

Simulação do monitoramento de veículos em uma rede LoRaWAN usando NS-3

João P. Pastório¹, Álvaro R. Castro e Souza¹, Edson T. de Camargo¹

¹ Colegiado de Engenharia de Computação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Toledo, PR – Brasil

joaopastorio@alunos.utfpr.edu.br, alvarosouza@utfpr.edu.br, edson@utfpr.edu.br

Resumo. *Com o aumento no número de aplicações voltadas à Internet das Coisas sendo desenvolvidas, surge a necessidade de se projetar uma infraestrutura de rede adequada para suportar as suas exigências. Com isso, esse estudo avalia em ambiente simulado o desempenho de uma rede LoRaWAN submetida a diferentes cenários de operação no contexto de objetos em movimento. São realizadas alterações no nível de interferência presente no meio de propagação do sinal e variações no número de pontos de acesso que a infraestrutura compreende. São abordados desde cenários com baixa interferência e poucos pontos de acesso até cenários com várias obstruções e muitos pontos de acesso. A simulação ocorreu através do simulador de código aberto NS-3 e seus módulos para representar cenários com diferentes níveis de interferência e dispositivos se comunicando com números variados de pontos de acesso. Os resultados obtidos apresentam o comportamento dos dispositivos presentes na rede durante a comunicação incluindo a porcentagem de pacotes perdidos em cada um dos cenários avaliados.*

1. Introdução

O termo Internet das Coisas ou *Internet of Things* (IoT) está associado a dispositivos que apresentam a capacidade de trocar informações entre si ou com pontos de acesso. Esses dispositivos muitas vezes estão relacionados a diversas aplicações do nosso cotidiano, como por exemplo lâmpadas inteligentes, sensores de presença e fumaça, ou a aplicações urbanas, como no monitoramento de veículos da coleta seletiva que está em desenvolvimento na UTFPR, campus Toledo, como fruto de uma parceria com o município [de Camargo et al. 2021a, da Silva et al. 2020]. Nesse âmbito, as tecnologias associadas às redes de baixo consumo energético e ampla área de abrangência (*Low Power Wide Area Network*, LPWAN) estão sendo muito empregadas. A tecnologia LoRa, derivação para *Long-Range*, é uma das tecnologia de implementação LPWAN. Essa, por sua vez, utiliza o protocolo de rede LoRaWAN para o gerenciamento da comunicação entre dispositivo IoT e pontos de acesso, também chamados de *gateways*. A rede LoRaWAN permite a implantação de uma rede de baixo custo, flexível e em grande escala por utilizar uma largura de banda não licenciada [Rossato et al. 2020].

Um dos quesitos chave em uma rede IoT está na sua capacidade de suportar um grande número de dispositivos em operação. Ao se implementar uma rede de sensores, como a LoRaWAN, busca-se a criação de uma infraestrutura robusta e com uma menor suscetibilidade a erros [Mekki et al. 2019]. Então, com a utilização de simulações, é possível projetar diversos cenários de operação dos dispositivos nessa rede, analisando

futuros problemas que podem ser encontrados na prática e assim maneiras de evitá-los. Uma vez que são encontrados os cenários adequados para a projeção da uma infraestrutura de rede, a sua implementação pode ser realizada com um menor custo e podendo atingir um maior desempenho. Por fim, conhecer os limites de uma rede IoT antes do seu desenvolvimento pode contribuir com futuras aplicações que vão operar em sua infraestrutura e contribuir para desenvolver soluções confiáveis [Pastório et al. 2020].

Existem algumas pesquisas relacionadas a análise em simulação de uma rede LoRaWAN. Em [Ortiz et al. 2019] compara-se o desempenho simulado e prático de um dispositivo final se comunicando com um ponto de acesso, enquanto em [Abeele et al. 2017] realiza-se a detecção de erros provenientes de um grande número de dispositivos simultaneamente conectados e enviado pacotes de dados ao ponto de acesso. Apesar das abordagens realizadas por essas pesquisas, outros fatores impactam no desempenho de uma rede LoRaWAN e na perda de pacotes enviados pelos dispositivos. Um desses fatores são as perdas causadas pela distância entre dispositivo e ponto de acesso, influenciadas pelo ambiente que o sinal se propaga [Goldsmith 2005]. Essa, por sua vez, apresenta relação com fenômenos de sombreamento ou desvanecimento do sinal.

