

Análise De Uma Rede Lorawan De Baixo Custo

ACÁCIO CHINATO
JOEL DA SILVA
SAMUEL FRANCISCO FERRIGO

RESUMO

Dispositivos podem se conectar à rede LoraWAN de maneira gratuita através da The Things Network. Todavia, esse acesso atualmente só é possível em poucos locais, sendo necessária a instalação de *gateways* que possam fornecer este acesso. Este trabalho apresenta uma proposta de solução de baixo custo que permita que locais não atendidos possam ter acesso à rede LoraWAN, utilizando dispositivos Heltec LoRa como *end-devices* e *gateways*. Essa proposta foi aplicada na cidade de Flores da Cunha/RS, onde foram avaliados aspectos no que diz respeito a cobertura de sinal dessa solução e à latência da rede. Como principais resultados obtidos, verificou-se que a solução chegou a comunicar-se a distâncias superiores a 1000 metros e apresentou latência média de aproximadamente 1 segundo, resultados que compatibilizam o uso de aplicações IoT em cidades de pequeno porte como no caso deste estudo.

Palavras-chave: LoRa, LoraWAN, solução de baixo custo, latência, cobertura

ABSTRACT

Devices can connect to the LoraWAN network for free through The Things Network. However, currently this access is only possible in some locations, requiring the installation of gateways that can provide this access. This work presents a proposal for a low cost solution that allows unattended locations to have access to the LoraWAN network, using Heltec LoRa devices as end-devices and gateways. This proposal was applied in the small city of Flores da Cunha, where aspects related to the coverage of the signal of this solution and the latency of the network were evaluated. As main results obtained, it was found that the solution came to communicate over distances greater than 1000 meters and had an average latency 1 second nearly, results that make the use of IoT applications in small cities compatible.

Keyword: LoRa, LoraWAN, low-cost solution, latency, coverage

¹ Graduado em Gestão de Redes de Computadores pelo Centro Universitário Uniftec

² Graduado em Gestão de Redes de Computadores pelo Centro Universitário Uniftec

³ Mestre em Computação Aplicada (PPGCA) pela Universidade do Vale do Rio do Sinos (UNISINOS). Possui especialização em MBA em Gestão da Tecnologia da Informação (2010). Atualmente trabalha como assistente de informática da Câmara Municipal de Caxias do Sul e é professor dos cursos de Redes de Computadores, Engenharia da Computação, Análise e Desenvolvimento de Sistemas e Gestão de TI

1 INTRODUÇÃO

Diferentemente das demais tecnologias de WAN sem fio, como WiMAX, 3G e 4G, as LPWANs são redes que, além de permitir a comunicação de longa distância, possuem a característica de baixo consumo de energia. Estas redes têm por finalidade atender aplicações de comunicação máquina a máquina (M2M) e IoT em geral (MEIRELES et al., 2018), especialmente a dispositivos que possuem acesso limitado a fontes de energia.

As principais tecnologias LPWAN utilizadas atualmente são todas proprietárias: *Narrowband IoT* (NB-IOT), *SigFox* e *Long Range* (LoRa) (THIEME, 2020). Esta última, porém, possui uma comunidade global com mais de 100 mil membros e dispõe da associação *LoRa Alliance*, constituída pelas maiores empresas do mercado de IoT, o que corrobora para agregar funcionalidades, contribui para garantir a interoperabilidade da tecnologia e fez surgir a rede LoraWAN (NETWORK, 2021). Essa comunidade também fornece acesso gratuito à rede LoraWAN, através da nuvem pública *The Things Network* (TTN)¹ e de *gateways* públicos espalhados ao redor do mundo que permitem que dispositivos se conectem a essa rede. Dessa forma, as redes LoraWAN também se propõem a reduzir o custo de implantação de redes LPWAN, universalizando o acesso à tecnologia.

Todavia, essa estrutura não está disponível em todas as localidades. Na região da serra gaúcha, por exemplo, os *gateways* estão disponíveis apenas em partes da área urbana de Caxias do Sul (NETWORK, 2021). Dessa forma, em localidades não atendidas, faz-se necessária a aquisição desses equipamentos para conexão à rede LoraWAN. Todavia, atualmente, seu custo é pouco atrativo - na faixa dos 350 dólares² - acaba muitas vezes desencorajando seu uso, seja ele comercial, industrial ou acadêmico. Assim sendo, alternativas que permitam a implementação de *gateways* mais baratos possibilitariam a disseminação das redes LoraWAN nesses locais, sendo esta a proposta deste trabalho.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho é a proposta de implantação de uma rede LoraWAN utilizando de dispositivos de baixo custo Heltec LoraWAN como *gateways* e *end-devices*, avaliando seu funcionamento quanto à viabilidade do seu uso e ao seu alcance. Também é analisado o desempenho da nuvem pública TTN quanto à sua latência. Como

¹Essa nuvem está sendo migrada para uma nova versão, chamada de *The Things Stack*. Maiores informações podem ser obtidas em <https://www.thethingsindustries.com/docs/>

²<https://www.thethingsnetwork.org/docs/gateways/gateway/index.html>



limitações desta pesquisa, não são abordadas questões de desempenho, carga, escalabilidade e confiabilidade do funcionamento dessa rede.

