



# Estudo das Características do Protocolo LoRaWAN Para Simulação

## Study of the Characteristics of the LoRaWAN Protocol for Simulation

João Guilherme Iwamoto Pedroso<sup>1</sup>,

Roberto Krauss<sup>2</sup>

### RESUMO

A comunicação entre dispositivos representa um tema amplamente discutido, especialmente no contexto da IoT (*Internet of Things*). Este trabalho aborda o estudo das Características do Protocolo LoRaWAN para simulação. O protocolo tem sua base na tecnologia LoRa, desenvolvida pela SemTech para possibilitar a comunicação em longas distâncias. Neste estudo, foi realizada uma avaliação das camadas que compõem o protocolo LoRaWAN, desde a camada física LoRa até o modo de operação da camada de enlace do protocolo. Também é abordado a questão do consumo energético, uma vez que é vital para a otimização de dispositivos IoT. A modelagem computacional se apresenta como uma ferramenta essencial, permitindo emular a rede em cenários variados, foi analisado os simuladores com o objetivo de coletar informações relacionadas ao desempenho de cada um. O propósito deste projeto é obter dados suficientes para futuros estudos da rede LoRaWAN, contribuindo assim para o progresso da IoT.

**PALAVRAS-CHAVE:** internet das coisas; lora; lorawan.

### ABSTRACT

Communication between devices is a widely discussed topic, especially in the context of the Internet of Things (IoT). This work addresses the study of the LoRaWAN Protocol Characteristics for simulation. The protocol is based on LoRa technology, developed by SemTech to enable long-distance communication. In this study, an evaluation of the layers that make up the LoRaWAN protocol, from the physical layer (LoRa) to the operation mode of the protocol's link layer, was conducted. The issue of energy consumption is also addressed, as it is vital for optimizing IoT devices. Computational modeling serves as an essential tool, allowing the emulation of the network in various scenarios. Simulators were analyzed to gather information related to the performance of each one. The purpose of this project is to obtain sufficient data for future studies of the LoRaWAN network, thus contributing to the progress of IoT.

**KEYWORDS:** internet of things; lora; lorawan.

### INTRODUÇÃO

Segundo Matt Hatton, é previsto que até o final de 2032 terão 34,4 bilhões de conexões de dispositivos IoT, um crescimento aproximado de três vezes mais se comparado a 2022 com 13,2 bilhões (HATTON, 2023). Prometem alterar a maneira como realizamos nossas atividades diárias e interagimos com o mundo, e com isso surgem inovações que podem nos ajudar a resolver problemas como crise energética, exploração excessiva dos recursos naturais, poluição ambiental e o crescimento populacional (RAZA; KULKARNI; SOORIYABANDARA, 2017).

<sup>1</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil. E-mail: jpedroso@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 4224141740222423.

<sup>2</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil. E-mail: robertomartinez@utfpr.edu.br. ID Lattes: 6469800712799886.



Para que isso aconteça os dispositivos precisam realizar medições do ambiente e compartilhar essas informações com o ser humano, devem-se caracterizar por baixo consumo de energia, grande escalabilidade, comunicação de dados a uma baixa taxa de transmissão e grande cobertura, esses requisitos abrangem a tecnologia LPWAN (do inglês, *Low Power Wide Area Network*) (SANCHEZ-GOMEZ et al., 2020).

Dentre as tecnologias LPWAN, as mais conhecidas incluem Sigfox, LTE-M, NB-IoT e LoRa. Sigfox é uma rede IoT projetada para conectar objetos e transmitir dados em broadcast, sem a necessidade de configurar conexões de rede. LTE-M é voltada para comunicação M2M, permitindo a comunicação direta entre nós sem passar pelo *gateway*, ideal para áreas urbanas. NB-IoT utiliza frequências licenciadas, oferecendo alta taxa de dados e baixa latência, mas com maior consumo de energia. Por fim, o LoRa se destaca por sua capacidade de operar em longas distâncias e eficiência energética, utilizando faixas de frequência não licenciadas para comunicação direta entre nós e o *gateway* (RAZA; KULKARNI; SOORIYABANDARA, 2017).

LoRaWAN é uma arquitetura de padrão aberto desenvolvida pela LoRa Alliance para estabelecer um método de gerenciamento de acesso ao meio e facilitar a comunicação entre dispositivos finais e um ou mais *gateways* que empregam a modulação LoRa (HAXHIBEQIRI et al., 2018).

