram o funcionamento correto, conforme o esperado, ainda apresentando elevado ruído na alimentação em um primeiro momento, mas sido imediatamente resolvido por meio da substituição da fonte.

O BMS em sua versão atual é composto pela PCB *Master* e 3 PCB's *Slave* para fins de teste, apresentando ainda a possibilidade de se estarem conectando mais *Slaves* ao sistema, bem como por uma Giga de testes onde é conectada a placa *Master* via conector *minifit*, sendo possível ter acesso a todas as saídas analógicas da placa e ainda fazer as conexões desejadas de uma forma organizada e segura, como apresentado na Fig. 5.

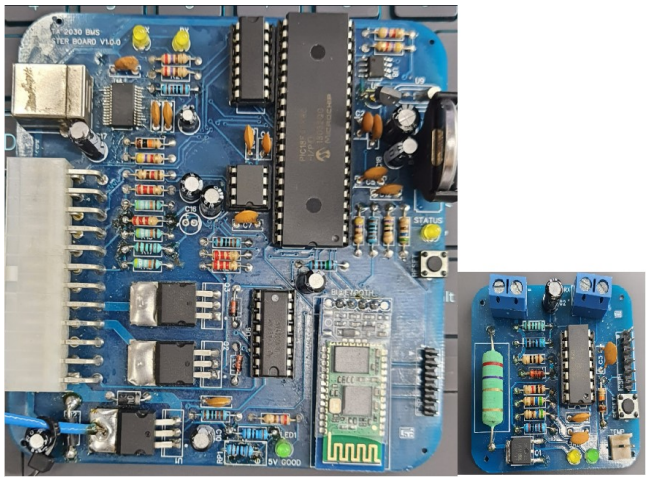

Fig. 4. PCB *Master* (esquerda) PCB *Slave* (direita).

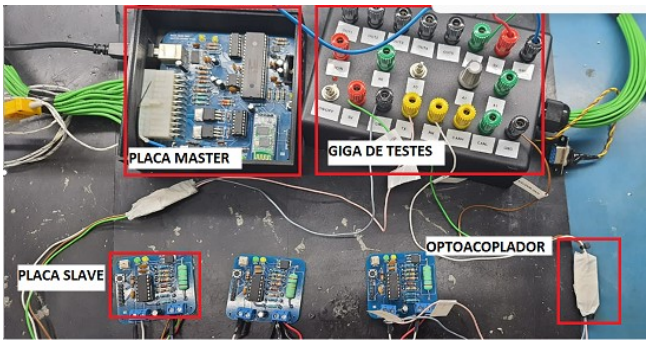


Fig. 5. Conjunto BMS montado.

## VI. RESULTADO E DISCUSSÃO

Uma vez que o protótipo foi desenvolvido segundo os parâmetros e requisitos estipulados, o mesmo foi montado em PCB, e realizados os testes de Tensão, corrente e temperatura, tendo-se feito as comparações com valores de referência. Para realização da comparação da tensão e temperatura utilizaram-se as medidas do multímetro HIOKI CM4372, enquanto a corrente foi gerada por uma fonte de bancada ICEL Manaus PS-4100.

Na Tabela III podem ser vistas as medidas de corrente de referência fornecidas pela fonte bem como o valor medido pelo sensor de corrente LEM60 com um erro médio de 3,96%, o qual se mostra relativamente baixo e dentro do esperado para a aplicação. A porcentagem tolerada para o erro de medição de corrente de baterias automotivas (*case* de comparação) também pode variar dependendo das especificações e requisitos de cada fabricante e sistema veicular. No entanto, em geral, uma margem de erro aceitável para a medição de corrente de baterias automotivas é de aproximadamente 5% a 10%, mesmo considerando-se boas medidas.

