

Sistema de Monitoramento Remoto de Chaves Fusíveis

Tema: Tecnologias Emergentes

Autores: Alvaro de Freitas Garcez Neto

Co-Autores: André Meffe, Antonio Cezar de Castro Lima, Raimundo Jorge Abreu de Jesus, José Raimundo Teodoro Junior

Empresa: Companhia Sul Sergipana de Eletricidade

Resumo

Este artigo apresenta os resultados do projeto de P&D PD-00046-0014/2018, intitulado “Cabeça de Série – Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento Remoto de Chaves Fusíveis” da Sulgipe – Companhia Sul Sergipana de Eletricidade, cujo objetivo foi o aperfeiçoamento do protótipo obtido em projeto de P&D anterior (código PD-0046-0005/2014, na fase Desenvolvimento Experimental), procurando-se melhorar o desenho e as especificações do protótipo para eliminar peças e componentes com dificuldade de reprodução em larga escala, além de definir as características básicas da linha de produção e do produto. Para realizar o aperfeiçoamento, adotou-se a estratégia de produzir dois tipos de dispositivos. O primeiro, chamado sensor tipo 1, se destina à instalação no tronco dos alimentadores e tem o objetivo de medir corrente. O segundo dispositivo, chamado sensor tipo 2, se destina à instalação em chaves fusíveis e fusíveis religadoras e seu objetivo principal é detectar o estado do elo fusível (aberto ou fechado) e o estágio de operação no caso de fusíveis religadoras. Serão apresentados os dispositivos e o sistema computacional desenvolvidos no projeto.

1. Introdução

A demora na localização de faltas e no restabelecimento de redes é um problema que afeta as distribuidoras de forma geral, elevando o índice DEC e trazendo prejuízos para as distribuidoras e seus consumidores. Apesar disso, as equipes de operação e manutenção das concessionárias não contam atualmente com ferramentas adequadas para localizar as faltas e restaurar o serviço, sendo que na maioria das vezes ainda são utilizados procedimentos e tecnologias com baixa precisão e elevados custos como, por exemplo, os atuais procedimentos que usam principalmente as informações recebidas pelo Call Center para envio de equipes a campo e a realização de inspeções visuais da rede trecho a trecho para a localização do defeito, para posterior correção da falha.

Portanto, a localização rápida das coordenadas geográficas da falha é fundamental para que o problema seja corrigido o mais brevemente possível com o menor custo operacional, favorecendo o retorno do fornecimento de energia aos clientes afetados.

Neste contexto, em uma pesquisa desenvolvida pela Sulgipe - Companhia Sul Sergipana de Eletricidade junto com a Universidade Federal da Bahia no projeto de P&D 0046-0005/2014, foi gerado como produto

um sistema de monitoramento remoto de diversas chaves fusíveis instaladas nos alimentadores de 13,8 kV.

Porém, o desenvolvimento experimental também permitiu identificar diversas limitações, tanto técnicas como econômicas, no protótipo inicial, devido principalmente ao custo de cada dispositivo e, por outro lado, à utilização da comunicação GSM/GPRS nos concentradores de sinais instalados em campo. A seguir são listadas algumas das limitações técnicas e econômicas identificadas no desenvolvimento experimental:

- Custo operacional alto da comunicação selecionada já que há taxas mensais das operadoras de telefonia cobradas por ponto;
- Falta de cobertura de sinal GSM/GPRS ou cobertura precária na maioria das regiões geográficas das distribuidoras;
- Baixa confiabilidade: a disponibilidade da operadora de telefonia dita a confiabilidade do sistema, ressaltando que em condições climáticas adversas o sinal frequentemente é péssimo e as operadoras não priorizam os serviços de comunicação de clientes corporativos;
- No desenvolvimento experimental os custos de aquisição dos sensores são extremamente altos pois é preciso ter um equipamento concentrador para comunicação entre os dispositivos instalados nas linhas e o centro de controle.
- Limitação de operação em alimentadores com baixa carga e, conseqüentemente, da corrente mínima de linha para autoalimentação por acoplamento magnético.

Diante deste cenário, a Sulgipe realizou um projeto de pesquisa e desenvolvimento para aperfeiçoar o protótipo desenvolvido na etapa de desenvolvimento experimental, dando continuidade à cadeia de inovação da ANEEL com um projeto cabeça de série, considerando aspectos relativos ao aperfeiçoamento do protótipo e sistema obtido no projeto de P&D anterior. Procurou-se, assim, melhorar o desenho e as especificações do protótipo para eliminar peças e componentes com dificuldade de reprodução em larga escala e inserção no mercado. Definiram-se também as características básicas da linha de produção e do produto.

Conseqüentemente, visando a viabilizar sua real utilização e aumentar a sua inserção no mercado, o dispositivo aperfeiçoado integra no seu princípio de funcionamento a Internet das Coisas (IoT) com tecnologia embarcada, sensores e conexão com a rede, capaz de coletar e transmitir dados, de baixo custo tanto de aquisição como de operação e manutenção.

