

Estudo do desempenho e integração de sistemas de comunicação LoRa para suporte à Indústria 4.0

Study of the performance and integration of LoRa communication systems to support Industry 4.0

RESUMO

Henrique Terzi Lucchetta
henriquetlucchetta@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Murilo Oliveira Leme
muriloleme@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

As LPWAN's tornaram-se muito populares nos últimos anos, devido ao seu baixo consumo de energia e a capacidade de transmitir pequenos pacotes de dados por longas distâncias. Este artigo teve como objetivo realizar um teste em campo, para avaliar o comportamento e as capacidades do protocolo LoRa em médias e grandes distâncias, visando a possibilidade de sua implementação como protocolo de comunicação e integração na Indústria 4.0. Para isso, foram feitos testes ponto-a-ponto seguindo os parâmetros equivalentes ao de uma comunicação LoRaWAN. Inspeccionaram-se características do sinal, tais como, a intensidade, a relação sinal-ruído, a perda de pacotes e padrões em pacotes corrompidos. Por fim, levantou-se uma possível maneira de pós-processamento de pacotes corrompidos, a fim de recuperá-los, evidenciou-se a possibilidade de alcançar distâncias maiores do que as propostas inicialmente para o experimento, e as atenuações do sinal devido ao relevo do terreno.

PALAVRAS-CHAVE: LoRa. LPWAN. Análise de desempenho LoRa.

ABSTRACT

The LPWANs have become very popular in the last years, due to their low power consumption and the ability to transmit small data package over long distances. This article aimed to perform a field test to assess the behavior and capabilities of the LoRa protocol over medium and long distances, addressing the possibility of its implementation as communication protocol and integration in industry 4.0. Thus, point-to-point test were conducted following the equivalent parameters as the LoRaWAN communication. Signal features were inspected, such as, intensity, signal-to-noise ratio, data package loss and corrupted data package patterns. Therefore, a possible way of post-processing of the corrupted data package were raised, in order to recover it, the capacity to reach greater distances than could be tested, and the signal attenuations due to the terrain relief were evidenced.

KEYWORDS: LoRa. LPWAN. Performance analysis LoRa.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Entre as principais tecnologias por trás da Indústria 4.0 está a proposta de uma rede integrada de recursos e processos físicos para permitir a fusão dos mundos físico e virtual (WEYER et. al., 2015), onde sistemas embarcados em rede monitoram e controlam processos físicos com repetitivas operações de solicitações/respostas em que processos físicos afetam os processos de informação e vice-versa.

Dentre as tecnologias de comunicação aplicadas no cenário da Indústria 4.0, as LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) tem se destacado em função da sua área de abrangência e possibilidades.

Hoje várias tecnologias LPWAN estão disponíveis, entretanto, conhecer o desempenho e os limites das comunicações é importante para a definição de possíveis aplicações no cenário de IoT (*Internet of Things*) e Indústria 4.0.

Utilizando-se de dois transceptores de rádio comerciais, foi estabelecida uma comunicação entre eles, e buscou-se verificar os limites desta comunicação observando os parâmetros informados pelo próprio rádio. Esses parâmetros foram usados para determinar a qualidade da comunicação em cada ponto. Observou-se que mesmo no ponto mais distante testado, a comunicação ainda se fazia presente de forma estável. Além disso, foi observado um padrão em mensagens que chegaram corrompidas. Com base nesse padrão, seria possível implementar técnicas para o tratamento da mensagem corrompida para que em casos específicos, ainda fosse possível decifrar seu conteúdo, e desta maneira a mensagem não seria completamente descartada.

