



# Comparando Tecnologias de Comunicação RF para Ambientes de IoT

## Comparing RF Communication Technologies for IoT Environments.

Brenown Nicacio Ferreira<sup>1</sup>, Érika da Silva Cardoso<sup>2</sup>, Paulo Rogério Scalassara<sup>3</sup>,  
Lucas Prado Lone<sup>4</sup>

### RESUMO

Atualmente, a necessidade crescente de conectar dispositivos à rede é notável. A obtenção de dados diversos tornou-se essencial para tomada de decisão em várias aplicações. Essa necessidade de conectar dispositivos é conhecida como Internet das Coisas (IoT). Este artigo explora e compara tecnologias de radiofrequência (RF) para aplicações na IoT, focando na resolução de desafios do mundo real. Foi destacado e comparado diversas tecnologias de comunicação RF, enfatizando vantagens, desafios e a capacidade de manter robustez em ambientes propensos a ruídos. O estudo compara módulos RF, como RFM95W e SimpleLink™ CC1352P7, em vários cenários, desde ideais até adversos. Os resultados destacam o ótimo desempenho do módulo LP-CC1352P7 em situações de comunicação de longa e curta distância. Ademais, o módulo LoRa RFM95W também mostrou-se uma opção viável, dependendo das necessidades da aplicação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Comparação; Conectividade; IoT; Radiofrequência.

### ABSTRACT

Nowadays, the growing need to connect devices to the network is remarkable. The acquisition of diverse data has become essential for decision-making in various applications. This need to connect devices is known as the Internet of Things (IoT). This article explores and compares radiofrequency (RF) technologies for IoT applications, focusing on real-world challenges. Various RF communication technologies, such as RFM95W and SimpleLink™ CC1352P7, are highlighted and compared, emphasizing advantages, challenges, and the ability to maintain robustness in noise-prone environments. The study compares RF modules in various scenarios, from ideal to adverse conditions. The results highlight the excellent performance of the LP-CC1352P7 module in both long-distance and short-distance communication situations. Furthermore, the LoRa RFM95W module also proves to be a viable option depending on the application's requirements. Comparison; Connectivity; IoT; Radiofrequency.

### INTRODUÇÃO

Os crescentes avanços tecnológicos chegaram em um estágio onde há a necessidade de um processo de digitalização e conectividade generalizada (ATTARAN, 2023). Tal fato é perceptível ao observar as diversas aplicações em que a Internet das Coisas (IoT) está sendo utilizada atualmente.

<sup>1</sup> Bolsista. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: brenown.nicacio@gmail.com. ID Lattes: 7998775843008715.

<sup>2</sup> Bolsista. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: erika-silvacardoso@hotmail.com. ID Lattes: 3606413614919153.

<sup>3</sup> Orientador. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: prscalassara@utfpr.edu.br. ID Lattes: 5016119298122922.

<sup>4</sup> Aceno Digital Tecnologia em Sistemas Ltda. Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: lucas@acenodigital.com.br. ID Lattes: 3964693295315654.



Uma aplicação amplamente reconhecida da IoT é no setor industrial, onde estabelece uma conexão entre o mundo físico e o cibernético, possibilitando a integração de diversos tipos de dados, como saída de sensores, entrada do usuário e disponibilidade de provedores de serviços. Isso, por sua vez, viabiliza respostas precisas e em tempo real (JOYCE; THAMBA, 2020).

Contudo, as aplicações da IoT vão além, sendo utilizadas em sistemas de saúde inteligentes, obtendo diagnósticos eficientes para situações de emergência (BALASUNDARAM et al., 2023), e chegando até mesmo em cidades inteligentes, com sistemas de aviso antecipado para terremotos (ABDALZAHER et al., 2023).

Neste cenário, surge a necessidade de soluções inovadoras para incorporar efetivamente todos os dispositivos e sensores na rede. Nessa perspectiva, a comunicação por radiofrequência (RF) sobressai como uma tecnologia promissora devido à sua ampla disponibilidade e vantagem custo-benefício (KISHK; DHILLON, 2018).