2. Desenvolvimento

Sistema Desenvolvido

Neste projeto foi desenvolvido um sistema inovador para monitoramento de chaves fusíveis e trechos de rede MT, contemplando uma solução completa, de ponta a ponta, incluindo dispositivos eletrônicos IoT para serem acoplados às chaves fusíveis e aos trechos de rede MT, uma plataforma de comunicação *LoRaWAN* e uma plataforma WEB de gestão. A Figura 1 apresenta o diagrama sistêmico do sistema desenvolvido.

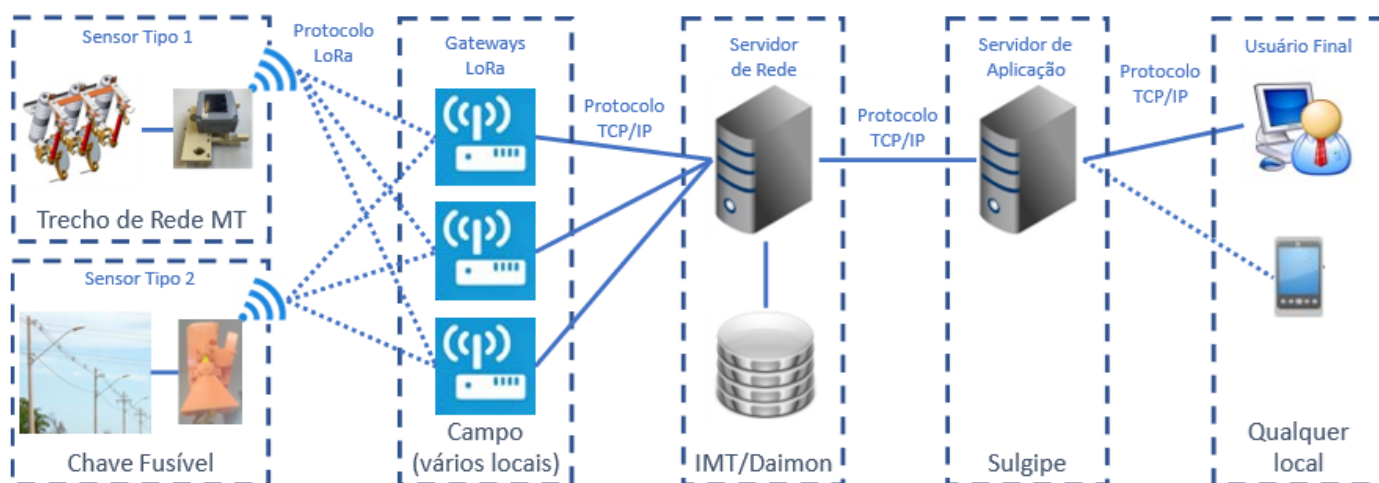


Figura 1. Diagrama sistêmico da solução desenvolvida

Cada sensor *IoT-LoRa*, instalado em uma chave fusível ou trecho de rede MT, monitora informações de tensão e corrente e transmite os dados utilizando a comunicação *LoRaWAN*.

A informação transmitida é captada por antenas, que estão ligadas a *gateways LoRa*. Cada *gateway* que captar uma informação transmitida por um dispositivo qualquer fará o encaminhamento dessa informação para o servidor de rede para o qual está configurado. O servidor de rede, por sua vez, é responsável por monitorar os dados enviados pelos *gateways*, eliminando os dados em duplicidade e armazenando-os em seu banco de dados. Adicionalmente, o servidor de rede publica cada dado enviado em um broker MQTT de forma a disponibilizar esse dado em tempo real a quem desejar.

A partir do momento em que as informações enviadas pelos dispositivos são armazenadas no banco de dados do servidor de rede, elas ficam disponíveis para os diversos aplicativos que consomem essas informações.

Foram desenvolvidos dois sensores *IoT-LoRa*, denominados sensor tipo 1 e sensor tipo 2. O sensor tipo 1 é o cabeça de série do sensor desenvolvido no projeto de P&D 0046-0005/2014. Vislumbrando-se a possibilidade de criar um tipo de sensor, mais simples, mais barato, que permitisse a sua instalação de forma massiva com o objetivo de auxiliar na localização de faltas, a ser realizada por um software desenvolvido neste projeto, foi desenvolvido o sensor tipo 2.

Além disso, foi desenvolvido um aplicativo mobile para realizar o cadastro dos dispositivos instalados em campo, auxiliando no registro de suas localizações, equipamentos monitorados e fases de instalação. Em um software georreferenciado, também desenvolvido no projeto, será possível obter os dados enviados pelos dispositivos que, quando instalados de forma massiva, poderão ser utilizados por uma ferramenta de localização de faltas.

