



Análise de Comunicação RF para Aplicações em IoT: Um Projeto Integrador Multidisciplinar

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4265

Brenown Nicácio Ferreira - brenown.nicacio@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Erika da Silva Cardoso - erika-silvacardoso@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Paulo Rogério Scalassara - prscalassara@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Wagner Endo - wendo.utfpr@gmail.com
UTFPR Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Lucas Prado Lone - lucas@aceno.com
Aceno

Tiago Prado Lone - tiago@aceno.com
Aceno

Resumo: Este trabalho tem como objetivo explorar e comparar tecnologias de Radiofrequência de comunicação para aplicações em Internet das Coisas (IoT), com ênfase na resolução de problemas reais. Além disso, busca-se desenvolver um projeto integrador multidisciplinar que proporcione uma abordagem prática e didática para a aplicação da teoria estudada na disciplina de transmissão de dados, utilizando microcontroladores e IoT.

Palavras-chave: Transmissão de dados, microcontroladores, tecnologias RF, Internet das coisas (IoT), Lora

ANÁLISE DE COMUNICAÇÃO RF PARA APLICAÇÕES EM IOT: UM PROJETO INTEGRADOR MULTIDISCIPLINAR

1 INTRODUÇÃO

As áreas de transmissão de dados e sistemas embarcados estão em ascensão há alguns anos, sendo muito utilizadas em diversas aplicações industriais diferentes (BOBKOV *et al*, 2020). Contudo, mesmo ambas as áreas serem utilizadas juntas em aplicações práticas, nas universidades, por exemplo, essas áreas são trabalhadas de forma separada, divididas em duas disciplinas: Transmissão de dados e Sistemas Microcontrolados. Dessa forma, fica evidente a necessidade de aulas práticas integrativas, que podem ser aplicadas na disciplina de Oficina de Integração, cujo objetivo é a implementação de protótipos de solução para as tecnologias estudadas em sala, em uma aplicação atual, obtendo uma avaliação concreta dos resultados obtidos.

Com o exposto anteriormente, visando diminuir esse descompasso que hoje a universidade tem em relação ao mercado de trabalho, o projeto tem como objetivo um estudo aprofundado da teoria e prática de tecnologias RF (radiofrequência) e suas aplicações em sistemas de IoT (Internet of Things), com ênfase na resolução de problemas práticos em aplicações reais.

Por meio de atividades práticas, a comparação entre diversas tecnologias de comunicação sem fio permite o desenvolvimento de habilidades práticas em projetos de comunicação RF, incluindo os princípios de funcionamento e dimensionamento de circuitos, simulação, testes de desempenho, confiabilidade, segurança, limitações e aplicações.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Devido ao constante desenvolvimento da IoT, as tecnologias sem fio estão se infiltrando ativamente no cotidiano (BOBKOV *et al*, 2020). Além dos dispositivos pessoais de IoT, na abordagem de Indústria 4.0, integra-se IoT ao processo de produção, com intensa automatização, integrando processos físicos e digitais através de redes de comunicação.

A comunicação RF é amplamente utilizada em aplicações de IoT, pois permite a comunicação sem fio entre dispositivos. Os módulos eletrônicos de comunicação sem fio via RF utilizam ondas de rádio para transmitir informações entre os dispositivos. A comunicação RF funciona através da modulação de uma onda portadora de rádio com um sinal de informação para formar um sinal modulado que é transmitido através do ar.

O sinal de informação é modulado na onda portadora de rádio através da técnica de modulação ASK (*Amplitude Shift Keying*). A amplitude da onda portadora é alterada em resposta ao sinal de dados de entrada no ASK, mantendo-se constantes a frequência e a continuidade da fase da onda portadora (MEDEIROS, 2016), mas com uma menor largura de banda em relação a outras técnicas de modulação, como a FSK (*Frequency Shift Keying*).

O sinal modulado é então transmitido através de uma antena, que converte o sinal elétrico em ondas eletromagnéticas e são propagadas pelo ar até a antena do módulo receptor. Esta, por sua vez, converte as ondas eletromagnéticas em um sinal elétrico, que é demodulado por um circuito sintonizado RF e um par de amplificadores operacionais para amplificar o sinal.