O artigo está estruturado da seguinte forma: o Capítulo 2 detalha o funcionamento da arquitetura LoraWAN. O Capítulo 3 discute análises anteriores do funcionamento do protocolo LoRa efetuadas pelos autores. O Capítulo 4 apresenta a proposta deste trabalho. O Capítulo 5 explana a metodologia de testes utilizada. Finalmente, o Capítulo 6 apresenta e discute os resultados obtidos.

2 A ARQUITETURA LORAWAN

Criada em 2015 pela *Lora Alliance*, uma organização sem fins lucrativos com mais de 500 membros desde sua criação em março de 2015, a arquitetura LoraWAN pode ser dividida em duas estruturas distintas. A primeira realiza as funções pertinentes à camada física do modelo OSI e utiliza o protocolo proprietário LoRa. A segunda, descrita pelo padrão aberto chamado LoraWAN, realiza às funções de acesso ao meio compartilhado equivalentes à camada de enlace do modelo OSI e detalha a estrutura necessária para gerenciamento dos recursos da rede.

2.1 O PROTOCOLO LORA

Proprietária da Semtech, o protocolo LoRa é responsável pelos parâmetros físicos de comunicação entre os dispositivos e sua de modulação do sinal não é totalmente aberta (AUGUSTIN et al., 2016). Utiliza técnica de modulação baseada na *Chirp Spread Spectrum* (CSS), permitindo que os dados possam ser transmitidos com baixos níveis de potência e menos suscetíveis a ruídos de transmissão (VILLARIM et al., 2019). Por consequência, o protocolo permite um consumo mínimo de energia e promove uma maior vida útil para bateria dos dispositivos que fazem uso desta tecnologia.

Permite a utilização diversas bandas de frequência, conforme a regulamentação de cada país, variando entre 433, 868 ou 915Mhz (LORA, 2017). No Brasil, por regulamentação da ANATEL, a banda autorizada para uso do LoRa é a faixa compreendida entre 915 a 928 MHz, também conhecida como banda AU915-928. Ela se divide em 8 sub-bandas, perfazendo



um total de 64 canais *uplink* de 125kHz, 8 canais *uplink* de 500 kHz e 8 canais *downlink* de 500kHz (NETWORK, 2021). Usando a técnica de agregação de canais, o protocolo permite alcançar taxa de transferência de até 50 kbps.

2.2 O PADRÃO LORAWAN

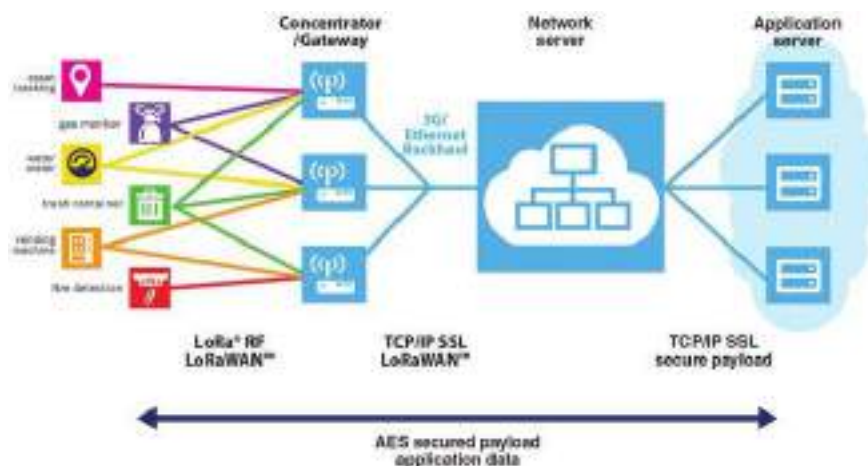
Dispositivos LoRa podem comunicar-se somente com outros dispositivos LoRa. Para a comunicação com outros dispositivos, especialmente com dispositivos que utilizam a pilha TCP/IP, a *Lora Alliance* desenvolveu o padrão LoRaWAN, que permite essa integração (MEIRELES et al., 2018). Enquanto a modulação LoRa é uma tecnologia proprietária, o LoRaWAN é um padrão aberto, sendo desenvolvido por essa aliança.

Dessa forma, o LoRaWAN nada mais é que um protocolo de comunicação da subcamada de acesso ao meio (MAC) que utiliza a camada física LoRa. Entre as suas principais funcionalidades (LORA, 2017), podemos destacar as seguintes:

- **Endereçamento:** registra o endereçamento do dispositivo de destino para os dados possam chegar até o destinatário;
- **Integridade:** permite que o destinatário verifique a integridade dos dados transmitidos, podendo ou não solicitar sua retransmissão;
- **Segurança:** realiza a criptografia dos dados transmitidos através do protocolo AES 128 bits;
- **Adaptabilidade:** chamada de *Adaptive Data Rate* (ADR), permite que a taxa de transmissão e a potência do sinal possa ser dinamicamente alterada pelo protocolo conforme o ambiente;
- **Categorização:** permite a classificação dos *end-devices* em três categorias, conforme descrito na Seção 2.2.1.