Sensor Tipo 1

Três conjuntos, cada um com três unidades do Sensor Tipo 1, foram produzidas durante a vigência do projeto P&D 0046-0005/2014. Na época, estas unidades foram instaladas em campo para testes de funcionalidade, confiabilidade e robustez física. Alguns sensores conseguiram se manter operacional por um período superior a um ano. Estes testes ajudaram a equipe atual de desenvolvimento a definir estratégias de melhor utilização dos protótipos dentro da rede de distribuição. Observou-se que melhorias poderiam ser implementadas nos projetos de circuitos eletrônicos e partes mecânicas de fixação às linhas de distribuição. As principais mudanças e melhorias alcançadas no redesenho do Sensor Tipo 1 envolveram as seguintes alterações: na estratégia de comunicação entre os sensores e o Centro de Operações da Sulgipe com a inserção de transceptores *LoRaWan*, no circuito de alimentação para manter os sensores operacionais

com o novo transceptor, no circuito de medição para obtenção de leituras de corrente acima de 170 A, no invólucro/caixa do sensor para melhorias no processo de fixação na linha de alta tensão.

Substituição do concentrador GSM/GPRS por um transceptor LoRa Microchip RN2903A em um dos módulos do conjunto de três sensores de monitoramento trifásico

A comunicação com os outros dois sensores continuou sendo realizada através de transceptores de baixíssimo consumo (NRF24 - operando em torno de 2,4 GHz), permitindo assim se manter a alimentação do módulo apenas pela própria corrente de linha. Como foi dito anteriormente, essa mudança na transmissão de dados eliminou a necessidade de contratar serviços de uma operadora de telefonia celular e aumentou a cobertura geográfica do sistema, incluindo locais sem acesso à telefonia tradicional. Além disso, eliminou-se a necessidade de instalação de um modem concentrador em postes próximo ao conjunto de medição. A Figura 2 apresenta um novo circuito eletrônico com a inclusão do LoRa. Este modem também contém um transceptor NRF24, localizado na face de trilhas da PCI.

Redesenho do circuito de autoalimentação para permitir o fornecimento adequado de energia ao transceptor LoRaWan

Foram realizados testes em laboratório para avaliar o consumo do transceptor em diferentes regimes de trabalho e envio de pacotes de dado para realização do dimensionamento apropriado de potência da fonte de alimentação. Verificou-se que, para manter o funcionamento normal do sensor com o novo transceptor, a corrente na linha deveria ser maior que 112 A. Este nível de corrente inviabilizaria o uso do equipamento na maior parte da rede de distribuição da Sulgipe. Desta forma, optou-se pela inclusão de um pequeno painel fotovoltaico para suprir a energia necessária ao módulo com o transceptor LoRa. Lembrando mais uma vez que os outros dos módulos sensores que utilizam o NRF24 continuaram a ser alimentados apenas pelo TC, sem painel fotovoltaico.

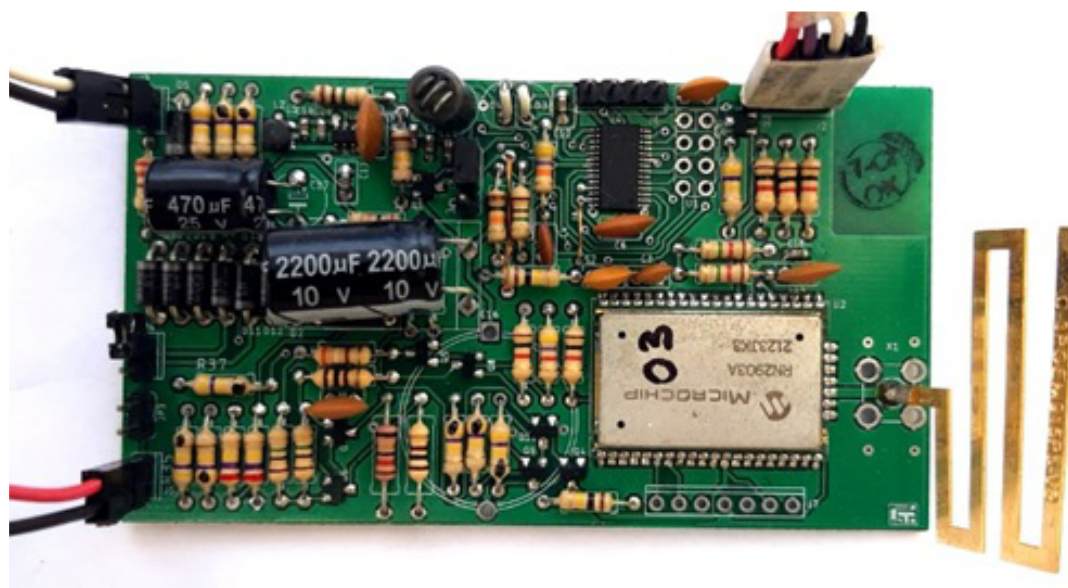


Figura 2. Sensor Tipo 1 com transceptor LoRa

Redesenho do circuito de medição para se realizar leituras de correntes acima de 170 A

Uma pequena modificação foi realizada no circuito com a inserção de dois resistores de carga selecionados através da comutação de dois transistores. Com essa alteração de circuito foi possível estender a faixa de medição de correntes até 350 A. Para a faixa de 0 – 30 A utilizou-se um resistor de 100 ohms como carga (burden) e para a faixa de 30 – 350 A um resistor de 12 ohms.