Os módulos eletrônicos de comunicação RF são geralmente de baixo custo e baixa potência, o que os tornam ideais para aplicações de IoT. No entanto, como a faixa de frequência RF 433 MHz, utilizada neste artigo, é uma faixa aberta, ela pode ser suscetível a interferências de outros dispositivos sem fio que operam na mesma frequência, afetando a qualidade da transmissão.

Uma das soluções de rede mais comuns para sistemas de IoT é a tecnologia de comunicação sem fio LoRa™ (*Long Range*). Comparado a outras tecnologias, LoRa™ é considerado uma melhor escolha para implantação em ambientes internos a longa distância, bem como sua eficiência energética e confiabilidade.

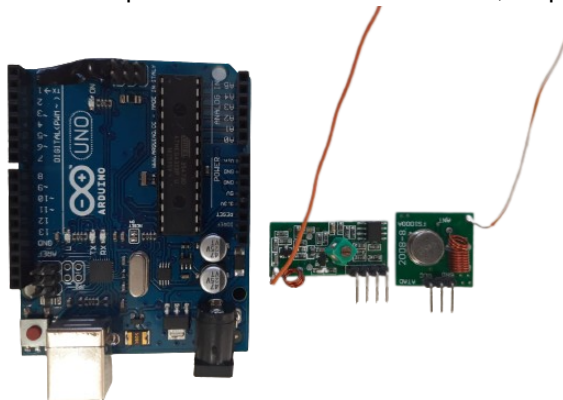
Os transceptores RFM95W apresentam a tecnologia LoRa™ e usam técnica de modulação que permite a transferência de informações de longo alcance com uma baixa taxa de transferência. LoRa™ é um tipo de LPWAN (*Low Power Wide Area Network*), um conjunto de tecnologias para redes de baixa potência que propõe comunicação de longo alcance (RF, 2019), porém comprometendo a taxa de dados.

O LoRa™ é uma tecnologia de camada física que utiliza técnicas de modulação *Chirp Spread Spectrum* (CSS) com códigos de correção de erros direta (FEC), permitindo a transmissão de dados com relação sinal/ruído extremamente baixa. O uso do CSS torna o LoRa™ robusto à interferência e ruído, fazendo com que o receptor receba a mensagem correta mesmo com uma relação sinal/ruído baixa (SARAIVA, 2017). A tecnologia permite também que vários dispositivos possam transmitir simultaneamente no mesmo canal sem interferência usando múltiplos fatores de espalhamento ortogonais diferentes (PETAÄJÄJÄRVI *et al*, 2016).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da pesquisa, foram utilizados Módulos Transmissor e Receptor RF 433 MHz e Arduino Uno, representados pela Figura 1.

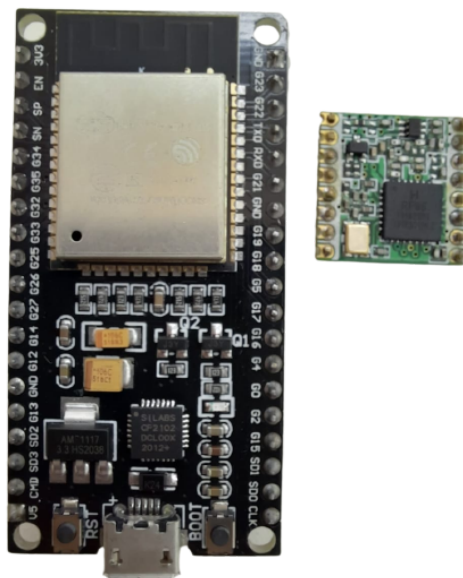
Figura 1 - Arduino UNO e Módulos Receptor e Transmissor RF 433MHz, respectivamente.



Fonte: De autoria própria.

A Figura 2 apresenta os módulos utilizados WiFi ESP32 Bluetooth e LoRa™ RFM95W 915 MHz.

Figura 2 - Módulo ESP32 e LoRa™ 915MHz, respectivamente.



Fonte: De autoria própria.