Considerando o que foi dito anteriormente, torna-se evidente a relevância das tecnologias IoT e as vantagens associadas à sua implementação por meio da comunicação RF. O objetivo deste estudo é ressaltar e comparar diversas tecnologias de comunicação RF, realçando suas respectivas vantagens, desafios e capacidade de manter a robustez em ambientes propensos a ruídos e interferências.

## REFERENCIAL TEÓRICO

A comunicação RF tem sua aplicabilidade no contexto de IoT devido à sua capacidade de possibilitar a comunicação sem fio entre diversos dispositivos. Os módulos que utilizam da comunicação RF utilizam ondas de rádio para transmitir informações. Esse processo envolve a modulação de uma onda portadora de rádio com um sinal de informação, resultando em um sinal modulado, transmitido pelo ar.

Um dos transceptores escolhidos para análise é o RFM95W, que apresentam a tecnologia de comunicação sem fio LoRa™ (*Long Range*). 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 (HOPE MICROELECTRONICS CO., 2019). O LoRa™ representa uma tecnologia de camada física que utiliza técnicas de modulação *Chirp Spread Spectrum* (CSS), tornando-o robusto à interferência e ruído.

O segundo dispositivo escolhido para comparação é o SimpleLink™ CC1352P7 da Texas Instruments. Este é um microcontrolador otimizado para comunicação sem fio de baixo consumo de energia e detecção avançada. Os recursos destacados deste dispositivo fornecem capacidade flexível de transceptor de RF de baixa potência para suportar múltiplas camadas físicas e padrões de RF (INSTRUMENTS, 2021).

## MATERIAIS E MÉTODOS

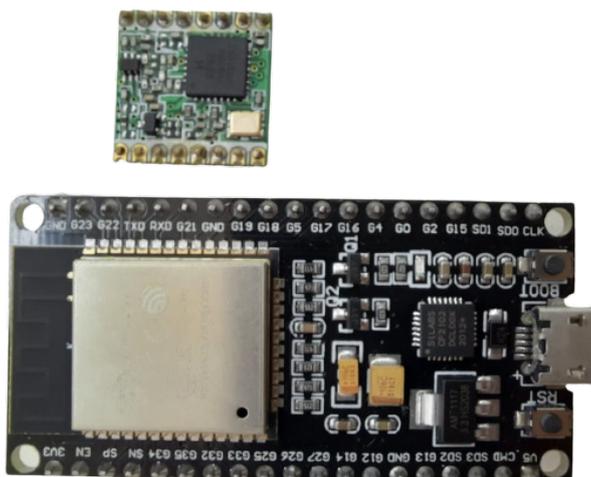
A escolha da comunicação RF para a condução da pesquisa vem pelo fato de que esse tipo de comunicação desempenha um papel importante quanto a tecnologias IoT. Esse destaque se deve, principalmente, ao fato de ser a fonte de energia mais eficaz em comunicações sem fio (LEE et al.,



2023).

Para os primeiros testes, utilizou-se os RFM95W. A utilização deste módulo demanda integração com um microcontrolador específico. Para esta aplicação, optou-se pelo microcontrolador WiFi ESP32 Bluetooth, amplamente utilizado em cenários de IoT. Os módulos são apresentados na Figura 1.

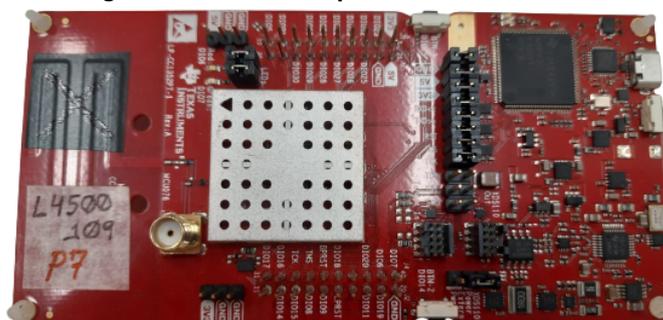
Figura 1 – Módulo LoRa 915Mhz e ESP32



Fonte: Autoria própria.

