

SISTEMA DE HARDWARE PARA MONITORAMENTO DE BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO EM TEMPO REAL

Kelvyn Makauliste Ventura dos Santos

kmvs@discente.ifpe.edu.br

Leandro Bezerra

lb@discente.ifpe.edu.br

Orientador: **Bruno Albuquerque Dias**

bruno.dias@pesqueira.ifpe.edu.br

RESUMO

Atualmente, existem diversas alternativas para o fornecimento contínuo de energia, entre as quais se destaca o uso de bancos de baterias. A manutenção clássica desses ativos normalmente ocorre de forma corretiva, porém, esse tipo de manutenção compromete momentaneamente o fornecimento de energia. Deste modo, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de hardware que realiza o monitoramento em tempo real de sistemas de armazenamento de energia, com destaque para bancos de baterias de chumbo-ácido. O sistema permite a aquisição de dados de tensão e temperatura, que podem ser utilizados para analisar o comportamento de carga e descarga desses ativos, possibilitando a identificação de possíveis falhas e contribuindo para a confiabilidade e continuidade do fornecimento de energia.

Palavras-chave: Baterias. Energia. Monitoramento.

ABSTRACT

Currently, there are several alternatives for continuous energy supply, among which the use of battery banks stands out. The traditional maintenance of these assets is usually carried out in a corrective manner; however, this type of maintenance temporarily compromises the energy supply. Therefore, this work proposes the development of a hardware system that performs real-time monitoring of energy storage systems, with a focus on lead-acid battery banks. The system enables the acquisition of voltage and temperature data, which can be used to analyze the charging and discharging behavior of these assets, allowing the identification of potential failures and contributing to the reliability and continuity of the energy supply.

Keywords: Batteries. Energy, Monitoring.

INTRODUÇÃO

A continuidade do fornecimento de energia elétrica está diretamente relacionada com a qualidade de vida e com o crescimento econômico da sociedade. Desta forma, é importante investir em alternativas energéticas para economia no consumo e evitar interrupções em seu fornecimento. Uma alternativa que vem ganhando destaque é o uso de bancos de baterias associado ao aumento do uso de fontes de gerações elétricas intermitentes, tais como solar e eólica. Os bancos de baterias podem ser acionados em horários de ponta de consumo de energia da rede elétrica, em

momentos de diminuição da geração destas fontes intermitentes e, principalmente, suprir a energia dos consumidores nos momentos de interrupções.

Embora o uso de bancos de baterias apresente diversas vantagens, um problema que pode surgir está relacionado à possibilidade de ocorrência de morte súbita das baterias quando operam em altas temperaturas por um período prolongado, levando à corrosão do material e à redução de sua vida útil (CARNEIRO et al., 2017; NEWMAX, 2022).

Esse problema acarreta prejuízos devido à interrupção do fornecimento de energia e pode ser agravado caso a utilização de técnicas de manutenção corretiva ou preventiva não sejam capazes de prever ou prevenir a morte súbita das baterias. Diante deste contexto, técnicas de manutenção preditivas baseadas em sistemas de gerenciamento e monitoramento contínuo de dados (ZEZHONG et al., 2010; RAMPINELLI e PEREIRA, 2017) tornam-se essenciais para a otimização da vida útil das baterias.

Dessa forma, esta pesquisa tem como objetivo desenvolver um sistema que utiliza hardware para coletar dados de tensão, corrente, temperatura. Esses dados são essenciais para identificar problemas que possam comprometer a integridade do sistema de armazenamento de energia.

OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema de monitoramento para baterias de chumbo-ácido, baseado por hardware capaz de coletar dados críticos, como níveis de tensão, corrente, temperatura. Esses dados serão armazenados e organizados de forma a criar um histórico detalhado, permitindo o acompanhamento contínuo e a análise precisa dos ativos ao longo do tempo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Projetar e implementar um hardware de aquisição de dados capaz de monitorar parâmetros-chave das baterias, como tensão, corrente e temperatura.
- Avaliar a viabilidade e o desempenho do sistema em diferentes cenários de operação, considerando variações de temperatura, carga e condições ambientais.
- Implementar um sistema de armazenamento de dados que utilize comunicação IoT (Internet of Things) para transmitir informações em tempo real, garantindo que os dados sejam armazenados e organizados de maneira segura e eficiente, permitindo análises futuras e a geração de relatórios detalhados.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão apresentados os principais conceitos e tecnologias que embasam o desenvolvimento deste trabalho. Primeiramente, serão abordadas as características e o funcionamento das baterias de chumbo-ácido, comumente utilizadas em sistemas de armazenamento de energia. Em seguida, serão discutidos os aspectos relacionados às ferramentas utilizadas para o monitoramento e a aquisição de dados dessas baterias, como aplicativos específicos e dispositivos de Internet das Coisas (IoT). Esses conceitos são essenciais para a compreensão do sistema proposto, que busca garantir a integridade e otimização do desempenho dos bancos de baterias.

BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO

As baterias de chumbo ácido têm como principais componentes em sua fabricação o chumbo e o ácido sulfúrico. Elas são dispositivos acumuladores de energia, ou seja, armazenam energia elétrica na forma de energia química. (HIOKI, 2020)

Na química, a temperatura influencia na velocidade de reações. Em baixas temperaturas há uma redução na atividade química no interior da bateria, enquanto em altas temperaturas há a aceleração das reações culminando na acumulação de sulfatos, causando um crescimento e afastamento das placas da bateria, que acarreta a elevação da resistência interna e, conseqüentemente, da temperatura e das perdas por efeito joule (CARNEIRO et al., 2017). Um exemplo de uma bateria de chumbo ácido pode ser observado na Figura 1.

Figura 1. Bateria de Chumbo-Ácido



Fonte: (SEA SOLUÇÕES, 2016)

Dentre as vantagens das baterias de chumbo-ácido, destacam-se: baixo custo em comparação com a de lítio, altas taxas de descarga e tecnologia confiável. Suas principais aplicações são em hospitais, supermercados, subestações, servidores e grandes sistemas de fornecimento de energia elétrica ininterrupta (nobreaks). Por estes fatores, nos últimos anos, a bateria de chumbo-ácido consiste na bateria que foi mais utilizada no mercado. As técnicas de fabricação avançaram, o que permitiu um custo menor (SILVA, 2020).

APLICATIVO DE MONITORAMENTO

Embora o desenvolvimento de um aplicativo não faça parte desse trabalho ele será importante para o desenvolvimento e objetivo final do sistema.

Para que um sistema de monitoramento seja eficaz, além da aquisição de dados em curtos períodos de cerca de 1 a 2 minutos, também é indispensável a leitura, visualização e interpretação destas informações, o que geralmente é feito por meio de gráficos. (NETO et al., 2017).

Além da programação da interface gráfica, etapas de armazenamento, envio, pré-processamento e apresentação dos dados são necessárias. Para armazenamento, são utilizados bancos de dados, normalmente em nuvem. Para etapas de pré-processamento e apresentação de dados, diversas linguagens de programação podem ser utilizadas.

Dessa forma, uma solução de monitoramento em tempo real consiste na utilização de um sistema integrado, de um hardware (responsável pela aquisição dos dados) interligado a um software em tempo real, em que é possível monitorar e identificar quando algo estiver fora do normal.

ESP32, ATTINY85, ARDUINO NANO E A INTERNET DAS COISAS (IOT)

O ESP32 é um microcontrolador utilizado em diversas aplicações de Internet das Coisas (IoT) devido à sua capacidade de processamento e conectividade, com suporte integrado a Wi-Fi e Bluetooth. Possui múltiplos pinos GPIO que permitem a implementação de funcionalidades como modulação por largura de pulso (PWM), conversão analógico-digital (ADC) e digital-analógica (DAC). Além disso, o ESP32 pode ser programado em ambientes como Arduino IDE, PlatformIO e ESP-IDF, com suporte para linguagens como C/C++ e Python (MicroPython), características que o tornam adequado para o desenvolvimento de sistemas embarcados.

O ATtiny85 é um microcontrolador de 8 bits da família AVR. Se trata de um dispositivo compacto e tem como característica o baixo consumo de energia tornando-o adequado para aplicações em dispositivos embarcados com restrições de espaço e energia. Ele conta com 8 pinos, 8 KB de memória flash, 512 bytes de SRAM e 512 bytes de EEPROM. O ATtiny85 oferece suporte a interfaces como SPI, I2C e modulação por largura de pulso (PWM). Sua programação pode ser realizada em linguagens como C/C++ através de ambientes como o Arduino IDE. Essas características o tornam uma opção viável para projetos simples que demandam controle básico e eficiência energética.

O Arduino Nano é uma plataforma de microcontrolador baseada no ATmega328, amplamente utilizada em projetos de prototipagem eletrônica. Ele possui 14 pinos de entrada/saída digitais, dos quais 6 podem ser utilizados como saídas PWM, e 8 entradas analógicas. A memória disponível inclui 32 KB de flash, 2 KB de SRAM e 1 KB de EEPROM. Alimentado por USB ou fonte externa, o Arduino Nano é programado principalmente por meio da Arduino IDE, utilizando a linguagem C/C++. Suas dimensões compactas e compatibilidade com uma ampla gama de sensores e módulos o tornam uma solução adequada para projetos que exigem economia de espaço e integração rápida em sistemas embarcados.

A Internet das Coisas (IoT) refere-se à rede de dispositivos e objetos físicos conectados à internet, que possibilitam a coleta, compartilhamento e análise automática de dados. Equipados com tecnologias como Wi-Fi, Bluetooth e redes móveis, esses dispositivos comunicam-se por meio de protocolos específicos para troca de informações entre máquinas. Esta conectividade possibilita o monitoramento remoto, a automação e a otimização de processos em tempo real. Com aplicações em áreas como automação residencial, saúde, agricultura e indústria, e a crescente integração de tecnologias avançadas como inteligência artificial e big data, a IoT está transformando a maneira como interagimos com o ambiente, criando espaços mais inteligentes e interconectados.

