

INDICAÇÃO DE FALTAS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO REDE DE COMUNICAÇÃO LORAWAN

FAULT INDICATION IN ELECTRIC POWER DISTRIBUTION USING LORAWAN COMMUNICATION NETWORK

INDICACIÓN DE FALLAS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO RED DE COMUNICACIÓN DE LORAWAN

Flávio Garlet Reck¹
Filipe Gabriel Carloto²
Lucas Maziero³
Daniel Pinheiro Bernardon⁴
Mauricio Sperandio⁵

79

Resumo: Na ocorrência de uma falta na rede de distribuição, a concessionária só toma conhecimento do ocorrido quando os clientes entram em contato. A determinação do local onde a falta ocorreu é aproximada, a partir dos relatos recebidos. Este processo pode ser lento, afetando os índices de qualidade no fornecimento determinados pela ANEEL. Neste trabalho, é apresentada uma solução através de um dispositivo que envia um sinal por rede LoRa quando uma chave fusível é desarmada, indicando assim a concessionária de forma automática, em poucos segundos, que pode deslocar sua equipe com uma melhor agilidade, melhorando os índices de qualidade.

Palavras-chave: Indicação de falta. Rede de distribuição. LoRaWAN.

Abstract: When a fault occurs in a distribution network, the power distribution company only has the information that it happened when clients inform them. The fault location is approximated, based on consumers' reports. This process can be slow, affecting quality indexes determined by official regulations. In this paper, a solution is presented, using a device that sends a signal via LoRa network when a cutout fuse is opened, indicating the power distribution company in an automatic way, in few seconds, that can send the maintenance team with a better agility, improving the quality indexes.

Keywords: Fault indication. Electric power distribution network. LoRaWAN.

¹ Graduando em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Maria. E-mail: flagr97@gmail.com.

² Mestrando em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Maria. E-mail: filipecarlo@foxiot.com.br.

³ Mestre em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Maria. E-mail: lucas.mazie.ro@hotmail.com.

⁴ Doutor em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Maria. E-mail: dpbernardon@ufsm.br.

⁵ Doutor em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Maria. E-mail: mauricio.sperandio@ufsm.br.

Resumen: En caso de falla en la red de distribución, el concesionario solo se da cuenta de lo sucedido por quejas del consumidor. La determinación del lugar donde ocurrió la falla es aproximada, en base a los informes recibidos. Este proceso puede ser lento, afectando los índices de calidad de fornecimiento. En este trabajo se presenta una solución a través de un dispositivo que envía una señal vía red LoRa cuando se desarma un interruptor de fusible, indicando así al concesionario automáticamente, en segundos, que puede mover su equipo con mayor agilidad, mejorando los índices de calidad.

Palabras-clave: Indicación de fallas. Red de distribución de energía. LoRaWAN.

Submetido 10/10/2020

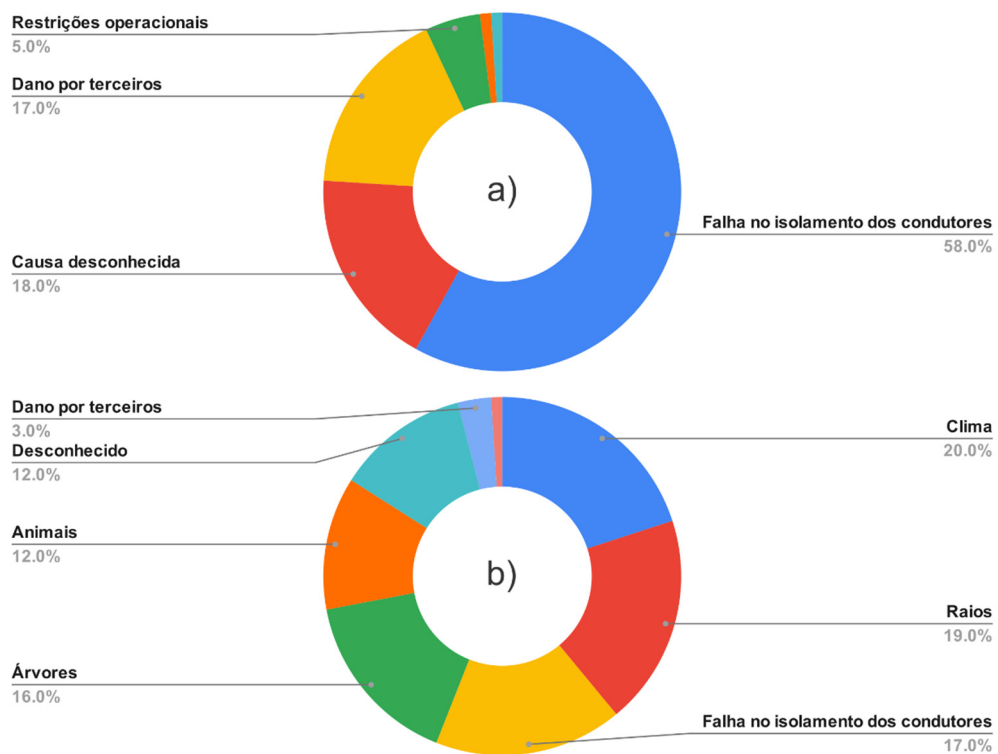
Aceito 21/11/2020

Publicado 15/12/2020

Faltas no Sistema de Distribuição

Os Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica (SDEE) estão constantemente sujeitos à diversas causas de faltas, dentre elas: condições climáticas, falhas nos equipamentos, acidentes de trânsito, etc. (Lee, 2004). Em estudo realizado no Reino Unido pela UK Power Networks, operadora das redes de distribuição local, e apresentado em (Plet, 2012), foram avaliados as causas de faltas no SDEE. Esses dados estão disponíveis na Figura 1.

Figura 1 - Causas de faltas no sistema de distribuição a) Subterrâneo e b) Aéreo .



