

Análise dos limites da tecnologia LoRaWAN

Vinicius Pozzobon Borin, Mauro Fonseca e Anelise Munaretto

Resumo—LoRaWAN é uma tecnologia de comunicação sem fio voltada para uso em Internet das Coisas. LoRaWAN é a camada de acesso ao meio da tecnologia e foi desenvolvida empregando a camada física LoRa, com operação em sub-GHz, múltiplos canais de operação e taxa de dados adaptativa. O objetivo deste trabalho é mostrar os limites desta tecnologia, como escalabilidade, eficiência, taxa de entrega de pacotes e consumo energético. Foram considerados diferentes cenários de simulação para testar a tecnologia. Para estes cenários, variou-se o número de nós na rede de 10 até 3000 nós, bem como o intervalo de tempo de entre-quadros de 250 ms até 4 min. Resultados mostraram que o total de pacotes entregues para cenários com taxa de dados adaptativa foram superiores a qualquer outro cenário testado.

Palavras-Chave—LoRa, LoRaWAN, enlace, espalhamento espectral.

Abstract—LoRaWAN is a wireless communication technology for application in Internet of Things. LoRaWAN is the medium access layer and was developed using the LoRa physical layer, with sub-GHz operation, multiple channels of operation and adaptive data rate. The goal of this work is to show the limits of this technology, such as scalability, efficiency, packet delivery rate and energy consumption. Different simulation scenarios were considered to test the technology. For these scenarios, the number of nodes in the network varied from 10 up to 3000 nodes, as well as the interval between frames, starting in 250 ms up to 4 min. Results showed that the total of packages delivered to scenarios with adaptive data rate were superior than in any other scenario tested.

Keywords—LoRa, LoRaWAN, mac layer, spreading factor.

I. INTRODUÇÃO

Aplicações com sistemas inteligentes e autônomos estão cada vez mais presentes em nosso dia-a-dia. São eletrodomésticos, veículos, aparatos médicos, *wearable gadgets*, etc. Temos cada vez mais dispositivos eletrônicos capazes de monitorar o ambiente e realizar alguma tarefa com o objetivo de facilitar nossas atividades diárias. Estes dispositivos têm a capacidade de se conectar com a Internet e transferir suas informações para uma aplicação que pode ser monitorada e controlada por qualquer pessoa ao redor no mundo. Este tipo de aplicação chamamos de Internet das Coisas (Internet of Things - IoT) [1].

Aplicações para IoT tendem a ser bastante variadas. Muitas necessitam de um grande volume de tráfego de dados, outras nem tanto. Algumas precisam de uma grande área de cobertura, como uma cidade inteira, outras podem somente necessitar operar dentro uma pequena residência. Deste modo, não existe uma solução única de sistema de comunicação

capaz de atender a todas estas necessidades. Este trabalho é focado em comunicações para *Smart Cities*, com regiões de grandes áreas de cobertura e baixa vazão de dados.

Exemplificando, padrões de tecnologia sem fio, como a celular, apresentam um grande alcance, sendo interessantes para aplicações em *Smart Cities*. Porém, a sua alta vazão de dados caracteriza uma comunicação de alto consumo energético, podendo inviabilizar esta tecnologia para aplicações de IoT que utilizam dispositivos conectados por baterias e em ambientes de difícil acesso [2], [3].

Existem algumas tecnologias que foram desenvolvidas pensando-se em Internet das Coisas e grandes áreas de cobertura. As chamadas *Low Power Wide Area Networks* (LPWAN), são tecnologias emergentes e de longo alcance, com uma vazão de dados bastante reduzida e uma possibilidade de fazer com que baterias de pequena capacidade durem anos sem necessidade de recarga. Dentre as LPWANs podemos citar a tecnologia LoRa que trabalha com uma camada de enlace de código aberto, tornando-a flexível para testes e novas propostas.

Pensando no desafio de operar com uma comunicação em longas distâncias e atender as necessidades de Internet das Coisas: consumo de energia extremamente reduzido, mas com uma satisfatória taxa de entrega de pacotes e alta confiabilidade na entrega, este trabalho tem como objetivo estudar e demonstrar a escalabilidade e confiabilidade de uma rede LoRa, mostrando dados de taxas de entrega de pacotes, eficiência e consumo energético da rede para diversos cenários simulados.