MATERIAIS E MÉTODOS

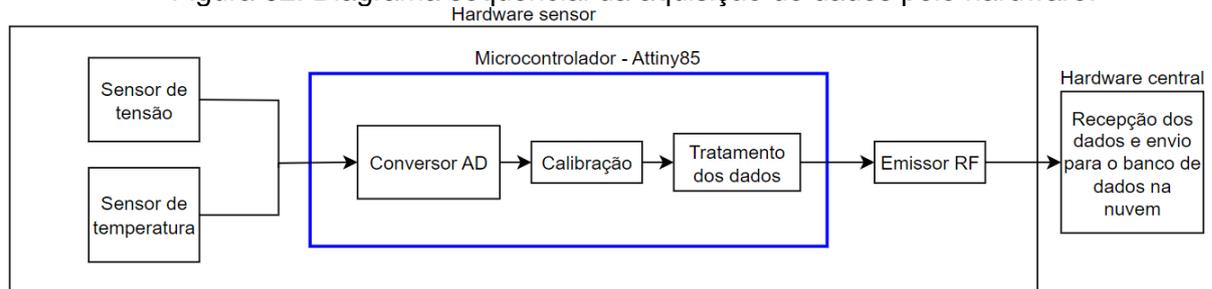
O dispositivo de monitoramento de baterias utilizou, como ferramentas de coleta de dados, sensores que foram responsáveis por realizar as medições em tempo real de cada grandeza necessária para garantir um gerenciamento completo do ativo analisado.

COMPONENTES UTILIZADOS

- Microcontrolador ESP32
- Microcontrolador Arduino Nano
- Microcontrolador Attiny85
- Módulo sensor de corrente INA3221
- Sensor de temperatura Thermistor NTC100 k Ω
- Módulo regulador de tensão Conversor BUCK

O hardware sensor é composto por um microcontrolador, o Attiny85, responsável por realizar o tratamento dos dados recebidos lidos pelo Thermistor NTC 10k Ω e divisor de tensão, para poder realizar o envio através do transmissor RF433Hz, para o Hardware central. Possui também um conversor CC/CC Buck regulado para 5V, que regula o nível de tensão ao qual está conectado para poder operar adequadamente. O diagrama sequencial deste hardware pode ser observado na Figura 02.

Figura 02. Diagrama sequencial da aquisição de dados pelo hardware.

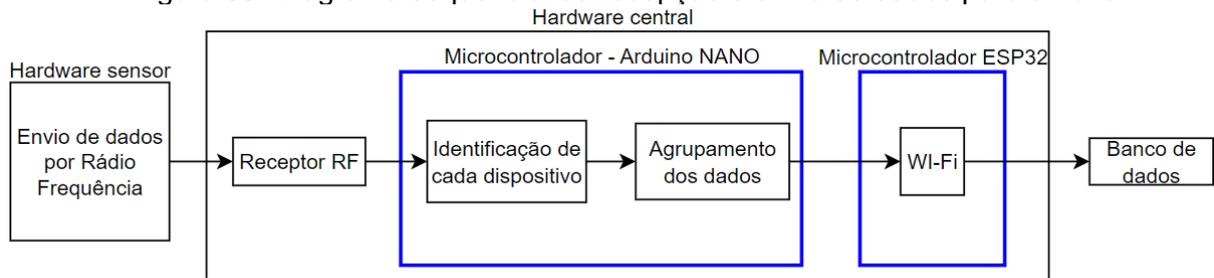


Fonte: Autoria própria.

O hardware central, é composto por dois microcontroladores, um Arduino NANO responsável por realizar o tratamento dos dados recebidos pelo receptor RF433Hz, e um ESP32, que por meio de conexão com internet, realiza o envio dos dados tratados para armazenamento. Possui também um conversor de tensão CC/CC Buck, que regula o nível de tensão para 5V ao qual os microcontroladores conectados possam operar adequadamente.

A comunicação IoT desempenha um papel fundamental na metodologia proposta para o monitoramento e envio de dados. O sistema desenvolvido utiliza um microcontrolador ESP32, responsável por coletar dados em tempo real dos sensores instalados na bateria, incluindo informações críticas como níveis de tensão, corrente, temperatura. Equipado com conectividade Wi-Fi, o ESP32 envia os dados coletados e tratados diretamente para as plataformas Firebase e Google Sheets, utilizando protocolos de comunicação seguros e eficientes. O diagrama sequencial hardware pode ser observado na Figura 03.

Figura 03. Diagrama sequencial da recepção e envio de dados para a nuvem



Fonte: Autoria própria.

Essa abordagem de comunicação IoT permite a transmissão instantânea das informações para o Google Sheets, que atua como banco de dados para o armazenamento e a organização dos dados. Com isso, assegura-se que as informações estejam sempre acessíveis para análises imediatas ou futuras.