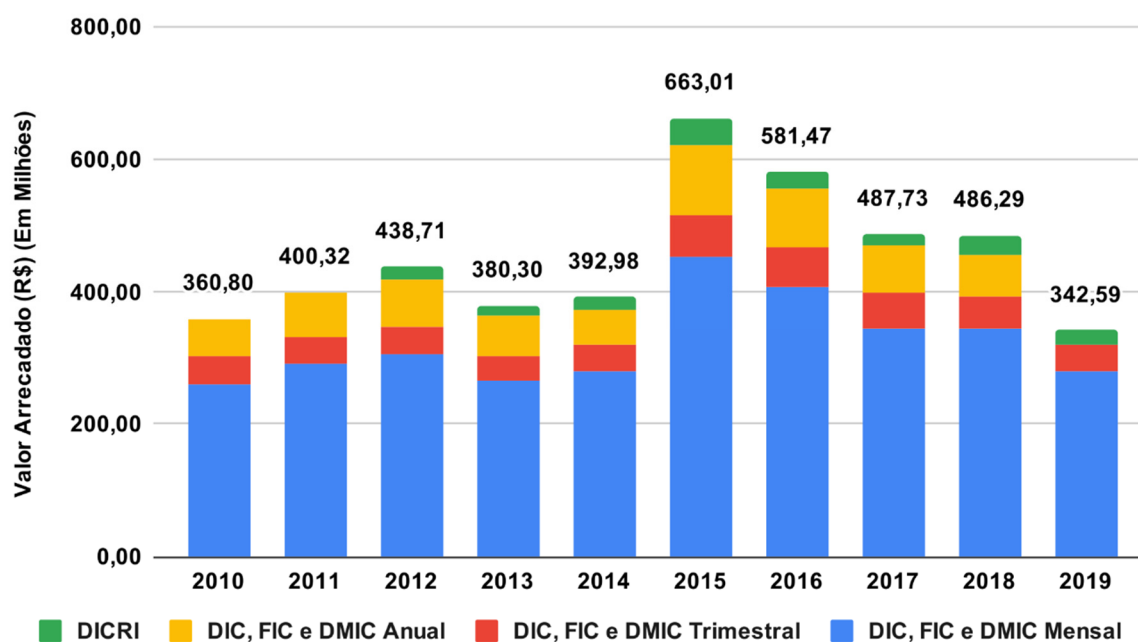
Fonte: Adaptado de (Plet, 2012).

Percebe-se que as causas de interrupções nos sistemas aéreos, que representam a maioria dos sistemas no Brasil, devido ao alto custo associado com uma rede subterrânea (Velasco, 2003), são distribuídas e variadas. Além do mais, verifica-se que grande parte dessas faltas apresente uma certa dificuldade de ser evitada. Nestes casos, a solução se dá através da realização de manutenção corretiva por parte da distribuidora de energia, através de uma equipe de manutenção para o local da falta.

Estas faltas acarretam muitas vezes na interrupção do fornecimento de energia elétrica para diversos consumidores. Como forma de regulamentação do setor, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) determina níveis para a Qualidade de Energia Elétrica (QEE). Estes indicadores são referentes principalmente à duração e frequência de interrupções, instantâneas e médias (ANEEL, 2018).

Desde 2010, a ANEEL disponibiliza dados de compensação por ultrapassagem dos índices de qualidade. Este valor já ultrapassou a marca de R\$ 4 Bi. Na Figura 2, está representada a evolução da compensação por ultrapassagem dos índices de qualidade no período de Janeiro de 2010 até Outubro de 2019 (ANEEL, 2019).

Figura 2 - Compensação por ultrapassagem de indicadores de continuidade para o período de 2010 a 2019.



Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2019).

Portanto, no desenvolvimento de um sistema de indicação de faltas, é possível melhorar os índices de QEE referentes à duração das interrupções no fornecimento, apresentando ganhos tanto para a concessionária como para o consumidor final. Em se

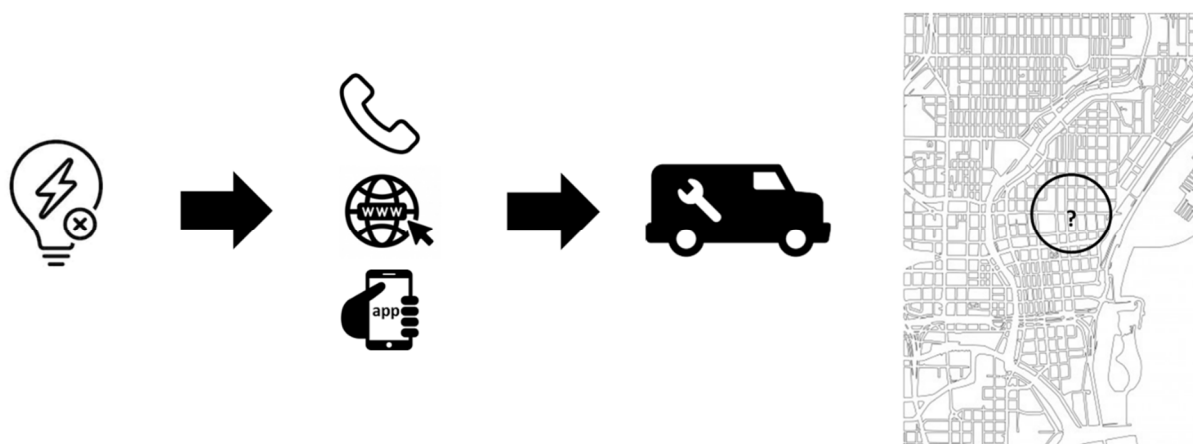
tratando da concessionária, a redução na interrupção do fornecimento acarreta em uma redução nas multas referentes à ultrapassagem. Já para o consumidor, é possível verificar um melhor fornecimento de energia, com a redução no tempo das interrupções.

Motivação

Atualmente, o processo de despacho da equipe de manutenção quando ocorre uma interrupção do fornecimento está representada na Figura 3. Quando o consumidor tem seu fornecimento de energia interrompido, ele deve recorrer aos meios de comunicação da concessionária para informar o ocorrido, seja por telefone, *site* ou aplicativo. Porém a concessionária costuma esperar a reclamação de diversos consumidores para despachar sua equipe de manutenção, tendo assim, uma localização aproximada do local da falta (Capelini, 2016). Cada etapa desse processo representa um tempo gasto, que inicia a contagem a partir da reclamação do primeiro consumidor, esse tempo é contabilizado pelo índice de duração de interrupção individual por unidade consumidora (DIC) e conseqüentemente, sendo possível a ultrapassagem dos limites impostos pela ANEEL, resultando em multas para a concessionária.

83

Figura 3 - Sequência de eventos quando uma interrupção no fornecimento ocorre.



Fonte: Autor.

Com isso, a motivação principal do trabalho é reduzir o tempo necessário para a concessionária despachar sua equipe de manutenção no caso de ocorrência de uma interrupção de serviço. Através de um sistema supervisorio, é possível verificar nos

momentos seguintes em que uma chave fusível abriu, assim como sua localização, permitindo assim um deslocamento correto da equipe de manutenção para o local exato, reduzindo a duração das interrupções, e conseqüentemente a multa por ultrapassagem de valores limites, definidos pela ANEEL.

Objetivos

Tem-se como objetivo geral o desenvolvimento de uma solução para a indicação de faltas no SDEE. Devido ao tamanho e ao número de usuários do sistema, a solução deve possibilitar a implementação:

- com grande área de cobertura;
- com baixo consumo de potência, para possibilitar o uso com baterias;
- de baixo custo.

Sistemas Indicadores de Faltas

Os sistemas indicadores de faltas no SDEE foram inicialmente verificados na Alemanha, em 1946. Inicialmente, esses dispositivos acionavam uma chave mecânica quando a corrente medida ultrapassava um valor definido. Assim, era necessário com que a equipe de manutenção acompanhasse o circuito, o ponto entre o último indicador com a chave mecânica ativa e o primeiro com a mesma desligada seria o ponto em que a falta ocorreu (Angerer, 2008).

