

GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO - GSE

IOT E DIGITAL TWIN: PROPOSTA DE MONITORAMENTO DAS BATERIAS DO SAUX EM SUBESTAÇÕES 4.0

**RAFAEL HERRERO ALONSO(1);ARTHUR ALVES MIYAZAKI(2);CESAR BIASI DE MOURA(1);ROBERTO
SILVA SIMPLICIO(2);ALVARO DA ROCHA ALBERTINI(1);SILVIO GIUSEPPE DI SANTO(1);MARCELO
KNORICH ZUFFO(1)
ESCOLA POLITÉCNICA(1);LSI-TEC(2)**

RESUMO

O sistema de monitoramento de baterias (SMB) consiste na medição da corrente, tensão e temperatura, para auxiliar a equipe de manutenção quanto à necessidade de manutenção das baterias dos serviços auxiliares (SAux) nas subestações de energia. Ele é composto por sensores periféricos integrados a “Pulga”, uma plataforma de Internet das coisas (IoT), que envia os dados coletados ao concentrador de informação “Labrador” através de comunicação *bluetooth*, utilizando os dados para calcular o estado de carga, estado de saúde e a resistência interna da bateria, auxiliando a equipe de campo durante o processo de inspeção.

PALAVRAS-CHAVE:

Monitoramento remoto; Sistema de monitoramento de baterias; Manutenção prescritiva; Subestação 4.0

1.0 INTRODUÇÃO

O sistema de monitoramento de baterias (SMB) é utilizado para auxiliar na tomada de decisões, definindo o melhor momento para realização de trocas, reposições e manutenção das baterias. O SMB consiste na medição das principais grandezas físicas da bateria (corrente elétrica, tensão elétrica e temperatura) (1) permitindo estimar a resistência interna, o estado de carga e o estado de saúde das baterias, sendo os dois últimos comumente abreviados por SoC – *State of Charge* e SoH – *State of Health*, respectivamente.

De maneira geral, o SMB é formado por sensores periféricos que realizam a medição das grandezas da bateria e as transmitem para uma unidade concentradora de informações com capacidade de armazenamento e processamento para aplicações em dispositivos móveis, SCADA local ou para operar como interface de comunicação com plataforma de monitoramento em nuvem, conforme ilustrado na Figura 1.

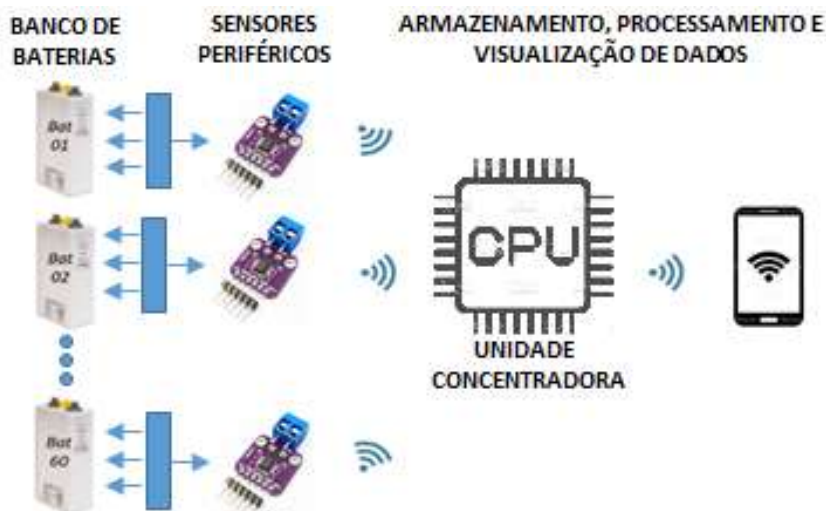


Figura 1 - Arquitetura do sistema de monitoramento de baterias (Fonte: Autoria própria)

No contexto de subestações (SE) (2), o banco de baterias é parte importante dos serviços auxiliares (SAux) para atender de maneira rápida, segura e confiável a continuidade da operação dos serviços de proteção, controle e comunicação, em resposta à falta no fornecimento de energia (3). Há relatos de SEs em que não houve atuação da proteção devido à indisponibilidade da fonte CC causada pela deterioração do banco de baterias, resultando em danos ao transformador (4).

Embora apresentem alta confiabilidade, as baterias são impactadas por fatores de diferentes naturezas, podendo esses ser: inerentes à tecnologia, como a auto descarga, por fatores externos, como temperatura, ventilação e umidade do local da instalação e por fatores de utilização, como a profundidade e a corrente de descarga. Esses fatores podem degradar a bateria e sua vida útil e, por serem não determinísticos, dificultam o planejamento das manutenções.

