

Medição de Energia Elétrica à Longa Distância

Lícia Naiara Ribeiro(IC)¹, Dr. Edvard Martins de Oliveira¹, Dr. Danilo Henrique Spadoti¹.

¹Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI

Palavras-chave: Áreas Remotas. Leitura Remota. LoRa. Medidores Inteligentes. Raspberry Pi.

Introdução

A rede elétrica desempenha um papel fundamental ao fornecer eletricidade para diversos setores, como industrial, comercial, agrícola, residencial e hospitalar. O fornecimento contínuo de energia elétrica é essencial para melhorar o conforto e a qualidade de vida das pessoas. No entanto, esse processo exige regulamentações rigorosas, seguidas tanto pelo governo quanto pelas concessionárias, para garantir o sucesso do abastecimento.

A Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) categoriza seus consumidores de energia de acordo com a tensão utilizada, refletindo na estrutura de tarifação. Consumidores de alta e média tensão são classificados como Grupo A, enquanto os de baixa tensão são classificados como Grupo B. Essa subdivisão garante a equidade na cobrança, baseada nas necessidades de cada consumidor (ANEEL, 2010).

Contudo, áreas rurais enfrentam desafios para o monitoramento do consumo devido à dificuldade de acesso, levando as concessionárias a utilizarem faturamento por estimativa (Luter,2024). A pesquisa propõe a utilização de tecnologias como LoRa (*Long Range*) e *Raspberry Pi* para resolver esses desafios, possibilitando medições remotas com maior precisão e menor custo (Makerhero, 2019).

O objetivo geral deste estudo é implementar um sistema de transmissão de dados para medição remota em áreas de difícil acesso, utilizando as tecnologias LoRa e *Raspberry Pi*, com foco na coleta e transmissão de dados de medidores de forma eficiente e segura. Os objetivos específicos incluem: (i) desenvolver um sistema de transmissão remoto eficaz, (ii) garantir a transmissão de dados confiáveis e (iii) viabilizar a coleta de dados em tempo real.

Metodologia

O desenvolvimento desta pesquisa concentrou-se na integração entre os dispositivos LoRa32 e os medidores NANSEN, com o objetivo de viabilizar a leitura remota de dados em áreas de difícil acesso.

“A medição com tecnologia eletromecânica, robusta e confiável, dá lugar à necessidade de melhorar a gestão pela análise da demanda, através de medidores inteligentes, capazes de dialogar com uma

rede que se moderniza em todos os níveis” (NANSEN, 2019).

Desde o início, houve uma cuidadosa revisão teórica que incluiu o estudo de redes inteligentes, medidores inteligentes e os protocolos de comunicação existentes, possibilitando uma compreensão sólida das tecnologias envolvidas. Como alternativa viável, o uso de drones pode ser considerado para facilitar a coleta de dados, ampliando o leque de soluções para áreas remotas.

A primeira tentativa de comunicação direta entre os dispositivos LoRa32 e os medidores NANSEN, entretanto, não foi bem-sucedida. Foi constatado que não era possível realizar essa integração de maneira imediata e eficaz. Essa constatação exigiu uma reavaliação da abordagem e a busca por alternativas viáveis para conectar esses sistemas.

Diante essa impossibilidade de integração direta, foi realizada novamente uma nova fase de estudos para investigar formas de viabilizar a comunicação entre os dispositivos. Como uma possível solução, decidiu-se então pela inclusão de uma *Raspberry Pi* Modelo 3B no projeto. Esse dispositivo foi escolhido por ser um processador versátil, de baixo custo e ampla aplicabilidade em projetos de comunicação. A partir dessa decisão, houve a seleção cuidadosa e aquisição dos materiais necessários para realizar novos testes de comunicação. A Fig.1 apresenta o módulo LoRa32 conectado com a *Raspberry Pi*. Na Fig.2 é apresentado o medidor inteligente e sua interface de conexão (NANSEN, 2017).