O princípio de funcionamento de indicadores de falta está em aplicação até o presente momento. A Figura 4 apresenta um indicador de falta desenvolvido pela SEL - Schweitzer Engineering Laboratories. Nota-se que a principal diferença está na forma de identificação, que alterou-se de uma chave mecânica para um conjunto de lâmpadas. Porém seu preço de catálogo é de US\$ 212,00, o que inviabiliza a aplicação em grande escala numa cidade para uma solução completa de monitoramento. Também, ainda recorre na questão da dependência da informação do consumidor que ele se encontra sem energia na sua residência.

Figura 4 - Indicador de falta aéreo AR360



Fonte: (SEL, 2019).

Uma possível solução para a indicação de faltas é o monitoramento de chaves fusíveis. Assim que uma chave é aberta, um sinal é enviado para a concessionária, com isso, a equipe de manutenção tem acesso ao ramo de onde uma interrupção do serviço foi verificada, limitando o trecho que deve ser percorrido para localizar a falha. Antes, é necessário compreender o funcionamento das chaves fusíveis, afim de propor uma solução para o seu monitoramento.

85

Chaves Fusíveis

A proteção de sobrecorrentes é de fundamental importância, não sendo exceção no SDEE. Como exemplos de dispositivos usados para a proteção, podemos citar disjuntores, religadores e chaves fusíveis (Short, 2018).

As chaves fusíveis são dispositivos de proteção utilizados em linhas aéreas, em sua maioria, para fornecer proteção para transformadores de distribuição quando é verificado um surto de potência. Seu funcionamento se dá através de uma seção de cabo em espessura menor (fusível). Assim, quando é verificada uma sobrecorrente, o calor gerado pela mesma derrete o fusível, protegendo assim os dispositivos seguintes do circuito (Mollet, 1995).

Uma correta coordenação é recomendada para evitar a abertura incorreta de chaves, o que resulta na interrupção do fornecimento de mais consumidores, apresentando um desafio para a equipe de manutenção para localizar a chave aberta.

Plataforma Arduino

Com o objetivo do trabalho definido: monitoramento da abertura de chaves fusíveis no SDEE, o próximo passo do trabalho é a definição do microcontrolador utilizado para a realização desse monitoramento.

Conforme discutido nos objetivos do trabalho, é necessária uma solução simples, para manter um baixo custo de produção. Para isso, escolheu-se uma solução através do microcontrolador ATmega328p, em sua placa de desenvolvimento Arduino Pro Mini (Arduino, 2019).

Arduino é uma plataforma de código aberto com o intuito de prover soluções de fácil uso tanto para hardware como para software, usado na construção e programação de dispositivos eletrônicos. Com ele, é possível receber e mandar informações para uma grande variedade de dispositivos ou plataformas (Banzi, 2014).

Sistemas baseados com placas Arduino têm a possibilidade de ler entradas de sensores, cliques de botão, transformar sinais em saídas, etc. (Arduino, 2019). Sua estrutura é composta de duas partes distintas: a placa de desenvolvimento, ou seja, o *hardware* no qual os sensores/atuadores serão adicionados e também o Ambiente Integral de Desenvolvimento (IDE, do inglês *Integrated Development Environment*), que é o *software* utilizado para realizar a programação da placa. Essa programação dita como o *hardware* deve se comportar (Banzi, 2014). A programação através da IDE é via linguagem de programação Arduino, baseada na linguagem *Processing* (Banzi, 2014).

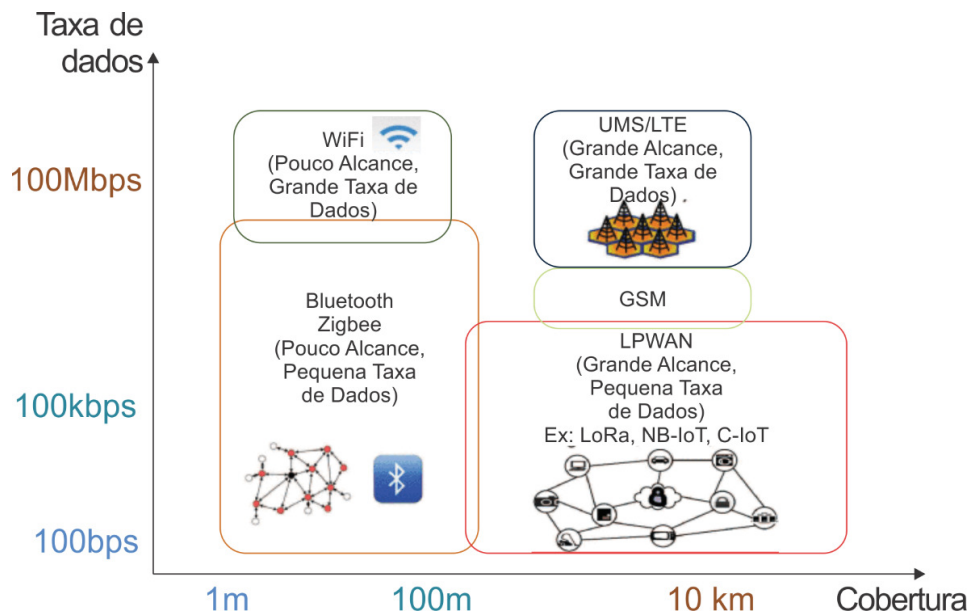
A placa escolhida para o desenvolvimento do trabalho é a versão Pro Mini, principalmente por seu tamanho reduzido e baixo consumo de potência. Ela conta com um microprocessador Atmega 328p, o mesmo presente em sua versão Uno. Também, é possível o uso de bibliotecas, que são extensões de funcionalidade para aplicações específicas (Arduino, 2019). Para a aplicação deste trabalho, será utilizada a biblioteca *Low-Power* (Rocketscream, 2019), que aplica técnicas de gerenciamento de energia, possibilitando o sistema a consumir micro-amperes quando hibernando. O uso dessa biblioteca será explicado durante o desenvolvimento prático do dispositivo.

Rede de Comunicação

A escolha da rede de comunicação a ser utilizada é de fundamental importância, devido principalmente a grande área coberta pelas redes de distribuição em cidades. Além do mais, também é necessário uma opção de baixo consumo de potência, para viabilizar o uso de baterias, e por último, não há a necessidade de uma alta taxa de transmissão de dados, pois só é necessário enviar um *bit* referente ao estado da chave e outro para identificar o funcionamento pleno do sistema.

Afim de realizar a comunicação entre o dispositivo indicador de faltas e uma central (nesse caso, um concentrador - *gateway*), uma rede de baixo consumo (LPWAN, do inglês *Low Power Wide Area Network*) foi escolhida. Em comparação com outras redes, como por exemplo *Zigbee*, *Wi-Fi* e *Bluetooth*, as redes LPWAN apresentam vantagens necessárias para o contexto desse trabalho (Muthanna, 2018). As redes LPWAN apresentam compromettimentos diferentes do que outras tecnologias sem fio tradicionais, principalmente referente à área de cobertura, tecnologias tradicionais se estendem geralmente questão de dezenas de metros nos melhores dos casos (Raza, 2017). Pelo tamanho que uma rede de distribuição de uma cidade pode apresentar, consistindo de vários transformadores de distribuição e chaves fusíveis em uma grande área de atuação, uma operação de longa distância se faz necessária. Soluções baseadas em redes de celular apresentam ótima cobertura em ambientes urbanos, porém seu consumo de potência é elevado. Como exemplo, temos o módulo SIM800L, que tem um consumo máximo de 2A quando em modo de transmissão (SIMCom, 2013), além de que é uma opção custosa, já que cada dispositivo deverá ter um cartão SIM com um plano de internet. Na Figura 5 é apresentado uma comparação entre as redes LPWAN e as tecnologias de comunicação tradicionais.