No Brasil, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) indica que os SAux devem ser submetidos a testes periódicos de desempenho e programas de manutenção que garantam a continuidade do serviço com histórico de registros de no mínimo cinco anos (5). Porém, o ONS não estipula a periodicidade das manutenções. Por outro lado, a maior parte dos fabricantes das baterias de chumbo-ácido estacionárias VRLA (*valve regulated lead acid*), tecnologia mais utilizada em SE, recomendam que seus produtos sejam submetidos à manutenções com descargas periódicas a cada seis ou doze meses, com as baterias em estado de flutuação (6).

A inspeção convencional do banco de baterias em SE é demorada, repetitiva e representa um desafio para as equipes de manutenção, principalmente em SE desassistidas, onde o custo de deslocamento dos técnicos pode ser elevado. De acordo com o manual de operação da SE Jaguariúna (SE-JAN) da ISA-CTEEP, a cada semestre um técnico é direcionado as SE para inspecionar os seguintes itens do banco de baterias dos SAux: limpeza das baterias, estantes e gabinetes; verificação da iluminação ambiente; verificação da incidência de luz solar direta; verificação da integridade das conexões, oxidação ou corrosão dos contatos, apertos, trincas, vazamentos e similares. Adicionalmente, utilizando um analisador de baterias é medida a resistência interna de cada bateria, a tensão individual, tensão do conjunto, tensão de flutuação, níveis de corrente, além do registro da temperatura ambiente e temperatura da superfície de cada bateria. Todas as informações coletadas são registradas em uma ficha de inspeção de preenchimento manual, sendo posteriormente inseridas no *software* de gestão da empresa para avaliação pelo responsável técnico (7).

A depender do nível de automatização do sistema, é possível reduzir em até 50% o tempo de inspeção. Da mesma forma, a depender do nível de inteligência inserida no sistema, é possível aumentar a vida útil do banco de baterias em até 35% (6).

Em vista deste cenário, a utilização de um SMB para aquisição automática e análise contínua dos parâmetros elétricos de cada bateria do banco, possibilitaria acompanhar e identificar com maior precisão um potencial problema durante os modos de operação em carga, descarga ou flutuação, reduzindo assim os riscos inerentes às inspeções para os colaboradores da companhia.

Portanto, a proposta deste artigo é apresentar uma solução nacional para o monitoramento do banco de baterias do SAux das SE. Para tal, foi realizada uma revisão da literatura e um levantamento das opções de monitoramento existentes no mercado para identificar possíveis pontos de melhoria e propor um SMB que seja inovador e possa ser aplicado na SE-JAN da ISA-CTEEP, como parte do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento intitulado “Estudo de requisitos e desempenho de um sistema de proteção, controle, automação e monitoramento” – PD0068-0049/2020.

2.0 REVISÃO DA LITERATURA

Nos estudos (6), (8), (9), (10), (11) e (12), os autores utilizaram a plataforma Arduino em conjunto com sensores para medição da corrente, tensão e temperatura. Já os autores (13), (14) e (15) projetaram circuitos específicos para medição desses parâmetros, além da estimativa da resistência interna (RI) para calcular o SoC da bateria. Os dados medidos e calculados são disponibilizados através de uma rede sem fio.

Os autores (16) e (17) realizam o levantamento dos parâmetros da bateria utilizando o analisador de baterias modelo Vencon UBA5 e PCBA 5010-4, respectivamente, sendo que (16) utiliza os dados medidos para alimentar o modelo elétrico equivalente e calcular o SoC através da contagem de Coulomb, enquanto (17) utiliza os dados para modelar a bateria através de redes neurais. Redes neurais e lógica Fuzzy são ferramentas poderosas que podem ser usadas para estimar o SoC e SoH de baterias (8), como mostrou (18) ao implementá-los em uma FPGA e compará-los com resultados experimentais. Na maior parte dos trabalhos analisados, os autores disponibilizam os dados coletados e calculados em uma rede sem fio. Em alguns casos, ainda é utilizada uma etapa adicional para filtragem e correção de alguns parâmetros através de filtros de Kalman (6) (9) e PSO (*particle swarm optimization*) (19).

É importante ressaltar, como mostram (4) e (20) que alguns métodos apresentados necessitam que a bateria seja desconectada do sistema para serem realizadas a coleta dos parâmetros monitorados, o que pode ser uma barreira em aplicações como subestações de energia. A

Tabela 2 sumarizam as principais informações coletadas na revisão da literatura, sendo que NA significa que tal item não se aplica àquela referência, NI significa que tal item não foi informado e DT refere-se ao divisor de tensão.