Neste estudo, foi investigado as características do protocolo LoRaWAN para simulação por meio de uma revisão da literatura. Foi priorizada a inclusão de fontes confiáveis, incluindo publicações reconhecidas pelo IEEE. O processo envolveu a seleção de artigos, análise dos títulos e resumos, resultando na coleta de dados necessários para a análise final.

## LORA

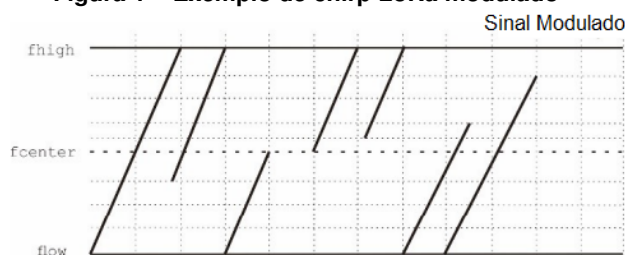
O LoRa é uma tecnologia LPWAN (Low Power Wide Area Network) de baixa potência e alcance amplo, desenvolvida pela Semtech para atender às necessidades da IoT. Utiliza radiofrequência para a transmissão de dados e é configurado por quatro parâmetros: Frequência Portadora (CF), Fator de Espalhamento (SF), Largura de Banda (BW) e Fator de Codificação (CR), que influenciam o consumo de energia, o alcance e a resistência a ruídos (IDRIS; KARUNATHILAKE; FÖRSTER, 2022).

Essa tecnologia utiliza o método de espalhamento espectral por Chirp. Chirps são sinais cuja frequência se altera linearmente com o tempo dentro da faixa de largura de banda disponível, como mostra a figura 1. Essa característica confere aos sinais de chirp uma notável resistência a ruídos, desvanecimentos e interferências. Cada chirp tem a capacidade de modular múltiplos chips (unidades de dados) (PRASETYO ADI; WAHYU; KITAGAWA, 2022).

A duração de um chirp varia conforme o parâmetro de fator de espalhamento utilizado. O SF varia de 7 à 12, onde utilização de um valor mais elevado reduz a taxa de transferência de dados, mas amplia a robustez contra ruídos. A variação do fator de codificação, pode oferecer mais proteção contra interferências, quanto maior oferece mais proteção, porém aumenta o tempo do pacote no ar (IDRIS; KARUNATHILAKE; FÖRSTER, 2022).



Figura 1 – Exemplo de chirp LoRa modulado



Fonte: Adaptado de (PRASETYO ADI; WAHYU; KITAGAWA, 2022)

## AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA CAMADA DE FÍSICA

A cobertura LoRa depende de diversos fatores, incluindo os parâmetros de transmissão, como fator de espalhamento, potência de transmissão e largura de banda do canal, bem como as localizações dos *gateways* e dos nós finais, e as condições ambientais no momento da comunicação.

A interferência é um fator crítico na expansão da rede LoRa, podendo ocorrer entre transmissões com o mesmo fator de espalhamento ou diferentes. Além disso, devido ao LoRaWAN operar em faixas de frequência não licenciadas, é importante considerar a interferência de outras tecnologias de rede (GKOTSIPOULOS; ZORBAS; DOULIGERIS, 2021).

Melhorar a rede LoRa com o uso de antenas direcionais, aumento do ganho e implementação de múltiplos *gateways*, reduzem perdas de sinal e melhoram a taxa de transmissão e sucesso na entrega de pacotes (GKOTSIPOULOS; ZORBAS; DOULIGERIS, 2021).

## LORAWAN

O LoRaWAN é um protocolo que roda em cima da camada física, também chamada de camada MAC (Controle de Acesso ao Meio), padronizado pela LoRa Alliance, que permite o controle e a comunicação entre os dispositivos finais e *gateway(s)* (HAXHIBEQIRI et al., 2018).

Os principais componentes de uma rede LoRaWAN são: Os dispositivos finais (do inglês *end-points*) ou nós LoRa, os *gateway* e servidor de rede. A topologia de rede LoRaWAN utiliza a modelo estrela, onde o *gateway* é o centro da rede e os dispositivos finais se comunicam com ele. Os dispositivos finais posicionados no final da rede fazem o envio de dados ao *gateway* e assim são enviados ao servidor, para que os dados sejam utilizados em aplicações dos usuários finais (HAXHIBEQIRI et al., 2018).