Este trabalho está organizado conforme segue. Na Seção II é apresentado um desenvolvimento teórico sobre a tecnologia LoRa e sua camada de enlace (LoRaWAN). Na Seção III é mostrada a metodologia de testes adotada, bem como parâmetros e cenários propostos. Na Seção IV, os resultados são detalhados e explicados. Na Seção V conclui-se o que foi apresentado neste trabalho e também são mostrados os trabalhos futuros.

II. PILHA DO PROTOCOLO LORA

Com o advento da IoT e das LPWANs, diversas organizações líderes de mercado na área de tecnologia uniram forças em uma associação sem fins lucrativos denominada *LoRa Alliance*. Esta aliança tem como principal objetivo padronizar um protocolo de comunicação para LPWAN e garantir a interoperabilidade entre operadoras de telecomunicação através de um padrão globalizado. Dentre alguns dos membros do grupo podemos citar a CISCO, IBM, Renesas, Alibaba Group e Semtech, e foi esta aliança que deu origem a tecnologia LoRa/LoRaWAN.

A. LoRa (PHY - LAYER)

O LoRa é a camada física desta tecnologia. Dentre as principais características deste sistema de comunicação podemos citar a operação em frequências de sub-GHz, distâncias de alcance na transmissão de até alguns quilômetros, modulação proprietária com espalhamento espectral, operação em múltiplos canais de frequência e possibilidade de operar com taxa de dados adaptativa.

A tecnologia LoRa usufrui de uma técnica de espalhamento no espectro intrínseca a sua modulação *Chirp Spread Spectrum* (CSS). LoRa trabalha no que chamamos de *wideband* (banda larga), operando com larguras de banda (*bandwidth* - BW) de tamanho de 125, 250 e 500 kHz. Dentre os motivos pelos quais é escolhida uma modulação que opere com este tipo de largura de banda está uma maior robustez na sua comunicação, aumentando a resistência ao ruído e também minimizando a interferência, uma vez que a sua banda é bastante grande [4], [5].

A tecnologia LoRa permite que se trabalhe com múltiplos canais de frequência simultâneos. A forma como o salto entre canais acontece é uma característica do protocolo da camada de enlace. A quantidade de canais pode ser definida livremente pelos operadores da rede. A taxa de transmissão, em bits/s, para uma transmissão LoRa pode ser calculada de forma teórica (Equação 1). O desenvolvimento matemático detalhado pode ser encontrado no *Application Note AN1200.22* [6].

$$R_b = SF \times \frac{\Delta}{2^{SF}} \text{ bits/s} \quad (1)$$

em que SF é o fator de espalhamento e $\Delta = 4/(4 + \text{CodeRate})$.

O LoRa tem a capacidade de alterar a sua taxa de dados variando alguns parâmetros. Deste modo, ficam padronizadas algumas taxas de dados específicas, denominadas de *Data Rates* (DRs). Estas DRs são o casamento de um fator de espalhamento SF e uma BW específicas, e variam conforme a distribuição regional.

Por exemplo, para a América do Norte, a chamada $DR = 0$ representa uma $BW = 125 \text{ kHz}$ e um $SF = 10$. A medida em que aumentamos o valor de DR, diminuimos o valor de SF, e consequentemente aumentamos a taxa de bits. Algoritmos indicando como e quando estas taxas podem ser alteradas são características descritas pela camada de enlace. A Tabela 1 ilustra as *data rates* especificadas para a região Americana, com R_b calculado pela Equação 1.

TABELA I
PARÂMETROS ADOPTADOS EM SIMULAÇÃO.

DR	SF	BW (kHz)	R_b (bps)	T_{on} (ms)
0	10	125	977	272
1	9	125	1758	136
2	8	125	3125	68
3	7	125	5469	39

B. LoRaWAN

LoRaWAN é a camada de enlace e de código aberto. O documento oficial e que contém com detalhes todas as

especificações que serão tratadas nesta Seção podem ser encontradas em [7]. Ainda, algumas características regionais do protocolo são encontradas em [8].

