



PROJETO DE UM DISPOSITIVO *GATEWAY* MODULAR PARA REDES LORAWAN E O DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO FUNCIONAL

Samuel Alves Tavares*¹, Ubaldo Elias Ferreira Neto¹, Lorenzo Santos Vasconcelos¹ e Alan Petrônio Pinheiro¹

¹FEELT – Universidade Federal de Uberlândia

Resumo - A quantidade de serviços de telecomunicações e demais áreas que requerem sistemas de IoT (*Internet of Things*) cresce muito rapidamente e, conseqüentemente, surge a necessidade de implantação de novas redes de IoT que possam prover infraestrutura para o funcionamento desses serviços. Uma rede com grande potencial e escalabilidade é a LoRaWAN. Nessas redes, os *gateways* são dispositivos essenciais e responsáveis pela comunicação entre os dispositivos conectados e os servidores de aplicações, mas não há, no mercado, dispositivos com características personalizáveis. Desse modo, este artigo visa o projeto e a implementação de um *gateway* LoRaWAN que seja modular e versátil e que possa assumir diversas configurações diferentes de acordo com as especificidades dos serviços executados.

Palavras-Chave – *Gateway*, Internet das coisas, LoRa, Sistemas Embarcados.

PROJECT OF A MODULAR GATEWAY DEVICE FOR LORAWAN AND A DEVELOPMENT OF A FUNCTIONAL PROTOTYPE

Abstract - *The number of telecommunications services and other areas that require IoT (Internet of Things) systems is growing very quickly and there is a need to implement new IoT networks that can provide infrastructure for these services to operate. A network that has great potential and scalability is LoRaWAN. In this type network, gateways are essential devices and responsible for the communication between the connected devices and the application servers, but there are no gateway devices on the market with customizable characteristics. In this way, this article aims the design and implementation of a LoRaWAN gateway that is modular, versatile and that can assume several different configurations according to the requirements of the performed services.*

Keywords – *Embedded Systems, Gateway, Internet of things, LoRa.*

*samuelalvestavares0@gmail.com

I. INTRODUÇÃO

Desde 2017, o Brasil já ultrapassou a marca dos primeiros 100 MW em capacidade instalada de geração por meio de sistemas de geração distribuída (GD). O avanço dessa modalidade de geração, agregado a grandes mudanças de regulamentação (como o mercado livre de energia) forçará as companhias de energia elétrica a se “reinventarem”, como já foi destacado por vários dirigentes de concessionárias [1]. A ANEEL prevê, em [2], que, no Brasil, em 2024, teremos quase 900 mil consumidores gerando sua própria energia e injetando na rede pública seu excedente de produção. Isto muda todo o cenário clássico do sistema de distribuição pensado, originalmente, para um fluxo unidirecional de energia.

Ainda, a implantação das *smart grids* também tem se mostrado um caminho inevitável por introduzir um alto grau de automação e controle na rede provendo muitos ganhos de produtividade e estabilidade. Embora tanto o cenário de paradigma de atuação da concessionária quanto o crescimento tecnológico trazido pelas *smart grids* possam parecer distantes em vários pontos, eles têm algo em comum: ambos necessitam de uma infraestrutura de telecomunicações de ampla escala. [3]

Como já bem entende a maior parte das concessionárias, seu papel deve mudar e ele deve ser o de aliado à geração distribuída e não o de concorrente ou adversário. Com isso, existe a necessidade de as concessionárias proverem novos serviços dentro desse contexto e gerar novas oportunidades de negócios e serviços para que possam manter suas receitas sem onerar seus clientes e manter a relação com seus investidores saudáveis para que o investimento continue acontecendo. Naturalmente, esse processo de transição de cenários não pode fragilizar nenhuma das partes e, por isso, faz-se necessário, desde já, que as empresas busquem elencar suas opções de atuação futura e se preparem, tecnologicamente, para isso. Nesse contexto, as tecnologias de telecomunicações são vitais e, por isso, merecem profunda atenção.

