

Proposta de método de gerência de dispositivos de telemedição restritos usando o LwM2M e redes LPWAN

Willian Douglas Caixeta Nunes*. Alan Petrônio Pinheiro. **
Daniel de Oliveira Ferreira***. Leandro José Duarte ****

*Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, (e-mail: willian_douglas_nunes@outlook.com).

**Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, (e-mail: alanpetronio@ufu.br).

***Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, (e-mail: danieldeoliveira1995@gmail.com).

****Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, (e-mail: leandro.duarte@ufu.br).

Abstract: Smart Meters (SM) has the function of collecting and transmitting data within Smart Grids (SG). With the increase in devices of this type, the need emerge that these can be managed. The Lightweight Machine to Machine (LwM2M) protocol offers a standardized software stack with support for restricted devices, allowing more efficient management within the context of restricted devices in Smart Grids. When associated with LoRa transmission technology, it is possible to maximize transmission distances and energy consumption, when compared to conventional technologies. This work aims to offer a management solution applicable to Smart Meters, using the Lightweight Machine to Machine protocol in LoRa networks. The built-in system allows device management and demonstrates in a practical way that LwM2M and LoRa technologies can be a alternative for Smart Grids.

Resumo: *Smart Meters* (SM) tem a função de coletar e transmitir dados dentro de *Smart Grids* (SG). Com o aumento de dispositivos deste tipo, surge a necessidade de que estes possam ser gerenciados. O protocolo *Lightweight Machine to Machine* (LwM2M), oferece uma pilha de *software* padronizado e com suporte para dispositivos restritos, permitindo um gerenciamento mais eficiente dentro do contexto de dispositivos restritos em *Smart Grids*. Quando associada a tecnologia de transmissão LoRa, é possível maximizar distâncias de transmissão e o consumo energético, se comparada as tecnologias convencionais. Este trabalho visa oferecer uma solução de gerenciamento aplicável à *Smart Meters*, utilizando o protocolo *Lightweight Machine to Machine* em redes LoRa. O sistema construído permite o gerenciamento de dispositivos e demonstra de forma prática que as tecnologias LwM2M e LoRa podem ser uma alternativa para *Smart Grids*.

Keywords: LoRa, LwM2M, Management, Smart Meters, Smart Grids.

Palavras-chaves: LoRa, LwM2M, Gerenciamento, *Smart Meters*, *Smart Grids*.

1. INTRODUÇÃO

Smart Grids é considerada a próxima geração de redes elétricas e há uma corrida no setor elétrico em busca deste novo patamar operacional. Ela estabelece comunicação entre elementos da rede, o que possibilita uma integração aperfeiçoada entre a rede elétrica tradicional, fontes renováveis, transmissão e distribuição (Wan, Zhang and Wang, 2019). Um dos seus principais, e mais básicos componentes, é a AMI (*Advanced Metering Infrastructure*). A AMI deve atender a uma série de dispositivos do complexo emaranhado de equipamentos que formam a rede de distribuição, dando a eles a capacidade de transmissão de dados, parametrização e sinalização. Tudo de forma bidirecional e preferencialmente com algum controle, tanto dos dispositivos, quanto do estado da rede.

Um dos principais componentes em AMI são os medidores inteligentes SM (*Smart Meters*), encarregados da medição de

grandezas elétricas e, geralmente, por sua transmissão através de alguma rede. Idealmente, cada consumidor do setor elétrico deverá ter sua rede elétrica sendo monitorada por um SM. Para alcançar efetivamente e tal volume deve-se exigir uma rede de comunicação realmente eficaz e capaz de trabalhar com escala e, ao mesmo tempo, apresentar boa disponibilidade. Desta forma, para atender a tal demanda, SMs vem sendo integrados com frequência a novas tecnologias de comunicação, a fim de melhorar a eficiência das transmissões, decrementar custos, melhorar confiabilidade e a segurança de redes AMI (Li et al., 2018). Neste sentido, a Internet das coisas (IoT) tem muito a contribuir no processo de monitoramento e atuação em seus ambientes, uma vez que os desafios são os mesmos.