As camadas que compõem a rede LoRaWAN podem ser divididas em quatro, a primeira camada, se refere a banda ISM regulamentada por cada país. A segunda camada corresponde a camada física, a modulação LoRa. A terceira camada, corresponde à camada de enlace, onde são recebidos os dados vindos dos dispositivos finais para o *gateway*, e transmitidos para o servidor. E a quarta camada que fica localizada as aplicações, nela os usuários finais recebem a informação da rede (IDRIS; KARUNATHILAKE; FÖRSTER, 2022).

## MODO DE OPERAÇÃO DA CAMADA DE ENLACE DO PROTOCOLO LORAWAN

Os dispositivos finais (*end points*) que utilizam o protocolo LoRaWAN são divididos em três classes de transmissão bidirecional, classe A, B e C, para atenderem as diversas aplicações.

O modo de operação classe A utiliza o protocolo ALOHA, onde o *gateway* só responde com um *downlink* se a comunicação for iniciada pelo dispositivo final por meio de um *uplink*, representado na Figura 2. Dispositivos classe A têm o menor consumo de energia entre os três modos de operação, pois a troca de informações depende da geração de *uplink*, permitindo que eles entrem em modo de hibernação até que o evento ocorra (SILVA et al., 2021).

Figura 2 – Diagrama da janela de recepção classe A e B



Fonte: Adaptado de (SILVA et al., 2021)

Os dispositivos classe B possuem a mais, outras janelas de comunicação entre o *endpoint* e o *gateway*, essas interações são programadas e chamadas de *Beacon Period*, que é o intervalo de tempo entre as transmissões de sinais sem a necessidade de *uplink*, indicado na Figura 2. O aumento das transmissões de dados, gera um consumo de energia mais elevado, mas ainda é adequado para dispositivos alimentados por baterias (SILVA et al., 2021).

Por fim, os dispositivos classe C, a comunicação do *gateway* para o *end point* é direta, ou seja, a comunicação de *downlink* podem ser realizada a quaisquer momentos que não esteja recebendo um *uplink*. É recomendado que os dispositivos classe C trabalhem ligados a rede elétrica devido ao alto consumo de energia e grande tráfego de informações (SILVA et al., 2021).

## CONSUMO ENERGÉTICO

O consumo de energia é um dos pontos que chamam bastante atenção na implementação de uma rede LoRaWAN, devido ao seu baixo consumo e a possibilidade do dispositivo trabalhar por longos períodos.

Diferentes modelos de avaliação de consumo de energia têm abordagens distintas. Como no de Kurloglu (2017) se concentra em calcular a energia consumida por bit, com um foco detalhado na transmissão de dados. Em contraste, Finnegan (2018) considera o uso real da bateria ao longo do tempo, oferecendo uma visão abrangente das flutuações na demanda de energia. Já o modelo de Marini (2021) avalia o consumo de energia em janelas de transmissão e recepção, incluindo o modo de suspensão, proporcionando uma análise completa das necessidades energéticas ao longo do ciclo de operação do dispositivo. A escolha entre essas abordagens depende das necessidades e características específicas do cenário de aplicação.



## MODELAGEM COMPUTACIONAL

A simulação e modelagem computacional é um método para avaliar o desempenho e o funcionamento dos sistemas, devido à inviabilidade de implementar uma rede com muitos dispositivos finais fisicamente. Uma pesquisa foi conduzida para avaliar os simuladores, resultando na coleta de informações sobre o LoRaSim, FloRa, Ns-3, CupCarbon e LoRaWANSim.

O LoRaSim é um simulador de eventos discretos que utiliza a biblioteca SimPy. Ele permite simular dispositivos finais e gateways com distribuição aleatória, fornecendo dados sobre taxa de extração de dados e consumo de energia. FloRa é um *framework* de simulação em C++ usando OMNET++ para redes LoRa, incluindo dispositivos finais, *gateways* e servidores. Fornece dados sobre consumo de energia e permite a configuração de parâmetros como fator de espalhamento e potência de transmissão (ALMUHAYA et al., 2022).

Ns-3 é um simulador de código aberto em C++ e Python que suporta vários protocolos, incluindo LoRa, Wi-Fi e LTE. Oferece recursos para redes IP, sockets, depuração e monitoramento de topologia de rede. Já o CupCarbon é um *framework* para simular cidades inteligentes. Possui SenScript para programação de sensores em Arduino e Raspberry Pi, integração de modelos de propagação de interferência e fornece dados de consumo de energia (ALMUHAYA et al., 2022).