Tabela 1 - Principais características da revisão da literatura - Parte 1 (Fonte: Autoria própria)

Referência	(4)	(6)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Tipo de bateria	Tubular Gel OPzV	Chumbo ácido	Chumbo ácido	Chumbo ácido	Chumbo ácido	Chumbo ácido	Chumbo ácido	Chumbo ácido
Nº baterias	3	1	1	1	6	NI	NI	1
Coletor de dados	NI	NI	STM32F1	Arduino	Arduino	Arduino	NI	NI
Sensor de tensão	NI	NI	DT	NI	DT	DT	DT	NI
Sensor de corrente	NI	NI	ACS 712	NI	ACS 712	ACS 712	ACS 712	NI
Sensor de temperatura	NA	NI	Não	NI	LM 35	LM 35	Não	NI
Calcula SoC	NA	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Calcula SoH	NA	NI	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Calcula RI	Sim	NI	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
Comunicação	NA	RS232 RS485	Bluetooth	Ethernet	Wi-Fi	NA	Zigbee	NI
Algoritmo específico	Não	Filtro de Kalman	Redes neurais	Filtro de Kalman	NI	NI	Não	NI

Tabela 2 - Principais características da revisão da literatura - Parte 2 (Fonte: Autoria própria)

Referência	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
Tipo de bateria	VRLA	Chumbo ácido	Chumbo ácido	VRLA	Chumbo ácido	Chumbo ácido	VRLA
Nº baterias	52	NI	NA	5	NI	4	1
Coletor de dados	STM32F373	NI	Vencon UBA5	PCBA 5010-4	NI	LPC 11C14F/301 Raspberry Pi	Ni
Sensor de tensão	Projeto específico	NI	NA	NA	NI	LTC 6802G-2	NI
Sensor de corrente	Sensor Hall	Sensor Hall	NA	NA	NI	LTC 6802G-2	NI
Sensor de temperatura	DS18B20	NI	NA	NA	NI	LTC 6802G-2	NI
Calcula SoC	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Calcula SoH	NI	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Calcula RI	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não
Comunicação	Zigbee	NI	NA	NA	NI	NI	RS485
Algoritmo específico	Diversos	NI	Modelo DiBu	Redes neurais	Redes neurais e lógica Fuzzy	Filtros adaptativos e PSO	Filtro de Kalman

3.0 MONITORAMENTO DE BATERIAS NO MERCADO

É importante conhecer as soluções existentes no mercado para proposição de métodos que sejam inovadores. Diversas empresas oferecem sistemas de monitoramento de baterias. Algumas delas estão apresentadas neste item. A Choice possui um sistema de monitoramento de bateria capaz de monitorar células individuais ou grupos de baterias que podem ser conectados a um *gateway* com interface *web* para até 480 células. O sistema mede a tensão da célula e do grupo, corrente do grupo, temperatura da célula e resistência interna e calcula o SoC e SoH das baterias (21). O sistema de monitoramento da Eagle Eye Power Solutions mede a tensão e corrente do grupo, resistência da célula, do terminal e da conexão, temperatura ambiente e da célula, falha de aterramento CC e nível do eletrólito. O sistema de medição robusta, juntamente com técnicas de inteligência artificial, é capaz de calcular e estimar o SoH e SoC das baterias e fornecer informações como condições das células das baterias e possíveis fatores de risco associados às falhas (22). A Ablerex possui um sistema de monitoramento mais simples que é capaz de medir a tensão e temperatura das baterias e a tensão e corrente do conjunto. Os dados coletados são enviados por uma rede sem fio e é possível realizar uma equalização da tensão das baterias automaticamente, o que pode implicar em aumento da vida útil do sistema de armazenamento (23). A solução da SBS é capaz de monitorar a

tensão, temperatura, corrente elétrica, resistência interna, umidade relativa, nível de eletrólito e de presença de gás hidrogênio. Com essas informações é possível detectar problemas como a estratificação do eletrólito. O sistema conta com possibilidade de realizar a equalização das baterias e um registro de erros e alarmes para acompanhar o desempenho do banco de baterias (24). A solução da Socomec consiste em um módulo para medição da temperatura, impedância e tensão de cada bateria. O sensor de corrente mede a corrente do conjunto e se comunica com os módulos individuais pela rede sem fio. Os dados medidos são disponibilizados na rede pelo sistema de controle principal do sistema (25).

O levantamento bibliográfico e a pesquisa de mercado mostram que as principais soluções utilizadas para monitoramento de baterias consistem em utilizar sensores periféricos para o monitoramento das células individuais que operam em conjunto conectadas a uma espécie de coletor de dados. Dentre as grandezas medidas, as principais são a corrente elétrica, a tensão da célula e do conjunto, a temperatura da bateria e temperatura ambiente. Com essas informações é possível calcular, através de algoritmos específicos o SoC, SoH e resistência interna da bateria.