Figura 1. Comunicação da *Raspberry Pi* Model 3B e dispositivos LoRa



Fonte: Autoria Própria

Figura 2. Medidores NANSEN

Fonte: Autoria Própria

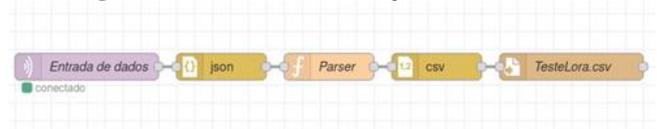
Após estabelecer a comunicação inicial entre os dispositivos LoRa32 e Raspberry Pi, foi necessário validar se a transmissão de dados estava ocorrendo corretamente e de forma estável. A comunicação entre os dispositivos foi verificada utilizando o analisador de espectro da *FPH-Rohde & Schwarz*. Foi possível monitorar em tempo real e verificar os sinais emitidos pelos dispositivos, garantindo que as frequências corretas estavam sendo utilizadas e que não havia interferências ou problemas na transmissão. Foram analisados os níveis de potência e a qualidade do sinal, o que permitiu avaliar a integração entre os dispositivos. Esse processo possibilitou a otimização da configuração do LoRa32, com ajustes em parâmetros como largura de banda e fator de espalhamento (*spreading factor*). Esse processo de calibração foi crucial para garantir uma comunicação eficiente, robusta e de longo alcance, aspectos essenciais para o sucesso do sistema proposto (Maldonado-Molina, 2021). A Fig. 3 apresenta a tela do analisador de espectro durante uma transmissão, destacando a frequência de transmissão do dispositivo LoRa em 915,2 MHz, com potência de pico de -20dBm e largura de banda a meia potência de 10KHz. A presença de apenas um sinal eletromagnético indica a ausência de sinais de interferência externos e os valores obtidos garantem a qualidade esperada nesse tipo de transmissão (Makerhero, 2019)

Figura 3. Transmissão LoRaWAN vista no analisador de espectro

Fonte: Autoria Própria

Apesar das conquistas obtidas, o projeto enfrentou um desafio crucial: a falta de acesso ao protocolo de leitura específico dos medidores NANSEN. Sem essa licença, não foi possível realizar a leitura precisa dos dados reais dos medidores, limitando os testes a simulações.

Assim, a comunicação com o medidor foi simulada, e a Fig. 4 apresenta uma configuração de fluxo de comunicação em Node-RED utilizada para integrar dados provenientes de um medidor de energia via protocolo LoRaWAN.

Figura 4. Fluxo de comunicação em Node-RED

Fonte: Autoria Própria

- **Entrada de Dados (LoRaWAN):** Este nó simula a recepção dos dados que deveriam ser enviados pelo medidor de energia via LoRaWAN. A falha na comunicação impede a captura real desses dados, portanto, um fluxo de dados simulados é utilizado.

- **JSON:** O nó converte os dados de entrada em formato JSON para que possam ser processados adequadamente no fluxo.

- **Parser (Função):** Este nó é responsável por processar os dados JSON, extraindo as informações relevantes, como leituras de energia (tensão, corrente, potência, etc.).

- **CSV:** O nó transforma os dados processados em formato CSV, facilitando o armazenamento ou envio para outro sistema.

- **TesteLora.csv:** Este nó armazena os dados processados em um arquivo CSV chamado "TesteLora.csv". Ele coleta os dados simulados e os organiza em formato tabular.

Logo, este protocolo pode garantir uma comunicação eficaz, efetiva e precisa entre os dispositivos, e seu resultado é apresentado na Fig. 5

Resultados e discussão

Inicialmente, para o embasamento teórico, foi realizada uma revisão de literatura, que forneceu um entendimento sobre redes inteligentes, medidores inteligentes e protocolos de comunicação (Bayindir,2023). Essa fase foi fundamental para definir as tecnologias mais adequadas ao projeto, incluindo a escolha do LoRa/LoRaWAN como solução possível de comunicação, dada sua capacidade de transmissão a longas distâncias e baixo consumo de energia.