O LoRaWANSim é um simulador baseado no Matlab que facilita a análise de redes LoRaWAN. Ele considera aspectos físicos, controle de acesso e aspectos de rede, simulando separadamente a camada física e de enlace do LoRaWAN. O simulador permite avaliar o consumo de energia, taxa de sucesso na entrega do pacotes e a distribuição dos dispositivos (MARINI et al., 2021).

## CONCLUSÃO

O estudo das características do protocolo LoRaWAN para simulação proporcionou uma visão abrangente da tecnologia LoRa, sua camada física, o funcionamento da camada de enlace e o consumo energético em aplicações de IoT. A análise de diversos simuladores disponíveis foi realizada, juntamente com a importância da adaptação do protocolo LoRaWAN para atender às necessidades específicas de diferentes cenários de IoT. Essas análises contribuem para o desenvolvimento e melhoria contínua da tecnologia LoRaWAN.

## MATERIAL SUPLEMENTAR

Devido a brevidade do artigo, para melhores esclarecimentos sobre a simulação, características e replicabilidade do protocolo recomendo a leitura do artigo: LoRaWANSim: A Flexible Simulator for LoRaWAN Networks (MARINI et al., 2021).

## AGRADECIMENTOS

Desejo expressar minha mais profunda gratidão à UTFPR Campo Mourão e ao Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN-CM) por todo o apoio e pelas oportunidades que me foram concedi-



das. É com grande apreço que estendo um agradecimento especial ao professor Roberto Krauss, cujo comprometimento e orientação foram inestimáveis.

### Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

### REFERÊNCIAS

- ALMUHAYA, Mukarram A. M. et al. A Survey on LoRaWAN Technology: Recent Trends, Opportunities, Simulation Tools and Future Directions. **Electronics**, v. 11, n. 1, 2022.
- FINNEGAN, Joseph; BROWN, Stephen; FARRELL, Ronan. Modeling the Energy Consumption of LoRaWAN in ns-3 Based on Real World Measurements, p. 1–4, 2018.
- GKOTSIPOULOS, Panagiotis; ZORBAS, Dimitrios; DOULIGERIS, Christos. Performance Determinants in LoRa Networks: A Literature Review. **IEEE Communications Surveys Tutorials**, v. 23, n. 3, p. 1721–1758, 2021.
- HATTON, Matt. **The Next Decade in IoT**. [S.l.: s.n.], Maio 2023. Disponível em: <https://www.spiceworks.com/tech/iot/guest-article/iot-key-trends-over-next-decade/>. Acesso em: 29 ago. 2023.
- HAXHIBEQIRI, Jetmir et al. A Survey of LoRaWAN for IoT: From Technology to Application. **Sensors**, v. 18, n. 11, 2018.
- IDRIS, Sadiq; KARUNATHILAKE, Thenuka; FÖRSTER, Anna. Survey and Comparative Study of LoRa-Enabled Simulators for Internet of Things and Wireless Sensor Networks. **Sensors**, v. 22, n. 15, 2022.
- KURTOGLU, Abdullah; CARLETTA, Joan; LEE, Kye-Shin. Energy consumption in long-range linear wireless sensor networks using LoRaWan and ZigBee. **MWSCAS**, p. 1163–1167, 2017.
- MARINI, Riccardo et al. LoRaWANSim: A Flexible Simulator for LoRaWAN Networks. **Sensors**, v. 21, n. 3, 2021.
- PRASETYO ADI, Puput Dani; WAHYU, Yuyu; KITAGAWA, Akio. Analyzes of Chirps Spread Spectrum of ES920LR LoRa 920 MHz. **EECCIS**, p. 139–144, 2022.
- RAZA, Usman; KULKARNI, Parag; SOORIYABANDARA, Mahesh. Low Power Wide Area Networks: An Overview. **IEEE Communications Surveys Tutorials**, v. 19, n. 2, p. 855–873, 2017.
- SANCHEZ-GOMEZ, Jesus et al. Integrating LPWAN Technologies in the 5G Ecosystem: A Survey on Security Challenges and Solutions. **IEEE Access**, v. 8, p. 216437–216460, 2020.
- SILVA, Felipe S. Dantas et al. A Survey on Long-Range Wide-Area Network Technology Optimizations. **IEEE Access**, v. 9, p. 106079–106106, 2021.