Figura 5 - Comparação de redes de comunicação.

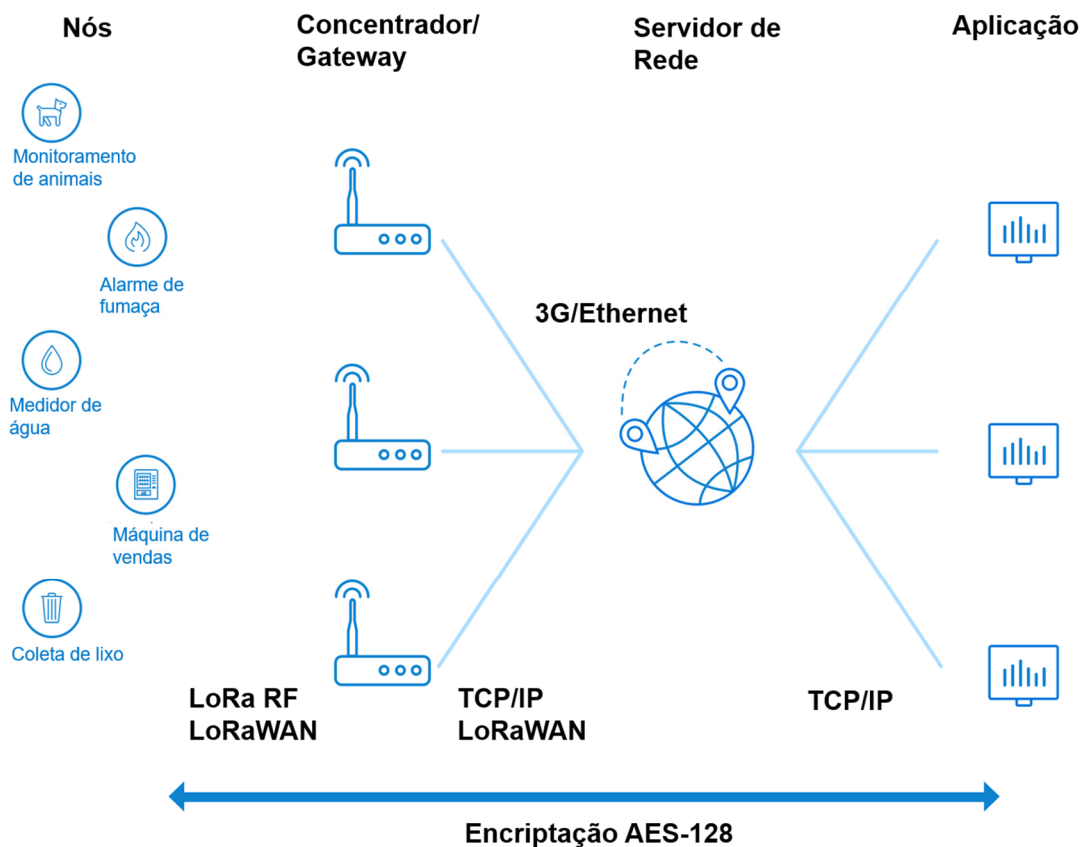


Fonte: Adaptado de (Xu, 2017)

Dentro do contexto das redes LPWAN, existem duas grandes tecnologias de rede: LoRa e Sigfox, ambas apresentam similaridades, porém com uma diferença fundamental em respeito da conexão do nó para a aplicação: o uso de uma rede LoRa permite uma conexão inteiramente proprietária, o que significa que o desenvolvedor possui completo acesso e responsabilidade pelo tráfego. Sigfox, por outro lado, utiliza protocolos pertencentes à empresa, e portanto, a conexão não é proprietária do desenvolvedor. Em um primeiro momento, esse fator não parece representar um grande problema em uma operação normal. Porém, vários relatos de usuários no fórum oficial (Sigfox, 2015) relatam uma falta de responsabilidade por parte da empresa, o que significa que o desenvolvedor não tem o total controle da solução desenvolvida, pelo tráfego da rede, dificultando no processo de manutenção (Anupriya, 2016). Por isso, uma rede LoRa com o protocolo LoRaWAN foi escolhida para o desenvolvimento deste trabalho. Um ponto que merece destaque é referente à diferença entre LoRa e LoRaWAN, o que costuma gerar equívocos. LoRa é a camada física de rádio frequência. Nela, um dos protocolos mais comumente utilizado é o LoRaWAN, que rege parâmetros de comunicação, encriptação, etc.

A organização de uma rede LoRa se dá através de uma topologia de estrela. Nessa estrutura, os nós se conectam com um servidor central (chamado de *gateway*) através do protocolo LoRaWAN. Os *gateways*, por sua vez, estão conectados a um servidor de rede através de uma rede não-LoRaWAN, geralmente *Wi-Fi*, *Ethernet*, 3G ou 4G (Adelantado, 2017). Todos os dados que são enviados através do protocolo LoRaWAN possuem encriptação AES-128, o que significa que apenas a aplicação que possui as chaves corretas consegue decifrar os dados. A arquitetura de uma rede LoRa com protocolo LoRaWAN está apresentada na Figura 6.

Figura 6 - Estrutura de uma rede LoRaWAN.



Fonte: Adaptado de (TTN, 2019).

- **Nós:** Em uma solução baseada em LoRaWAN, nós são os dispositivos finais da aplicação. São objetos que contam com um dispositivo de comunicação de baixo consumo (TTN,

2019). Estes dispositivos podem ser para as mais variadas aplicações, como por exemplo o monitoramento de animais, alarmes de incêndio, medidores de água, máquinas de vendas, verificação de coleta de lixo, etc;