TABELA III – VALIDAÇÃO MEDIDAS DE CORRENTE SENSOR LEM60

| Valor Ref. [A] | Valor Medido [A] | Erro Absoluto [A] |
|---|---|---|
| 2,40 | 2,60 | 0,20 |
| 5,00 | 5,30 | 0,30 |
| 10,10 | 10,40 | 0,40 |
| 20,10 | 20,80 | 0,70 |
| 30,10 | 31,10 | 1,00 |

Na Tabela IV são apresentadas as medidas de tensão realizadas pelo multímetro HIOKI como referência e o valor medido pela placa *Slave*. A tabela apresenta medições em células diferentes e, no caso deste procedimento, foram utilizadas 3 placas *Slaves* e 3 células de bateria 18650, tendo sido detectado como maior erro de medição o de 0,17% na terceira medida, o que é bastante relevante. A porcentagem tolerada para erro de medição de tensão de baterias automotivas pode variar de acordo com as especificações e requisitos de cada fabricante e sistema veicular. No entanto, em geral, uma margem de erro de medição aceitável para a tensão de baterias automotivas é de cerca de 2% a 5%.

TABELA IV- VALIDAÇÃO MEDIDAS DE TENSÃO DAS BATERIAS MEDIDAS PELAS SLAVES

| Valor Ref. [V] | Valor Medido [V] | Erro Absoluto [V] |
|---|---|---|
| 3,902 | 3,900 | 0,002 |
| 3,827 | 3,830 | 0,003 |
| 3,504 | 3,510 | 0,006 |

Na Tabela V é apresentada a temperatura de referência medida pelo multímetro HIOKI, sendo o valor medido obtido por meio do sensor de temperatura LM35. É notável que o erro se mostra perceptível, estando na faixa de 14,22% quando comparado com o valor de referência e sendo necessária uma nova calibração no sensor LM35. Em relação à porcentagem tolerada para erro de medição de temperatura com o sensor LM35, este geralmente é especificado pelo fabricante com uma precisão de ±0,5°C.

TABELA V- VALIDAÇÃO MEDIDAS DE TEMPERATURA MEDIDAS PELO LM35

| Valor Ref. [ºC] | Valor Medido [ºC] | Erro Absoluto [ºC] |
|---|---|---|
| 25,30 | 28,9 | 3,60 |

O teste representado na Fig. 6 foi conduzido com uma alimentação de 5V na placa *Master* possibilitando o registro da temperatura por meio de uma câmera térmica da marca FLIR. A imagem da câmera térmica mostra que a temperatura máxima atingida (48.2°C) ainda está dentro dos padrões de operação dos componentes utilizados. Geralmente devem ser capazes de suportar uma faixa de temperatura de -40°C a 85°C (-40°F a 185°F). Tal faixa é considerada padrão para a grande maioria dos componentes eletrônicos automotivos, como sensores, unidades de controle eletrônico, módulos de ignição, entre outros.

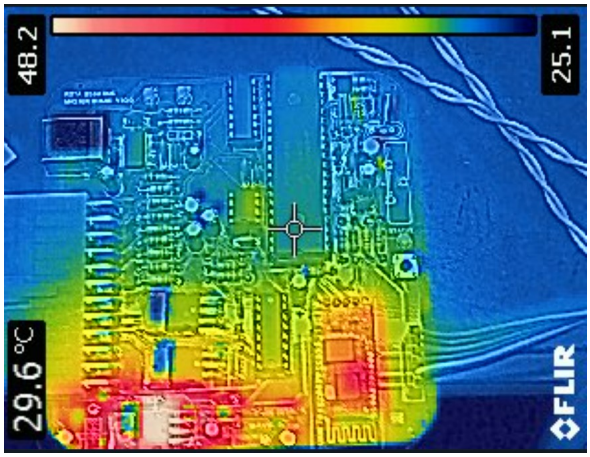


Fig. 6. Imagem da PCB Master capturada por câmera térmica.

## VII. CONCLUSÕES

O presente trabalho descreveu o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de bateria (BMS) inovador, customizado e aplicável a diferentes vetores e sistemas, tais como veículos elétricos, sistemas de energia portáteis para soldados em campo, dispositivos de comunicação, sistemas de visão noturna, equipamentos eletrônicos essenciais e até por Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), entre outros. Tal sistema se mostrou capaz de, com elevada precisão, fazer a aquisição de dados como tensão individual, controle de temperatura individual e corrente total do sistema, os quais se mostram como essenciais para o desenvolvimento *software* controlador que serve para prolongar a vida útil da bateria, garantir a eficiência energética e segurança das células.