Ensaio foram realizados em laboratório para calibrar e posteriormente minimizar o erro sistemático de medição.

Novo desenho do invólucro para acomodar os circuitos eletrônicos e magnéticos do sensor. A primeira versão do protótipo de invólucro não se mostrou adequada para a instalação por vara de manobras. Várias tentativas de fixação dos sensores em cabos de alta tensão resultaram, em sua maioria, na queda e danos no equipamento. Observou-se que mecanismo de abertura e fechamento do núcleo ferromagnético bipartido para enlaçar o cabo de alta tensão não funcionava de forma adequada. Um novo mecanismo foi concebido com a inclusão de adaptador mais robusto para vara de manobras. A Figura 3 apresenta o invólucro novo. Há um adaptador para vara de manobras, na forma de copo, que facilitou a fixação do módulo sensor (superior esquerdo) na linha de alta tensão. Testes de instalação em linha viva comprovaram a eficiência desse novo equipamento sem nenhum caso de queda e danos.



Figura 3. Invólucro

Sensor Tipo 2

Neste projeto foi desenvolvido um dispositivo eletrônico inovador para monitorar o estado de um elo fusível (aberto ou fechado) e o estágio de operação de uma chave fusível religadora. Neste último caso, em que existem 3 elos fusíveis por fase, o dispositivo tem a função de indicar por qual dos 3 elos a corrente elétrica está passando e, dessa forma, identificando quantos religamentos ainda estão disponíveis para a chave fusível religadora.

Para atingir tal objetivo o dispositivo utiliza 3 sensores de efeito Hall para avaliar o campo eletromagnético em 3 pontos diferentes. No caso de um elo fusível simples, apenas a medição do sensor intermediário interessa, enquanto no caso de uma chave fusível religadora as 3 medições são importantes, uma vez que elas são feitas em 3 pontos distintos do barramento superior de cobre que conecta os 3 elos fusíveis.

O dispositivo ainda é capaz de indicar a presença de tensão, mesmo quando a corrente passante é nula. Além disso, como os valores medidos são proporcionais à corrente passante, é possível obter uma estimativa da corrente passante. Contudo, é importante ressaltar que o dispositivo não possui função de realizar medições precisas, pois não foi projetado para essa finalidade.

O sistema eletrônico dos sensores tipo 2 ainda inclui as funcionalidades a seguir:

- Comunicação IoT LoRaWAN integrada:
 - Inclui um módulo LoRa Microchip RN2903A para operação no Brasil conforme regulamentação (módulo de rádio LoRa operando na faixa de frequências e potências homologadas pela ANATEL).
 - A placa eletrônica foi desenvolvida para trabalhar com duas opções de antenas: (i) Antena tipo “chip” tamanho “grão de arroz” soldada na placa; e (ii) Antena helicoidal, soldada na placa, de 10,7 mm, $\varnothing 10,2$ mm. Assim, dependendo do nível de sinal no local de instalação do dispositivo, poderá ser selecionado um ou outro tipo de antena, ressaltando que a antena tipo “chip” tamanho “grão de arroz” é a de menor potência e a antena helicoidal é a de maior potência e, conseqüentemente, oferece maior alcance (a escolha do tipo de antena deve ser feita no momento da montagem da placa).
- Operação com fonte própria (mini painel solar e bateria recarregável):
 - Sistema para carregamento e operação com uma Bateria 18650 Li-Ion recarregável e um mini painel solar de 0,5 W. Esta característica permitirá que o dispositivo tenha a bateria recarregada ao longo do dia, possuindo ciclo de carga e descarga capaz de manter seu funcionamento por 24 horas ininterruptamente.
 - Para realizar a gestão do consumo energético de toda a placa eletrônica, foi incluído um transistor NPN que, comandado pelo microcontrolador, realizará um corte da terra de forma periódica e, desta forma, reduzir a potência demandada por todos os componentes associados ao sinal GND chaveado, aumentando a autonomia de operação quando for necessário operar sem alimentação externa e unicamente com a bateria de lítio indicada anteriormente.

Foi utilizada uma caixa plástica Patola PBL-120 para acomodar a placa eletrônica e o mini painel solar. A fim de permitir a instalação do dispositivo em um elo fusível ou chave fusível religadora, foi concebido um suporte no qual a caixa Patola é parafusada e que se acomoda sobre a chave fusível, envolvendo o barramento superior de cobre. Esse suporte é composto de 6 peças parafusadas entre si e pode ser fabricada por meio de impressoras 3D ou corte a laser de chapas de poliuretano. O suporte ainda possui um furo para encaixe de uma vara de manobra e um buraco para acomodar um ímã de neodímio, que é bastante potente para garantir a fixação do conjunto sobre a chave fusível. A Figura 4 exibe a montagem final do sensor tipo 2 pronto para instalação.