Este trabalho busca investigar o impacto de diferentes ambientes e cenários de propagação no desempenho da rede LoRaWAN. Em particular, deseja-se estudar tal impacto em uma aplicação onde há objetos móveis, tais como os caminhões da coletiva seletiva. O trabalho faz uso de módulo LoRaWAN desenvolvido por Magrin [Magrin 2016] para o simulador de redes de código aberto baseado em eventos discretos *Network Simulator 3* (NS-3). O desempenho e operação de uma rede LoRaWAN submetida a cenários e condições diversas é analisado de forma simulada. Examina-se também o impacto da alteração no meio em que o sinal se propaga, com o objetivo de obstruir o campo de visão entre dispositivo e ponto de acesso, e simular os efeitos de sombreamento e desvanecimento de sinal.

2. Método

2.1. Tecnologia LoRa e LoRaWAN

A tecnologia LoRa consiste em uma modulação que opera na camada física das redes com amplo alcance e baixo consumo de potência LPWAN. Essa rede se caracteriza pela sua extensa área de abrangência, estando diretamente relacionada aos níveis de obstruções presentes no meio, podendo chegar a quilômetros de distância. Essas redes também apresentam um baixo consumo energético, o que é possível pelo envio de pequenas quantidades de dados em um grande intervalo de tempo, o que reduz o tempo de ativação dos dispositivos e aumenta a vida útil de suas baterias [Mekki et al. 2019].

O protocolo LoRaWAN foi criado para gerenciar a comunicação dos dispositivos que utilizam a tecnologia LoRa em sua camada física. Nesse protocolo são definidas algumas especificações, como a classe dos dispositivos e como os mesmos enviam suas mensagens [LoRa Alliance 2017]. Outro aspecto definido é a arquitetura da rede LoRaWAN, que se baseia na topologia estrela, apresentada na Figura 1. Uma rede LoRaWAN apresenta dispositivos finais, como sensores e atuadores, que se comunicam com pontos de acesso, conhecidos como *gateways*, que estão diretamente conectados aos servidores responsáveis por gerenciar a distribuição dos dados para as aplicações finais.

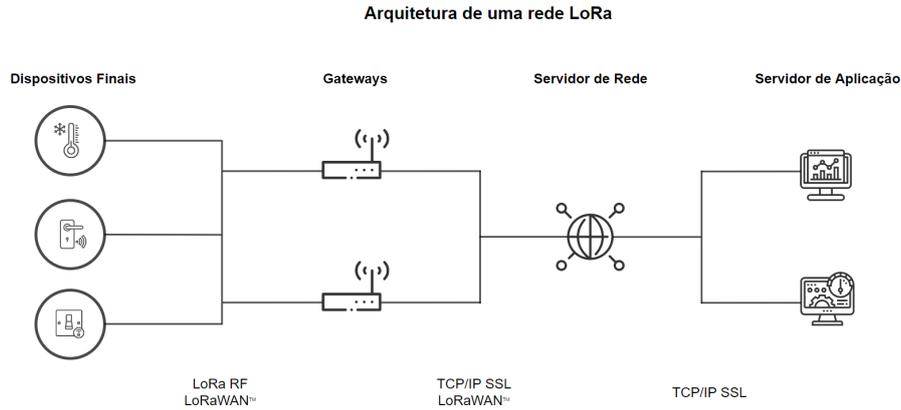


Figure 1. Arquitetura de uma rede LoRaWAN

2.2. NS-3 e Módulo LoRaWAN

O NS-3 é formado por diferentes módulos responsáveis por simular cada aspecto de uma rede de dispositivos. O módulo LoRaWAN elaborado por [Magrin 2016] fornece uma série de classes para reproduzir cada componente de uma rede LoRaWAN. O modelo de perda de caminho por distância logarítmica é utilizado para analisar o impacto da distância na potência do sinal transmitido [Goldsmith 2009], seguindo a formulação matemática apresentada na equação 1.

$$L = L_0 + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (1)$$

A simulação de obstruções no meio é realizada pela alteração no expoente de perda de caminho n da equação 1, assim como pela utilização do modelo TR 45.820, do sombreamento presente no módulo LoRaWAN [Magrin 2016] e modelos para representação de construções do próprio NS-3. A partir dessas considerações, são definidos os seguintes cenários de operação:

- Cenário 0: $n = 3,5$ sem construções ou sombreamento, simulando um ambiente aberto;
- Cenário 1: $n = 3,75$ com poucas construções e sombreamento, simulando um ambiente pouco urbanizado;
- Cenário 2: $n = 4$ com muitas construções e sombreamento, simulando um ambiente urbano.

3. Resultados

O primeiro resultado foi avaliado para os 3 cenários mencionados considerando um dispositivo final em movimento e alteração no número de *gateways*, como mostrado na Figura 2. Obtém-se resultados quanto a taxa de pacotes transmitidos e recebidos durante a comunicação do dispositivo final em cada ponto do deslocamento. Primeiramente, para o cenário 0 com apenas o *Gateway* 1 em operação, depois sendo considerado os *Gateways* 1 e 2 e assim sucessivamente, até ser realizada para os 3 cenários e os 5 *gateways*. O posicionamento dos *gateways* foi escolhido de acordo com projetos em desenvolvimento

entre a Universidade Tecnológica Federal do Paraná e a prefeitura de Toledo Paraná para implantação de uma rede LoRaWAN na cidade [de Camargo et al. 2021b].