Para que essa comunicação seja bem-sucedida, é essencial configurar corretamente o ESP32 por meio de programação, garantindo uma conexão estável e segura à rede Wi-Fi disponível. Além disso, a escolha de protocolos de comunicação adequados é crucial para garantir a integridade dos dados durante a transmissão. Protocolos como o Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) foram selecionados por sua eficiência e confiabilidade, permitindo uma comunicação robusta entre o dispositivo e a base de dados.

Essa infraestrutura de comunicação IoT não apenas otimiza o processo de monitoramento, mas também proporciona uma base sólida para futuras expansões e aprimoramentos na coleta e análise de dados, fortalecendo a eficácia do sistema desenvolvido.

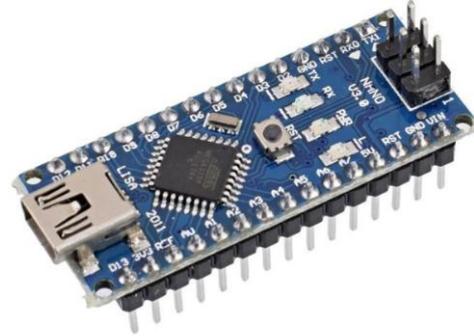
O hardware de monitoramento teve como componente principal o microcontrolador ESP32 (Figura 04) e trabalhou em conjunto com o Arduino NANO (Figura 05), ambos responsáveis por realizar a separação dos dados coletados dos diferentes sensores a eles conectados via rádio frequência. Além disso, o ESP32 foi responsável por realizar a atualização de data e hora de cada coleta realizada, para que os dados fossem marcados no dia e horário exatos em que foram coletados. Os microcontroladores usaram como interface de programação o ambiente IDE Arduino (Figura 06), no qual foi escrito o script que definiu como o microcontrolador trataria os dados para enviá-los ao banco de dados Google Sheets e ao servidor do Firebase.

Figura 04: Microcontrolador ESP32.



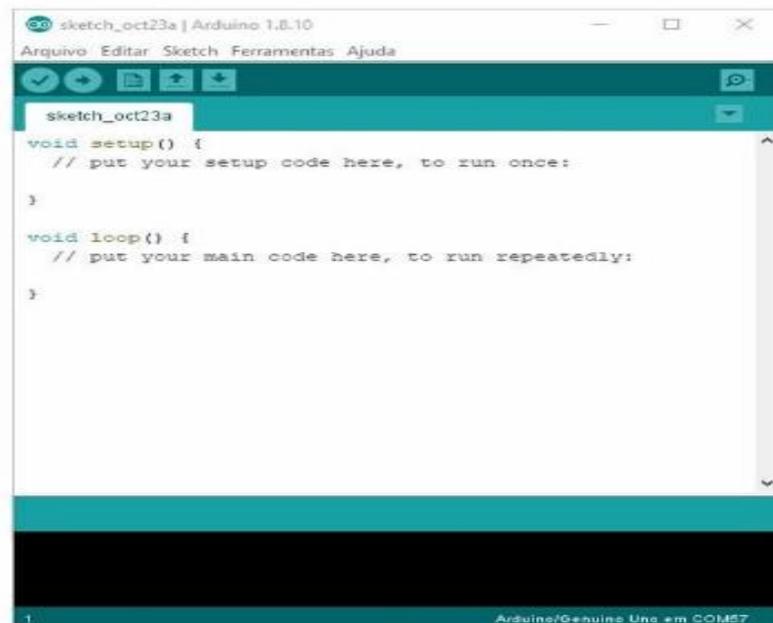
Fonte: Casa da Robótica.

Figura 05: Microcontrolador Arduino NANO.



Fonte: Casa da Robótica.

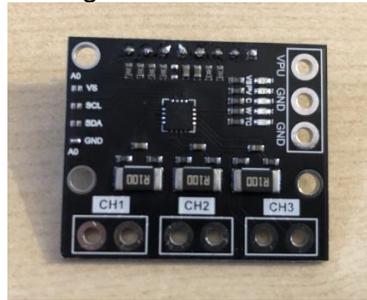
Figura 06: IDE Arduino.



Fonte: Autoria própria.

Para realizar as medições elétricas da bateria, será utilizado o sensor de corrente e tensão INA3221 (Figura 07), que é capaz de realizar a medição dos valores de tensão e corrente da bateria. O INA3221 é conectado em série com a bateria para conseguir coletar os dados necessários para o monitoramento.

Figura 07: INA 3221.



Fonte: Arduino Forum.

Além do sensor de corrente e tensão, o dispositivo utiliza o sensor de temperatura Thermistor NTC 100 k Ω (Figura 08). O sensor será conectado em série a um resistor de 100 k Ω e por meio de programação com o microcontrolador irá realizar as medições de temperatura em que a bateria se encontra para que possa monitorar se está havendo superaquecimento que ocasiona danos ao ativo.

Figura 08: Thermistor NTC100 k Ω .

Fonte: Componets Tree.

Todos os componentes mencionados são dispostos em uma placa de circuito impresso. Para garantir que a placa receba a alimentação necessária e permita que o hardware funcione sem problemas, será utilizado um conversor BUCK (Figura 09), conectado à bateria para alimentar o hardware. O conversor atua como um regulador de tensão, recebendo a tensão DC de 12 V da bateria e regulando-a para 5 V, que é a tensão de operação de todos os componentes, sem variação no nível de tensão desejado.