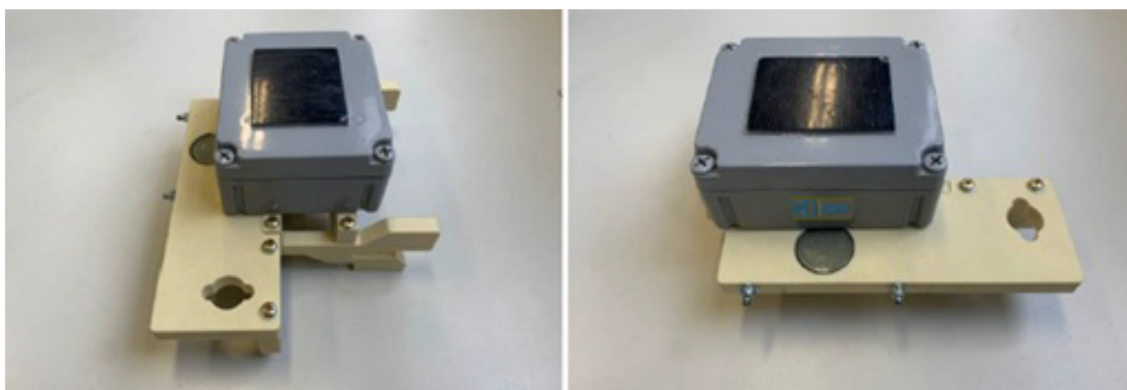


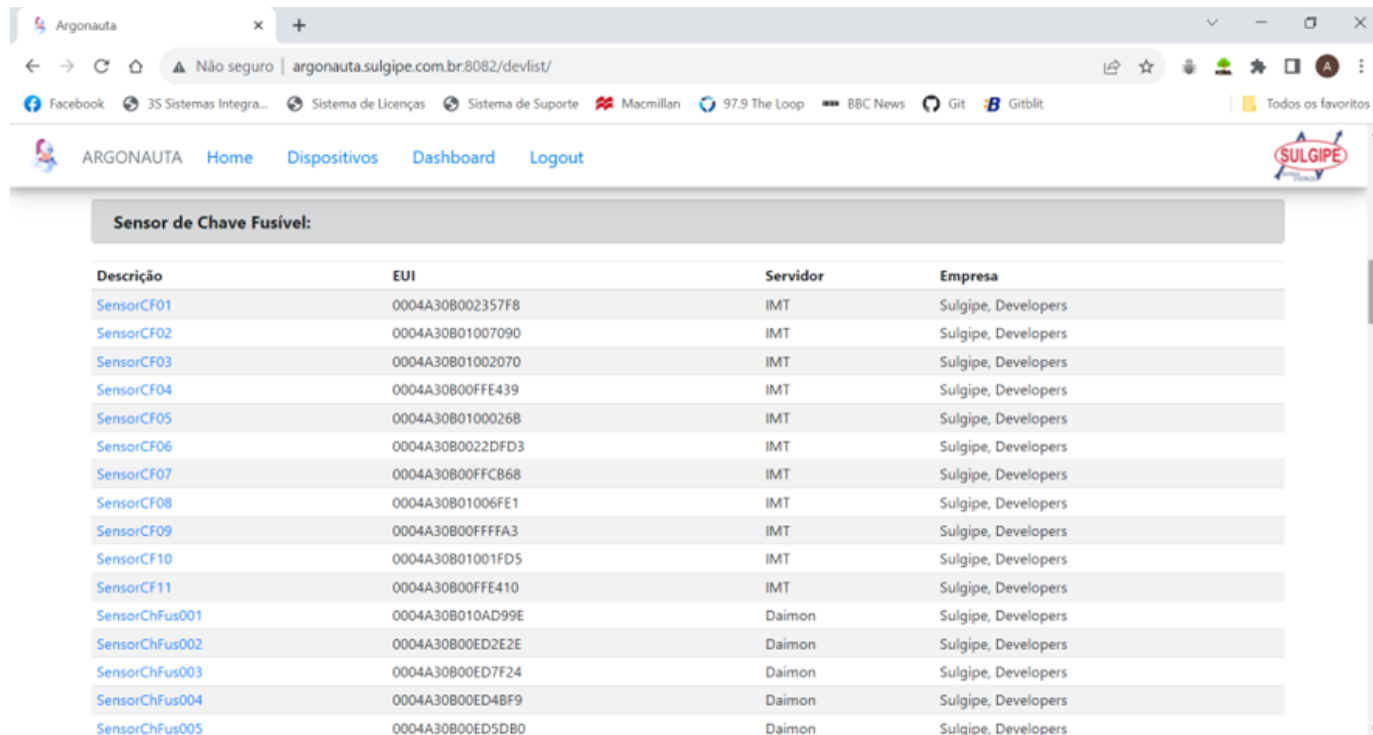
Figura 4. Montagem final do sensor tipo 2

Aplicativo Web Argonauta

O Argonauta é o aplicativo web que permite visualizar os dispositivos e os gateways registrados no sistema de comunicação LoRaWAN, bem como visualizar seus dados na forma de gráficos e tabelas. Adicionalmente, o Argonauta também possui um dashboard para visualização dos dados em tempo real. O Arg-

onauta pode ser acessado de um navegador utilizando o endereço <http://argonauta.sulgipe.com.br:8082>. Para acessar todas as suas funcionalidades, é preciso informar um usuário e uma senha. Após acessar o sistema, é exibida uma tela com a lista de dispositivos cadastrados. Como pode ser visto na Figura 5, o Argonauta exibe listas de dispositivos.