Os resultados obtidos e apresentados no presente artigo, são de suma importância para passos posteriores no desenvolvimento e no controle de baterias, sistemas embarcados em tempo real e veículos elétricos. Com o protótipo em mãos, será possível avançar no desenvolvimento de um software capaz de controlar e estimar o estado de carga (SOC) e o estado de saúde (SOH) das células, bem como realizar a integração entre hardware e software.

Vale ressaltar que o BMS desenvolvido neste trabalho atingiu o nível de maturidade tecnológica (TRL) 5, o que significa que pode ser utilizado em bancadas para testes e desenvolvimento. Tal conquista representa um marco importante no avanço da tecnologia de gerenciamento de baterias.

Por fim, espera-se que este trabalho possa contribuir para o progresso contínuo da tecnologia de gerenciamento de baterias, servindo como base para futuros aprimoramentos e alcançando níveis mais elevados de maturidade tecnológica. Com isso, poderá contribuir significativamente para o desenvolvimento da tecnologia nacional nesse campo promissor.

REFERÊNCIAS


[1] V. Pop, H. J. Bergveld, D. Danilov, P. P. L. Regtien, and P. H. L. Notten, *Battery Management Systems: Design by Modelling*, vol. 9. Dordrecht: Springer Netherlands, 2008.

[2] BERMANN, Célio. Crise ambiental e as energias renováveis. Cienc. Cult.,São Paulo , v. 60, n. 3, p. 20-29, Sept. 2008. Available from <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252008000300010&lng=en&nrm=iso>. access on 03 June 2023.

[3] O. H. A. Junior, A. S. Bretas, and R. C. Leborgne, "Methodology for Calculation and Management for Indicators of Power Quality Energy," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 13, no. 7, pp. 2217–2224, 2015.

[4] E. F. B. Daza and M. Sperandio, "The Insertion of Energy Storage Systems in Power Systems: A Regulatory and Economic Analysis," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 17, no. 05, pp. 843–850, 2019.

[5] S. Karina. Um a cada dez carros vendidos no Brasil até 2030 será elétrico: Estudo feito pelo Boston Consulting Group mostra que, no mundo, mais da metade das vendas será de elétricos até 2026. REVISTA EXAME [Internet]. 2021 Jul 07 [cited 2023 Apr 21]: Available from: https://exame.com/negocios/um-a-cada-dez-carros-vendidos-no-brasil-sera-eletrico-ate-2030/.

[6] KUMAR, K. et al. Design and Implementation of Battery Management System for Unmanned Aerial Vehicle (UAV). In: 2019 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems (ICCCIS). IEEE, 2019. p. 1-6.

[7] SANKAR, S. et al. An intelligent battery management system for unmanned aerial vehicles. In: 2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA). IEEE, 2018. p. 1-6.

[8] G.R Sylvestrin;H.F. Scherer; O.H. Ando Junior; *Hardware* and *Software* Development of an Open Source Battery Management System (7,july 2021)

[9] A. Manenti, A. Abba, A. Merati, S. M. Savaresi and A. Geraci, "A New BMS Architecture Based on Cell Redundancy," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 9, pp. 4314-4322, Sept. 2011, doi: 10.1109/TIE.2010.2095398.

[10] a. Elsayed, C. Lashway and O. Mohammed, "Advanced Battery Management & diagnostic system for smart grid infrastructure," *2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM)*, Boston, MA, USA, 2016, pp. 1-1, doi: 10.1109/PESGM.2016.7741171.

[11] F. Claude, M. Becherif, and H. S. Ramadan, "Experimental validation for Li-ion battery modeling using Extended Kalman Filters," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 40, pp. 25509–25517, Oct. 2017.

[12] Lelie, Markus, Thomas Braun, Marcus Knips, Hannes Nordmann, Florian Ringbeck, Hendrik Zappen, and Dirk Uwe Sauer. 2018. "Battery Management System *Hardware* Concepts: An Overview" *Applied Sciences* 8, no. 4: 534. https://doi.org/10.3390/app8040534