Figura 09: Conversor BUCK.



Fonte: BYTEFLOP.

O Microcontrolador ESP32, vai coletar cada dado respectivo, dados elétricos, de temperatura e de localização. Devido a sua conexão com a internet, o microcontrolador separa os dados coletados e realiza o envio para as plataformas

Firestore, responsável por se comunicar com o aplicativo Android que fornece o gerenciamento da bateria analisada, e com o Google Sheets, que é responsável por armazenar cada leitura realizada, formulando um histórico de comportamento de cada bateria, para se ter uma análise completa.

Na etapa seguinte deste trabalho, após o desenvolvimento do equipamento, foram realizados testes laboratoriais controlados para validar a funcionalidade e a precisão do dispositivo. Como os resultados dos testes laboratoriais foram satisfatórios, o dispositivo foi levado para uma fase de testes em campo, onde foi avaliado em condições reais de operação. A realização dos testes em campo permitiu analisar o desempenho do equipamento em situações práticas, identificar possíveis ajustes necessários e validar sua eficácia em aplicações no mundo real. Esta abordagem garantiu que o equipamento desenvolvido não apenas funcionasse adequadamente em ambiente controlado, mas também cumprisse os requisitos de desempenho e durabilidade em seu uso final.

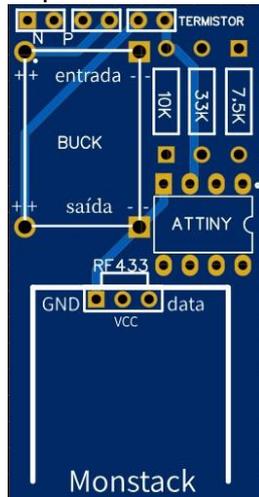
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados os resultados de hardware e desenvolvido conforme metodologia apresentada.

FUNCIONAMENTO DO HARDWARE

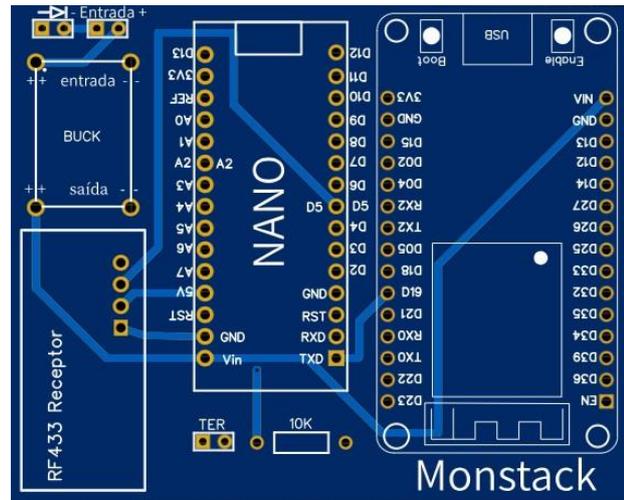
Inicialmente, o circuito de monitoramento planejado foi montado em protoboards e após verificar o correto funcionamento, foi desenhada a placa de circuito impressa para melhorar os testes a serem realizados, desenho representados na Figura 10 e Figura 11. A placa para o sensor possui as dimensões de 45x25 mm e a placa central 72,5x59 mm. A Figura 12 e Figura 13 apresentam o resultado da junção dos componentes nas placas de circuito impresso.

Figura 10. Desenho da placa para o sensor.



Fonte: Autoria própria.

Figura 11. Desenho da placa para a central.



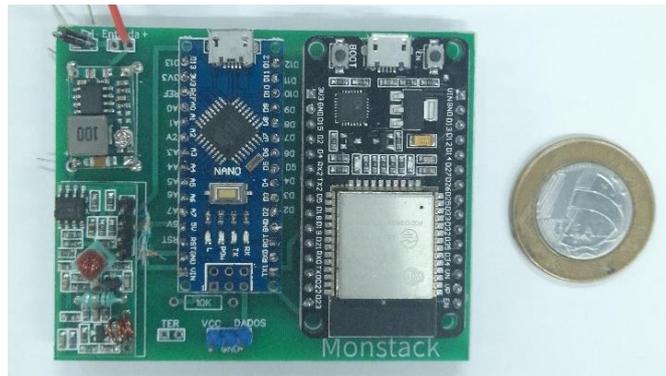
Fonte: Autoria própria.

Figura 12. Hardware sensor



Fonte: Autoria própria.

Figura 13. Hardware central.