O Argonauta foi desenvolvido para ser bastante flexível. Em função de sua arquitetura, pode-se facilmente agregar qualquer tipo de dispositivo e recuperar suas informações, via REST API, de qualquer servidor de rede. Além disso, o Argonauta possui um controle de usuários por grupo, que permite exibir apenas um determinado grupo de dispositivos para um determinado grupo de usuários.



Descrição	EUI	Servidor	Empresa
SensorCF01	0004A30B002357F8	IMT	Sulgipe, Developers
SensorCF02	0004A30B01007090	IMT	Sulgipe, Developers
SensorCF03	0004A30B01002070	IMT	Sulgipe, Developers
SensorCF04	0004A30B00FFE439	IMT	Sulgipe, Developers
SensorCF05	0004A30B0100026B	IMT	Sulgipe, Developers
SensorCF06	0004A30B0022DFD3	IMT	Sulgipe, Developers
SensorCF07	0004A30B00FFCB68	IMT	Sulgipe, Developers
SensorCF08	0004A30B01006FE1	IMT	Sulgipe, Developers
SensorCF09	0004A30B00FFFA3	IMT	Sulgipe, Developers
SensorCF10	0004A30B01001FD5	IMT	Sulgipe, Developers
SensorCF11	0004A30B00FFE410	IMT	Sulgipe, Developers
SensorChFus001	0004A30B010AD99E	Daimon	Sulgipe, Developers
SensorChFus002	0004A30B00ED2E2E	Daimon	Sulgipe, Developers
SensorChFus003	0004A30B00ED7F24	Daimon	Sulgipe, Developers
SensorChFus004	0004A30B00ED4BF9	Daimon	Sulgipe, Developers
SensorChFus005	0004A30B00ED5DB0	Daimon	Sulgipe, Developers

Figura 5. Tela de lista de dispositivos do Argonauta

Quando são exibidos os dados de um dispositivo, a lista de dispositivos permanece na lateral, de forma compacta, dispensando o retorno à lista de dispositivos para selecionar outro para visualização. Por exemplo, ao clicar em SensorCF03 ou qualquer outro sensor de chave fusível, exibe-se uma tela contendo um conjunto de gráficos (ver Figura 6). O primeiro conjunto de gráficos exibe a corrente medida pelo sensor, sendo possível realizar um filtro para um período menor utilizando o calendário ou o gráfico menor localizado abaixo do gráfico principal.

A tela de exibição dos sensores de chave fusível também apresenta um conjunto de tabelas. A primeira tabela exibe as leituras realizadas pelo sensor de corrente, o estágio de operação da chave fusível religadora e a corrente em A, estes últimos sendo calculados pelo Argonauta a partir das leituras enviadas pelo sensor (ver Figura 7).