Dentre tecnologias de IoT que podem auxiliar *Smart Grids* está o campo emergente de redes LPWAN (*Low Power Wide Area Networks*). Pode-se citar como alguns dos principais expoentes desta tecnologia a LoRa, SigFox, NBIoT (Raza,

Kulkarni and Sooriyabandara, 2017). Estas redes se caracterizam por possuírem um grande alcance, baixo consumo energético, baixo custo para implantação e escalabilidade. Como desvantagem, apresentam taxas de transmissão baixas, na ordem de bits/segundo. Em especial, a tecnologia LoRa é uma tecnologia de camada física capaz de alcançar distâncias de 2km a 10km em ambientes urbanos e até 30km em ambientes rurais. A taxa de transmissão do LoRa varia de 300 bit/s a 37.5 kbit/s dependendo do cenário, possui 6 modos de operacionais SF7-SF12, sendo que quanto menor o SF, maior a taxa de transmissão e menor o alcance (Adelantado et al., 2017). Exige pouca estrutura de cobertura e possibilita ao seu implantador total controle da solução criada. Ou seja, uma rede privada. O LoRa é tipicamente utilizando junto ao protocolo de enlace LoRaWAN.

Contudo, por usar espectro aberto (não-licenciado), o aumento no número de dispositivos de monitoramento pode gerar grandes dificuldades em se conseguir escala. Não só pela questão de otimização do canal de comunicação, mas também pela própria necessidade de se gerir os dispositivos remotamente, seja para parametrizá-los, configurar, atuar ou operar em sua aplicação. Todas estas ações necessitam de um modelo de gerenciamento específico capaz de lidar com as restrições de LoRa, que não é capaz de suportar protocolos como o IP (por ter baixa capacidade de transmissão de dados).

Neste sentido, a OMA (*Open Mobile Alliance*) propôs o protocolo *Lightweight Machine to Machine* (LwM2M) (SpecWorks, 2020) para dispositivos restritos operando em uma arquitetura M2M, como é o caso de LoRa. LwM2M cria uma interface padrão tanto para o gerenciamento de dispositivos como para a troca de dados, tendo a vantagem de ser otimizado para dispositivos com recursos limitados (de banda e de processamento). Para isto utiliza o conhecido protocolo de aplicação CoAP (*Constraint Application Protocol*) (Tools.ietf.org, 2020) que pode ser executado por dispositivos limitados. Além disto, o protocolo LwM2M cria um modelo de estruturação e representação de dados, chamado IPSO *Smart Objects* (Openmobilealliance.org, 2020), que visa trazer um padrão no compartilhamento da informação, e de acesso a seus recursos.

Neste contexto, este trabalho propõe a criação de um sistema de gerenciamento de dispositivos remotos, utilizando a tecnologia de comunicação LoRa/LoRaWAN e o protocolo LwM2M, com o foco em aplicações de telemedição em *Smart Grids*, que sejam tolerantes a alta latência e a baixa taxa de transmissão de dados. Para este propósito, foram criadas interfaces de dados padronizadas por meio do padrão IPSO. Funções como RESET, PING, PLUG AND PLAY, requisição de dados, avaliação de PDR (*Packet Delivery Rate*) e avaliação de disponibilidade remota de dispositivos por longos períodos DUT (*Device Under Test*), foram produzidos e testados em diferentes cenários. Tais recursos são detalhados na seqüência.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Descrição do método proposto para gerência de dispositivos LoRa restritos telemedidos

A arquitetura da rede de comunicação para gerência de dispositivos LoRa para telemedição é mostrada na Fig. 1. Observa-se que os dispositivos de telemedição enviam dados diretamente a um *gateway* (geralmente fixado em uma torre ou poste) que cobre toda uma área. Esta área coberta é designada de célula. O *gateway* por sua vez pega os pacotes de dados de todos os dispositivos cobertos em sua área e as envia para um servidor LoRaWAN que pode estar dentro do centro de operação da concessionária, por exemplo. Este servidor LoRaWAN, ou LNS, gerencia a camada física dos rádios LoRa indicando a eles quais canais podem ser usados, quais SF cada dispositivo deve operar, quais sub-bandas, etc. Esta gerência está restrita às configurações de rádio e de canal.