Para os primeiros testes, utilizaram dois Arduinos Uno conectados aos módulos Transmissor e Receptor RF 433 MHz. Após a montagem do circuito e desenvolvimento do *firmware*, foram iniciados os testes. Para melhorar o alcance, usou-se um fio de cobre de 17 cm de comprimento, instalado nos locais indicados nos módulos, com a posição vertical, de um quarto de onda, obtido a partir da Equação (1), sendo c é a velocidade da luz e F a frequência em Hertz (433).

$$\lambda = \frac{c}{F} \quad (1)$$

Com o objetivo de coletar dados de envio para fazer a comparação entre os sinais recebidos, o receptor foi posicionado em um local central do laboratório, enquanto o transmissor foi posicionado em diferentes locais e distâncias. Sendo alguns desses lugares posicionados com obstáculos físicos entre os módulos. A escolha dos locais foi feita com a intenção de formar uma circunferência, sendo o ponto central, o receptor.

O receptor foi programado com um *firmware* específico para receber dados com uma quantidade precisa de caracteres, sendo menos suscetível a receber dados desconhecidos. Um código foi criado para a aquisição dos dados, o qual envia mil sinais sequenciais com intervalos regulares de 0,2 segundos entre cada envio.

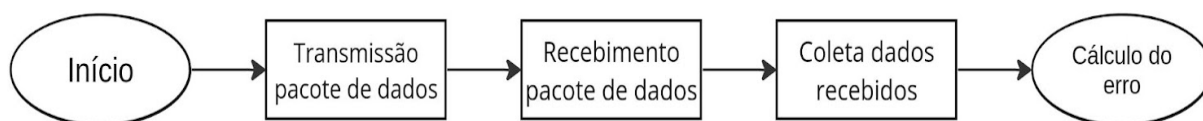
Com relação à aquisição dos dados, a fim de garantir uma quantidade suficiente de amostras, o processo de envio mencionado anteriormente foi repetido cinco vezes em cada local selecionado, totalizando o envio de 5000 amostras pelo transmissor.

O parâmetro selecionado para realizar a comparação foi o erro. Após definir os parâmetros de desempenho específicos, efetuou-se a análise comparativa dos dados brutos do sinal enviado e do sinal recebido, mensurando a diferença entre eles para obter o erro correspondente.

Para o módulo LoRa™ de 915 MHz, utilizou-se o ESP32 como microcontrolador. Como o LoRa™ é bidirecional, há a possibilidade de empregar dois módulos LoRa™ de 915 MHz para a comunicação: um configurado como transmissor e o outro como receptor. O firmware desenvolvido para os testes é semelhante ao firmware utilizado no Arduino, o que permite uma comparação mais precisa entre os dois módulos.

Com o objetivo de validar a comparação, os testes realizados com os módulos 433 MHz foram replicados nos testes com os módulos LoRa™, tanto em termos de configurações quanto em locais de aplicação. O fluxograma da Figura 3 apresenta as etapas de transmissão e recebimento dos dados para a análise dos resultados. As setas indicam o fluxo das informações e as conexões entre as etapas.

Figura 3 - Fluxograma de aquisição de dados.



Fonte: De autoria própria.

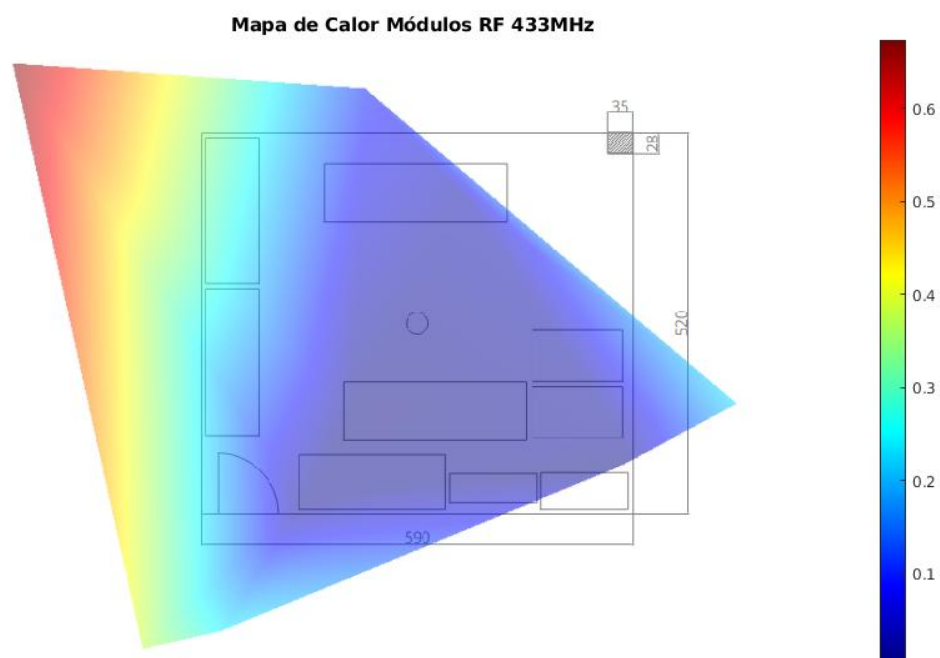
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o objetivo de simular condições semelhantes às aplicações do mundo real, foram realizados testes com interferências e obstáculos para ambos os módulos. Para criar interferência no módulo 433 MHz, utilizou-se um controle de portão eletrônico que opera na mesma frequência durante o envio dos sinais. Nesse teste, observa-se que o módulo 433 MHz utilizado apresentou alta suscetibilidade a interferências. Enquanto o controle remoto estava em uso, o receptor do módulo 433 MHz não recebia nenhum dado.