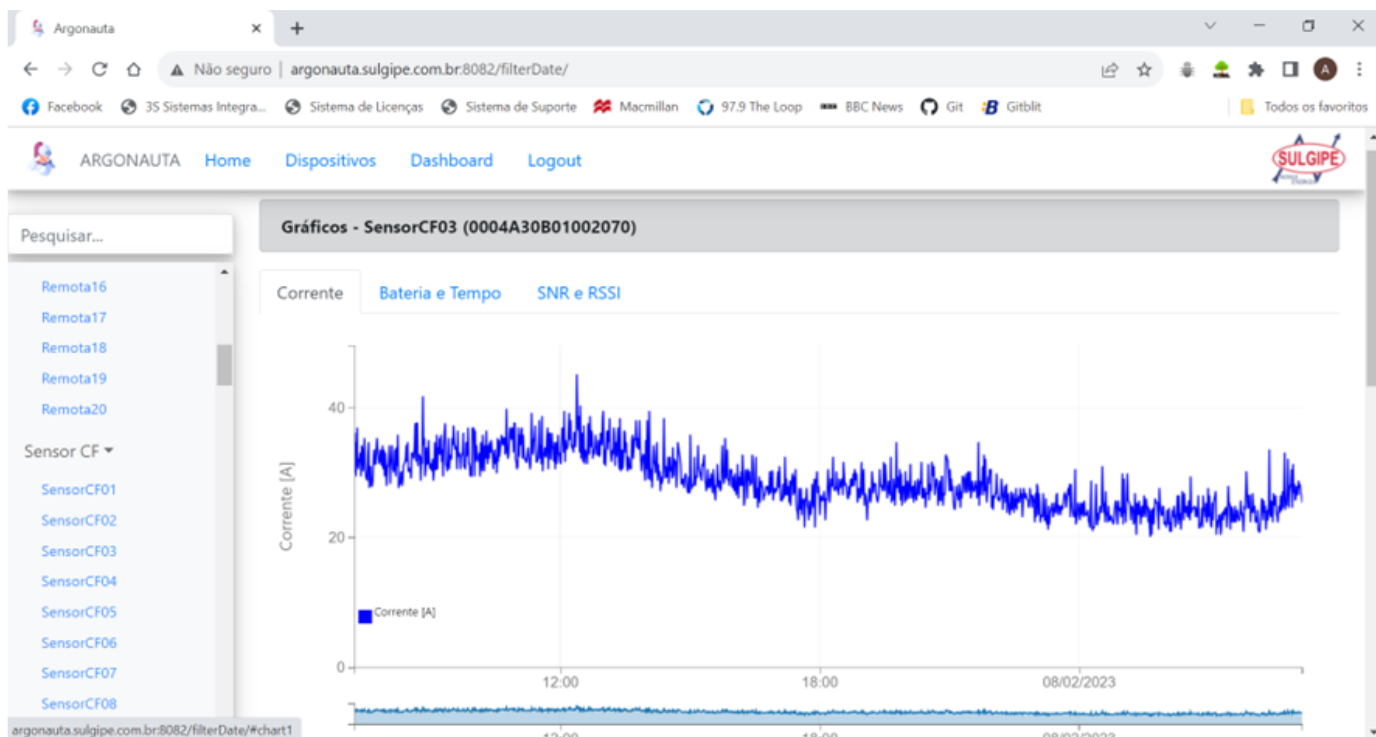


Figura 6. Corrente medida pelo sensor de chave fusível SensorCF03

Tabelas de dados - SensorCF03 (0004A30B01002070)

Data/Horário	Leitura 1	Leitura 2	Leitura 3	Estágio	Corrente [A]
08/02/2023 05:09:51	84	88	44	1	25,3
08/02/2023 05:08:53	87	90	59	1	26,4
08/02/2023 05:07:55	88	93	49	1	26,8
08/02/2023 05:06:51	92	87	48	1	28,3
08/02/2023 05:05:59	90	91	46	1	27,5
08/02/2023 05:04:55	93	85	44	1	28,7
08/02/2023 05:04:04	87	90	47	1	26,4
08/02/2023 05:03:06	89	87	45	1	27,2
08/02/2023 05:02:08	91	95	46	1	27,9
08/02/2023 05:01:10	86	93	42	1	26,0
08/02/2023 05:00:12	85	87	48	1	25,7

Figura 7. Tela de exibição das tabelas de dados do SensorCF03

Vale lembrar que o Argonauta também pode ser acessado a partir de um navegador de celular, adaptando seu conteúdo à tela menor.

Aplicativo Mobile

Um aplicativo mobile foi desenvolvido para facilitar o cadastro dos sensores utilizados no momento da instalação, uma vez que é preciso associar cada sensor a uma chave fusível. Com o celular na mão no local da instalação do sensor, o aplicativo lista as chaves fusíveis existentes nas proximidades (até 100 m), as

quais também podem ser visualizadas em um mapa, juntamente com a localização do usuário. O usuário pode, então, selecionar a chave na qual será instalado o sensor e dar início ao cadastramento.

Os sensores dos tipos 1 e 2 requerem informações ligeiramente diferentes, mas em ambos os casos, o processo de inicia com a escolha do tipo de sensor a ser cadastrado e a leitura do QR Code impresso em uma etiqueta colada no sensor. No caso do sensor do tipo 1, é preciso selecionar a fase na qual será instalado e indicar se é um sensor mestre ou escravo. No caso de haver indicação de que o sensor é escravo, é preciso selecionar qual é o seu mestre. Já no caso do sensor do tipo 2, basta indicar a fase na qual será instalado depois da leitura de seu QR Code. A Figura 8 exibe algumas telas do aplicativo. Na primeira visualiza-se o mapa com a indicação atual do usuário e a existência de uma chave próxima. A segunda e terceira telas exibem a interface de cadastramento dos sensores do tipo 1 e 2, respectivamente, após a leitura de seus respectivos códigos QR. Na sequência, a Figura 9 exibe 3 chaves fusíveis religadoras após a instalação de 3 sensores do tipo 2.