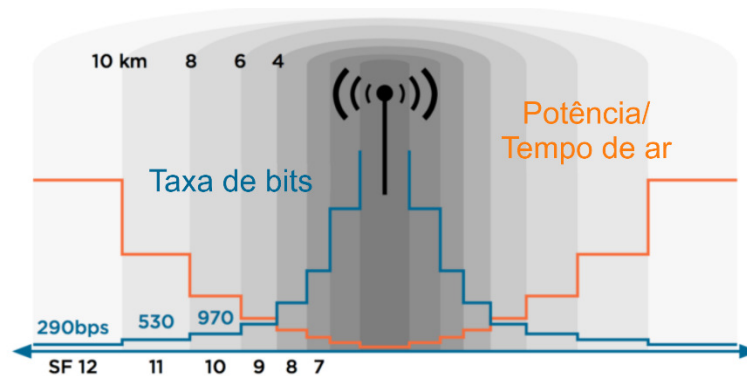
- **Concentradores:** São os dispositivos que realizam uma ponte entre os nós e o servidor de rede, recebendo os dados enviados pelos nós e os repassando para o servidor de rede, para futura-mente serem interpretados. Esses dispositivos, ao contrário dos nós, possuem comunicação com protocolos de altas taxas de transferência, como por exemplo *Wi-Fi*, *Ethernet* ou 4G para a comunicação com servidores de rede devido ao grande número de dispositivos que enviam informações para o mesmo (TTN, 2019). A presença de diversos concentradores em uma área traz uma melhor confiabilidade para o sistema, já que se mais de um concentrador receber o mesmo dado, o servidor de rede realiza a escolha do dado que foi recebido com o melhor sinal para ser decodificado. Um único concentrador pode atender milhares de dispositivos (TTN, 2019);
- **Servidor de rede:** Uma cobertura LoRa em uma cidade permite o desenvolvimento de várias soluções, o servidor de rede é o responsável por realizar a separação dos dados para as aplicações corretas. Por exemplo, repassar somente os dados de medidores específicos para a aplicação correta (TTN, 2019);
- **Aplicação:** Por fim, a aplicação é um *software* desenvolvido para decodificar o dado e tratá-lo como desejado, seja realizando o armazenamento, o exibindo em um gráfico ou até mesmo usando o dado para controlar algum dispositivo (TTN, 2019). No caso deste trabalho, a aplicação é responsável por identificar a localização do medidor que detectou a abertura de uma chave fusível.

A utilização de uma rede de comunicação utilizando LoRaWAN permite a operação com uma grande cobertura. Em ambientes abertos, verifica-se uma cobertura de até 12km (Vangelista, 2017), enquanto em ambientes urbanos, com apenas um *gateway*, já foi verificada uma operação de 2,2 km (Wixted, 2016). Com a presença de diversos *gateways* em uma cidade, é possível prover uma solução completa com cobertura plena em toda cidade.

Uma rede com o protocolo LoRaWAN permite a transmissão de dados entre 0,3 e 27kbps. Pode ser considerado uma pequena taxa, mas para o contexto deste trabalho, onde apenas alguns *bytes* necessitam ser enviados, é uma boa opção considerando a cobertura

oferecida. Outro parâmetro determinado pelo protocolo que tem impacto direto na área de cobertura é o Fator de Espalhamento (SF, do inglês *Spreading Factor*), que é um conjunto de parâmetros que especificam a potência transmitida, frequências secundárias e tempo de dado no ar. Existe um comprometimento direto entre SF e a área de cobertura. Quanto maior o SF, maior a área de transmissão e menor a taxa de bits transmitidos (Sornin, 2015). Valores de SF podem variar entre 7 e 12, representados na Figura 7.

Figura 7 - Fatores de Espalhamento LoRaWAN



Fonte: Adaptado de (Sornin, 2015).

Sistema Supervisório

Para realizar o monitoramento do estado das chaves fusíveis em uma rede de distribuição de uma cidade, é necessário desenvolver um sistema para que, de forma gráfica, a equipe de manutenção consiga ter acesso a localização do equipamento aberto. Para isso, diversos serviços são integrados para que uma plataforma seja desenvolvida. Primeiramente, o *software Telegraf* é responsável por repassar os dados enviados pelos dispositivos identificadores de falta para um banco de dados, que é gerido pelo *software InfluxDB*. Por fim, uma interface gráfica é desenvolvida através do *software Grafana*, responsável por acessar os dados do banco e identificar através de alertas visuais que uma chave fusível se encontra aberta.

- **Telegraf:** Um módulo para a implementação da coleta de dados de dispositivos, arquivos ou até outros bancos de dados, usado pra transferir seus dados para o banco de dados temporais *InfluxDB* (Kychkin, 2019);

- **InfluxDB:** O *InfluxDB* é uma solução de código aberto para bancos de dados, fornecendo o armazenamento de medidas automaticamente (Kychkin, 2019). Com ele, é possível gerenciar um banco de dados pois o mesmo insere o instante de tempo no qual o dado foi recebido pelo banco, sendo possível a interpretação em formato de gráficos.

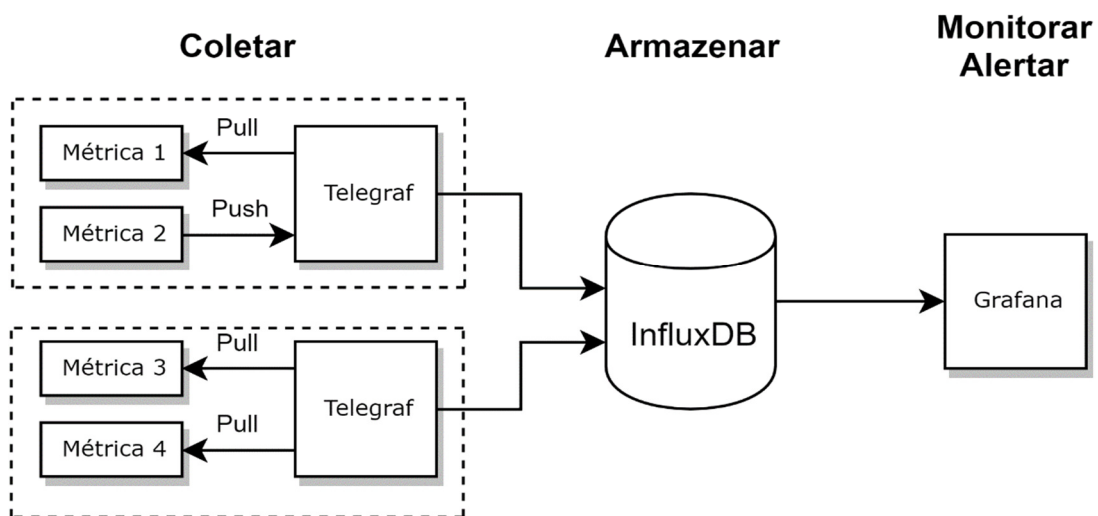
InfluxDB e *Telegraf* pertencem ao mesmo desenvolvedor, possuindo então uma compatibilidade plena. Ambos fazem parte de um conjunto de soluções para interpretação de dados.

- **Grafana:** *Grafana* é um servidor de internet que implementa a relação homem-máquina, gerando interface gráfica para a visualização de dados temporais, os dados exibidos podem ser operados, como por exemplo a realizações de cálculos, e até mesmo o uso de alarmes, com notificações por email, por exemplo (Kychkin, 2019).

O objetivo do uso do *Grafana* é a criação de uma página contendo um mapa com todos os pontos sendo monitorados, e no momento que uma chave fusível se encontrar aberta, o envio do dado de abertura provoca um alarme no sistema, indicando a localização do dispositivo.

Com isso, temos um resumo de todos os *softwares* utilizados no sistema supervisorio apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Resumo dos *softwares* utilizados.



Fonte: Adaptado de Bordier (2017).