REFERENCIAL TEÓRICO

As LPWAN's são um tipo de comunicação sem fio com o objetivo de cobrir grandes áreas e manter um baixo consumo de energia (THALES GROUP, 2020). Isso é possível devido às baixas taxas de dados e o tamanho reduzido dos pacotes transmitidos (LASSEN, 2014). As taxas de transmissão variam de acordo com a tecnologia utilizada conforme a Tabela 1, mas em geral ficam entre 0,3 kb/s (*kilo bits per seconds*) e 50 kb/s por canal (ADELANTADO, 2017; LORA ALLIANCE, 2020). A característica de baixo consumo torna-os ideais para aplicações que utilizam baterias e com algumas aplicações podendo funcionar por mais de 10 anos (PATEL, 2017; LASSEN, 2014). Outro ponto importante é o baixo custo por unidade, viabilizando sua utilização em larga escala.

A Tabela 1 apresenta um breve comparativo entre três tipos distintos de comunicações LPWAN. Suas diferenças se fazem necessárias para poderem atender uma ampla gama de necessidades de aplicação.

Tabela 1 – Visão geral das tecnologias LPWAN: Sigfox, LoRa e NB-IoT

Característica	Sigfox	LoRaWAN	NB-IoT
Frequência	Faixas ISM não licenciadas	Faixas ISM não licenciadas	Bandas de frequência licenciada LTE
Máximo bit rate	100 bps	50 kbps	200 kbps
Alcance	10 km (urbano), 40 km (rural)	5 km (urbano), 20 km (rural)	1 km (urbano), 10 km (rural)
Imunidade à interferência	Muito alta	Muito alta	Baixa
Limite diário de mensagens	140 (UL), 4 (DL)	Ilimitado	Ilimitado
Bit rate adaptativo	Não	Sim	Não

Fonte: Adaptado de MEKKI et. al, (2019).

MATERIAIS E MÉTODOS

Verificou-se empiricamente, o comportamento e a viabilidade da comunicação LoRa (*Long Range*) ponto-a-ponto em função da variação da distância. O teste consistiu basicamente da utilização de dois transceptores, sendo um denominado como *gateway* (o que recebe as mensagens) e o outro como *node* (o que transmite as mensagens).

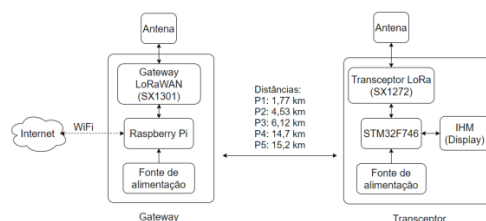
Dentre os componentes utilizados para o *gateway*, destacam-se:

- Raspberry Pi 3 Model B+, computador de placa única, com Linux embarcado, utilizado para realizar o processamento, armazenamento e distribuição dos dados recebidos;
- Gateway LoRaWAN Radioenge - RD43HAT, responsável por realizar a interface entre os sinais de rádio e os dados digitais (comunicação SPI) do Raspberry Pi;
- Antena dipolo de $\frac{1}{4}$ de onda para 915 MHz, comprimento total: 15,6 cm.

Dentre os componentes utilizados para o *node*, destacam-se:

- STM32F746G Discovery, placa de desenvolvimento com ARM Cortex-M7 e *display* integrado;
- SX1272MB2xAS, *Shield* com transceptor LoRa;
- Antena comercial de PCB para 915MHz (modelo não especificado).

Figura 1 – Diagrama em blocos da montagem do experimento



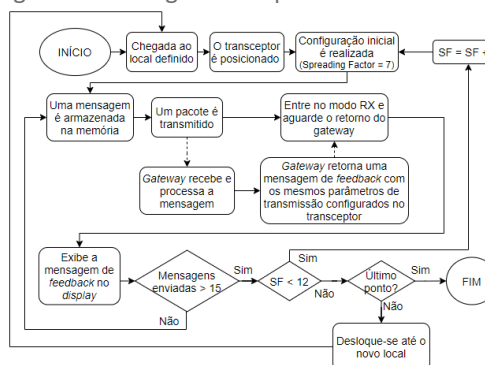
Fonte: Autoria própria (2020).

A Figura 1 ilustra o diagrama de montagem do experimento. Após definir todo o equipamento, foi escolhido um ponto estratégico para a fixação do *gateway*. Este ponto possuía a vantagem de estar em campo aberto e ter uma linha de visão sem obstáculos para os pontos testados.