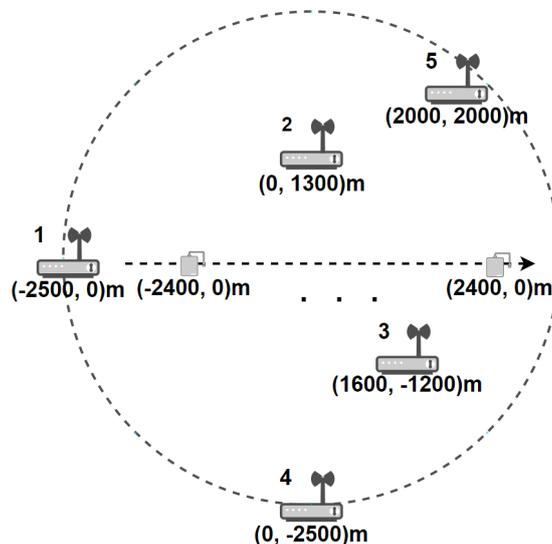


Figure 2. Representação do cenário simulado

Para o cenário 0, conforme o dispositivo final começa a se distanciar do *Gateway* 1 a porcentagem de pacotes recebidos começa a reduzir, quando considerado apenas um *gateway* essa porcentagem que começa em 100% termina em aproximadamente 30%, apresentando uma queda de quase 70% de pacotes recebidos. Conforme o número de *gateways* é aumentado para o mesmo cenário, nota-se que a porcentagem de pacotes recebidos também aumenta, ficando entre 90-100% para 3, 4 e 5 *gateways*. Isso ocorre por conta do ambiente não apresentar obstruções, sendo limitados apenas pela distância percorrida pelo sinal.

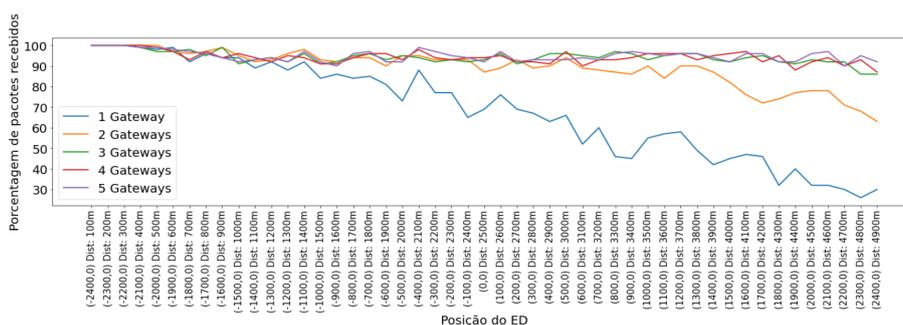


Figure 3. Simulação para o cenário de operação 0

Já no cenário de operação 1, considerando algumas poucas obstruções e apenas com o *Gateway* 1 em operação, no final do trajeto a porcentagem de pacotes recebidos é reduzida para aproximadamente 0%. Ao considerar 3, 4 e 5 *gateways* essa porcentagem fica por volta de 80%. Diferente do cenário 0, agora que estão presentes obstruções alguns pacotes de dados sofrem interferência e não são recebidos.

No cenário 2, considerando um ambiente urbano, com alto índice de obstruções, sombreamento e construções, a porcentagem de pacotes recebidos permanece por volta

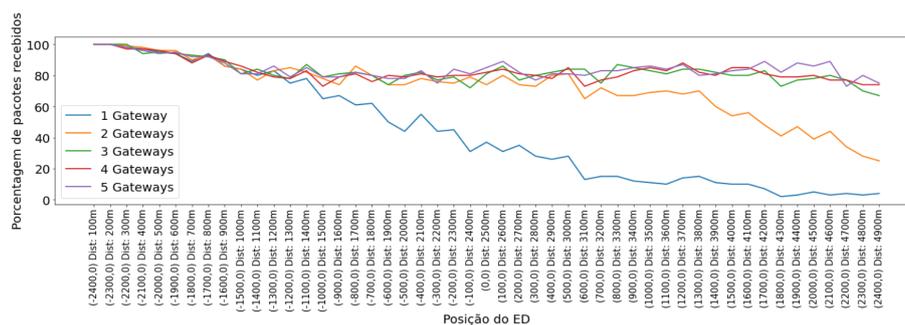


Figure 4. Simulação para o cenário de operação 1

de 50% para 3, 4 e 5 *gateways*. Com apenas o *Gateway* 1 em operação a porcentagem chega a 0% de pacotes recebidos em uma distância muito menor do que para o cenário 1 analisado.