Em contraste com o módulo LoRa 915MHz, o LP-CC1352P7 já incorpora um microcontrolador integrado, o Arm Cortex-M4F, simplificando significativamente sua aplicação e usabilidade (INSTRUMENTS, 2021). O módulo LP-CC1352P7 funciona com diferentes tipos de comunicação, dentre essas temos algumas como: *Bluetooth low energy* (BLE), *Zigbee*, IEEE802.15.4, e tecnologias RF de 433 a 915MHz. A Figura 2 apresenta uma representação visual do módulo SimpleLink™ LP-CC1352P7.

Figura 2 – Módulo SimpleLink™ LP-CC1352P7



Fonte: Autoria própria.

Com o objetivo de criar uma comparação entre os dispositivos, foram feitos testes nas mesmas condições e localidades, no intuito de representar uma variedade de situações que podem ser encontradas em aplicações do mundo real. Isso inclui cenários com obstáculos físicos entre os módulos, que podem afetar a comunicação.

Para a coleta dos dados nos módulos LoRa 915MHz, foi necessário implementar o *firmware* nos ESP32, um para transmissão e outro para a recepção. O código implementado no transmissor

faz o envio de 5000 mensagens, e o receptor, foi implementado para que receba apenas a quantidade estipulada de caracteres no transmissor, deixando-o menos suscetível a receber dados desconhecidos.

Já para a aquisição de dados nos módulos LP-CC1352P7, foi utilizado o software SmartRF™ Studio 7, da Texas Instruments. Esse software foi programado para funcionar em 915MHz. Além disso, este software apresenta funcionalidades que contribuem para aumentar a confiabilidade do processo de transmissão. Isto é, inclui uma mensagem de sincronização e realiza verificação cíclica de redundância (CRC), aprimorando a integridade dos dados transmitidos.

O parâmetro selecionado para realizar a comparação foi o erro, envolvendo uma análise comparativa dos dados brutos do sinal enviado e do sinal recebido em ambos os módulos.

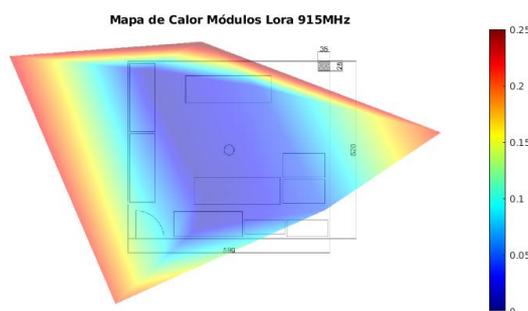
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados foram coletados em condições uniformes para ambos os módulos, permitindo a obtenção de informações cruciais para a elaboração do mapa de calor. No processo de geração do mapa, procedeu-se com a representação da planta baixa do laboratório onde os testes foram conduzidos. O receptor foi posicionado em uma parte central da planta baixa.

O mapa de calor exibe um espectro de cores que reflete a taxa de erro registrada em cada localidade. As áreas com tons mais quentes indicam uma taxa de erro mais elevada, enquanto as regiões com cores mais frias significa que os erros são menores.

Em relação ao módulo LoRa 915MHz, observou-se que, embora seu desempenho seja satisfatório na maioria das localidades próximas ao receptor, sua taxa de erro é significativamente alta em locais distantes e com obstáculos, chegando a 25%. Essa limitação é evidente em ambientes externos ao laboratório, ilustrada na figura 3.

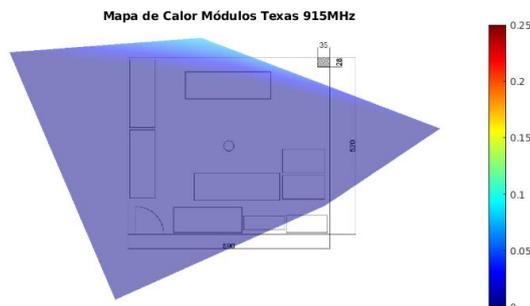
**Figura 3 – Mapa de calor módulo LoRa 915MHz**



**Fonte: Autoria própria.**

Quanto ao módulo LP-CC1352P7, é notável seu desempenho excelente em quase todos os cenários, com uma mínima perda de dados em apenas um ponto específico do mapa de calor, chegando a um valor de 8,4% podendo ser observado ao analisar a figura 4.

Figura 4 – Mapa de calor módulo LP-CC1352P7



Fonte: Autoria própria.