4.0 ARQUITETURA DE MONITORAMENTO

A arquitetura de monitoramento proposta foi realizada com base na revisão da literatura e na pesquisa de mercado, bem como nas informações coletadas acerca da rotina de inspeção do sistema de baterias da SE-JAN. O sistema de proteção, supervisão, controle e telecomunicações são alimentados por uma fonte CC de 125 V proveniente de um retificador e um conjunto de baterias. As baterias são do tipo chumbo-ácido estacionária VRLA, formada por dois bancos de 60 elementos cada, com tensão nominal de 2 V e capacidade de 300 Ah, modelo 5 OPzV 250, suas principais características para operação a 25°C são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Característica da bateria 5 OPzV 250 (26)

Tensão Nominal (V)	2
Capacidade 10h/1,75Vpe (Ah)	300
Capacidade 8h/1,75Vpe (Ah)	265
Capacidade 10h/1,80Vpe (Ah)	265
Corrente de curto-circuito (kA)	2,737
Resistência Interna (mΩ)	0,76

A fonte principal do retificador é o transformador de serviços auxiliares de 45 kVA (11,5/0,22 kV). A subestação conta também com um gerador a diesel de 45 kVA como fonte secundária para casos emergenciais. A Figura 2 ilustra o diagrama de blocos da SE-JAN.

A solução proposta para o monitoramento das baterias dos serviços auxiliares é composta por sensores de borda, concentrador de informação, aplicativo de celular e comunicação com roteador conectado ao sistema supervisor da sala de comando da subestação, em processo de digitalização conforme IEC 61850 no escopo do P&D PD0068-0049/2020. A Figura 3 ilustra a arquitetura simplificada do sistema de monitoramento.

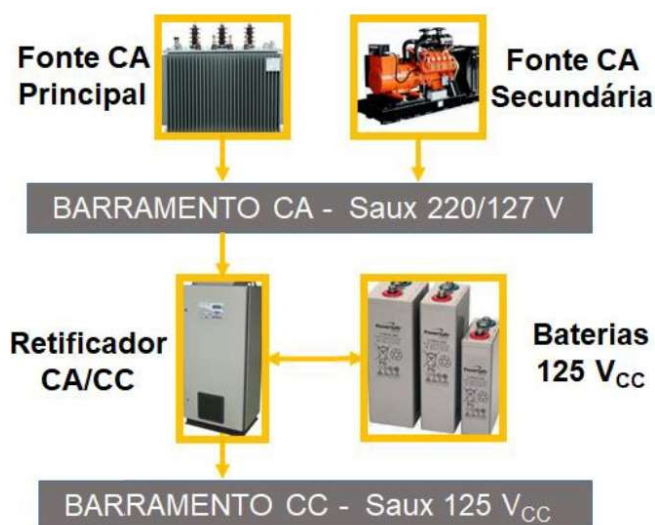


Figura 2 – Diagrama dos serviços auxiliares (Fonte: Autoria própria)