Sistema completo

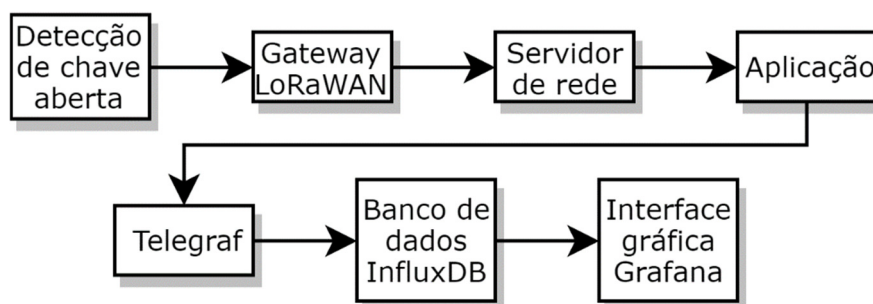
Com a definição dos materiais e métodos que serão utilizados, é possível resumir o funcionamento completo do sistema. No total, serão duas situações em que o dispositivo identificador de abertura de chave fusível enviará um dado:

- Quando a chave fusível se encontrar aberta (com repetição por um intervalo programado de envios até a chave ser fechada);
- Regularmente em um intervalo de tempo, como forma de aumentar a confiabilidade do sistema, assim, é possível certificar-se de que as baterias estão em pleno funcionamento.

Portanto, quando um dado é enviado, através de uma rede de comunicação LoRa, através do protocolo LoRaWAN, esse dado é enviado do nó até um *gateway*, que através do servidor de rede e aplicação, é decodificado e repassado pelo *Telegraf* para o *InfluxDB*. O dado é então armazenado em um banco de dados, e graficamente, um alerta é criado em uma interface gráfica através do *Grafana*. Assim, a equipe de manutenção tem agilidade e certeza da localização da chave fusível que foi aberta. Essa sequência de eventos é esquematizada na Figura 9.

93

Figura 9 - Esquema de eventos durante uma transmissão de dados.



Fonte: Autor.

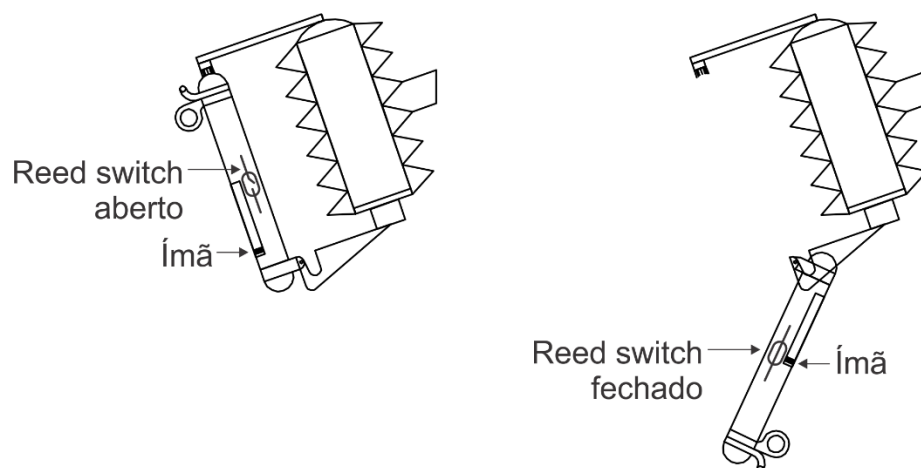
Detecção de chave fusível aberta

A detecção se dará com o auxílio de um sensor magnético (*reed switch*), que é uma chave controlada por um campo magnético aplicado na proximidade. É composto de 2 placas

metálicas encapsuladas em um recipiente hermeticamente selado. Uma das placas é fixa, invariante a mudanças no campo magnético presentes, já a outra é composta de material magnético. Portanto, quando um ímã é posicionado próximo de um *reed switch*, o contato que é normalmente aberto, se fecha.

A aplicação no monitoramento de abertura de chaves fusíveis se dará da seguinte maneira: em uma caixa, junto com a placa *Arduino*, estará um tubo com um ímã, no final deste tubo, um *reed switch* conectado em um pino do ADC do *Arduino*. Quando a chave fusível for aberta, pela gravidade o ímã percorrerá o tubo (este, fixo) até a extremidade que contém o *reed switch*, que provocará uma interrupção no *Arduino*, indicando para enviar um dado através do protocolo *LoRaWAN*. Os envios se repetirão a cada minuto até que a chave seja fechada novamente pela equipe de manutenção. Com isso, o ímã retornará para sua posição inicial, abrindo o circuito do *reed switch*. O *Arduino* entrará em modo de hibernação, e o processo se repetirá quando a chave fusível for aberta novamente. Uma representação gráfica é apresentada na Figura 10.

Figura 10 - Funcionamento do monitoramento pelo *reed switch*.



Fonte: Autor.

Resultados Práticos

Foi desenvolvido um protótipo de dispositivo identificador de abertura de chaves fusíveis, apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Protótipo desenvolvido.



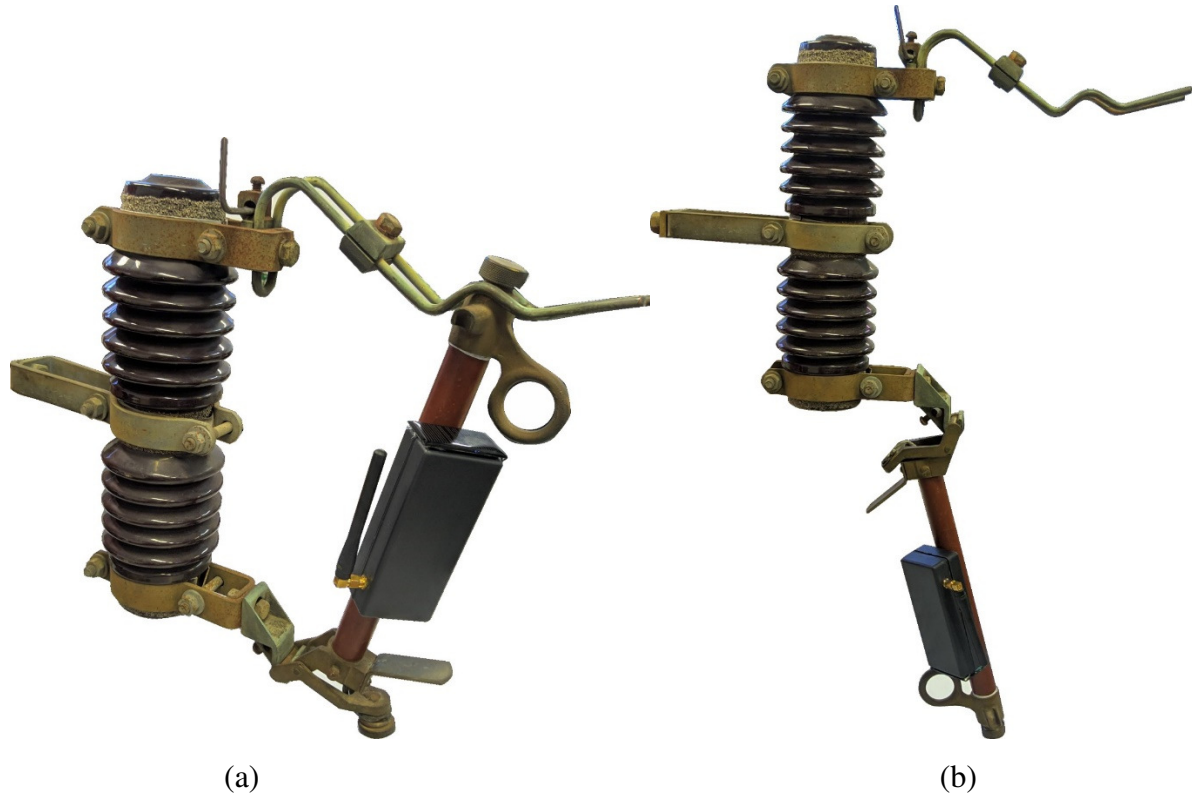
Fonte: Autor.