Além disso, o padrão LoraWAN prevê o uso uma estrutura complexa – uma espécie de “nuvem” – que forma uma topologia chamada de “estrela-das-estrelas”, onde todos os dados devem passar obrigatoriamente por essa “nuvem” que os encaminha para o destino correto (CHINCHILLA-ROMERO, 2021). Essa “nuvem” pode ser uma solução pública – como a TTN - ou privada. Nesta topologia de rede (), três diferentes componentes compõem essa estrutura: *end-devices*, *gateways* e *network servers*.

Figura 7: Topologia geral da rede LoRaWAN.



Fonte: NETWORK, 2020.

2.2.1 End-devices

Os *end-devices*, também chamados de *moten*, são os diversos tipos de dispositivos finais que geram os dados e transmitem para os *gateways* mais próximos utilizando a modulação LoRa e que fazem uso da subcamada MAC. Alguns exemplos de dispositivos são os sensores de consumo de energia, gás, água, medidores de temperatura e umidade, rastreadores de objetos, etc.

Estes dispositivos podem gerar tanto transmissões (*uplink*), ou seja, enviando mensagens, como também receber mensagens (*downlink*) do servidor, dependendo da situação ou necessidade que a aplicação está inserida. Uma característica importante nas redes LoRaWAN é que não são permitidas comunicações entre os *end-devices*, somente entre o *end-device* e o *network server*, via *gateways*. Isto ocorre pois - conforme já mencionado na Seção 2.2 - o cabeçalho MAC comporta apenas o endereço de destino.

Os *end-devices* também podem efetuar transmissões de diferentes maneiras, divididas em três classes (AUGUSTIN et al., 2016), de acordo com a necessidade de aplicação:

- Classe A, bidirecional: Os *end-devices* de Classe A podem programar uma transmissão *uplink* com base em suas próprias necessidades, com um pequeno jitter¹. Esta classe de dispositivos permite comunicações bidirecionais, em que cada transmissão *uplink* é

¹Variação da latência



seguida por duas janelas de recepção *downlink*. A transmissão *downlink* do servidor em qualquer outro momento deve esperar até que ocorra a próxima transmissão *uplink*. Os dispositivos Classe A têm o menor consumo de energia, mas também oferecem pouca flexibilidade em transmissões *downlink*.

- Classe B, bidirecional com janelas de recebimento programadas: Os *end-devices* de classe B, além de possuírem as características dos dispositivos de classe A, abrem janelas extras do receptor em horários programados. Portanto, é necessário um sinalizador sincronizado pelo *gateway*, para que o servidor de rede possa saber quando o dispositivo final está escutando.

- Classe C, bidirecional com máximo de janelas de recebimento: Os *end-devices* de classe C possuem as funcionalidades dos dispositivos de classe B e também têm janelas de recepção quase contínuas. Portanto, eles possuem o maior consumo de energia.

2.2.2 Gateways

Gateways ou concentradores da rede LoRaWAN são equipamentos que se comportam como pontos de acesso que possuem conexão com a Internet. Sua função na rede é ser o ponto de conexão de milhares de dispositivos que se comunicam via radiofrequência, utilizando a camada física LoRa e o a subcamada MAC do padrão LoraWAN (ERTÜCK et al., 2019). Possuem a função de reencaminhar os dados recebidos dos *end-devices* e enviá-los aos *network servers* através do padrão TCP/IP, e vice-versa. Dessa maneira, *gateways* atuam como repetidores da rede.

2.2.3 Network servers

Também chamados de servidores de rede, os *network servers* são os servidores que executam a função de gerenciamento da rede, possuindo diversas funcionalidades: organizam os dados recebidos pelos *gateways*, realizam o processo de criptografia/descriptografia dos dados, providenciam respostas às solicitações, redefinem tempos de comunicação, taxa de dados e encaminham dados para aplicações externas registradas e autorizadas (ERTÜCK et al., 2019).

Estes servidores também possuem a função de eliminar as duplicidades, pois vários *gateways* podem receber a mesma mensagem de um dispositivo. Dessa forma, cabem aos *network servers* definir o melhor *gateway* para enviar dados ao *end-device*. Além disso, esses servidores contêm a base dos *motes* e *gateways* registrados na rede LoraWAN. Dessa forma, através dessa base de dados é possível que a rede possa enviar mensagens a um *end-device*, pois o cabeçalho MAC não comporta o endereço do *end-device* de origem, conforme já mencionado na Seção 2.2.

Eles também são responsáveis por registrar um *end-device* na rede. Este processo, chamado de ativação, pode ocorrer de duas formas (NOURA et al., 2020): *Activation By Personalization* (ABP) ou *Over-The-Air Activation* (OTAA). Na primeira, as chaves criptográficas de sessão são informadas manualmente no próprio *end-device*, enquanto na segunda elas negociadas dinamicamente entre o dispositivo e o servidor de rede. Dessa forma, o método OTAA é mais seguro e recomendado para realizar este procedimento.

Por fim, estes servidores também fazem a função de disponibilizar para aplicações externas autorizadas - chamadas de *application servers* - as informações oriundas dos *end-devices*, assim como status dos componentes da rede.