A arquitetura da rede LoRaWAN é composta essencialmente por três componentes distintos:

- *nós sensores (ou nós finais)*: são todos os *transceivers* da rede que coletam informações e/ou que atuam no ambiente, trabalhando diretamente com a aplicação final. Apresentam uma interface de rádio capaz de operar em um único canal de frequência por vez, mas realiza a troca destes canais quando necessário. Os nós finais não trocam dados entre si;
- *gateways (GW)*: são concentradores que tem como objetivo servir de ponto de passagem das informações entre os nós finais e o NS. Todo nó sensor deve, obrigatoriamente, estar conectado a pelo menos um GW. Os *gateways* são capazes de monitorar, por padrão, nove canais de frequência simultâneos. O *gateway* se comunica com o *Net Server*, na maioria dos casos, através de um protocolo de acesso a Internet e que trabalhe com TCP/IP. Assim, uma rede LoRa será capaz de transmitir suas informações para serem acessadas globalmente via Internet;
- *Net Server (NS)*: é uma única entidade na rede, funcionando como uma espécie de servidor conectado a internet e podendo estar na nuvem. Ele recebe todos os dados trafegados e transforma-os em alguma informação útil que será enviada para as aplicações finais disponíveis aos usuários e operadores de rede. O *Net Server* é quem de fato realiza todo o controle e processamento da rede.

As especificações do LoRaWAN preveem três tipos distintos de métodos de acesso. Cada um destes métodos tem aplicações e objetivos específicos, e devem ser escolhidos de forma individual para cada caso de uso. Neste trabalho é utilizado o chamado Classe A.

A Classe A é a mais comum para uma rede LoRa. Todo e qualquer dispositivo LoRa deve ser capaz de suportar esta classe. O método de acesso ao meio de uma Classe A é um protocolo ALOHA puro, bidirecional, com tamanho de pacotes variáveis. Outra característica do protocolo é um sistema de janelas de recepção para *downlink* como uma tentativa de economia de energia para o nó. Nela, o dispositivo sempre entra em modo *sleep* após uma transmissão (*uplink*) e só desperta após um tempo pré-determinado para receber algum possível pacote vindo do NS. Até duas janelas podem ser abertas para recepção.

Acerca do método de acesso, o Aloha puro transmite os quadros recebidos imediatamente via *broadcast*, sem qualquer monitoramento do meio. Caso aconteça uma colisão o pacote é perdido e o nó precisará fazer uma retransmissão. Devido ao fato de também não trabalhar com *slots* de tempo e cada nó transmitir quando desejar, a eficiência do Aloha puro tende a ser baixa. O que acontece é que como cada um deles pode transmitir quando desejar, diversos acabam colidindo.

III. METODOLOGIA

Recentes trabalhos na literatura têm investigado a escalabilidade de uma rede LoRa, avaliando métricas como a

taxa de entrega de pacotes em uma rede considerando uma configuração fixa de rede. Também o impacto do tamanho do *payload* na entrega dos pacotes foi estudado [9]. Porém, diversas outras métricas e cenários precisam ser investigados, como a operação da rede LoRa com múltiplas taxas de dados simultâneas. Neste trabalho, uma análise estendida dos limites da tecnologia é apresentada.

Para os testes em simulação, empregaram-se dois simuladores distintos. Em um primeiro momento, o software Matlab foi utilizado conduzindo-se simulações de camada de enlace. O segundo simulador adotado é denominado de Lo-rasim, e foi desenvolvido por uma equipe de pesquisadores da área [10]. Este software é um simulador de rede desenvolvido em linguagem *Python* especificamente para a tecnologia LoRa. Portanto, além do LoRaWAN, toda a camada física LoRa também está implementada, sendo possível realizar testes de desempenho energético. As características de hardware implementadas no simulador são as dos *transceivers* desenvolvidos pela própria Semtech (nós e gateways).