Na sequência, após a aquisição dos dispositivos

LoRa32 e dos medidores NANSEN, iniciaram-se os testes de comunicação. Durante esses testes, constatou-se a impossibilidade de uma comunicação direta eficaz entre o LoRa32 e os medidores, o que exigiu uma reavaliação da abordagem inicial. Esse resultado foi significativo, pois direcionou o foco da pesquisa para a busca de alternativas viáveis para estabelecer a conexão entre os sistemas. A solução encontrada foi a inclusão de uma Raspberry Pi Modelo 3B como intermediária (Gagoni, 2024). Esse ajuste representou um grande avanço, permitindo a retomada dos testes de comunicação. Com a Raspberry Pi integrada ao sistema, tornou-se possível estabelecer a comunicação entre o dispositivo LoRa32 e o medidor NANSEN. Nesta etapa, foram realizadas várias transmissões entre os dispositivos, e foi possível verificar e monitorar, em tempo real, a qualidade dos sinais de rádio transmitidos entre o LoRa32 e a Raspberry Pi. Em seguida, ajustaram-se alguns parâmetros, como a largura de banda e o fator de espalhamento, para viabilizar a transmissão de dados em áreas de difícil acesso. Essa fase foi crucial para entender a transmissão LoRa e verificar que o sistema é estável e eficiente, consolidando, assim, a integração entre os dispositivos. Durante os testes de transmissão, mantinha-se o analisador de espectro ligado no modo de varredura, visualizando, portanto, que a comunicação estava ocorrendo corretamente em tempo real.

Apesar dos avanços obtidos, a pesquisa enfrentou um desafio técnico que limitou a continuidade dos testes: a falta de acesso ao protocolo de leitura específico dos medidores NANSEN. Sem a licença necessária, não foi possível obter leituras precisas dos dados dos medidores. Para contornar essa limitação, foi desenvolvida uma solução computacional baseada no Node-RED, na qual foi configurado um fluxo de dados simulados para testar o restante do sistema. A Fig.5 apresenta a estrutura em JSON, criada com base nos parâmetros reais de um medidor de energia trifásico. Este arquivo JSON contém informações detalhadas sobre o estado e as leituras do medidor, simulando o cenário de uma transmissão bem-sucedida. O arquivo JSON é gerado após os dados serem transmitidos via LoRaWAN.

Figura 5. Saída de dados do Node-RED

```
meter : msg.payload : Object
  object
    meter_id : "EM123456789"
    timestamp : "2024-10-20T14:30:00Z"
  readings : object
    voltage : object
      phase_1 : 230.5
      phase_2 : 229.8
      phase_3 : 231.2
    current : object
      phase_1 : 15.4
      phase_2 : 14.8
      phase_3 : 16
    power : object
      active_power : 10250.5
      reactive_power : 3050.2
      apparent_power : 10650.8
    power_factor : object
      phase_1 : 0.98
      phase_2 : 0.96
      phase_3 : 0.97
    meter_status : object
      battery : "Good"
      connectivity : "Online"
      error_code : null
```

Fonte: Autoria Própria

Conforme visualizado na Fig. 5, na saída do Node-RED, após a transmissão via LoRa, os dados da leitura são: a tensão do medidor está aproximadamente em torno de 230 V e a corrente em 15 A. A potência ativa 10.250,5 W, a potência reativa de ~ 3 kVAR, a potência aparente de ~10,5 kVA, com fator de potência em torno de 0,96.

Conclusões

Esta pesquisa teve como foco a implementação de um sistema de medição remota, utilizando tecnologias de comunicação de longo alcance e baixo consumo de energia, como LoRa e Raspberry Pi. O objetivo foi desenvolver uma solução eficaz para o monitoramento de redes elétricas em regiões de difícil acesso, onde a instalação de infraestruturas de comunicação tradicionais se mostra inviável. A proposta visou aprimorar a eficiência do sistema de medição, permitindo que os dados dos medidores inteligentes fossem coletados remotamente, eliminando a necessidade de deslocamentos frequentes de equipes para a leitura manual dos dados.