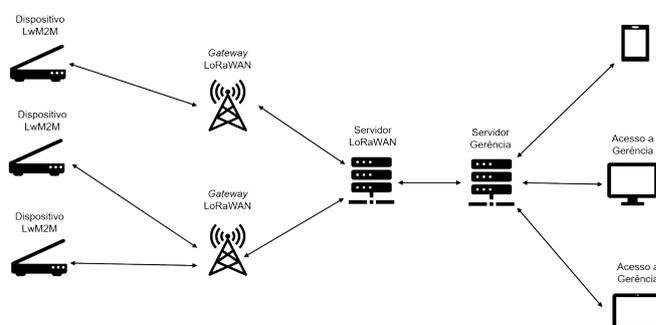


Fig. 1 Arquitetura de gerência proposta.

Os dados das aplicações que chegam ao LNS são reencaminhados para o servidor de gerência. Todas as ações de gerência de mais alto nível de dispositivos (como as tratadas aqui nesta pesquisa) são feitas por este servidor. Ele gera os comandos de gerência, realiza as operações e recebe as sinalizações dos dispositivos. Se encarrega de gerenciar todo o tráfego de informações gerados, fluxos de dados e requisições que serão detalhadas mais à frente. Deste modo, o LNS gerencia automaticamente os canais de comunicação entre os rádios LoRa, e o servidor de gerência realiza operações de mais alto nível que o LNS não é capaz de suportar. Estas operações de gerência são ilustradas na Tabela 1. Vale destacar que o foco da proposta não é a quantidade de operações, mas sim a criação de um meio para se fazê-las obedecendo as limitações tecnológicas e empregando um padrão (no caso, o LwM2M) com fins à interoperabilidade. Ainda, como o foco desta aplicação é voltado ao setor elétrico, os sensores empregados também foram voltados a esta aplicação.

Tabela 1. Principais operações básicas da gerência de dispositivo.

Operação do dispositivo	Efeito desejado	Objeto	Recurso	Msg CoAP
Resetar dispositivo	Reseta o dispositivo remotamente	26244	1	POST
Hibernar	Colocar o dispositivo para hibernar por um determinado prazo.	26245	1	POST
Parametrizar dispositivo (Cadastro)	Conjunto de dados de configuração do dispositivo	26246	1-14	GET, PUT
Ping e PDR	Ping Simples	26249	1	GET
	Múltiplos pings (estimação de PDR).		2	GET
Alarme	Dispositivo operando acima de determinado patamar limite	26248	1	GET OBS
	Alimentação da bateria abaixo de patamar		2	GET OBS
	Outros		3	GET OBS

Tabela 1. Principais operações básicas da gerência de dispositivo.

Operação do dispositivo	Efeito desejado	Objeto	Recurso	Msg CoAP
DUT	Estipula, em dias, quanto tempo o dispositivo deve ficar em fase contínua de testes de envio de mensagens	26247	1	PUT
	Estipula a frequência de trocas de mensagens de testes entre servidor de gerência e dispositivo		2	GET OBS
	Interrompe DUT no dispositivo		3	PUT
QoS das últimas 24 horas	Quantidade de pacotes enviados	26250	1	GET
	Quantidade de perdas de conexões e re-conexões que falharam		2	GET
	Limite de quantidade de mensagens por dia do dispositivo		3	GET, PUT
	Indica o tamanho máximo do pacote que pode ser transmitido		4	GET, PUT
	Limita a taxa de transmissão momentaneamente em passos de 25%		5	GET, PUT

Tabela 1. Principais operações básicas da gerência de dispositivo.