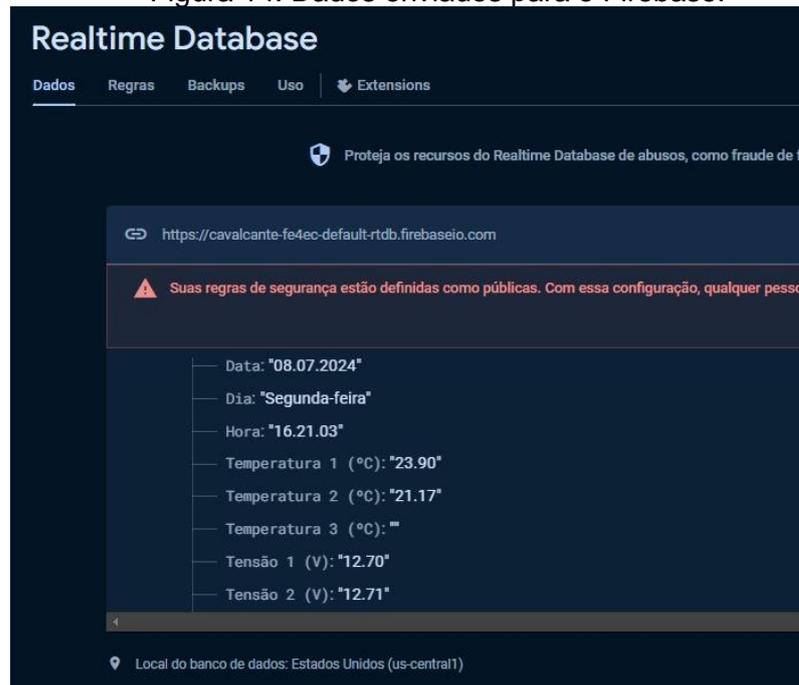


Fonte: Autoria própria.

Quando colocado para testes laboratoriais, os dispositivos de rádio frequência começaram a apresentar dificuldade de comunicação, estudou-se as causas desse problema e foi identificado que era necessário fazer a amplificação do sinal de transmissão e recepção dos dados coletados das baterias com o uso de antenas helicoidais. Entretanto, quando havia a correta comunicação entre os dispositivos a coleta dos dados de tensão e temperatura das baterias estavam apresentando resultados aceitáveis levando em consideração que eram os primeiros dados coletados para estudo dos ativos.

Além disso, todos os dados analisados por cada módulo existente no hardware, foram armazenados pelo microcontrolador, que por meio de sua programação, realizou os envios de todos os dados coletados para as plataformas do Firebase e Google Sheets, tornando assim possível a verificação das informações que eram analisadas de forma visual para poder comprovar os resultados. Os resultados registrados nas plataformas do Firebase e Google Sheets, são apresentados na Figura 14 e na Figura 15 respectivamente, nos quais foi possível acompanhar os dados enviados em tempo real.

Figura 14. Dados enviados para o Firebase.



Fonte: Autoria própria.

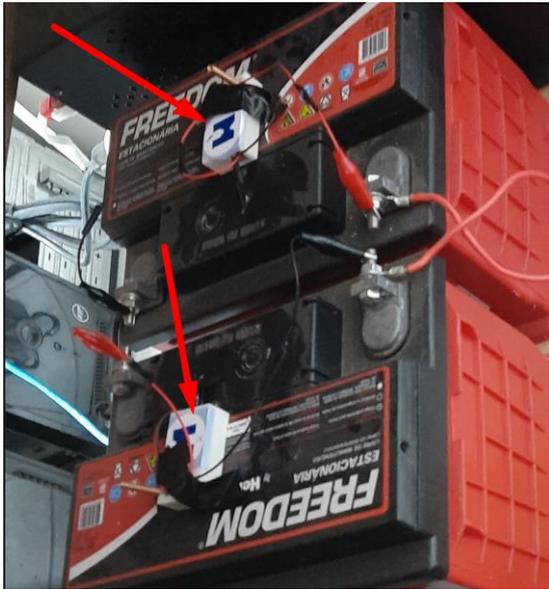
Figura 15. Dados enviados para o Google Sheets.

	Carimbo de data/hora	Tensão 1 (V)	Temperatura 1 (°C)	Tensão 2 (V)	Temperatura 2 (°C)	Tensão 3 (V)	Temperatura 3 (°C)
9	26/09/2023 09:58:21	11.75	25.20	12.17	25.24	11.52	25.22
10	26/09/2023 09:58:34	11.75	25.20	12.17	25.24	11.52	25.22
11	26/09/2023 09:58:47	11.75	25.20	11.85	25.24	11.72	25.21
12	26/09/2023 09:59:00	11.75	25.20	11.67	25.24	12.10	25.19
13	26/09/2023 09:59:13	11.75	25.20	12.10	25.24	12.12	25.22
14	26/09/2023 09:59:26	11.75	25.20	11.62	25.25	12.12	25.22
15	26/09/2023 09:59:39	11.75	25.20	11.62	25.25	12.02	25.22
16	26/09/2023 09:59:52	11.75	25.20	12.20	25.25	11.52	25.25
17	26/09/2023 10:00:04	11.75	25.20	12.20	25.25	12.02	25.23
18	26/09/2023 10:00:17	11.75	25.20	11.82	25.26	11.52	25.24
19	26/09/2023 10:00:32	11.75	25.20	12.10	25.25	11.75	25.23
20	26/09/2023 10:00:42	11.75	25.20	11.65	25.26	11.65	25.24
21	26/09/2023 10:00:57	11.75	25.20	11.72	25.26	11.75	25.24

Fonte: Autoria própria.