Dessa maneira, resumidamente, o processo de comunicação em uma rede LoraWAN ocorre da seguinte maneira: os *end-devices* enviam seus dados a um ou mais *gateways* utilizando modulação LoRa em conjunto com o protocolo LoraWAN. Estes convertem os dados recebidos para o padrão TCP/IP e os encaminham para servidores de rede através de uma conexão de rede com alta taxa de transferência, tipicamente utilizando tecnologias de comunicação Ethernet ou 4G. Ao receber os dados, estes servidores descriptografa-os e, caso configurados, encaminha-os para uma ou mais aplicações externas. Todo esse processo pode ser também visualizado na .

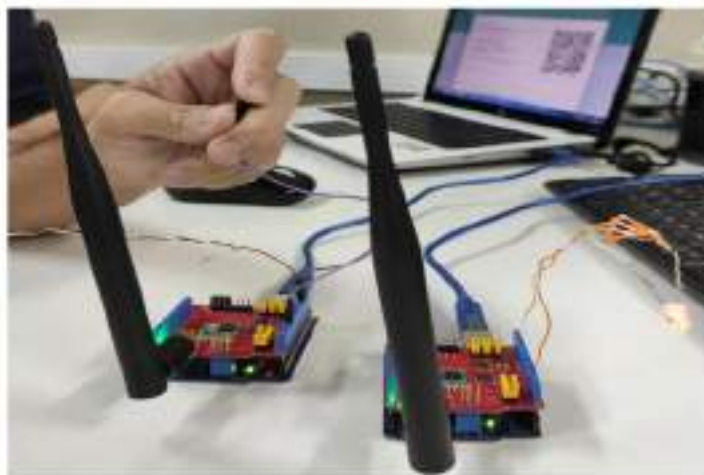
3 ANÁLISES ANTERIORES

No trabalho de CHINATO et al. (2020) foi avaliado o funcionamento de um dispositivo Dragino LoRa¹ onde foram avaliados o alcance do sinal e sua integração com a rede LoraWAN. Naquele trabalho não se conseguiu a conexão com os *gateways* públicos disponibilizados pela comunidade TTN de Caxias do Sul. Partiu-se, então, para a confecção

¹ <https://wiki.dragino.com/index.php>

de um *gateway* alternativo montado com outro dispositivo Dragino. Ambos dispositivos são mostrados na .

Figura 8: Shields Dragino comunicando-se via LoRa



De maneira análoga aos dispositivos Heltec apresentados no Capítulo 4, os Draginos Lora são hardwares de baixo custo - também conhecidos como shields – que permitem tanto a configuração de *end-devices* quanto a criação de *gateways*. Neste último caso, porém, é necessário que o dispositivo seja ligado a um pequeno microcomputador Raspberry¹ para que possa ter acesso à conexão de internet necessária para a transmissão dos dados aos *network servers*.

Como resultados obtidos, verificou-se que a distância máxima de transmissão entre *gateway* e *end-device* foi de 240 metros em ambientes outdoor e de 70 metros em ambientes *indoor*, todavia esse alcance foi avaliado apenas utilizando o protocolo LoRa, não realizando qualquer tipo de avaliação a respeito do comportamento da rede LoraWAN – a não ser a verificação do funcionamento do *gateway*.

Dessa forma, verifica-se que há uma lacuna de pesquisa no que diz respeito a análise do funcionamento de toda a arquitetura LoraWAN, e não somente do protocolo LoRa. É esta lacuna que o trabalho se propõe a avaliar, fazendo a utilização de dispositivos de baixo custo.

¹ <https://www.raspberrypi.org>

4 PROPOSTA

A proposta desse trabalho consistiu na montagem do ambiente mostrado na . Nele, foram utilizados dois dispositivos Heltec WiFi LoRa 32 v2¹ desenvolvido pela fabricante Heltec Automation, conforme . Esta placa oferece Wi-Fi, Bluetooth, módulo LoRa SX127x integrados, antena específica para frequência 915Mhz, conector para bateria externa e um display OLED de 0.96", tendo um custo aproximado de 20 dólares. Dessa forma, este dispositivo se torna um hardware de desenvolvimento ideal para a implementação do ambiente proposto.

Figura 9: Ambiente de análise do trabalho



Um dos dispositivos () foi configurado para executar a função de *gateway* da rede LoRaWAN, pois possui tanto a comunicação LoRa quanto Wi-Fi, superando as limitações existentes no dispositivo Dragino mencionado no Capítulo 3. Para parametrização deste, utilizou-se a biblioteca *Gateway Single Channel*². Por limitações da biblioteca e do dispositivo, é possível utilizar somente um canal de comunicação por vez, portanto o *gateway* possui limitações em relação à especificação LoRaWAN. A frequência utilizada para o canal foi de 916,8 MHz.