Ao longo do projeto, diversos desafios técnicos foram enfrentados, sendo o principal a falta de acesso ao protocolo de leitura específico dos medidores NANSEN. Sem a licença de software necessária, a obtenção de leituras precisas dos dados dos medidores foi comprometida. No entanto, a integração entre os dispositivos LoRa e a Raspberry Pi demonstrou que é

possível realizar a transmissão de dados via protocolo LoRaWAN.

Os resultados obtidos, embora limitados pela restrição ao protocolo, sugerem que, com o acesso adequado aos *softwares* necessários e a superação das barreiras de comunicação, a solução pode ser investigada como possível aplicação em diferentes contextos de redes elétricas em áreas remotas. Isso contribuiria, significativamente, para uma gestão mais eficiente e segura da distribuição de energia, reduzindo custos operacionais e melhorando o controle da rede.

Como continuidade deste projeto, é fundamental superar as limitações de software e buscar alternativas tecnológicas que ofereçam maior flexibilidade e acessibilidade. O desenvolvimento de soluções modulares podem aumentar a versatilidade do sistema, tornando-o mais adaptável a diferentes ambientes e exigências. Assim, este trabalho não apenas destaca o potencial do uso de tecnologias de baixo custo e longo alcance para a medição remota de redes elétricas, mas também abre caminho para a pesquisa e desenvolvimento contínuos nessa área, com a possibilidade de impacto positivo na gestão energética rural.

Agradecimentos

Agradeço ao Laboratório de Telecomunicações (LabTel) da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) por fornecer um ambiente de excelência e a infraestrutura necessária para o desenvolvimento deste trabalho. O suporte técnico e logístico oferecido foi crucial para o andamento da pesquisa. Minha gratidão especial vai aos meus orientadores, Dr. Edvard Martins de Oliveira e Dr. Danilo Henrique Spadoti, por sua dedicação e orientação ao longo de todo o processo. Foi a primeira vez que como aluna voluntária de IC, tive acesso ao dia-a-dia de um laboratório, e a possibilidade de acompanhar outros alunos em diferentes pesquisas. Agradeço também aos meus colegas Caio Tácito e Anderson Guerra de Almeida pela colaboração ativa e pelas discussões construtivas que enriqueceram o desenvolvimento da pesquisa. O trabalho em equipe proporcionou um aprendizado mútuo e foi fundamental para o sucesso do projeto.

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) por seu compromisso com a pesquisa científica de qualidade e por todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste projeto. Que este trabalho seja apenas o início de uma trajetória de descobertas no campo da pesquisa científica.

Referências

- CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. (2023). **Medidores Inteligentes**. <https://www.cemig.com.br/atendimento/medidores-inteligentes/>. Acesso em 09 out. 2023.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução Normativa nº 414**, de 9 de setembro de 2010.
- Luter L., "**Vantagens da medição remota de energia elétrica**". Blog Luter LED. Disponível em: <https://www.luterled.com.br/blog-medicao-remota-de-energia-eletrica>. Acesso em 15 fev. 2024.
- Makerhero. **Comunicação LoRa ponto-a-ponto com módulos ESP32 LoRa**. Disponível em: <https://www makerhero.com/blog/comunicacao-lora-ponto-a-ponto-com-modulos-esp32-lora/>. Acesso em: 23 nov. 2023.
- NANSEN S/A Instrumentos de Precisão, **Manual de Instruções NSX 324i**. Versão 01. setembro de 2017.
- Maldonado-Molina, M. M., Cuesta-Frau, D., & Cerdà-Bernad, D. (2021). **On the Use of UWB Indoor Positioning Systems in Real-Life Scenarios**. *Sensors*, 21(5), 1627. <https://doi.org/10.3390/s21051627> . Acesso em 9 de outubro de 2023.
- Bayindir, R., Colak, I., Fulli, G & Demirtas, K. (2016). **Smart grid Technologies and applications**. Vol 66, 16, 499-516. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.002> . Acesso em 09 out. 2023.
- Gagoni, R., **TECHNOBLOG. O que é o Raspberry Pi?**. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/o-que-e-o-raspberry-pi/>. Acesso em: 15 fev. 2024.