Figure 5. Simulação para o cenário de operação 2

Os resultados revelam que em ambientes com poucas obstruções o aumento no número de *gateways* se mostra suficiente para contornar a redução na porcentagem de pacotes recebidos. Porém, em ambientes com um alto índice de interferência pode ser necessário realizar alguma outra abordagem além da utilização de mais *gateways* para manter o desempenho da rede. Identificando uma redução de aproximadamente 50% na porcentagem de pacotes recebidos quando se tem 5 *gateways* em operação, indo de 90-100% no cenário 0, considerando um ambiente com poucas obstruções, para 40-50% no cenário 2 ao considerar várias construções e sombreamento do no meio que o sinal se propaga.

4. Conclusões

Com esse estudo foi possível verificar, em ambiente simulado, o comportamento de uma rede LoRaWAN submetida a diferentes cenários de operação para o monitoramento de veículos em movimento. A partir das simulações realizadas percebe-se que o aumento no número de *gateways* presentes na rede impacta diretamente na porcentagem de pacotes recebidos quando lida-se com um objeto em diferentes posições. Porém, o cenário de operação que os dispositivos e ponto de acesso estão presentes pode limitar a porcentagem de pacotes recebidos pelas diferentes interferências que passam a agir sobre o sinal. Esse problema pode ser reduzido com a utilização de algoritmos de retransmissão. Em [Almeida et al. 2021] é apresentada a expansão dessas simulações, considerando um al-

goritmo de retransmissão para verificar seu impacto na porcentagem de pacotes recebidos, compilando as análises simuladas aqui expostas com uma análise prática.

Agradecimentos

Os autores agradecem a UTFPR e a Prefeitura de Toledo ao apoio financeiro pelo edital N.º 05/2020 PROBIC-TD e o Acordo de Cooperação 001/2020, respectivamente.

References

- Abeele, F. V. d., Haxhibeqiri, J., Moerman, I., and Hoebeke, J. (2017). Scalability analysis of large-scale lorawan networks in ns-3. *IEEE Internet of Things Journal*, PP.
- Almeida, T. V. O., Pastório, J. P., Álvaro R. C. Souza, Spanhol, F. A., and de Camargo, E. T. (2021). Em busca de um algoritmo de retransmissão em redeslorawan. *V Courb*.
- da Silva, M., de Souza, J., Almeida, T., Álvaro Souza, Spanhol, F., and Camargo, E. (2020). Avaliação de dispositivos de rastreamento em uma rede lorawan no contexto de cidades inteligentes. In *Anais do IV Courb*, pages 1–14, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- de Camargo, E. T., Spanhol, F. A., and e Souza, Á. R. C. (2021a). Deployment of a lorawan network and evaluation of tracking devices in the context of smart cities. *J. Internet Serv. Appl.*, 12(1):8.
- de Camargo, E. T., Spanhol, F. A., and e Souza, Á. R. C. (2021b). Deployment of a lorawan network and evaluation of tracking devices in the context of smart cities. *J. Internet Serv. Appl.*, 12(1):8.
- Goldsmith, A. (2005). *Wireless Communications*. Cambridge University Press, New York.
- Goldsmith, T. S. (2009). *Comunicações sem fio, Princípios e Práticas*. Person Prentice Hall, São Paulo.
- LoRa Alliance (2017). *LoRaWAN™ 1.1 specification*. LoRa Alliance, Beaverton, Oregon, Estados Unidos.
- Magrin, D. (2016). Network level performances of a lora system. Master’s thesis, Università degli Studi di Padova, Pádua. Orientador: Lorenzo Vangelista.
- Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., and Meyer, F. (2019). A comparative study of lpwan technologies for large-scale iot deployment. 5:1–7.
- Ortiz, F. M., Almeida, T., Ferreira, A. E., and Costa, L. H. (2019). Caracterização de desempenho de uma rede lora em ambientes urbanos: Simulação vs. prática. In *Anais do III Courb*, pages 167–180, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Pastório, A., Rodrigues, L., and de Camargo, E. (2020). Uma revisão sistemática da literatura sobre tolerância a falhas em internet das coisas. In *Anais Estendidos do X Sbesc*, pages 57–64, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Rossato, J., Spanhol, F., and Camargo, E. (2020). Implantação e avaliação de uma rede sem-fio de longo alcance e baixa potência para cidades inteligentes. In *Anais do IV Courb*, pages 192–205, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.