Operações do dispositivo	Efeito desejado	Objeto	Recurso	Msg CoAP
Leitura de valores dos sensores	Lê valores relacionados a tensão elétrica (vetor com até 4 valores)	26251	1	GET
	Lê valores relacionados a corrente elétrica (vetor com até 4 valores)		2	GET
	Lê valores relacionados a potência elétrica (vetor com até 3 valores: ativo, reativo e aparente)		3	GET
	Lê valores relacionados a ângulo entre fases (vetor com até 3 valores)		4	GET
	Lê valores relacionados a índice de distorção harmônica (vetor com até 2 valores: distorção de corrente e tensão)		5	GET
	Energia totalizada sob tempo definido		6	GET
	TimeStamp (referência de tempo para medição)		7	GET
	Calibração (31 valores)		8	GET, PUT

No caso da parametrização de um dispositivo, seja esta de que natureza for, há necessidade da requisição ir acompanhada dos dados em um formato específico onde ambas as partes (dispositivo e servidor) possam compreender. Para isto foi definido um modelo de dados baseado na formatação JSON (muito comum no ambiente web, o que facilita a interoperabilidade) que é mostrado na Tabela 2. Esta estrutura de dados foi chamada de “json_estrutura_config_dispositivo”. Como LoRa tem um *link* muito restrito com poucos bits por segundo, este pacote foi ‘resumido’ em um modelo onde os campos foram substituídos por números. Assim, caso o gerente da rede deseje sobrepor as funções do LoRaWAN e forçar o dispositivo a operar em um SF específico, basta enviar uma requisição CoAP do tipo PUT com o objeto “/26246/0/7”, com um *payload* “data:9”, por exemplo. O campo 7 equivale ao parâmetro “p_LoRa_SF”. Ao receber esta requisição, o dispositivo entende que deve atribuir ao rádio LoRa o SF9. Outros campos de configuração podem ser facilmente integrados a esta estrutura.

Tabela 2. Principais operações básicas da gerência de dispositivo.

Formato lógico do pacote JSON de configuração do dispositivo	Formato transmitido do pacote JSON de configuração do dispositivo
<pre>"topico": "26246" { "p_coordenadas_device": [0,0], "p_grupo_disp_gerencia": 0, "p_AppEUI": "", "p_tecnologia_comunicacao": "" }, "p_classe_LoRa_operacao": "", "p_LoRa_ADR_habilitado": 0, "p_LoRa_SF": 0, "p_limite_msg_dia": 0, "p_limite_bytes_msg": 0, "p_disponibilidade_envio": 0, "p-versao_firmware": "0", "p_permissao_servicos_hab": 0, "p_comunicacao_habilitada": 0, "p_subbanda": 0, }</pre>	<pre>"topico": "26246" { "(1)": [0,0], "(2)": 0, "(3)": "", "(4)": "", "(5)": "", "(6)": 0, "(7)": 0, "(8)": 0, "(9)": 0, "(10)": 0, "(11)": "0", "(12)": 0, "(13)": 0, "(14)": 0, }</pre>

Por fim, para dar suporte a esta troca de dados entre servidor e aplicação foi montada uma pilha de protocolos que é resumida na Fig. 2.

Como já relatado, o dispositivo possui uma camada de três protocolos. O dado gerado por ele é recebido pelo *gateway* LoRa que executa um conversor de protocolo chamado de *Packet Forwarder*. Este apenas converte o formato LoRa em um pacote de dados para rede IP no formato UDP, reencaminhando para o servidor LoRaWAN. Este recebe o dado em uma pilha IP/UDP/TCP comum, reencaminha para a aplicação LoRaWAN que: (i) toma decisões sobre a necessidade de reconfigurar o canal do rádio LoRa e (ii)

reencaminha as informações recebidas no pacote (*payload*) para o servidor de gerência via protocolo MQTT. Logo, toda vez que o servidor recebe um pacote contendo um dos objetos (Tabela 1) da gerência, ele reencaminha para o servidor de gerência, para que este os trate segundo sua programação.