Para o módulo LoRa™ de 915 MHz, observou-se que as interferências criadas não tiveram um impacto tão significativo em comparação com o módulo de 433 MHz, indicando uma menor suscetibilidade a interferências externas. Essa característica do módulo de 915 MHz pode ser atribuída a várias razões, como a utilização de uma faixa de frequência menos congestionada ou uma melhor capacidade de lidar com interferências devido a melhorias no projeto do *hardware*.

Os testes foram realizados durante os meses de Janeiro a Março de 2023, sem adversidades, em dias ensolarados e de clima estável. Foram realizados testes em 11 locais distintos, abrangendo tanto ambientes internos quanto externos ao laboratório. Os dados obtidos são apresentados no mapa de calor nas Figuras 4 e 5.

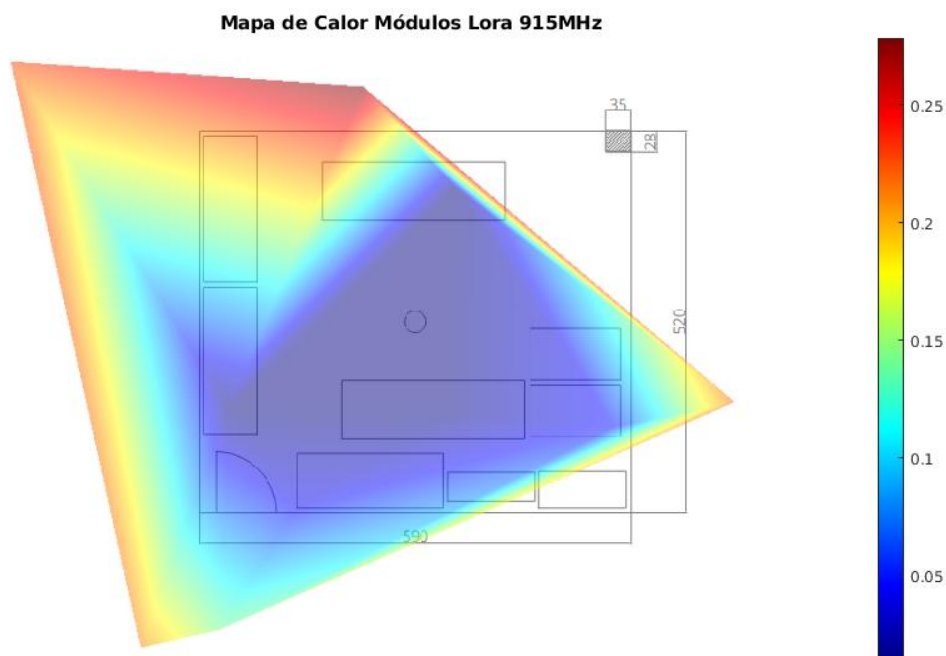
Figura 4 – Taxa de erro dos testes com módulos RF
433 MHz.



Fonte: De autoria própria.

Figura 5 – Taxa de erro dos testes com módulos

Lora™ 915 MHz .



Fonte: De autoria própria.