Uma das tecnologias de telecomunicações mais promissoras no quesito fornecimento de estrutura funcional para as *smart grids* é a tecnologia LoRa®. LoRa® é uma tecnologia de rádio frequência que permite comunicação a longas distâncias com consumo mínimo de energia

(LPWAN). Ela é baseada em uma rede de topologia estrela ou estrela de estrelas, similar a uma rede de telefonia celular. A tecnologia LoRa® pode ser comparada a uma camada física de uma arquitetura LoRaWAN. [4]

Em uma rede LoRaWAN, os dispositivos finais ou *end-nodes* (que podem ser os medidores de energia elétrica das concessionárias, transformadores ou outros equipamentos) enviam e recebem dados de *gateways* específicos, que os encaminham via conexão TCP/IP para servidores locais ou remotos (LoRa Network Server - LNS). E é nesses servidores que os dados serão tratados e as aplicações da concessionária serão executadas. [5]

Uma das principais aplicações da tecnologia LoRa® são sistemas de IoT (Internet das Coisas) como sensores e monitores remotos, sobretudo aqueles operados a bateria, de mensagens curtas e, em alguns casos, em locais de difícil acesso. Dependendo das condições de instalação (bloqueios por prédios, topologia de terrenos, entre outros) pode-se conseguir, em áreas urbanas, 3-7 km de alcance e, em áreas rurais, até 15 km (ou mais). [6-8]

Dentre os dispositivos necessários para o funcionamento de um sistema de comunicações LoRa®, os *gateways* são de extrema importância e são o objeto de estudo desse projeto de pesquisa. Eles podem ser comparados às estações rádio base de um sistema celular e são os receptores dos sinais enviados pelos *end-nodes* e que encaminham esses sinais para os servidores de rede e aplicação. Além disso, também recebem mensagens dos servidores de aplicação e as transmitem para os *end-nodes*. [9]

Já existem no mercado alguns tipos de *gateways* comerciais que funcionam bem. Entretanto, tais dispositivos são de tecnologia proprietária e, muitas vezes, não é possível modificá-los para atender novos requisitos e executar funções customizadas. [10-12]

Como a diversidade e a demanda de diferentes serviços em IoT é muito grande, surge a necessidade de implementar novas funções em um *gateway* LoRa® como, por exemplo: [13]

- Acesso direto aos dados que estão trafegando pelo usuário utilizando WiFi® ou Bluetooth®;
- Setorização da radiação eletromagnética;
- Alimentação por fontes alternativas de energia para utilização remota (ex.: fotovoltaica);
- Capacidade de armazenamento temporário dos dados em caso de falta de alimentação;

Ainda, seria interessante que existisse um *gateway* com estrutura modular, no qual a adição de novas funções (referenciamento GPS, comunicação celular, entre outros) fosse realizada de maneira fácil, apenas incorporando (conectando) algum módulo extra.

Nesse contexto, são necessários o projeto e a implementação de *gateways* experimentais que tenham a capacidade de executar as novas funções e atender aos diversos requerimentos dessas aplicações específicas. Por isso, a proposta deste artigo é apresentar e um *gateway* LoRa® experimental que seja modular com a capacidade de adição facilitada de novas funções e requerimentos. [14]

II. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

A- LoRaWAN

De acordo com [15], LoRa® é uma técnica de comunicação sem fio desenvolvida para baixas potências e grandes distâncias que utiliza de uma técnica de modulação derivada do espalhamento espectral CSS (*Chirp Spread Spectrum*). Essa tecnologia é utilizada para operações M2M (*Machine to Machine*) e para IoT.

A frequência utilizada pela tecnologia LoRa® normalmente é a frequência livre abaixo de 1 GHz, logo ela varia de acordo com a localidade. Por exemplo, na Europa, utiliza-se frequências próximas a 868 MHz, já no Brasil, utiliza-se as frequências próximas a 923 MHz.

As principais características e aplicações da tecnologia são [15]:

- Baixo custo: o desenvolvimento de uma rede LoRaWAN é mais barato em infraestrutura operacional
- Alto alcance: uma rede LoRaWAN pode atingir um raio de mais de 100 km
- Baixa potência: não necessita de muita energia, baterias especiais podem durar até anos.
- Geolocalização: habilita a utilização de GPS.