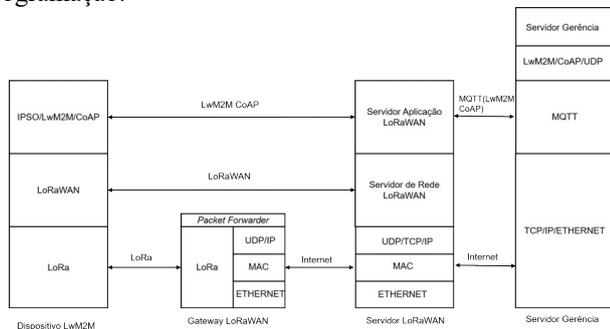


Fig. 2 Pilha de protocolos utilizada na solução.

2.2 Diagrama de sequência da comunicação entre gerência e dispositivo

Como já relatado, o processo de gerência usa a formatação das mensagens definidas pelo padrão LwM2M associados aos objetos IPSO criados aqui. Ambos são transportados no enlace LoRa como pacotes CoAP. Neste sentido, o procedimento de gerência exige uma certa tramitação de pacotes entre servidor de gerência e dispositivo, para que a operação possa acontecer. Neste caso, o modelo de mensagens aqui definido tentou privilegiar ao máximo possível a robustez, uma vez que o ambiente de operação do setor elétrico é hostil, especialmente na questão das interferências eletromagnéticas onde os dispositivos devem operar. Por isto, o protocolo de comunicação e a gerência devem prover meios para ajudar a vencer estas dificuldades. As imagens da Fig. 3 ilustram o fluxo de transmissões e retransmissões entre dispositivo, LNS e servidor de gerência para que as operações da Tabela 1 possam ser executadas segundo o desejado. A primeira operação (esquerda) o servidor requisita que o dispositivo mude os parâmetros de cadastro, a (direita) ilustra a observação de um recurso por parte da gerência.

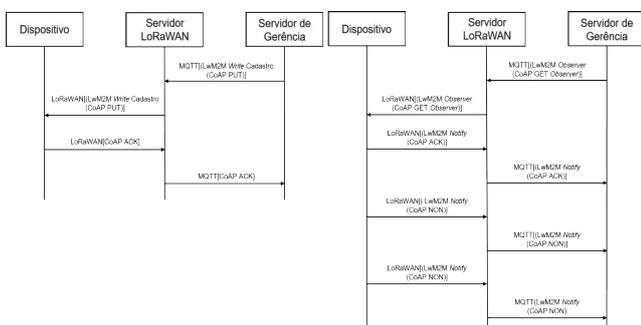


Fig. 3 Fluxo da troca de mensagens entre cliente e servidor.

2.3 Implementação da rede e experimento

Para testar esta proposta de gerenciamento de dispositivos LoRa pra telemedicação, foi montada na cidade de Uberlândia uma rede completa. Foram usados 25 dispositivos

especialmente projetados para esta pesquisa (Fig. 4) operando em comunicação LoRa (rádio Semtech SX1276 de 100mW de potência de transmissão), um gateway profissional homologado (Wimert AU 923MHz, Kerlink) instalado em uma torre de 30 metros e dois servidores (PowerEdge XC730XD, Dell) para dar suporte à execução do LNS e da plataforma de gerência de dispositivos.

Os dispositivos foram testados sob condições adversas, inclusive operando próximos a transformadores de distribuição. A implementação do LNS (servidor LoRaWAN) nesta pesquisa foi feita usando uma versão aberta conhecida como ChirpStack (Chirpstack.io, 2020).