Todas as simulações aqui foram conduzidas considerando as regras da FCC americana. As simulações foram conduzidas para a Classe A e considerando um único canal de frequência. Os resultados obtidos são análogos para N canais ortogonais. Ao longo das simulações, trabalhou-se com diferentes abordagens para taxa de dados. Segue uma diferenciação entre elas:

- *Taxa fixa*: todos os nós da rede mantiveram seu SF igual ao longo de todo o tempo e simulação;
- *Taxa dinâmica*: todos os nós iniciaram com o valor de SF igual, mas este valor pode ser alterado no decorrer do tempo. Dentro da taxa dinâmica podemos ter duas situações:
 - *ADRO* - acontece quando os nós da rede iniciam em um valor baixo de SF (alta taxa de dados), e seu SF pode aumentar à medida em que colisões e perdas de pacotes acontecem. Nesta modalidade o SF nunca pode voltar ao seu valor original. Esta é uma decisão local do nó de adaptar sua taxa;
 - *ADRI* - é a modalidade que implementa por completo o algoritmo de *adaptive data rate* na tecnologia LoRaWAN. Aqui, os nós podem reduzir ou aumentar seu SF de acordo com as condições da rede. Esta é uma decisão de adaptação tomada pelo NS e leva em consideração a SNR do sinal dos últimos 20 pacotes recebidos de cada nó;

As métricas avaliadas para estas simulações são:

- *Taxa de entrega dos pacotes*: é o total de pacotes entregues com sucesso na rede em relação ao total gerado;
- *Eficiência*: calculado através do total de bytes entregues de todos os pacotes em relação a taxa de bits calculada pela Equação 1;
- *Consumo energético*: é a energia total gerada na rede e dada em *Joules*.

As DRs adotadas para as simulações vão de DR3 até DR0, de acordo com os dados da Tabela 1. Os parâmetros adotados para as simulações estão apresentados na Tabela 2.

Acerca da distribuição dos nós na rede, eles são distribuídos aleatoriamente dentro de um plano cartesiano bidimensional

circular contendo um GW no centro desta área. A Figura 1 mostra um exemplo de um cenário hipotético com 1000 nós, distribuídos dentro do raio de alcance do GW, localizado bem no centro.

TABELA II
Data rates PARA A REGIÃO AMERICANA.

Parâmetro	Variação do valor
Número de Nós	10 até 3000
Tamanho <i>payload</i>	10 bytes
Tempo de <i>backoff</i>	10 bytes
Taxa de geração de quadros (λ)	0,25 até 4 min
Tempo de simulação	20 min
Passo de simulação	1 ms

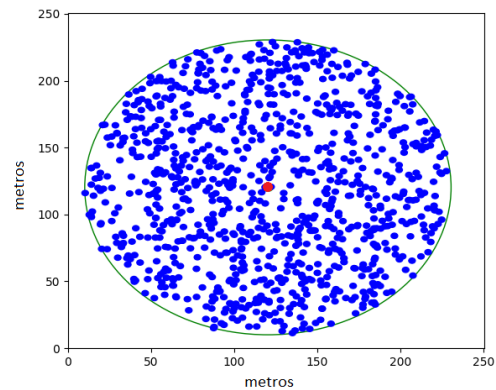


Fig. 1. Exemplo de posicionamento para 1000 nós e um GW (em vermelho).

IV. RESULTADOS

Nesta Seção são apresentados os resultados obtidos por simulação para três cenários distintos. O que distingue os cenários é o comportamento do espalhamento espectral para cada nó da rede.

A. Taxa fixa $\times$ taxa dinâmica

A primeira simulação contemplada corresponde a uma análise quantitativa diferenciando o emprego de uma DR dinâmica de uma estática, e foi desenvolvida no software Matlab. A Figura 2 ilustra o resultado mostrando a taxa de entrega de pacotes em função do aumento do número de nós na rede.

Para cada linha do gráfico adotou-se uma abordagem diferente para a DR. Nas quatro curvas do gráfico com menor entrega, a DR foi mantida estática, ou seja, invariável ao longo de toda a simulação para todos os nós da rede. Um maior SF (menor DR) resulta em uma piora no total de pacotes entregues para um grande número de nós, mas se sai melhor com poucos pontos na rede (até 100).

Ao transformar a DR em dinâmica (ADRO), percebemos uma significativa melhora nesta entrega, uma vez que temos nós trabalhando em diferentes SF ortogonais simultaneamente. Por exemplo, considerando 500 nós, o uso da DR dinâmica neste cenário resultou em um ganho relativo aproximado de 160% em relação ao uso estático de DR3.