95

O dispositivo possui vedação para impedir a entrada de água da chuva, sua instalação em uma chave fusível se dá através de um lacre, abraçando o porta-fusível da chave, o tornando um dispositivo universal, compatível com praticamente qualquer tipo de chave fusível.

Na Figura 12, seu uso com uma chave fusível é apresentado, em (a) com a chave fusível fechada, e em (b) quando a chave fusível é aberta.

Figura 12 - Dispositivo implementado em uma chave fusível (a) fechada e (b) aberta

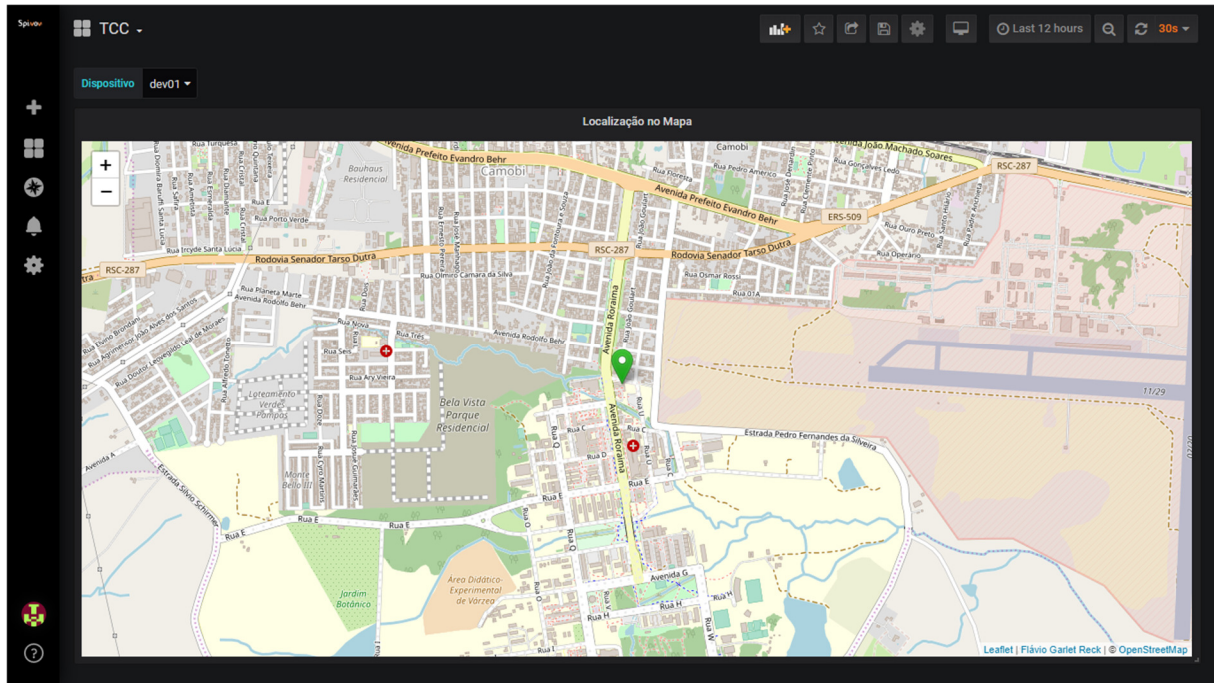


96

Fonte: Autor.

Um sistema supervisorio foi criado, e nele um único ponto foi registrado, como dispositivo de testes dentro da Universidade Federal de Santa Maria. Uma operação normal é verificada na Figura 13. Nela, temos a posição da chave cadastrada e o ícone verde representa que a mesma se encontra fechada.

Figura 13 - Sistema supervisório durante operação normal.

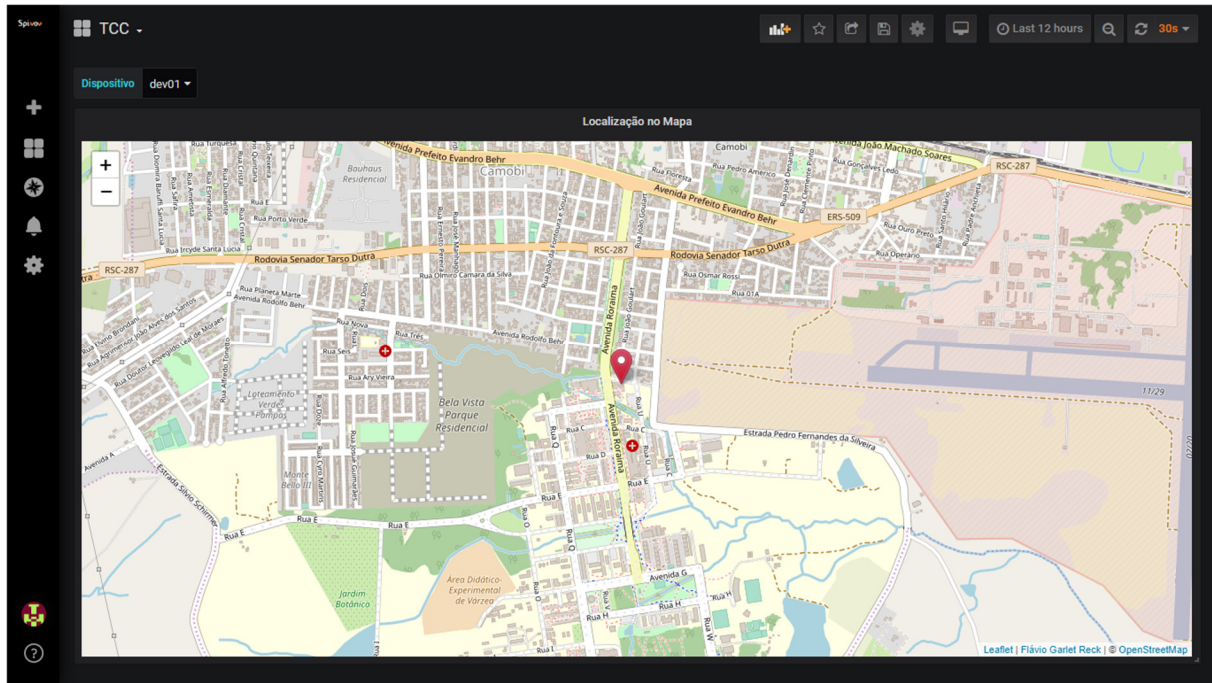


97

Fonte: Autor.