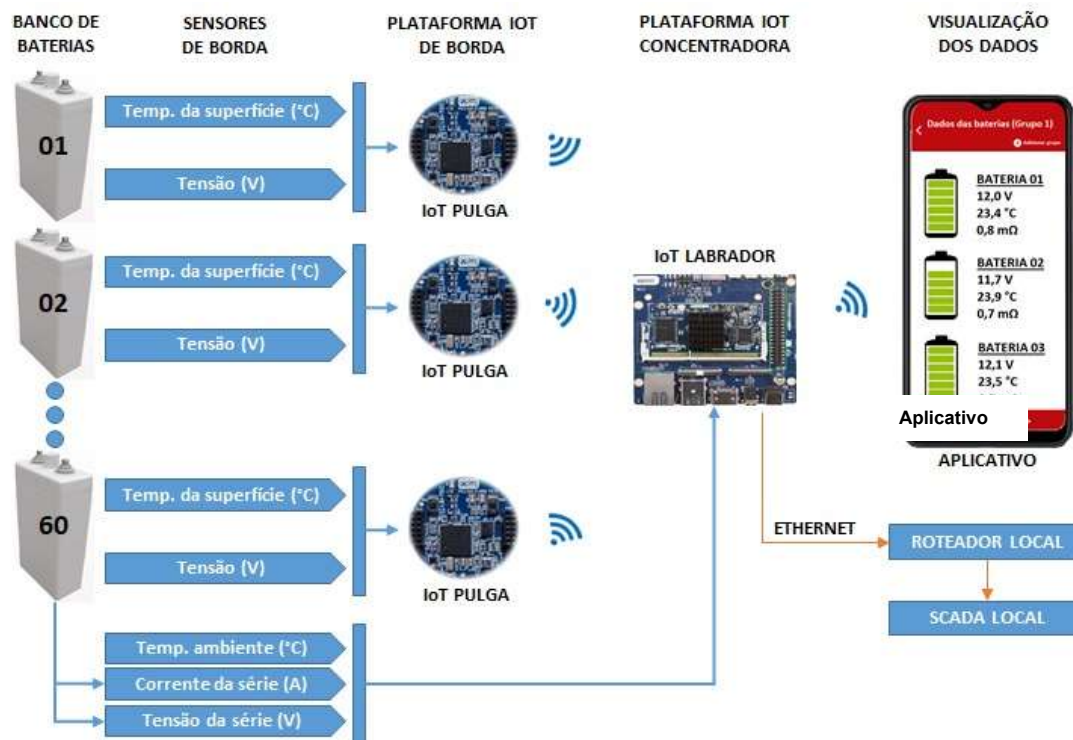


Figura 3 - Arquitetura do monitoramento do banco de baterias (Fonte: Autoria própria)

Os sensores de borda, fixados em cada bateria, coletam os parâmetros e enviam os dados para os módulos IoT Pulga, que se comunicam por *bluetooth* com a plataforma IoT Labrador. Os sensores de corrente e tensão da série de baterias e temperatura da sala de baterias coletam os dados e os envia para a plataforma concentradora Labrador. Tanto o módulo Pulga quanto a plataforma Labrador, foram idealizados no Programa Caninos Loucos na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP) para a formação de desenvolvedores da tecnologia IoT e disseminação do uso no meio industrial no Brasil.

Com a integração do sistema de monitoramento das baterias ao supervisório da subestação, espera-se que a alta densidade de informação em tempo real auxilie os técnicos de campo na tomada de decisões durante as inspeções, permitindo uma gestão otimizada dos recursos humanos entre subestações e o reconhecimento do momento ideal para realizar a troca das baterias.

5.0 SENSORES E VISUALIZAÇÃO DOS DADOS

5.1 Sensor de tensão

A tensão de cada elemento será medida utilizando o amplificador operacional LM 358 QT. Para melhorar a aquisição do sinal, será utilizado um filtro passa baixa na entrada do amplificador, garantindo precisão de 100 mV para o sensor de tensão. A saída do sensor será conectada ao conversor A/D do módulo IoT Pulga, conforme Figura 4a.

5.2 Sensor de temperatura

Para a medição da temperatura será utilizado um sensor do tipo PTF, modelo NB-PTCO-63, conectado à dois conversores A/D do módulo IoT, conforme Figura 4b. O sensor possui precisão de 1°C e opera em temperaturas entre -50 e 600°C e será colado na superfície externa de cada bateria.

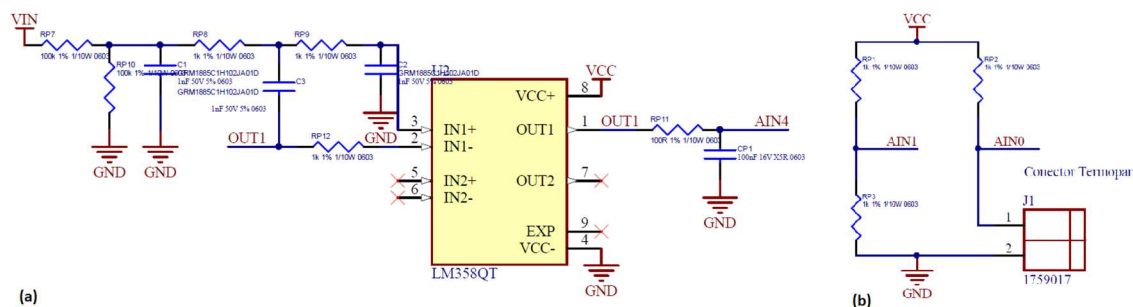


Figura 4 - Sensor de tensão (a) e temperatura (b) da célula

5.3 Sensor de corrente

A corrente elétrica é medida através de um sensor de efeito Hall (modelo L01Z050S05), indicado na Figura 5a, cuja saída é uma tensão proporcional à corrente que passa pelo sensor. A tensão de saída é enviada para uma das entradas da plataforma concentradora IoT Labrador.

5.4 Plataforma de borda (IoT Pulga)

A Pulga, ilustrada na Figura 5b, é um poderoso módulo computacional com baixo consumo de energia do tamanho de uma moeda de 25 centavos (24,26 mm). Ideal para criar aplicações para internet das coisas e eletrônica embarcada em dispositivos que necessitam de monitoramento em tempo real e geolocalização. Cada Pulga é responsável por monitorar cada elemento do banco de baterias coletando as informações dos sensores e as enviando à Labrador (Figura 5c) via *bluetooth*.