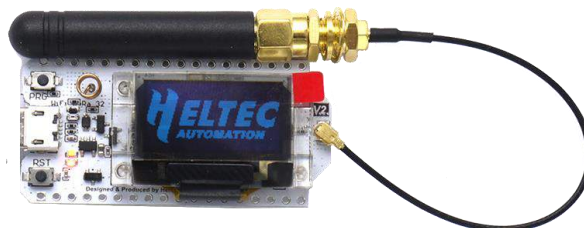
Conforme mostra a , o outro dispositivo Heltec foi parametrizado para executar a função de *end-device*. Este era responsável por enviar dados de temperatura e umidade coletados por um sensor DHT11³. Apesar de possuir uma baixa precisão – variações de até 2°C na temperatura e 5% na umidade –, este sensor apresenta um baixo custo e é compatível com a proposta. Além disso, foram utilizadas as seguintes bibliotecas neste hardware:

¹<https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>

²<https://github.com/things4u/ESP-1ch-gateway>

³<https://learn.adafruit.com/dht>

Figura 10: Dispositivo Heltec LoRa.



Fonte: <http://heltec.org>

- Heltec_ESP32¹ - Biblioteca responsável pelas funcionalidades do dispositivo WiFi LoRa 32 V2;
- SPI² - Biblioteca utilizada para obter a funcionalidade do protocolo *Serial Peripheral Interface* (SPI) do dispositivo;
- DHT³ - Biblioteca necessária para obter funcionalidade do sensor DHT11, responsável por realizar a leitura e detecção de temperatura e umidade;
- CayenneLPP⁴ - Responsável pelas funcionalidades de conversão de *payload* para o modelo padrão aceitável pelo servidor de aplicação Cayenne, explanado adiante.

Figura 11: Gateway montado com um dos dispositivos Heltec LoRa



- LMIC (LoraMAC-in-C)⁵ – Adaptação da biblioteca IBM LMIC que permite utilizar as funcionalidades do *transceiver* LoRa SX1272, SX1276 e módulos compatíveis. Inclui implementações LoraWAN completas para dispositivos Classe A e B, com suporte a banda

¹https://github.com/HelTecAutomation/Heltec_ESP32

²<https://www.arduino.cc/en/reference/SPI>

³<https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library>

⁴<https://developers.mydevices.com/cayenne/lora/>

⁵<https://github.com/matthijskooijman/arduino-lmic>

EU-868, US-915 e AU-915. Da mesma maneira que o *gateway*, essa biblioteca permite a utilização de apenas um canal por vez, configurado para a faixa de 916,8 MHz.

Finalmente, para executar as funções de *network server* e *application server*, utilizou-se da estrutura fornecida pela TTN, em conjunto com a aplicação Cayenne. Esta fornece uma interface web que permite visualizar os dados recebidos pelo *end-device*, além de armazenar o histórico dos dados, permitindo, inclusive, que os dados sejam exportados para um formato aberto.

Figura 12: Heltec LoRa configurado como end-device com sensor DHT11



5 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

Para avaliação do ambiente, implantou-se o *gateway* no centro da cidade de Flores da Cunha, localizada na região serrana do Rio Grande do Sul. Possui cerca de 31 mil habitantes (IBGE, 2020) e não é atendida por nenhum *gateway* público da TTN.

Neste local foram executados três testes: testes de envio de dados entre *end-device* e *network-server*, testes de distância da comunicação entre *end-device* e *gateway* e testes de latência da rede pública TTN. O primeiro teste validou a funcionalidade do *gateway*, recebendo os dados recebidos via LoRa e reencaminhando-os para o servidor de rede, que então redirecionava os dados recebidos para a aplicação Cayenne.

O segundo teste tinha por finalidade validar a cobertura dessa rede utilizando esses dispositivos, através da medição de sinal de diversas distâncias. Neste teste, ainda, três cenários foram considerados:

- Cenário 1: um percurso em linha reta numa avenida onde poucos obstáculos se encontravam entre o *end-device* e *gateway*, considerando distâncias de 100, 500, 1000

e a máxima distância possível. Em cada uma das distâncias medidas foram enviados 180 quadros e calculada a média da potência de recepção do sinal (RSSI) e relação sinal-ruído (SNR) obtidos;

- Cenário 2: um caminho aleatório dentro da cidade, porém com muitos obstáculos entre os dispositivos, tais como prédios, casas, bosques e demais construções, considerando distâncias de 35, 45, 50 e 100 metros. Da mesma maneira que no Cenário 1, em cada uma das distâncias medidas foram enviados 180 quadros e calculada a média da RSSI e SNR obtidos;
- Cenário 3: um percurso definido posteriormente a partir da cobertura obtida no Cenário 1. Neste Cenário, foi realizada uma medição contínua da variação da RSSI e da SNR conforme ocorria o deslocamento.

Como limitação deste teste, pode-se verificar que poucas distâncias foram consideradas nesta análise, bem como foram analisados poucos trajetos possíveis, apesar dos três cenários mapeados.

Já o terceiro teste consistiu em enviar 650 quadros do *end-device* para a aplicação Cayenne, onde cada quadro era enviado a cada 10 minutos. A cada envio, era medido a latência entre o recebimento do quadro no *gateway* e o seu reencaminhamento, passando por toda nuvem pública da TTN, até uma aplicação. Esta era responsável por armazenar o horário do registro do quadro pelo *gateway* e o horário registrado pela aplicação. Todavia, visto que a conexão com a nuvem pública TTN é feita a partir de operadora de Internet, o funcionamento desta conexão pode comprometer na confiabilidade dos resultados, sendo esta uma limitação deste teste.