O mapa de calor utiliza uma grade de cores para indicar a taxa de erro dos sinais recebidos pelos módulos receptores. O mapa mostra que em locais próximos ao módulo receptor, ambos os protocolos apresentaram baixo índice de erro, com tons em azul escuro indicando valores mais baixos, sugerindo que o sinal recebido pelos módulos é mais forte dentro do Laboratório e é semelhante para ambos os módulos. No entanto, à medida que a distância da fonte aumenta, o desempenho do RF 433 MHz se deteriora significativamente, enquanto o Lora™ 915 MHz consegue manter um índice aceitável de erro. Isso pode ser observado pelos tons quentes em áreas distantes, exterior ao Laboratório.

Os resultados obtidos a partir do mapa de calor do RF 433 MHz mostraram que a maior taxa de erro ocorreu a uma distância de 27m, com um valor de 0,67. Em contraste, para a mesma distância, o mapa de calor do Lora™ 915 MHz indicou um erro de 0,22. Portanto, o mapa de calor sugere que, em longas distâncias, o Lora™ 915 MHz apresenta um desempenho superior em relação ao RF 433 MHz em termos de erro de recebimento de sinal.

No entanto, é crucial ressaltar que o módulo LoRa™ 915 MHz utilizado nos testes era uma versão de desenvolvimento, conectada por meio de jumpers. Assim, é possível aprimorar os resultados em trabalhos futuros por meio do desenvolvimento deste módulo em uma placa integrada ou considerando a substituição por um módulo comercial. Essas abordagens podem oferecer melhorias em termos de desempenho, impulsionando ainda

mais as possibilidades de aplicação do sistema LoRa™, especialmente no contexto de IoT.

5 CONCLUSÃO

Com base na análise comparativa realizada anteriormente, conclui-se que o módulo LoRa™ se destaca em vários aspectos, tornando-o a escolha ideal para aplicações IoT. Ele demonstra um desempenho superior tanto em comunicações de longa distância quanto em ambientes internos.

Embora o módulo de 433 MHz tenha uma cobertura de área menor e menor precisão em comparação ao LoRa™, pode ser uma opção viável para aplicações de curta distância, com poucas interferências e requisitos menos exigentes. Portanto, ao selecionar o módulo de transmissão adequado, é fundamental considerar os requisitos específicos da aplicação, como alcance desejado, ambiente de operação, nível de interferência e custo.

É importante ressaltar que o desenvolvimento desse projeto abrange diferentes áreas da engenharia, como microcontroladores, programação, transmissão de dados e eletrônica. Isso resulta em um projeto de aplicação multidisciplinar, que envolve a integração de conhecimentos e habilidades de diversas disciplinas técnicas, proporcionando aos estudantes uma oportunidade de aplicar seus conhecimentos em diferentes áreas e desenvolver habilidades essenciais para o trabalho em projetos complexos e interdisciplinares.

REFERÊNCIAS

BOBKOV, *et al.* **Study of LoRa Performance at 433 MHz and 868 MHz Bands Inside a Multistory Building.** 2020 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT), Moscow, Russia, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/MWENT47943.2020.9067427.

HOPE MICROELECTRONICS CO.,LTD. (2019). Datasheet do produto RFM95W/96W/98W. Disponível em: <https://www.hoperf.com/data/upload/portal/20190801/RFM95W-V2.0.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2023.

MEDEIROS, Júlio César Oliveira. **Princípios de Telecomunicações: Teoria e Prática.** 5. ed. São Paulo: Érica, 2016.

PETAÄJÄJÄRVI, J. *et al.* Evaluation of lora lpwan technology for remote health and wellbeing monitoring. **2016 10th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT)**, Worcester, MA, USA, v. 1, n. 1, p. 1–5, mar. 2016.

SARAIVA, L. **Projeto de hardware e software para dispositivos finais em uma rede LoRaWAN.** TCC(Bacharelado em Engenharia de Telecomunicações) - Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Santa Catarina, p.65. 2017.

ANALYSIS OF RF COMMUNICATION FOR IOT APPLICATIONS: A MULTIDISCIPLINARY INTEGRATIVE PROJECT

Abstract: *This work aims to explore and compare Radio Frequency (RF) communication technologies for Internet of Things (IoT) applications, with a focus on solving real-world problems. Additionally, it seeks to develop a multidisciplinary integrative project that provides a practical and didactic approach to applying the theory studied in the field of data transmission, using microcontrollers, and IoT.*

Keywords: *Data transmission, microcontrollers, RF technologies, Internet of Things (IoT), Lora.*