Os parâmetros operacionais principais de LoRa® são:

- Frequência da Portadora: no Brasil, utiliza-se 915-928 MHz;
- *Spreading Factor*: o fator de espalhamento varia entre 7 e 12. Quanto maior o SF, maior o alcance e o SNR, porém menor a taxa de dados.
- Largura de Banda: utiliza-se 125 kHz, 250 kHz e 500 kHz.

B- Sistemas Embarcados

Como pode ser visto em [16], um sistema embarcado é composto por dispositivos de *hardware* e *software* que são programados para executar funções determinadas e com o mínimo de interação humana durante a sua execução.

Atualmente, os sistemas embarcados podem ser formados por diversos tipos de *hardware* e *software*. Porém, existem alguns componentes essenciais como a CPU (*Central Processing Unit*), a memória do sistema e portas de entrada e saída de dados. Além deles, é bastante comum encontrar em *hardwares* de sistemas embarcado o seguinte:

- Portas de comunicação serial para troca de informações com outros sistemas
- Interfaces para interagir com humanos como áudio, luzes, displays gráficos, teclados;
- Sensores elétricos e mecânicos para interagir com o ambiente externo;
- Conversores de dados (analógico-digital, digital-analógico)

Em relação aos componentes de *software*, os mais utilizados em sistemas embarcados são:

- *Kernel*: o componente de *software* que rege o sistema. Ele usa todos os recursos do sistema para fazer tarefas. O *kernel* recebe os serviços do sistema e os executa de acordo com as prioridades.
- Necessidades do sistema: o *software* em sistemas embarcados é dividido em vários pequenos programas chamados de *tasks*. Cada uma delas usa uma ação distinta e tem um uso específico dos recursos. Eles submetem as requisições ao *kernel* para que ele os avise das ações;
- Rotinas: são pedaços de códigos feito para dar uma funcionalidade ao sistema, podendo ser de *drivers* ou de execução.

Além disso, sistemas embarcados podem ser definidos como distribuídos, pequenos e de alta performance.

Um sistema embarcado pode ter seu projeto definido em cinco etapas principais: concepção, projeto, crescimento, maturidade e declínio.

III. CONCEPÇÃO DO PROJETO DO DISPOSITIVO

A primeira etapa de projeto foi definir alguns requerimentos funcionais do *gateway*. Ressalta-se que nem todos esses requisitos são necessários para a realização do primeiro protótipo e não foram todos implementados ainda. A Tabela I traz os requisitos de *hardware* e a Tabela II os requisitos de *software*.

Tabela 1: Requisitos de *hardware*.

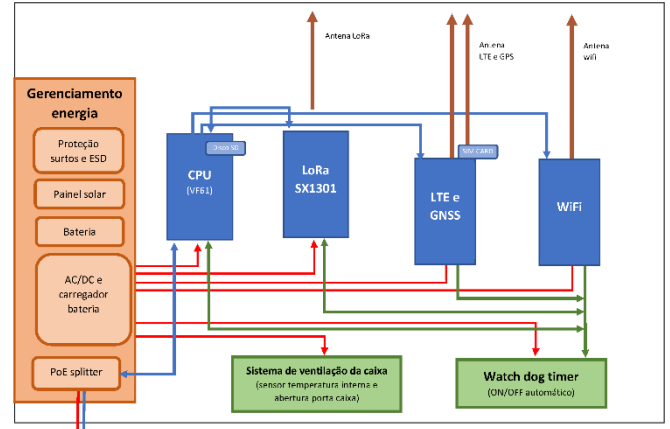
Camada/Componentes	Descrição
Módulos de troca fácil	Utilizar CPU da Toradex (ou similar) com memória para embarcar Linux e criar condições de resiliência de <i>hardware</i>
	Suportar até 4 rádios LoRa® SX1301 operando simultaneamente em USB ou SPI
	Backhaul LTE e rádio GPS
	Interface WiFi e BLE
	Watch-Dog-Timer para monitoramento
	Memória de massa PCImini
Condições de operação	Suporte de temperatura até 85 °C, 90% de umidade e vibrações mecânicas
Placa mãe	Backplane com 6 mini PCI express, Ethernet PoE, Usb, SPI, RS232, LEDs de sinalização

Tabela 2: Requisitos de *software*.