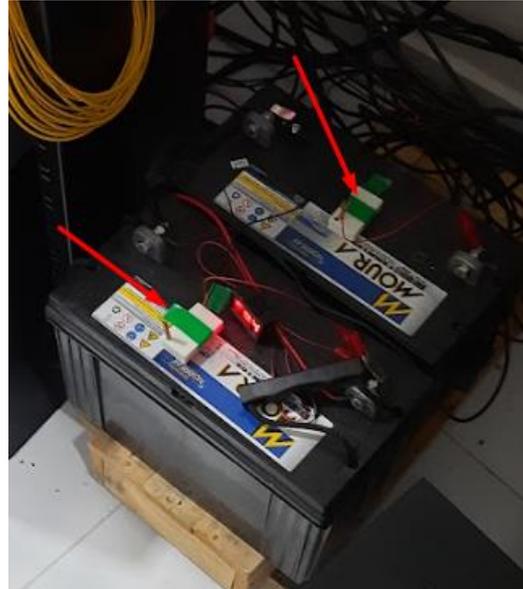
Após os testes laboratoriais apresentarem resultados satisfatórios, decidiu-se avançar para a fase de testes em campo. Os sensores foram instalados em três estabelecimentos comerciais que aceitaram participar da validação da solução. Nesses locais, os sensores foram conectados a duas baterias e integrados à central de monitoramento, dando início à coleta e envio dos dados para o banco de armazenamento. Exemplos das instalações realizadas podem ser vistos na Figura 16 e Figura 17.

Figura 16. Exemplo 1 de instalação em duas baterias de 12V.



Fonte: Autoria própria.

Figura 17. Exemplo 2 de instalação em duas baterias de 12V.



Fonte: Autoria própria.

Os testes com esses clientes devem durar cerca de três meses, durante os quais os dados coletados das baterias poderão ser utilizados futuramente como objeto de pesquisa para desenvolver algoritmos capazes de identificar problemas potenciais nesses ativos.

Apenas para demonstração, os dados coletados podem ser usados para criar relatórios de desempenho e comportamento dos ativos monitorados, na Figura 18 é apresentada uma estatística em relação aos dados coletados em um determinado período de tempo, dentre os dados apresentados destaca-se como mais relevantes para o este trabalho o contador de quantidade de variáveis medidas, a quantidade de medições realizadas e se houve falha no envio dos dados no período analisado. Essas informações demonstram a capacidade do hardware de envio constante dos dados monitorados, aumentando a confiabilidade do sistema.

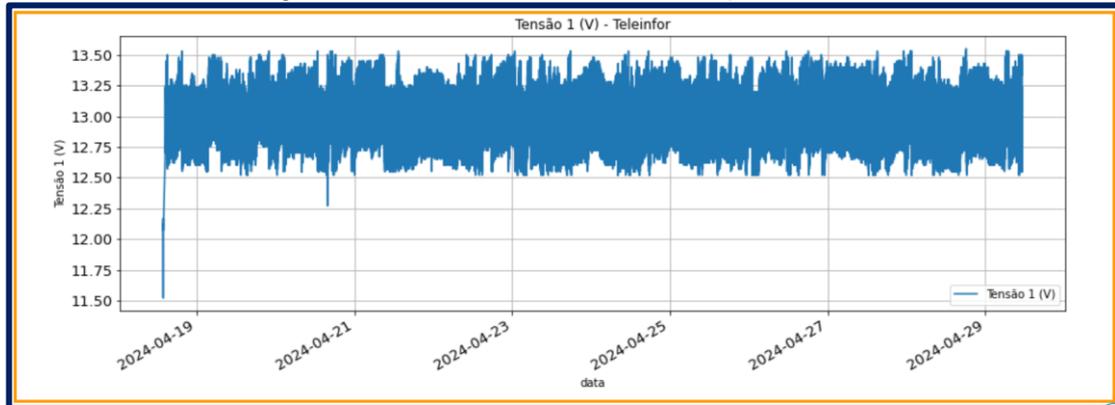
Figura 18. Relatório de coleta de dados.

Estatísticas do conjunto de dados	
Número de variáveis	3
Número de observações	168961
Células ausentes	0
Células ausentes (%)	0,0%
Linhas duplicadas	0
Linhas duplicadas (%)	0,0%
Tamanho total na memória	14,8 MB
Tamanho médio do registro na memória	92,0 B

Fonte: Autoria própria.

Além disso, com os dados coletados podem ser gerados gráficos (Figura 19) que auxilia na verificação de possíveis falhas no ativo ou alteração do seu comportamento padrão de carga e descarga.

Figura 19. Gráfico de Tensão x Tempo de uma bateria.



Fonte: Autoria própria.