Outra limitação desta metodologia de avaliação é quanto à carga suportada pelo *gateway*, visto que ele permite somente o uso de um canal por vez, podendo apresentar problemas de sobrecarga quando houver múltiplos dispositivos tentando comunicar-se simultaneamente.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação aos resultados obtidos, primeiramente, pode-se verificar que foi possível realizar a comunicação entre *end-device* e *gateway* utilizando os dispositivos Heltec, corroborando o resultado apresentado por CHINATO et al.,2020, porém sem a necessidade de



uso do Raspberry para realizar as funções de conectividade e processamento, tornando a solução financeiramente mais viável.

Já os resultados dos testes de distância são mostrados nas Tabelas 5 e 6. Ambos resultados são provenientes da distância máxima em que o *end-device* obteve sucesso em comunicar-se com o *gateway* que se encontra instalado em ambiente indoor. No Cenário 1, mostrado na *Tabela 5*, onde foi percorrido um caminho sem obstáculos na avenida central da cidade, conseguiu-se atingir a distância máxima de 1330 metros, conforme medição mostrada na (a). Esse resultado representa que a comunicação LoraWAN utilizando dispositivos Heltec apresenta um alcance 554% maior que os dispositivos Dragino avaliados no trabalho de CHINATO et al.,2020, porém esse valor representa apenas 44% da distância estimada em *gateways* comerciais, avaliado em cerca de 3 km na comunidade TTN de Caxias do Sul¹. Ainda assim, considerando a distância medida, esse *gateway* atenderia praticamente todo o perímetro urbano da cidade de Flores da Cunha, deixando apenas de atender bairros periféricos e com pouca densidade populacional como Nova Roma, União e São Cristóvão, conforme mostra a Figura 7.

Tabela 5: Distância, RSSI e SNR obtidos no Cenário 1.

Distância(m)	RSSI(dBm)	SNR(db)
100	-23.50	12.43
500	-64.00	11.18
1000	-115.00	-3.67
1330	-118.00	-12.50

Além disso, conforme demonstra a tabela 1, a tecnologia LoraWAN permite a comunicação com baixíssimos níveis de recepção de sinal, com RSSI de -118 dBm, o que representa uma potência mais de 1000 vezes inferior que o necessário para as redes WiFi tradicionais (METAGGEK, s.d). Outro resultado relevante pode ser verificado na SNR. Para as distâncias de 1000 e 1330 metros, os dados foram recebidos com SNR negativos, demonstrando que a potência era mais baixa que o próprio ruído do meio de transmissão.

¹<https://www.thethingsnetwork.org/community/caxias-do-sul/>

Figura 13: Trajetos percorridos durante os testes. Em (a) é mostrado o trajeto do Cenário 1; em (b) o trajeto do Cenário 2 e; em (c), o trajeto do Cenário 3



Fonte: os autores

OBS.: Neles, o gateway está localizado no ponto 0, exceto no Cenário 1, onde ocorre o inverso.

Já no Cenário 2, mais crítico, tentou-se percorrer o trajeto mostrado na (b). Os resultados são mostrados na *Tabela 6*. Como pode ser percebido, somente foi possível transmitir dados a até 50 metros. Isso demonstra como os obstáculos atenuam fortemente a disseminação do sinal. Todavia, pode-se perceber que neste cenário conseguiu-se obter comunicação com RSSI de -120 dBm, ainda mais inferior que o obtido no Cenário 1.

Tabela 6: Distância, SNR e RSSI obtidos no Cenário 2.

Distância(m)	RSSI(dBm)	SNR(db)
35	-10.30	15.30
45	-105.00	-2.18
50	-120.00	-5.67
100	SEM SINAL	SEM SINAL

Finalmente, no Cenário 3 foi percorrido o trajeto mostrado na (c), e a variação do RSSI e SNR é mostrada na . Estabeleceu-se que os primeiros 25 quadros seriam enviados próximo ao *gateway*, onde foram obtidos valores médios de RSSI de -30 dBm e SNR de 11dB. Em

seguida, iniciou-se o percurso a partir do ponto 0, afastando-se do referido dispositivo. Conforme isso ocorria, percebe-se na que há uma queda progressiva do SNR e do RSSI, sendo que neste último essa redução ocorre de maneira mais acentuada. Em seguida, ao atingir-se a distância máxima medida no Cenário 1, o sinal é perdido. Seguiu-se então o trajeto até a próxima esquina, onde virou-se à esquerda por duas vezes, de forma a realizar o trajeto de volta pela rua paralela ao trajeto de ida. Ao se restabelecer o sinal, permaneceu-se parado por alguns minutos. Neste momento, ocorre uma estabilização dos níveis de SNR e RSSI em valores médios de -7 dB e -118 dBm respectivamente, conforme também demonstrado na , entre os quadros 36 e 142.