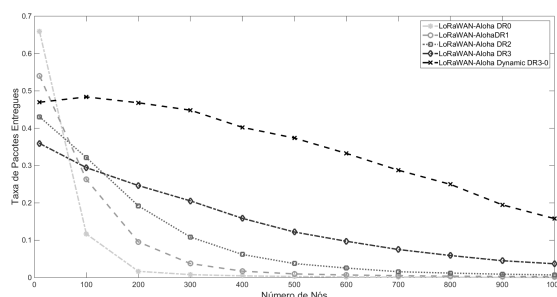


Fig. 2. Comparativo DR estático (SF fixo) e dinâmico (ADR0).

B. Análise para ADR0

Como observamos no resultados anterior, o uso de diversos SFs provê um ganho significativo para o LoRaWAN. Baseando-se nisso, nos próximos resultados trabalhou-se somente com SF dinâmico em modo ADR0 (decisão local).

A Figura 3 mostra o total de pacotes entregues em função da variação do número de nós. Cada linha do gráfico representa uma taxa de quadros diferente. Os nós tentam transmitir neste intervalo de tempo fixo. Note que quanto menor este valor, mais volume de dados temos e consequentemente maior a colisão, resultando em um número menor de nós se comunicando na rede. Para uma taxa de geração de quadros de 250 milissegundos consegue-se entregar 40% dos pacotes para uma rede com 200 nós, e 10% para 400. Aumentado este valor para três minutos, resulta em até 2000 nós entregando 20% dos pacotes da rede.

A Figura 4 mostra a eficiência do LoRaWAN em relação ao acréscimo no número de nós na rede. Nota-se que o acréscimo no tempo de entre-quadros resulta em um deslocamento no pico do gráfico para cada valor diferente. Por exemplo, para 250 milissegundos o valor fica em 250 nós. Para um minuto, temos 900 nós, e para 3 minutos o valor ultrapassará os 2000 nós sensores.

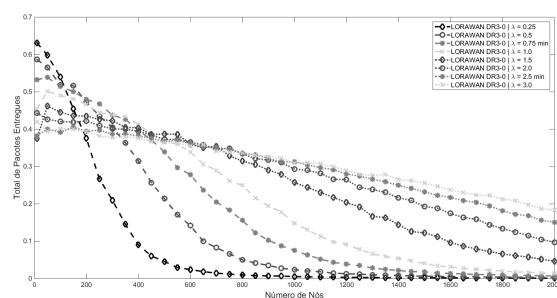


Fig. 3. Total de Pacotes Entregues em função do número de nós na rede e ADR0, variando-se o tempo entre-quadros.

C. $ADR0 \times ADR1$

Nos próximos resultados trabalhou-se tanto com DR dinâmica do tipo ADR0 (decisão local) quanto ADR1 (decisão central). O objetivo aqui é comparar os resultados de entrega de pacotes e de energia gasta pela rede. Agora estas simulações foram conduzidas no simulador Lorasim.

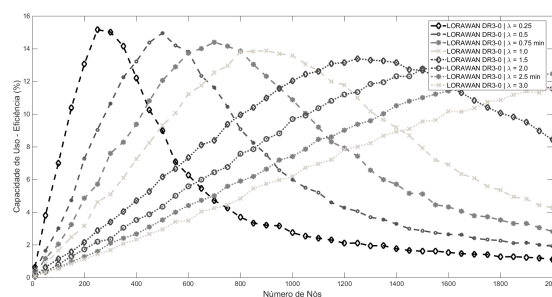


Fig. 4. Eficiência em função do número de nós na rede e ADR0, variando-se a taxa de geração dos quadros.

Na Figura 5 temos os resultados para um *payload* de 10 *bytes*. Observe que uma rede com menor quantidade de nós (até 1000) apresenta uma discrepância maior entre o uso de ADR0 e ADR1, com a segunda opção se saindo melhor. Por exemplo, para 500 nós e $\lambda = 0,25$, temos 41% de pacotes entregues com ADR0, e 54% com ADR1, resultando em um ganho relativo de aproximadamente 32%. A medida em que λ aumenta, esta diferença reduz, tornando-se imperceptível para altos valores de tempo entre-quadros.