O algoritmo de teste está ilustrado na Figura 2. Os testes ocorreram em cinco locais (Figura 3). Ao lado do mapa está o relevo do terreno em linha reta entre o ponto P0 (*gateway*) e a cada ponto testado. Os gráficos de relevo não consideram a altura das antenas em relação ao solo. O *gateway* e o *node* estavam a 7,7 metros e 1,43 metros acima do solo, respectivamente.

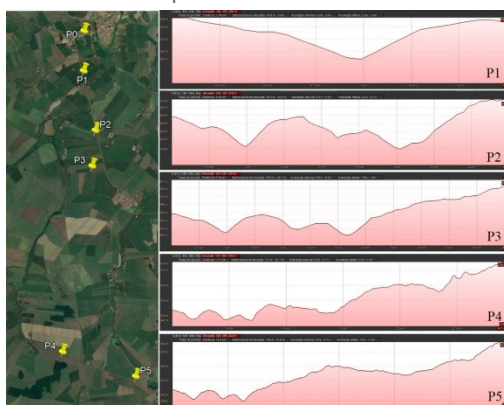
Entre P1 e P0 a distância é de 1,77 km e a altitude considerando a elevação das antenas é de 367,7 metros para o *gateway* e 358,4 metros para o *node*. Em P2 a distância é de 4,53 km e 370,4 metros de altitude no *node*. Em P3, a distância de 6,12 km com 391 metros de altitude. Em P4, a distância de 14,7 km com altitude de 439 metros e P5 com 16 km e 480 metros de altitude.

Figura 2 – Fluxograma do procedimento de teste



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 3 – Locais no mapa e relevo do terreno entre cada ponto



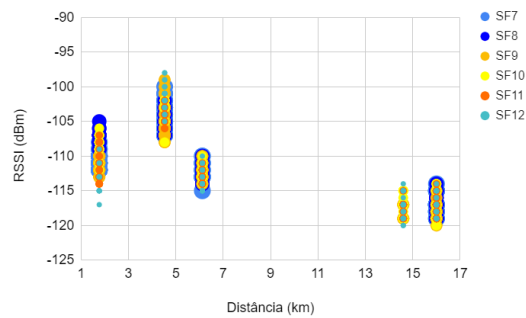
Fonte: Google Earth (2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados aqui apresentados são com relação aos dados recebidos pelo *gateway*, com o *node* transmitindo esses dados a 14 dBm (ou 25 mW).

Através da Figura 4, nota-se como o sinal foi afetado tanto em função da distância, quanto pelo relevo do terreno entre o transmissor e o receptor, este efeito fica bem evidente na intensidade do sinal em curtas distâncias, como pode ser visto entre os pontos P1, P2 e P3. Já nos pontos P4 e P5, a diferença do valor médio de RSSI (*Received Signal Strength Indication*) foi de 0,1 dBm.

Figura 4 – Intensidade do sinal em função da distância

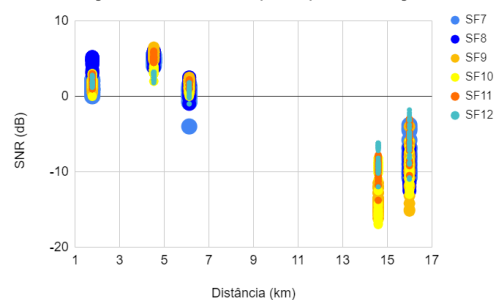


Fonte: Autoria própria (2020).

Avaliando-se apenas os valores de RSSI, não se pode chegar a uma conclusão definitiva sobre a qualidade do sinal nesses pontos mais distantes. Analisando os valores de SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) da Figura 5, para os pontos P4 e P5, nota-se uma diferença visível dos níveis de sinal-ruído.