Figura 14: Projeção da cobertura da cidade de Flores da Cunha, a partir das medições realizadas



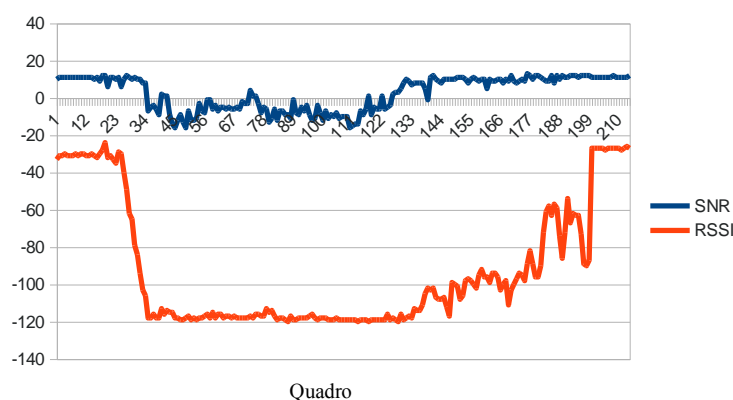
Fonte: os autores

Ao prosseguir no trajeto de volta, os níveis de RSSI e SNR voltam a elevar-se, porém apresentando variações, pois há prédios, casas e outros obstáculos que não permitem uma visada direta entre *end-device* e *gateway*. Neste trajeto de volta, ainda, avançou-se além do local onde estava instalado o *gateway*, seguindo a norte deste, e posteriormente voltando ao local de onde iniciou-se o teste. Durante esta etapa, identificada na entre os quadros 143 e 200, houve variações ainda maiores de RSSI, estabilizando-se o sinal nos níveis verificados no início do teste após o retorno ao ponto inicial, identificado a partir do quadro 201. Novamente, nesta análise, corrobora-se as afirmações descritas durante a discussão dos

resultados dos Cenários 1 e 2 no que diz respeito à cobertura do *gateway* e da possibilidade de comunicação com níveis baixíssimos de potência de sinal.

No que diz respeito à análise da latência entre o recebimento do quadro LoraWAN no *gateway* e seu respectivo reenvio para a aplicação, percorrendo toda a nuvem da TTN, os resultados são mostrados na . Nesta avaliação, verificou-se que a latência mínima foi de 866 ms, a máxima foi de 2062 ms, a média ficou em 1027 ms e a mediana ficou em 983 ms. Dessa forma, percebe que, na maioria dos envios esse tempo ficou abaixo de um segundo. Apesar desses valores serem muito altos para aplicações de tempo real, que requerem altos níveis de precisão, esses resultados demonstram que esse retardo é baixo para a imensa maioria das aplicações IoT, que não necessitam deste requisito.

Figura 15: Variação de RSSI e SNR conforme deslocamento pelo trajeto do Cenário 3

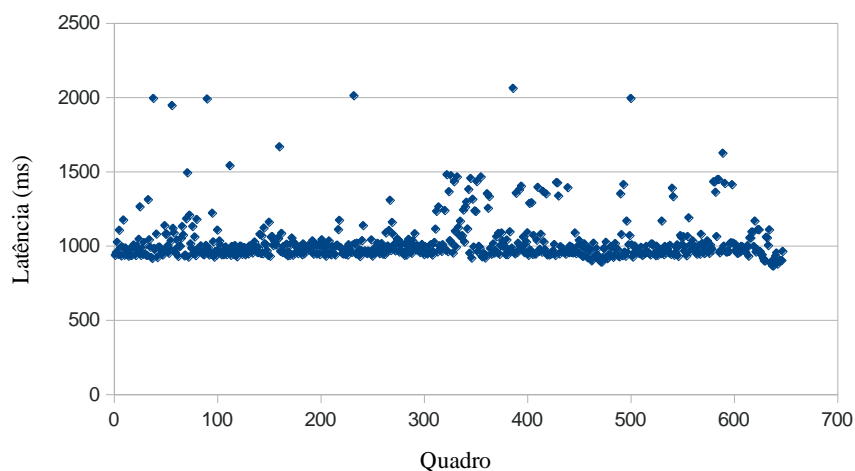


Além disso, verificou-se que entre os quadros 307 ao 377 houve um aumento de 7% da latência, com uma média de 1107 ms, indicando que naquele momento houve um possível aumento de carga sobre a estrutura da TTN ou ainda um problema de conectividade com a operadora de dados, não sendo possível identificar a real causa em função das limitações desse estudo.

Por fim, considerando ainda o possível problema relatado no parágrafo anterior e considerando o valor da mediana como referência, somente 15,5% dos quadros apresentaram latências superiores ou inferiores a 10%. Como consequência, essa relativa estabilidade permite que sejam aplicados recursos de sincronismo em aplicações IoT que necessitem desse requisito. Este resultado, ainda, demonstra que a nuvem pública não apresentou sobrecarga

durante a realização do teste. Finalmente, caso essa nuvem estivesse configurada em uma rede local, possivelmente os valores de latência seriam ainda mais baixos.

Figura 16: Latência da comunicação entre o gateway e o recebimento na aplicação LoraWAN



Fonte: os autores

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre as redes LPWAN atuais, a LoraWAN é a que apresenta os menores custos de implantação. Praticamente toda sua estrutura é aberta e há uma comunidade mundial que fornece acesso gratuito a maior parte de seus recursos, através da nuvem TTN que, entre outras coisas mais, possuem *gateways* LoraWAN espalhados por diversos locais do planeta.