Na figura 19 observa-se que o nível de tensão da bateria monitorada teve apenas o seu primeiro dado coletado fora do padrão o que se dá devido ao momento de conexão do dispositivo de monitoramento ao ativo, mas durante o período em questão os níveis de tensão da bateria se mantiveram dentro da faixa de carga e descarga esperada.

CONCLUSÃO

Em resumo, este trabalho apresenta as etapas do projeto de desenvolvimento de um hardware de monitoramento de baterias de chumbo-ácido em tempo real, que busca oferecer uma capacidade real de monitorar e otimizar o desempenho dessas baterias.

Apesar do sucesso na implementação do hardware de aquisição de dados para monitorar parâmetros-chave das baterias, como tensão e temperatura, a medição da corrente não foi completamente alcançada devido a dificuldade em integrar o sistema em série com as baterias, embora tenham sido cuidadosamente analisados, não puderam ser superados dentro do tempo disponível para esta pesquisa.

Essa limitação ocorreu principalmente porque o projeto inicial exigia uma configuração em série que implicava em ajustes complexos para garantir a precisão e a segurança da medição de corrente. A integração em série demandava soluções que envolviam a adequação da sensibilidade dos sensores, aspectos que se mostraram mais desafiadores do que o previsto.

Entretanto, é importante ressaltar que a impossibilidade de medir a corrente não compromete a funcionalidade geral do sistema desenvolvido. Os outros parâmetros monitorados, especialmente a tensão e a temperatura, forneceram dados críticos para a análise do comportamento das baterias, atendendo assim a grande parte dos objetivos principais da pesquisa.

Os testes realizados com o hardware em ambiente controlado apresentaram resultados muito semelhantes àqueles obtidos em campo com os clientes voluntários.

Embora o dispositivo tenha sido testado apenas em ambientes controlados, infelizmente não houve a oportunidade de realizar testes em condições mais

Instituto Federal de Pernambuco campus Pesqueira. Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica.
01 de agosto de 2024

adversas, como locais com elevados níveis de poeira, sem refrigeração, com alta umidade ou condições extremamente secas. Nos ambientes onde os testes foram realizados, o hardware manteve a consistência na coleta e envio de dados.

Por fim, foram realizadas melhorias na conectividade do hardware com base nos resultados obtidos durante a fase de testes laboratoriais. Durante os testes em campo, os clientes também sugeriram aprimoramentos na estética do dispositivo, como uma melhor acomodação do equipamento e conexões por cabo mais discretas. Essas modificações poderão ser implementadas em trabalhos futuros.

TRABALHOS FUTUROS

Para os próximos passos, recomenda-se dedicar esforços para melhorar a comunicação entre os sensores e a aparência do dispositivo, tornando-o mais amigável e escalável, com o objetivo de alcançar um produto funcional e relevante para atender às necessidades dos sistemas de armazenamento de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

- CARNEIRO, R. L. *et al.* Aspectos Essenciais Das Baterias Chumbo-Ácido E Princípios Físico-Químicos E Termodinâmicos Do Seu Funcionamento. *Virtual Química*, Bauru, v. 9, n. 3, p. 889-911, junho de 2017. Disponível em: <<https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/CarneiroNoPrelo.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- CASA DA ROBÓTICA. Disponível em: <<https://www.casadarobotica.com/>>. Acesso em: 15 mar. 2024.
- HIOKI. User's Guide: Lead-acid Battery Handbook. Plano: 2020, 23 p. Disponível em: <https://www.hioki.com.sg/wp-content/uploads/2021/02/A_UG_BT0002E01.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2023.
- JIA, Y. & XIONG, R. Battery Health Monitoring Based on Intelligent Algorithms: A Comprehensive Review. *Energies*, (2020).
- NETO, O. P. et al. Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos. *Revista Eletrônica de Educação*, [s.l.], v. 11, n. 1, p. 1-17, 2017. Disponível em: <<https://robrac.org.br/seer/index.php/ROBRAC/article/view/1132>>. Acesso em: 14 nov. 2023.
- NEWMAX. 2022. Cuidados na instalação de bancos de baterias. Disponível em: <<https://newmax.com.br/cuidados-na-instalacao-de-bancos-de-baterias/>>. Acesso em: 30 mar. 2023.
- RAMPINELLI, Giuliano Arns, PEREIRA, Tiago Quartiero. Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento Remoto Microcontrolado para Análise de Desempenho de Bancos de Baterias. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*. (2017).
- SEA SOLUÇÕES. 2016. CONHEÇA OS DIFERENTES TIPOS DE BATERIAS. Disponível em: <<https://sea-solucoes.com/site/conheca-os-diferentes-tipos-de-baterias/>>. Acesso em: 14 nov. 2023.

SILVA, Cynthia. Baterias de chumbo ácido, 2020. Disponível em: <<https://embarcados.com.br/baterias-de-chumbo-acido/>>. Acesso em: 14 nov. de 2023.

ZEZHONG, Xia, HONGLIANG, Su, TING, Liu. Remote Monitoring System of Lead-Acid Battery Group Based on GPRS. *IEEE International Conference on Electrical and Control Engineering*, 2010. Acesso em: 14 nov. de 2023.