Na Figura 6 temos uma análise variando o tamanho do *payload* para ADR1, somente. O aumento do número de *bytes* reduz a taxa global de entrega, uma vez que temos maior tempo no ar e maior chance de colisão. Em $\lambda = 0,5$ e 1000 nós, temos 60% com 10 *bytes*, 0,47% com 20 *bytes* e 0,37% com 30 *bytes*. Para o outro extremo do gráfico, em $\lambda = 4$ e 1000 nós, as entregas ainda estão bastante próximas, a diferença aumenta com uma maior quantidade de nós. Neste caso, todas estão acima de 90

Na Figura 7 temos resultados para ADR0 e ADR1, apresentando o gasto energético total em função do acréscimo no número de nós e da variação da taxa de geração de quadros para um *payload* de 10 *bytes*.

Comparando ADR0 e ADR1, note que as situações com taxa de geração de quadros pequena são as que apresentam uma grande diferença no consumo da rede. Por exemplo, em $\lambda = 0,75$ e 700 nós, temos 66 mJ de energia total para ADR0, enquanto que para ADR1 este valor cai para quase a metade, 35 mJ. Ganho relativo de 88%. Valores maiores do que um minuto para taxa de geração de quadros não resultaram em variações no consumo de energia.

Na Figura 8 temos uma análise variando o tamanho do *payload* para ADR1, somente. O aumento do tamanho do *payload* aumenta o consumo global de energia na rede. Exemplificando, para $\lambda = 2$ e 2000 nós, temos 32 mJ com 10 *bytes*, 52 mJ com 20 *bytes* e 68 mJ com 30 *bytes*.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma análise de escalabilidade da rede LoRa/LoRaWAN considerando como métricas a taxa de entrega, eficiência e consumo energético em cenários distintos. Os primeiros resultados mostraram o significativo ganho ao utilizar DRs dinâmicas para os nós da rede, e é por este motivo que todas as simulações subsequentes só usufruíram de algum método de variação do SF.

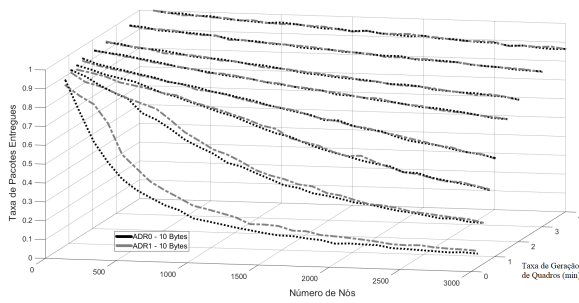


Fig. 5. Comparativo do LoRaWAN com ADR0 e ADR1. Pacotes entregues $\times$ Número de Nós $\times$ Tempo de entre-quadros (min). Payload de 10 Bytes.

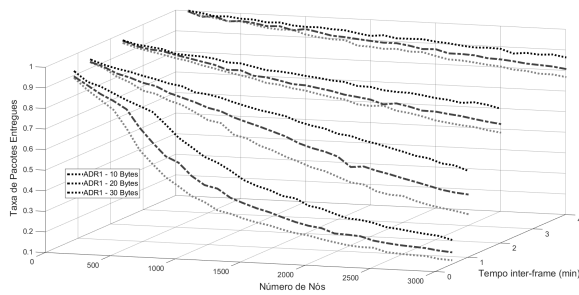


Fig. 6. Comparativo do Payloads com ADR1. Total de Pacotes Entregues $\times$ Número de Nós $\times$ Tempo de entre-quadros (min). Payload de 10, 20 e 30 Bytes.

Simulações com ADR0 e ADR1 mostraram que o impacto da taxa de geração de quadros é bastante significativa. Em termos de escalabilidade, uma rede operando com $\lambda = 0,25$ entrega 40% de seus pacotes com 200 nós. No outro extremo, uma rede com $\lambda = 3$ entrega, com 2000 nós, 20% de seus pacotes gerados. Demonstrando uma diferença bastante interessante.

O impacto no tamanho do *payload* é também relevante. Ficou constatado que o aumento no número de *bytes* proporciona uma menor entrega de pacotes, tanto para ADR0 quanto para ADR1. Uma análise de eficiência energética foi apresentada, demonstrando o impacto do tamanho do *payload*, tempo de entre-quadros e número de nós no consumo energético global de uma rede LoRaWAN. A diferença energética é perceptível para pequenos intervalos de tempo de geração de pacotes.