Descrição
Acesso SSH remoto
Gerenciamento de pacotes
Mecanismo de update/dota
Compatibilidade com SEMTECH Packet Forwarder, Kerlink CPF, LoRaWAN Basic Station
Implementação Green Grass
Existência de imagem de SO na memória interna para recuperação em condições adversas

A Figura 1 ilustra a composição dos módulos que devem formar a solução de hardware do *gateway*.

Figura 1: composição dos módulos que devem formar a solução de hardware do *gateway*.



IV. MONTAGEM

Para a montagem de um primeiro protótipo apenas alguns dos requerimentos foram atendidos. Aos poucos, mais requerimentos serão implementados até a formação da primeira prova de conceito.

Para o protótipo inicial, foi utilizado um módulo CPU Toradex® Colibri VF61 acoplado a uma placa base Viola. O Colibri VF61 utiliza um ARM Cortex-A5 e é compatível com várias entradas e por isso vários módulos podem ser utilizados no mesmo. Nele, podem ser instaladas distribuições do Windows CE ou Linux.

O sistema embarcado escolhido a distribuição Angstrom, que é uma distribuição leve, sem interface gráfica e feita para sistemas embarcados. Entretanto, foi feita uma versão modificada dessa distribuição utilizando a tecnologia *open-embedded* que já contém toda a customização para funcionamento do software necessário para a tecnologia LoRaWAN.

Os softwares mínimos que precisam estar embarcados são o *Semtech Packet Forwarder* e o *driver/HAL LoRa®*. O *Packet Forwarder* é um programa em execução no gateway que encaminha os pacotes recebidos do rádio para um LNS por meio de um link IP. O *driver/HAL* é necessário para a comunicação entre o rádio e a CPU. Ele estabelece essa comunicação e troca informações com o rádio.

A Figura 2 mostra o módulo Colibri acoplado à placa Viola Carrier, que está fixada em um slot metálico de produção própria.

Figura 2: Toradex Colibri VF61 e Viola Carrier board



O rádio LoRa® SX1301 foi obtido com o produto RAK833 da fabricante RAK Wireless. É um módulo transmissor/receptor multicanal, projetado para receber vários pacotes LoRa® simultaneamente com diferentes SF. Ele tem uma potência de transmissão máxima de 20 dBm, design compacto e suporte para até 8 canais LoRa®. Existe opção de interface USB e SPI. Além disso, Ele opera na frequência de 915-928 MHz, de acordo com o padrão australiano e brasileiro.

A Figura 3 traz o módulo RAK833 acoplado em uma placa que faz a interface de conexão miniPCI para USB. Esse conjunto também foi montado em um slot metálico.

Figura 3: RAK 833.



Com apenas esses requerimentos atendidos para o primeiro protótipo, os componentes nos seus slots foram montados na estrutura de uma caixa metálica para operação outdoor e suas conexões foram feitas. É importante ressaltar que para o produto final, será desenvolvido um *backplane* em que todos os módulos serão conectados diretamente por miniPCI. Para esse protótipo, as ligações foram feitas com cabos.

Figura 4: Ligação entre o RAK833 e a Placa Viola Carrier.



A modelagem da caixa final e dos slots para os módulos foi feita no *software* de modelagem 3D *Solidworks*. Alguns itens foram impressos em impressora 3D e outros foram feitos com chapas de metal cortadas e dobradas. O resultado final pode ser visto na Figura 5.

Figura 5: Montagem Final.



V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os primeiros resultados foram muito satisfatórios. Após algum esforço, foi possível gerar uma imagem pronta do sistema operacional personalizado e foi colocada em um cartão de memória SD. Com esse cartão, pode-se instalar a imagem na memória NAND do Colibri facilmente e o sistema já está pronto para realizar sua função.

Além disso, a montagem dos componentes na caixa foi feita com sucesso e o gateway está há meses funcionando em ambiente outdoor para realização de testes. Inicialmente, está sendo alimentado pela rede elétrica e fonte DC. Posteriormente, será incorporada alimentação fotovoltaica e PoE.

O sistema está operacional, com acesso remoto SSH e interface ethernet para o link de *backhaul* e trocando dados com os servidores LoRaWAN. Futuramente, espera-se incluir um link LTE e, também, suporte GPS.