5.5 Concentrador (IoT Labrador)

A Labrador é uma *single board computer* aberta projetada para a internet das coisas. É composta por duas placas: a Labrador *core board*, provê todo o poder de processamento e memória de um computador moderno, enquanto a Labrador *base board* expande as opções de periféricos e comunicações, oferecendo uma diversidade de conectores. É responsável pela coleta das informações enviadas pela Pulga. A plataforma Labrador é ilustrada na Figura 5c.

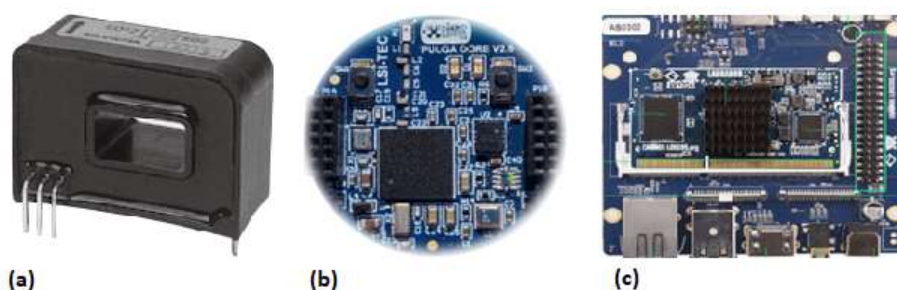


Figura 5 – Sensores utilizados (a) sensor de efeito Hall; (b) plataforma de borda IoT Pulga; (d) concentrador IoT Labrador

5.6 Aplicativo Android

Um aplicativo para sistema operacional Android está sendo desenvolvido. O dispositivo com o aplicativo instalado se conecta via Wi-Fi com a plataforma Labrador para coletar os dados. No aplicativo é possível visualizar as variáveis medidas em cada bateria, além de consultar valores máximos, mínimos e médios. Os valores das variáveis medidas podem ser coletados automaticamente para preenchimento do formulário de inspeção.

5.7 ABB Tropos 2420

O ABB Topos 2420 é o nó final da rede de monitoramento da SE-JAN que está sendo digitalizada. Dessa forma, será utilizado para coletar os dados da Labrador pela rede sem fio e disponibilizá-los no sistema SCADA da SE.

6.0 ENSAIOS E TESTES

Para os testes experimentais do SMB foi desenvolvido um projeto em menor escala de uma estrutura em formato de estante, que segue o mesmo layout e componentes do banco de baterias desenvolvido para o projeto de modernização dos SAux da SE-JAN. Essa estrutura permite reproduzir o ambiente da SE em laboratório e executar os testes elétricos, térmicos, engate mecânico, entre outros estudos, não permitidos em ambiente real da SE. Além disso, algoritmos para cálculo de SoC, SoH e resistência interna estão sendo desenvolvidos na Plataforma MATLAB®, através do modelo elétrico equivalente de primeira ordem, o que permitirá uma fusão entre os dados de históricos e de tempo real para ajustar o modelo computacional com base nos dados obtidos com o banco de baterias “espelho” no laboratório.

A estrutura para os testes experimentais será composta por um conjunto de seis baterias, sensores periféricos, conversor CC/CC, módulos IoT e algoritmos implementados para validar a prova de conceito antes de serem instalados na SE.

Após conclusão dos testes do SMB, o sistema será instalado em um dos bancos de bateria da SE-JAN para operação nas condições reais de teste e rotinas de inspeções padrão da ISA-CTEEP. Dessa forma, o técnico de campo poderá comparar os resultados medidos pelo analisador de baterias com os dados coletados pela plataforma IoT e, se necessário, poderão ser realizados ajustes no algoritmo de aquisição de dados. Adicionalmente, o desempenho do SMB poderá ser avaliado tendo em vista os efeitos dos campos eletromagnéticos da SE.

7.0 CONCLUSÕES

O processo atual de rotina de inspeção do banco de baterias em SE se mostrou repetitivo e difícil, principalmente em subestações localizadas em regiões afastadas. Este artigo apresentou um SMB que seja capaz de solucionar essas dificuldades.

O SMB proposto consiste em coletar os principais parâmetros da bateria para calcular o SoC, SoH e a resistência interna, a fim de auxiliar a equipe de manutenção quanto à condição física da bateria, indicando o melhor momento para sua manutenção ou substituição.

Com o SMB instalado, testado e validado espera-se que a rotina de inspeção seja realizada de forma remota, tornando o procedimento mais rápido e seguro, reduzindo os custos relacionados à inspeção e, portanto, tornando o negócio mais atrativo.