Percebe-se (Figura 5) que com o aumento do SF (*spreading factor*) houve uma melhora nos níveis de SNR, ao custo da redução da taxa de dados (*bit rate*). Devido às características de relevo do terreno no ponto P4, não foi possível receber nenhuma mensagem com SF menor que 10. No entanto, no ponto P5, apesar de ser um pouco mais distante, foi possível receber mensagens em todas as faixas de SF suportadas pelo gateway.

Figura 5 – Relação sinal ruído (SNR) em função da distância



Fonte: Autoria própria (2020).

A Tabela 2 apresenta informações de como a variação do SF impactou nos pacotes recebidos em longas distâncias (ponto P5). Os pacotes com elevado SF (11 e 12) apresentaram um ótimo desempenho, não apresentando nenhum tipo de perda de pacotes ou erros no *payload* para a quantidade de mensagens enviadas e para a distância de 16 km (P5). Isso foi um forte indicativo de que a distância de comunicação nessas condições poderia ser maior. Com relação à perda de dados, o pior tipo de perda observado está relacionado com a não

detecção do preâmbulo de um pacote, este tipo de falha causa a perda de toda a informação contida nele.

Tabela 2 – Relação entre mensagens enviadas e recebidas, CR $\frac{4}{8}$

SF	Mensagens	Total de pacotes	Total de bits	Total de pacotes recebidos com erros	Total de bits recebidos com erros	Pacotes perdidos	Pacotes corrompidos	Bits corrompidos
12	Enviadas	15	245760	0	0	0%	0%	0%
	Recebidas	15	245760					
11	Enviadas	15	207360	0	0	0%	0%	0%
	Recebidas	15	207360					
10	Enviadas	15	168960	1	16	20%	8,33%	0,01%
	Recebidas	12	135168					
9	Enviadas	15	168960	6	140	0%	40%	0,08%
	Recebidas	15	168960					
8	Enviadas	15	168960	1	19	6,67%	7,14%	0,01%
	Recebidas	14	157696					
7	Enviadas	15	207360	7	160	53,33%	100%	0,17%
	Recebidas	7	96768					

Fonte: Autoria própria (2020).

Para entender melhor o comportamento e características dos pacotes corrompidos, a Tabela 3 compara uma mensagem sem nenhum erro, com três mensagens corrompidas. Os dados são apresentados no formato hexadecimal.

Tabela 3 – Características dos erros nas mensagens corrompidas

OK	67 20 50 36 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39
ERRO	67 20 50 36 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 30 31 32 90 A4 A6 AC 3E 38 39
ERRO	67 20 50 36 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 30 63 47 64 31 35 36 37 38 39 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39
ERRO	67 20 50 36 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 30 31 32 33 70 75 36 43 3C F9 F0 4D 54 33 34 35 36 37 38 39

Fonte: Autoria própria (2020).

Em negrito na Tabela 3 mostram-se os dados corrompidos. Notou-se que os tipos de erros mais frequentes que ocorriam em mensagens corrompidas caracterizavam-se por: *shifts* (deslocamento de *bits*) e união entre *bits* vizinhos.

Como exemplo, o primeiro *byte* corrompido da primeira mensagem em hexadecimal (e binário): $0x90 (0b10010000) \gg 3 = 0x12 (0b00010010)$, nota-se que este ainda não é o valor correto $0x33 (0b00110011)$, percebe-se então que neste caso, além do *shift*, houve uma união entre o primeiro com o segundo *bit*, e o quinto com o sexto *bit*. Os demais dados seguem esta mesma lógica.

CONCLUSÕES

Analisando os comportamentos associados aos *bytes* corrompidos (Tabela 3), seria possível desenvolver algum algoritmo otimizado na detecção desse comportamento e realizar o tratamento adequado dos erros. Desta forma, ao receber uma mensagem identificada como corrompida, o algoritmo agirá e tentará recuperar parte dos dados comparando-os com os anteriores.

Esta técnica proposta não seria aplicável para todo tipo de situação. Há exceções, como por exemplo, casos em que uma leitura de um sensor que varie pouco no tempo, não seria esperado que ocorresse uma mudança abrupta desta

leitura. Isto poderia então, indicar um erro naquele trecho de informação e o algoritmo aplicaria um esforço de correção.