A Figura 6 mostra o gateway instalado nas dependências da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.

Figura 6: Gateway Instalado.



Portanto, é possível notar que este o levantamento de requisitos, montagem e implementação de *software* no gateway, foi um sucesso, porém ainda existe um espaço para o aprimoramento do *gateway*.

Porém, no momento, as atualizações e desenvolvimento de hardware estão em espera, pois o *gateway* construído está sendo utilizado para testar implementações de software necessárias. Entretanto, espera-se conseguir implementar mais requerimentos de hardware citados anteriormente para a criação de protótipo robusto como o desenvolvimento de um *backplane* para inserção dos módulos, dando ao *gateway* uma característica modular que é muito atrativa.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Godoi. Canal Energia (2017). *Futuro da distribuição começa a se desenhar no presente*. Acesso em 12 de Setembro de 2020, em: <https://canalenergia.com.br/especiais/44576997/futuro-da-distribuicao-comeca-a-se-desenhar-no-presente>.
- [2] Nota Técnica ANEEL nº 0056/2017-SRD/ANEEL. *Projeção de consumidores*. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJE%C3%87%C3%95ES+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba9.
- [3] M. Centenaro, L. Vangelista, A. Zanella, M. Zorzi. Long-Range Communications in Unlicensed Bands: The Rising Stars in the IoT and Smart City Scenarios. *IEEE Wireless Communications* vol. 45, pp. 60-67, 2016.
- [4] Instituto Newton C. Braga. *Conheça a Tecnologia LoRaWAN*. <http://newtoncbraga.com.br/index.php/eletronica/52-artigos-diversos/11992-conheca-a-tecnologia-LoRa-e-o-protocolo-LoRaWAN-lor001>. Acesso em 20 de Agosto de 2020.
- [5] S. M. A. Oteafy and H. S. Hassanein. IoT in the Fog: A Roadmap for Data-Centric IoT Development. *IEEE Communications Magazine*, vol. 56, March 2018.
- [6] A. Sajid, H. Abbas e K. Saleem. Cloud-Assisted IoT-Based SCADA Systems Security: A Review of the State of the Art and Future Challenges. *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1375-1384, 2016.
- [7] S. Igder, S. Bhattacharya, J. M. H. Elmirghani. Energy Efficient Fog Servers for Internet of Things Information Piece Delivery (IoTIPD) in a Smart City Vehicular Environment. *2016 10th International Conference on Next Generation Mobile Applications, Security and Technologies (NGMAST)*, pp. 99-104, August 2016.
- [8] Burgio, A., Giordano, A., Manno, A. A., Mastroianni, C., Menniti, D., Pinnarelli, A., et al M. An IoT approach for smart energy districts. *2017 IEEE 14th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)* pp. 146-151, May, 2017.
- [9] L. Wieclaw, V. Pasichnyk, N. Kuranets. Cloud computing technologies in “smart city” projects. *9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*, 2017.
- [10] Guia de orientações do MCTIC. p. 43, 49 e 50. Disponível em: http://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/backend/galeria/arquivos/2017/10/17/Livro_Emenda_Parlamentar_WEB.pdf
- [11] I. Yaqoob, et al. Internet of things architecture: Recent advances, taxonomy, requirements, and open challenges. *IEEE wireless communications*, vol 24, no. 3, pp. 10-16, 2017.
- [12] Plano nacional de internet das coisas (BNDES e MCTIC). *Relatório ROADMAP tecnológico completo*. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisadados/estudos/estudo-internet-das-coisas-iot/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil>.
- [13] D. Croce et. al. Impact of LoRa imperfect orthogonality: analysis of link-level performance. *IEEE Communications Letters*, vol. 22, 2018.
- [14] B. Hammi et. al. Internet of Things (IoT) Technologies for Smart Cities. *IET Networks*, 2017.
- [15] M. Rashid, M. W. Anwar, A. M. Khan. Toward the tools selection in model-based system engineering for embedded systems. *A systematic literature review. Journal of Systems and Software*, pp. 106, 150–163, 2015.
- [16] M. Jiménez, R. Palomera, I. Couvertier. *Introduction to Embedded Systems*, 2014.