8.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) H. A. Gabbar, A. M. Othman e M. R. Abdussami, “Review of Battery Management Systems (BMS) Development and Industrial Standards,” *Technologies*, vol. 28, 2021.
- (2) ABNT, NBR 5460:1992 - Sistemas elétricos de potência, São Paulo: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992.
- (3) ONS, “Procedimentos de Rede - Módulo 2 - Submódulo 2.6: Requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos,” Operador Nacional do Sistema Elétrico, Brasília, 2020.
- (4) K. Nakjuy e S. Khomfoi, “Battery Monitoring System for DC Distribution in a Substation using Travelling Wave Theory,” *The 2018 International Electrical Engineering Congress*, 2018.
- (5) ONS, “Submódulo 2.16 - Requisitos operacionais para centros de operação e instalações da Rede de Operação,” ONS, 2020.
- (6) S. Huang, R. Wang e Z. Yang, “Substation DC System Intelligent Monitor and Maintenance System,” *2nd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*, pp. 2068-2072, 2017.
- (7) ISA CTEEP, “Manual de operação da SE Jaguariúna,” 2019.
- (8) G. A. Trinandana, A. W. Pratama, E. Prasetyono e D. O. Anggriawan, “Real Time State of Charge Estimation for Lead Acid Battery Using Artificial Neural Network,” *2020 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, pp. 363-368, 2020.
- (9) J. Loukil, F. Masmoudi e N. Derbel, “A real-time estimator for model parameters and state of charge of lead acid batteries in photovoltaic applications,” *Journal of Energy Storage*, vol. 34, n° 102184, 2021.

- (10) Mr.K.S.Gowthaman, K. K. Jilani, M. V.Anbarasu e R.Dinesh, "Automatic Battery Health Analysis and Monitoring using with Arudino Controller to Check on IoT," International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), vol. 07, nº 03, pp. 4641-4646, 2020.
- (11) N. Agarwal, P. Saraswati, A. Malik e Y. K. Bhateshvar, "Design a Battery Monitoring System for Lead-Acid Battery," International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT), pp. 306-311, 2017.
- (12) Firdaus, D. O. Aditya e W. B. Pramono, "DC Backup Power Supply Monitoring In Substation Based On Wireless Sensor Network," em International Conference on Wireless and Telematics (ICWT), 2016.
- (13) J. Mucko, "A possibility of the state of charge monitoring of the lead-acid battery by means of current pulses of a given value," 14th Selected Issues of Electrical Engineering and Electronics (WZEE), 2018.
- (14) R. Lu, J. Lu, P. Liu, M. He e J. Liu, "Design of the VRLA Battery Real-Time Monitoring System Based on Wireless Communication," Sensors, vol. 20, nº 4350, pp. 1-16, 2020.
- (15) BaoRui, "The research of substation battery on-line inspection and repair system," China International Conference on Electricity Distribution (CICED 2016), 2016.
- (16) B. Homan, M. V. t. Kortenaar, J. L. Hurink e G. J. Smit, "A realistic model for battery state of charge prediction in energy management simulation tools," Energy, vol. 171, pp. 205-217, 2019.
- (17) D. Scott, J. Lu, H. Aburub, A. Sundararajan e A. I. Sarwat, "An Intelligence-Based State of Charge Prediction for VRLA Batteries," IEEE Transportation Electrification Conference, 2017.
- (18) B. Kumar, N. Khare e P. Chaturvedi, "FPGA-based design of advanced BMS implementing SoC/SoH estimators," Microelectronics Reliability, vol. 84, pp. 66-74, 2018.
- (19) W. Li, M. Rentemeister, J. Badeda, D. Jöst, D. Schulte e D. U. Sauer, "Digital twin for battery systems: Cloud battery management system with online state-of-charge and state-of-health estimation," Journal of Energy Storage, vol. 30, pp. 101557-101568, 2020.
- (20) W. Zhang, L. Ding, Y. Li e B. Lang, "A Novel Remote VRLA Battery Capacity Check Scheme for Transformer Substation," 2018 International Conference on Power System Technology, pp. 2027-2033, 2018.
- (21) Choice, "Sistema de Monitoramento de Bateria," Choice, [Online]. Available: <https://www.choicetech.com.br/sistema-de-monitoramento-de-bateria/>. [Acesso em 15 Junho 2021].
- (22) Eagle Eye Power Solutions, "Battery Monitoring System," Eagle Eye Power Solutions, [Online]. Available: <https://eepowersolutions.com/products/battery-monitoring-systems/>. [Acesso em 15 junho 2021].
- (23) Ablrex, "Monitoring & Management System," Ablrex, [Online]. Available: https://www.ablrex.com.tw/products_4.php?bgid=4&mgid=24&sgid=41. [Acesso em 15 Junho 2021].
- (24) SBS, "SBS-EquaLink Battery Monitoring System," SBS, [Online]. Available: https://www.sbsbattery.com/sbs-equalink-battery-monitoring-system-bms.html#product_specs. [Acesso em 15 Junho 2021].
- (25) Socomec, "W-BMS – Wireless Battery Monitoring System," Socomec, [Online]. Available: https://www.socomec.com/range-backup-power-storage_en.html?product=battery-monitoring-system-cellwatch_en.html&view=freetab#freetab. [Acesso em 15 junho 2021].
- (26) EnerSys, "PowerSafe OPzV - Catálogo Técnico - Datasheet," 2020.