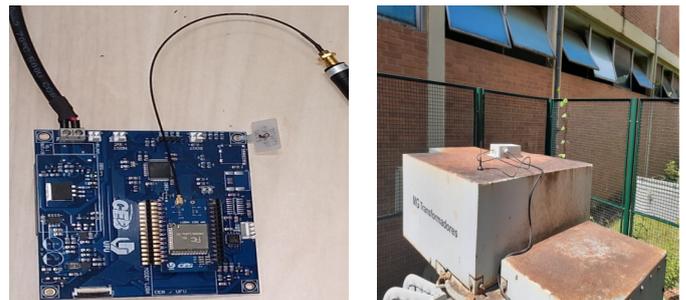


Fig. 4 Dispositivo utilizado ao longo do projeto(esquerda). Dispositivo ao lado de um transformador.

3. RESULTADOS

A Fig. 5 ilustra o raio de cobertura de um gateway, sendo esta uma das funcionalidades do sistema de gerência construída. É uma estimativa que é feita com base na distância entre o gateway e dispositivo (ambos fixos). No sistema de gerência são cadastradas as coordenadas dos dispositivos, quando uma mensagem destes chega à gerência ela consegue traçar o raio de cobertura do gateway, que foi previamente cadastrado. Todos os dispositivos usados nos testes foram atendidos por este gateway. No caso, o raio de alcance médio foi de aproximadamente 4.5km.

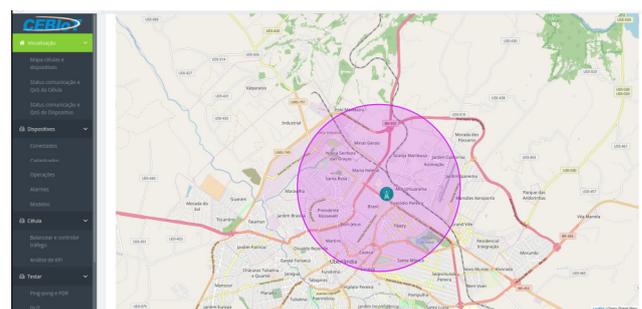


Fig. 5 Cobertura gráfica teórica do sistema de gerência construída.

O sistema construído é capaz de registrar os principais parâmetros de comunicação dos dispositivos LoRa, fornecendo ao usuário da gerência uma perspectiva da variabilidade e qualidade destes sinais conforme revela a Fig. 6. Nela são indicados o SNR (*Signal Noise Ratio*), RSSI (*Receive Signal Strength Indicator*) e qual SF foi usado na transmissão do pacote recebido pela gerência. Para um usuário capacitado, este tipo de informação é muito

importante para diagnosticar possíveis problemas com o dispositivo ou até mesmo inferir informações sobre a qualidade da rede.

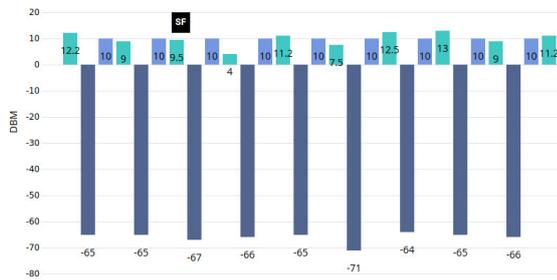


Fig. 6 Nível de sinal das mensagens recebidas pelo gateway de um determinado dispositivo (próximo ao gateway), SNR, RSSI e SF.

Já o gráfico da Fig. 7 ilustra a amostra de um resultado de um processo DUT, aqui é possível observar chegadas e perdas de pacotes, indicadas pela barra azul e vermelha respectivamente. A Fig. 7 ilustra o recorte de 30 minutos de um teste total de 3623 pacotes, onde foram perdidos 100 pacotes. No contexto de LoRa, redes *wireless* e considerando o ambiente aqui tratado (setor elétrico), estes são valores de taxa de entrega de dados tidos como altos (ou de alta disponibilidade). O dispositivo que realizou este teste se encontrava ao lado de um transformador de tensão de 500KVA (Fig. 2), e a aproximadamente 20 metros de um gateway. A duração total deste teste foi de 2 dias 12 horas e 28 minutos, com o dispositivo enviando mensagens de minuto a minuto. O teste foi realizado em SF10, a operação DUT é feita por meio de CoAP *Observer*, a Fig. 3 ilustra este processo. A operação DUT é relevante para testar a confiabilidade do *link* de comunicação entre dispositivo e gateway.