A análise do mapa de calor do módulo LoRa 915MHz revelou que sua suscetibilidade a erros pode representar um obstáculo significativo para sua aplicação em ambientes externos. No entanto, é importante ressaltar que o módulo LoRa 915MHz utilizado é uma versão de desenvolvimento, conectada por meio de *jumpers*, tornando-o mais sensível ao ambiente em que está inserido. Portanto, para aprimorar os resultados, uma abordagem a ser considerada envolve a integração deste módulo em uma placa dedicada ou a avaliação de substituição por um modelo comercial, o que poderia tornar esse modelo mais adequado para aplicações de IoT. Ao analisar o mapa de calor do módulo LP-CC1352P7, é perceptível a sua robustez e confiabilidade, se mostrando uma tecnologia confiável para aplicações em IoT, para diversos cenários diferentes.

## CONCLUSÃO

Este estudo comparativo proporcionou uma visão abrangente da integração da comunicação RF no contexto da IoT, destacando o seu vasto potencial para aplicações nessa área. A análise comparativa realizada evidenciou a notável superioridade do módulo LP-CC1352P7, destacando-se em diversos aspectos, tanto em comunicações de longa distância quanto em comunicações de curta distância.

No entanto, o módulo LoRa RF95W também demonstrou ser uma alternativa viável, especialmente em cenários com baixa interferência ou quando combinado com uma placa integrada. A escolha entre esses dois módulos requer uma análise cuidadosa dos requisitos da aplicação, do ambiente operacional e dos custos associados.

## Agradecimentos

Agradecimentos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, à Empresa Aceno Ltda. e à Finep (Financiadora de Estudos e Projetos) pelo apoio financeiro.

## Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.



## REFERÊNCIAS

- ABDALZAHER, Mohamed S. et al. Employing Machine Learning and IoT for Earthquake Early Warning System in Smart Cities. **Energies**, v. 16, n. 1, 2023. ISSN 1996-1073. DOI: [10.3390/en16010495](https://doi.org/10.3390/en16010495). Disponível em: [↗](#).
- ATTARAN, M. The impact of 5G on the evolution of intelligent automation and industry digitization. **J Ambient Intell Human Comput**, v. 14, p. 5977–5993, 2023. DOI: [10.1007/s12652-020-02521-x](https://doi.org/10.1007/s12652-020-02521-x). Disponível em: [↗](#).
- BALASUNDARAM, A. et al. Internet of things (IoT) based Smart Healthcare System for Efficient Diagnostics of Health Parameters of Patients in Emergency Care. **IEEE Internet of Things Journal**, p. 1–1, 2023. DOI: [10.1109/JIOT.2023.3246065](https://doi.org/10.1109/JIOT.2023.3246065).
- HOPE MICROELECTRONICS CO., LTD. **RFM95W/96W/98W**. 2019. Disponível em: [↗](#). Acesso em: 11 mai. 2023.
- INSTRUMENTS, Texas. **CC1352P7 SimpleLink™ High-Performance Multi-Band Wireless MCU With Integrated Power Amplifier**. 2021. Disponível em: [↗](#). Acesso em: 1 set. 2023.
- JOYCE, Jacob J; THAMBA, Meshach W. Industrial Internet of Things (IIoT) – An IoT Integrated Services for Industry 4.0: A Review. In: 1. INTERNATIONAL Journal of Applied Science and Engineering. Chennai, Índia: IEEE, 2020. v. 8. DOI: [10.30954/2322-0465.1.2020.5](https://doi.org/10.30954/2322-0465.1.2020.5).
- KISHK, Mustafa A.; DHILLON, Harpreet S. Joint Uplink and Downlink Coverage Analysis of Cellular-based RF-powered IoT Network. **IEEE Transactions on Green Communications and Networking**, v. 2, n. 2, p. 446–459, 2018. DOI: [10.1109/TGCN.2017.2786694](https://doi.org/10.1109/TGCN.2017.2786694).
- LEE, Yi Chen et al. High-Performance Multiband Ambient RF Energy Harvesting Front-End System for Sustainable IoT Applications—A Review. **IEEE Access**, v. 11, p. 11143–11164, 2023. DOI: [10.1109/ACCESS.2023.3241458](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3241458).