DADOS BIOGRÁFICOS



Rafael Herrero é Engenheiro Elétricista formado pela FEI (2004), com Mestrado (2009), Doutorado (2015) e Pós-doutorado (2021) pela Escola Politécnica-USP. Com mais de 10 anos de experiência em projeto de P&Ds, foi responsável pelo desenvolvimento do Wi-Fi Solar (2009), participou do projeto de Carport/FV (500kW) em Parque-Público/SP (2012-2017) e foi o pesquisador responsável pelo projeto de sistema FV/BESS/Estação-solarimétrica, integrados a uma plataforma de monitoramento multidisciplinar na POLI/USP (2019-2021), para capacitação de alunos e formação de mestres e doutores. Hoje tem atuado em pesquisas sobre REDs, análise de desempenho, SE4.0, modelagem computacional, IoT e IA.

(2) **ARTHUR ALVES MIYAZAKI**
Graduado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Eletrônicos pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, M.Sc. pela Universidade Técnica de Darmstadt. Atualmente, atua como pesquisador na Associação do Laboratório de Sistemas Integráveis Tecnológico com foco na aplicação e uso da tecnologia no setor elétrico e na educação.

(3) **CESAR BIASI DE MOURA**
Cesar Biasi de Moura, é aluno de mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (USP), Brasil, com bacharelado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (2011). Atualmente atua como pesquisador e Engenheiro de Sistemas em projetos relacionados à Energia Solar Fotovoltaica no Laboratório de Sistemas Integrados da Universidade de São Paulo (LSI-USP) e no Laboratório de Sistemas Integráveis Tecnológico (LSI-TEC), uma ICT privada com origens na Escola Politécnica da USP. Possui experiência na área de Engenharia Elétrica tendo atuado em projetos de pesquisa nas áreas de Energia Solar Fotovoltaica, Cogeração Heliotérmica para Microgeração e Sistemas Embarcados.

(4) **ROBERTO SILVA SIMPLICIO**
Roberto Silva SImplicio é graduado em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Trabalha há 8 anos em Pesquisa e Desenvolvimento em Sistemas Eletrônicos no Laboratório de Sistemas Integráveis Tecnológico da USP. Suas principais áreas de pesquisa incluem monitoramento e controle de baterias; inspeção e manutenção de sistemas elétricos e; simulação e impacto de sombreamento de sistemas fotovoltaicos.

(5) **ALVARO DA ROCHA ALBERTINI**
Possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Potência pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP (2021) e Master of Science em Eletrotécnica, concedido através do programa de Duplo Diploma, pela Technische Universität Darmstadt - TUD (2019). Atualmente é pesquisador e aluno de dedicação exclusiva de Mestrado no Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da USP. Áreas de pesquisa são digitalização de subestações de energia e integração, otimização e análise de Geração Distribuída (GD).

(6) **SILVIO GIUSEPPE DI SANTO**
Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP (2007), Mestrado (2010) e Doutorado (2012) ambos em Engenharia Elétrica, na área de Sistemas de Potência, pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Professor Doutor na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo no Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica (PEA), desde 2013. Integra o Grupo de Pesquisa do Laboratório de Pesquisa em Proteção e Automação de Sistemas Elétricos da EPUSP (L-PROT). Autor de trabalhos publicados em revistas indexadas e em eventos científicos nacionais e internacionais.

(7) **MARCELO KNORICH ZUFFO**
Engenheiro Eletricista (1989), é Professor Titular (2006) junto ao Depto. de Engenharia de Sistemas Eletrônicos da Escola Politécnica da USP. Tem atuado junto ao Laboratório de Sistemas Integráveis coordenando pesquisas e desenvolvimentos em Meios Eletrônicos Interativos. Desde 2011 Coordena o Centro Interdisciplinar em Tecnologias Interativas da USP. Em 2006 foi agraciado com o Prêmio Personalidade de Tecnologia categoria Inovação

Tecnológica. Em 2019 foi agraciado com o Prêmio Mercosul de Ciência e Tecnologia pelas suas contribuições na área de internet das coisas. Desde o dia 19 de março de 2020, tem se dedicado ao projeto INSPIRE: Ventilador Emergencial de Baixo Custo.