Para trabalhos futuros, precisam-se explorar mais possibilidades de cenários para que possamos tirar conclusões mais sólidas acerca das características desta tecnologia, como a consideração de mensagens com confirmação de recebimento e o emprego de múltiplos *gateways* na rede. Uma análise mais extensa de consumo energético também precisa ser considerada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelo suporte financeiro para desenvolvimento deste trabalho.

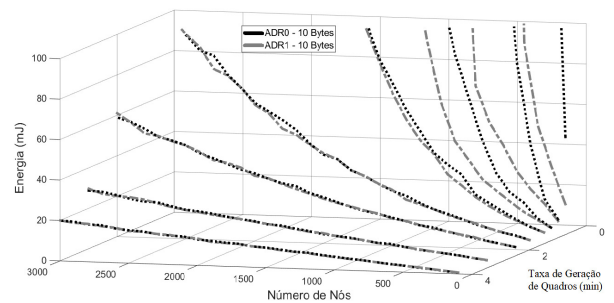


Fig. 7. Comparativo do LoRaWAN com ADR0 e ADR1. Energia (mJ) $\times$ Número de Nós $\times$ Tempo entre-quadros (min). Payload de 10 Bytes.

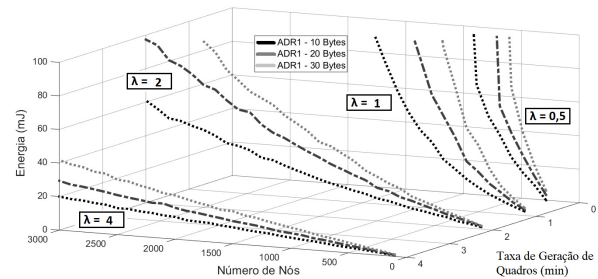


Fig. 8. Comparativo do Payloads com ADR1. Energia (mJ) $\times$ Número de Nós $\times$ Tempo entre-quadros (min). Payload de 10, 20 e 30 Bytes.

REFERÊNCIAS

- [1] G. Akpakwu, B. Silva, G. Hancke, and A. Abu-Mahfouz, "A Survey on 5G Networks for the Internet of Things: Communication Technologies and Challenges," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 3619–3647, 2017.
- [2] S. Musa, "Smart Cities-A Road Map for Development," *IEEE Potentials*, vol. 37, no. 2, pp. 19–23, mar 2018. [Online]. Available: <http://www.blackwell-synergy.com/doi/abs/10.1046/j.1523-1739.1992.6203033.x> <http://ieeexplore.ieee.org/document/8307785/>
- [3] B. Hammi, R. Khatoun, S. Zeadally, A. Fayad, and L. Khokhi, "IoT technologies for smart cities," *IET Networks*, vol. 7, no. 1, pp. 1–13, 2018. [Online]. Available: <http://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-net.2017.0163>
- [4] R. S. Sinha, Y. Wei, and S.-H. Hwang, "A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT," *ICT Express*, vol. 3, no. 1, pp. 14–21, 2017. [Online]. Available: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405959517300061>
- [5] B. Reynders and S. Pollin, "Chirp spread spectrum as a modulation technique for long range communication," in *2016 Symposium on Communications and Vehicular Technologies (SCVT)*. IEEE, nov 2016, pp. 1–5. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7797659/>
- [6] Semtech, "AN1200.22: LoRa Modulation Basics. Rev. 2," Camarillo, CA, Tech. Rep. May, 2015.
- [7] LoRa Alliance, "LoRaWAN Specification 1.02," San Ramon, CA, Tech. Rep., 2015.
- [8] —, "LoRaWAN 1.0.2 Regional Parameters," LoRa Alliance, Inc., San Ramon, CA, Tech. Rep., 2017.
- [9] F. Adelantado, X. Vilajosana, P. Tuset-Peiro, B. Martinez, J. Melia-Segui, and T. Watteyne, "Understanding the Limits of LoRaWAN," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 9, pp. 34–40, 2017.
- [10] M. C. Bor, U. Roedig, T. Voigt, and J. M. Alonso, "Do LoRa Low-Power Wide-Area Networks Scale?" in *Proceedings of the 19th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems - MSWiM '16*. New York, New York, USA: ACM Press, 2016, pp. 59–67. [Online]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doi=2988287.2989163>