Porém, quando a chave fusível abre, um dado indicando o ocorrido é enviado, e o ícone referente a mesma tem sua cor alterada, para um ícone vermelho, indicando a abertura da chave. Essa situação é indicada na Figura 14. O mesmo dado é enviado a cada minuto para garantir a confiabilidade do sistema.

Figura 14 - Sistema supervisório com uma chave fusível aberta.



Fonte: Autor.

Conclusões

O crescimento dos sistemas de distribuição das cidades traz junto um problema relacionado com a abertura de chaves fusíveis presentes no mesmo. Quando uma falta é verificada e um consumidor tem seu fornecimento de energia interrompido, é necessário que os clientes afetados pela interrupção entrem em contato com a concessionária, informando o problema. Com várias ligações, a concessionária consegue estimar o ramal defeituoso, para enviar uma equipe de manutenção. Esse processo geralmente é demorado, podendo resultar em multas por não conformidade com índices de qualidade estipulados pela ANEEL.

Visando propor uma solução para este problema, foi apresentado um sistema para identificação de abertura de chaves fusíveis. Através de um sensor magnético, um microcontrolador *ATmega328p* identifica quando há uma interrupção pelo sensor, causada pela abertura de uma chave fusível, e através do módulo LoRa *RFM95*, envia um dado através de uma rede LoRaWAN, que apresenta grande cobertura e baixo consumo de potência.

Para o desenvolvimento de uma solução completa, também foi criada uma plataforma *online*, que atua como um sistema supervisorio, em que a localização de chaves fusíveis monitoradas são inseridas em um mapa. Quando um dado referente à abertura da chave é enviado pelo servidor de rede, a cor do ícone é alterada conforme o estado da chave, gerando um alerta visual em que a concessionária possui a localização de uma chave aberta, podendo enviar uma equipe de manutenção com maior agilidade.

Ao todo, foram utilizadas diversas plataformas, que durante o desenvolvimento deste trabalho, foram integradas. Dentre elas, a utilização de bibliotecas para Arduino, que gerenciam os envios por LoRa. O dado recebido e interpretado no servidor de rede da plataforma TTN é encaminhado para um banco de dados do *InfluxDB* através do *Telegraf*. Por fim, esse dado é acessado pelo *Grafana* e exibido para o usuário.

Desta maneira, conclui-se que os objetivos do trabalho foram alcançados. O sistema desenvolvido é funcional e robusto, sendo praticamente universal para qualquer modelo de chave fusível.

Referências

ADELANTADO, F. et al. **Understanding the limits of lorawan**. IEEE Communications magazine, IEEE, v. 55, n. 9, p. 34–40, 2017.

ANEEL. **Compensação pela Transgressão dos Limites de Continuidade**. 2019. <<https://www.aneel.gov.br/indicadores-de-compensacao-de-continuidade>>. Acesso em 07/11/2019.

ANEEL. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional–prodíst**. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2018.

ANGERER, FRANCIS M. "New developments in faulted circuit indicators help utilities reduce cost and improve service." 2008 IEEE Rural Electric Power Conference. IEEE, 2008.

ANUPRIYA, K., JERRIN YOMAS, AND TULASI DWARAKANATH. "Integrating ZigBee and Sub GHz devices for long range networks." 2016 Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET). IEEE, 2016.

ARDUINO. **Arduino**. 2019. <<https://arduino.cc>>. Acesso em 09/11/2019.

BANZI, MASSIMO, AND MICHAEL SHILOH. **Getting started with Arduino: the open source electronics prototyping platform.** Maker Media, Inc., 2014.

BORDIER, T. P. N. **Monitorer votre infra avec Telegraf, InfluxDB et Grafana.** 2017. <<https://blog.octo.com/monitorer-votre-infra-avec-telegraf-influxdb-et-grafana/>>. Acesso em 20/11/2019.

KYCHKIN, ALEKSEY, et al. "**Architecture of Compressor Equipment Monitoring and Control Cyber-Physical System Based on Influxdata Platform.**" 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). IEEE, 2019.

CAPELINI, RENATO M., et al. "**Methodology for fast fault location in overhead distribution networks by the application of temporary georeferenced fault indicators.**" 2016 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE). IEEE, 2016.

LEE, SEUNG-JAE, et al. "**An intelligent and efficient fault location and diagnosis scheme for radial distribution systems.**" IEEE transactions on power delivery 19.2 (2004): 524-532.

MOLLET, R. "**Overcurrent protection of DC power plant equipment using modern high performance current limiting fuses.**" Proceedings of INTELEC 95. 17th International Telecommunications Energy Conference. IEEE, 1995.

MUTHANNA, MOHAMMED SALEH ALI, et al. "**Development of intelligent street lighting services model based on LoRa technology.**" 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIconRus). IEEE, 2018.

PLET, CORNELIS ARIE. **Fault response of inverter-based distributed generation.** Diss. Imperial College London, 2012.

ROCKETSCREAM. **Low-Power.** 2019. <<https://github.com/rocketscream/Low-Power>>. Acesso em 09/11/2019.

SEL. **Indicador de Falta AutoRANGER Aereo.** 2019. <<https://selinc.com/pt/products/AR360/>>. Acesso em 09/11/2019.

SHORT, THOMAS ALLEN. **Electric power distribution handbook.** CRC press, 2014.

SIGFOX. **Sigfox QA platform.** 2015. <<https://ask.sigfox.com/index.html>>. Acesso em 10/11/2019.

SIMCom. **SIM800L datasheet.** 2013. <https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_SIM800L.pdf>. Acesso em 20/12/2019.

SORNIN, N., et al. "**LoRa specification 1.0 LoRa alliance standard specification.**" LoRa Alliance. (2015): 87.

TTN, T. T. N. **LoRaWAN Overview.** 2019. <<https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/>>. Acesso em 10/11/2019.

VANGELISTA, LORENZO. "**Frequency shift chirp modulation: The LoRa modulation.**" IEEE Signal Processing Letters 24.12 (2017): 1818-1821.

VELASCO, GIULIANA DEL NERO. **Arborização viária X sistemas de distribuição de energia elétrica: avaliação dos custos, estudo das podas e levantamento de problemas fitotécnicos.** Diss. Universidade de São Paulo, 2003.

WIXTED, A. J. et al. **Evaluation of lora and lorawan for wireless sensor networks.** In: IEEE. 2016 IEEE SENSORS. [S.l.], 2016. p. 1-3.

XU, JUN, et al. "**Narrowband internet of things: Evolutions, technologies, and open issues.**" IEEE Internet of Things Journal 5.3 (2017): 1449-1462.