Notou-se que para uma boa qualidade do sinal e cobertura de ampla área, uma boa linha de visão entre o transmissor e o receptor mostrou ser mais importante que a distância em si.

Segundo os resultados observados durante os ensaios, o uso de LoRa voltado à aplicações industriais (i.e. Indústria 4.0) restritas a distâncias na ordem de até 3 ou 4 km, não seriam gravemente impactados com o relevo do terreno ou obstáculos físicos no caminho (i.e. construções). No entanto, apesar de ser possível atingir grandes distâncias, foi observado que essa capacidade é limitada a cenários “ideais” (i.e. com linha de visão). Com relação a um ambiente industrial com alta densidade de dispositivos comunicando-se ao mesmo tempo, é importante notar que caso haja duas ou mais transmissões simultâneas na mesma frequência, ambas serão “destruídas”. Neste cenário, o uso do protocolo LoRaWAN mitiga este efeito, implementando a capacidade de “salto em frequências”, fazendo assim, o uso da modulação LoRa em conjunto com o protocolo LoRaWAN ideal para este tipo de situação.

Mesmo com a baixíssima potência de transmissão e antenas simples, foi possível comunicar-se a distâncias na ordem de 16 km. Visto que, os níveis de RSSI e SNR ainda encontravam-se acima do limite mínimo e através dos dados observados na Tabela 2, é possível afirmar que, haveria possibilidade para se alcançar distâncias maiores.

Em uma aplicação real nem sempre é possível obter uma linha de visão clara entre os pontos, no entanto, se for possível ter receptores em outros pontos para contornar os obstáculos, mesmo que em pontos mais afastados, esta pode ser uma solução adequada para este problema.

A proposta inicial era de fazer testes com distâncias de até 50 km, mas por conta de problemas causados pela pandemia Covid-19, os testes acabaram por serem realizados em outra região e o relevo da mesma não favorecia testes ponto-a-ponto maiores do que 16 km sem perder a linha de visão.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Fundação Araucária (FA), pela bolsa de Iniciação Tecnológica e Inovação (Programa de Iniciação Científica 2019/2020 - PIBIC) concedida ao acadêmico Henrique Terzi Lucchetta.

O autor agradece à empresa Trace Pack, pelo fornecimento dos materiais, e a todas as pessoas que contribuíram de alguma maneira para que a realização destes ensaios fosse possível.

REFERÊNCIAS

ADELANTADO, Ferran. et al. Understanding the Limits of LoRaWAN. **IEEE Communications Magazine**, Institute of Electrical e Electronics Engineers (IEEE), v. 55, n. 9, p. 34–40, 2017. ISSN 0163-6804. DOI: 10.1109/mcom.2017.1600613. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600613> .

LASSEN, Terje. **Long-range RF communication: Why narrowband is the de facto standard.** Disponível em: <https://www.mouser.com/pdfdocs/TI-Long-range-RF-communication.pdf> . Acesso em: 18 jul. 2020.

LORA ALLIANCE. **What is the LoRaWAN® Specification?** Disponível em: <https://lora-alliance.org/about-lorawan> . Acesso em: 18 jul. 2020.

MEKKI, Kais. et al. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. **ICT Express**, v. 5, n. 1, p. 1–7, 2019. ISSN 2405-9595. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.icte.2017.12.005> .

PATEL, Dhaval; WON, Myounggyu. **Experimental Study on Low Power Wide Area Networks (LPWAN) for Mobile Internet of Things.** Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/1705.06926.pdf> . Acesso em: 19 jul. 2020.

THALES GROUP. **What is LPWAN?** Disponível em: <https://justaskthales.com/en/what-is-lpwan/> . Acesso em: 19 jul. 2020.

WEYER, Stephan. et. al. Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. **IFAC-PapersOnLine**, v. 48, i. 3, p. 579-584, 2015, ISSN 2405-8963. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.143>