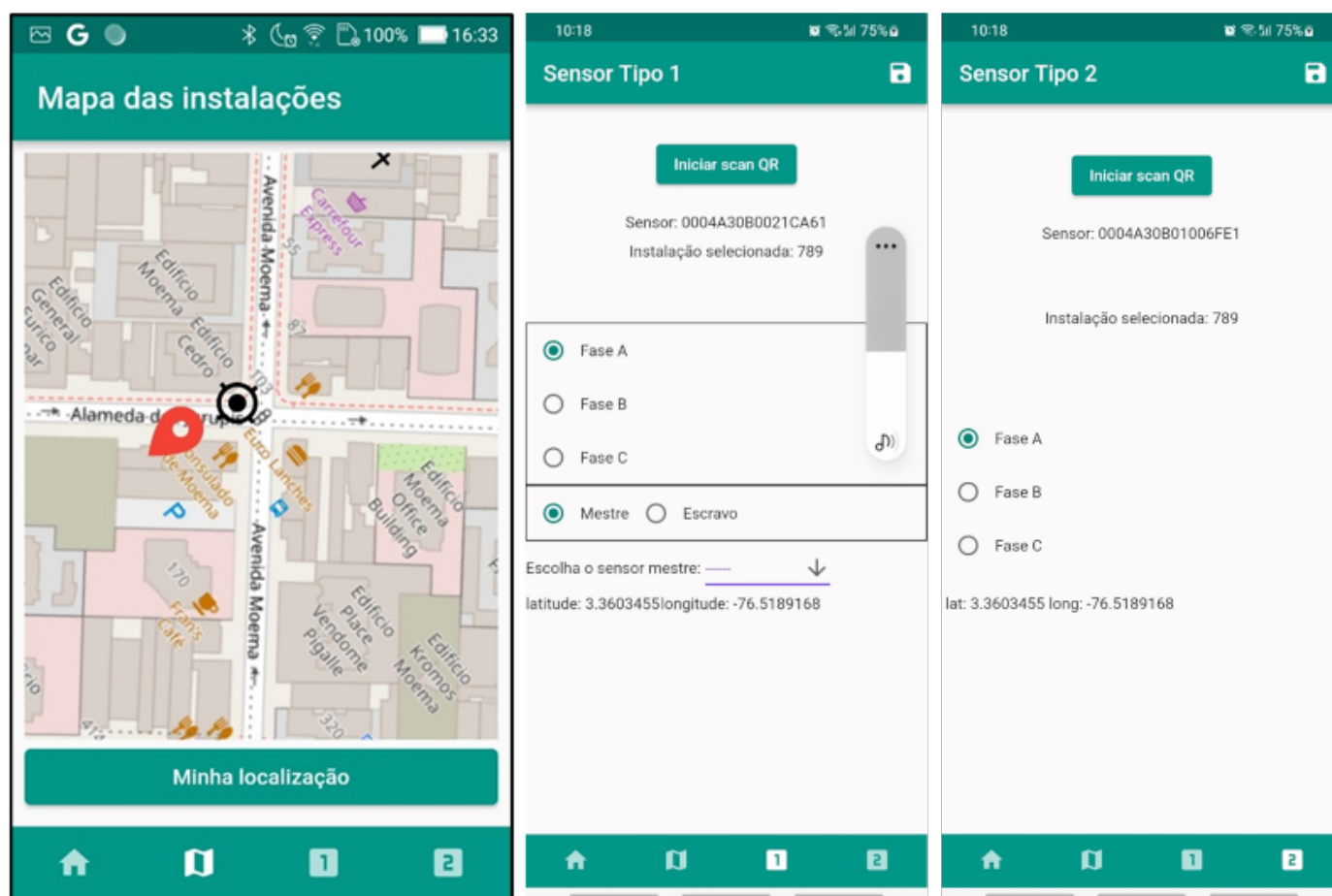


Figura 8. Telas do aplicativo mobile desenvolvido



Figura 9. Sensores tipo 2 instalados em chaves fusíveis religadoras

3. Conclusão

Este trabalho apresentou os resultados do projeto de P&D PD-00046-0014/2018, cujo produto foi um sistema inovador para monitoramento de sensores de chaves fusíveis, chaves fusíveis religadoras e trechos de rede MT. O produto desenvolvido tem aplicação direta em qualquer distribuidora de energia do Brasil e ainda tem potencial de melhorar a percepção do DEC e do FEC vistos pelo consumidor uma vez que permitirá à Sulgipe determinar os locais prováveis do defeito com mais rapidez, bem como atuar no rearme das chaves fusíveis religadoras que estiverem operando nos estágios 2 e 3 assim que isso acontecer. Adicionalmente, vislumbra-se ainda que, com o monitoramento das chaves fusíveis religadoras, a Sulgipe tenha condições de melhorar o atendimento ao consumidor em processos de ressarcimento de danos elétricos, uma vez que os eventos que passam a ser identificados e registrados, compõem uma fonte de informação importante na análise desses processos.

4. Referências bibliográficas

Guilherme Dias, “Gestão de Operações de Negócios Business Operations Management (BOM)”, MBA Executivo em Gestão Estratégica e Econômica de Negócios, Fundação Getúlio Vargas FGV, 2019.

John Elkington, "Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line on the 21st Century Business", Oxford Press.

Ferreira, R. "Aplicação dos Princípios e Ferramentas da Produção Enxuta (*lean*) Almojarifado de uma Empresa do Setor de Óleo e Gás", Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, agosto de 2015.

RAGHAVAN, V.; YOON, S.; SRIHARI, K. "Lean transformation in a high mix low volume electronics assembly environment", International Journal of Lean Six Sigma, Vol. 5, n. 4, pp. 342-360, 2014.

<https://hbrbr.uol.com.br/criacao-de-valor-compartilhado/>.

"Wirnet Station", Disponível em: <<https://www.kerlink.com/product/wirnet-station/>>. Acesso em: 10 janeiro 2023.

"Yagi Array Antenna", Disponível em: <<https://arseletronica.com.br/solucoes/antena-yagi-array-900mhz/>>. Acesso em: 10 janeiro 2023.