Todavia, esses dispositivos estão disponíveis apenas em grandes cidades, dificultando assim que usuários localizados em médias e pequenas localidades possam obter acesso a rede de maneira gratuita. Dessa forma, nesses locais, faz-se necessária a aquisição desses *gateways* para obter acesso à rede. Porém, o custo desses equipamentos é demasiadamente caro. Assim, alternativas mais baratas podem ser uma solução desse problema.

Este trabalho, portanto, apresentou uma avaliação do comportamento dessa possível solução, através de uma rede LoraWAN de baixo custo, utilizando a rede pública TTN e utilizando *gateways* e *end-devices* Heltec LoRa, que custam cerca de 150 reais, adequados à proposta apresentada.



Como resultados obtidos, no melhor cenário possível, obteve-se alcance do sinal entre *end-device* e *gateway* de até 1330 metros, possuindo um alcance 554% maior que os dispositivos Dragino avaliados em CHINATO et al. (2020) e suficiente para cobrir praticamente toda a área urbana do município de Flores da Cunha. Outro resultado verificado durante a confecção deste trabalho é de que a rede TTN, pública e gratuita, apresentou desempenho aceitável para a imensa maioria das aplicações voltadas à IoT, visto que a medição da latência apresentou uma média de um segundo, indicando que a rede não apresentou sobrecarga durante os testes.

Em relação a trabalhos futuros, pretende-se comparar o desempenho da nuvem pública TTN com nuvens privadas como *ChirpStack*, bem como analisar o comportamento e a confiabilidade dessa mesma rede considerando o uso simultâneo de vários *end-devices*, de forma analisar a capacidade de carga do *gateway* de baixo custo apresentado, visto que este apresenta limitações no uso de canais simultâneos.

REFERÊNCIAS

AUGUSTIN, A., YI, J., CLAUSEN, T. e TOWNSLEY, W. M. A Study of Lora: Long Range & Low Powernetworks for the Internet of Things, *Sensors* (Switzerland), 2016, pp. 1–18.

CHINATO, A., GARCIA, R., DA SILVA, J., CARVALHO, E., DE LIMA, M., DE LIMA, J. V. e FERRIGO, S. Análise do Funcionamento de Dispositivos Lora e Lorawan na Cidade de Caxias do Sul/RS, *Anais da XX Escola Regional de Alto Desempenho da Região Sul*, SBC, Porto Alegre, RS, Brasil, pp. 17–20, 2020.

CHINCHILLA-ROMERO, N., NAVARRO-ORTIZ, J., MUÑOZ, P. e AMEIGEIRAS, P. Collision Avoidance Re-source Allocation for LoRaWAN, *Sensors* (Switzerland), 2021, pp 1–19.

ERTÜCK, M. A., AYDIN, M. A., BÜYÜKAKKAŞLAR, M. T. e EVIRGEN, H. A Survey on LoRaWAN Architecture, Protocol and Technologies, *Future Internet*, 2019.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE Cidades. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/flores-da-cunha/panorama>. Acesso em 10.abr.2021, 2020.



LORA, A. T. C. LoRaWAN 1.1 Specification. Disponível em <https://loralliance.org/resource-hub/lorawantm-specification-v11>. Acesso em 01.mai.2020, 2017.

MEIRELES, L., GARCIA, L. e SEGUNDO, A. Projeto e Implantação de Rede de Internet das Coisas em Regiões Montanhosas. XXXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS, pp. 16–19. Campina Grande, 2018.

METAGGEEK. The Basics: Why is my WiFi so slow and how do I fix it?. Disponível em: <https://support.metageek.com/hc/en-us/articles/201955754-Acceptable-Wi-Fi-Signal->

Strengths. Acesso em 01.abr.2021, [s.d.]

NETWORK, T. T. The Things Network. Disponível em <http://www.thethingsnetwork.com>. Acesso em: 27.abr.2021, 2021

_____. The Things Network Brazil. Disponível em <https://www.thethingsnetwork.org/country/brazil/>. Acesso em: 02.abr.2021, 2021

_____. Frequency Plans by Country. Disponível em <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/frequencies-by-country.html>. Acesso em: 13.abr.2021, 2021

NOURA, H., HATOUM, T., SALMAN, O., YAACOUB, J.-p. e CHEHAB, A. Internet of Things LoRaWAN Security Survey: Issues, Threats and Possible Mitigation Techniques, Internet of Things, 2020.

THIEME, W. 5 Wireless IoT Communication Trends to Watch in 2020. Disponível em <https://cutt.ly/jzQ5uJL>. Acesso em 24.out.2020.

VILLARIM, M. R., DE LUNA, J. V. H., MEDEIROS, D., PEREIRA, R. I. S. e DE SOUZA, C. P. LoRa Performance Assessment in Dense Urban and Forest Areas for Environmental monitoring, INSCIT2019-4th International Symposium on Instrumentation Systems, Circuits and Transducers, 2019, pp. 1–5.