Fig. 7 Recorte de 30 minutos de um processo de DUT, em que chegaram no total 3623 mensagens e foram perdidas 100 mensagens.

Para testes de latência, onde LoRa geralmente apresenta alto valor, foram feitos testes com base no recurso de PDR e verificou-se valores médios de 10,2 segundos. Isto quer dizer que desde o envio de um pacote do servidor até o dispositivo, nisto considerando seu retorno que passa pelo gateway, pelo LNS são necessários em média (neste cenário estudado) cerca de 10,2 segundos para este processo de ida-vinda de dados. É tido como um valor alto para aplicações de proteção elétrica, por exemplo, mas totalmente toleráveis para telemetria onde não exige necessidade de respostas rápidas ou em tempo real. Este teste foi realizado no mesmo dispositivo, onde o DUT foi executado.

4. CONCLUSÕES

Se considerado o consumo gasto pelo dispositivo para envio de dados (cerca de 100mW), o custo de cada dispositivo (inferior a R\$ 200,00), a grande distância alcançada (até 4.5km em cenário urbano denso), a boa taxa de recepção de pacotes e robustez de operação que envolvam a rede elétrica, a tecnologia LoRa associada ao sistema de gerenciamento de dispositivos proposto permite afirmar que este sistema é viável para telemedição em cenários urbanos concentrados. Por isto deve ser considerada no processo de modernização trago gerado pelas *Smart Grids*.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pela Companhia Energética de Brasília (CEB) por meio do projeto de P&D ANEEL nº 05160-1805/2018. Pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - processo 001).

REFERÊNCIAS

- Adelantado, F., Vilajosana, X., Tuset-Peiro, P., Martinez, B., Melia-Segui, J. and Watteyne, T. (2017). Understanding the Limits of LoRaWAN. *IEEE Communications Magazine*, 55(9), pp.34-40.
- Chirpstack.io. (2020). ChirpStack, open-source LoRaWAN Network Server stack. [online] Available at: <https://www.chirpstack.io/> [Accessed 7 Feb. 2020].
- Li, Y., Cheng, X., Cao, Y., Wang, D. and Yang, L. (2018). Smart Choice for the Smart Grid: Narrowband Internet of Things (NB-IoT). *IEEE Internet of Things Journal*, 5(3), pp.1505-1515.
- Openmobilealliance.org. (2020). Open Mobile Alliance - LwM2M Registry. [online] Available at: <http://www.openmobilealliance.org/wp/OMNA/LwM2M/LwM2MRegistry.html> [Accessed 7 Feb. 2020].
- Raza, U., Kulkarni, P. and Sooriyabandara, M. (2017). Low Power Wide Area Networks: An Overview. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(2), pp.855-873.
- Tools.ietf.org. (2020). RFC 7252 - The Constrained Application Protocol (CoAP). [online] Available at: <https://tools.ietf.org/html/rfc7252> [Accessed 7 Feb. 2020].
- SpecWorks, O. (2020). Lightweight M2M (LWM2M) - OMA SpecWorks. [online] OMA SpecWorks. Available at: <https://www.omaspecworks.org/what-is-omaspecworks/iot/lightweight-m2m-lwm2m/> [Accessed 7 Feb. 2020].
- Van den Abeele, F., Haxhibeqiri, J., Moerman, I. and Hoebeke, J. (2017). Scalability Analysis of Large-Scale LoRaWAN Networks in ns-3. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(6), pp.2186-2198.
- Wan, L., Zhang, Z. and Wang, J. (2019). Demonstrability of Narrowband Internet of Things technology in advanced metering infrastructure. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2019(1).