

Desenvolvimento de um protótipo com utilização de LoRaWan como Solução de Comunicação de Baixo Custo

Fernando Vinícios Manchini de Souza e Roberto dos Santos Rabello

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil,
168730@upf.br
rabello@upf.br

Resumo Com a aglomeração de pessoas recursos são cada vez mais mal utilizados, as cidades inteligentes apoiadas fortemente na Internet das Coisas surgem como um contraponto, para a otimização de recursos e bem-estar social, mas o custo da comunicação utilizando rede celular é um dos grandes limitadores para aplicações em larga escala, ou em cidades pequenas com poucos recursos. Esse trabalho apresenta o desenvolvimento de protótipo de baixo custo utilizando a tecnologia *LoRaWan* como meio de comunicação viável para a implementação de futuras aplicações, tanto no aspecto financeiro e baixa complexidade, sendo possível cobrir a área de uma cidade de médio porte com apenas um *gateway*.

Keywords: LoRaWan, lpwan, Cidades Inteligentes, Fazendas Inteligentes

1 Introdução

Com a aglomeração de pessoas nas cidades recursos e bens são muitas vezes mal utilizados[1], faltando para uns enquanto são desperdiçados por outros. No cenário de cidades inteligentes, a comunicação e o acesso facilitado a informação são pontos chave para um menor desperdício de tempo e recursos, por exemplo a notificação antecipada que o trânsito estará bloqueado e a sugestão do desvio, o agendamento de consultas médicas pela internet, a distribuição de serviços essenciais como bancos pela cidade, otimização dos meios de transporte através do compartilhamento, produção e distribuição de alimentos em fazendas urbanas. Esses casos representam a economia compartilhada *blockchain* e cidades inteligentes, onde é promovido o empoderamento do cidadão, interagindo de forma mais ativa na comunidade, sendo como prestador de serviço ou usuário.

Todas essas iniciativas necessitam de sistemas de comunicação, estes são fortemente dependentes de poucas empresas de telecomunicação que proveem altas velocidades, mas com um alto custo por dispositivo, que devido a necessidades regulatórias restringem o mercado, inibindo, até certo ponto, o investimento e a concorrência, tornando inviável algumas aplicações.

Como contraponto as redes *LPWAN* apresentam novas possibilidades com longas distâncias, baixo consumo energético e custo, no caso da implementação *LoRaWan*, por utilizar faixa de frequência restritas, que não necessitam de cadastramento junto ao órgão regulatório, reduz a burocracia e custos para sua utilização, sendo ainda possível instalar um *gateway* e mantê-lo em operação, sem necessidade de intermediários, que ocorre em outras redes como a *SIGFOX*, que a cobertura do sinal é exclusivo de uma empresa em cada país [2].

O desenvolvimento de sistemas inteligentes customizados, focados em problemas específicos de cada cidade, tende a ser mais efetivo e gerando mais oportunidades de negócios para empresas e pesquisadores locais. O objetivo deste artigo é desenvolver um protótipo de baixo custo para verificar a viabilidade para implementações de aplicações utilizando a tecnologia *LoRaWan* no contexto da coleta e comunicação nas cidades e fazendas inteligentes, tendo como ambiente do experimento a cidade de Ijuí, no noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

Considerando os trabalhos relacionados já desenvolvidos em outros países utilizando a tecnologia *LoRaWan*, buscando extrair seus acertos para o estudo de viabilidade da aplicação desta tecnologia em pequenas e médias cidades, onde os recursos financeiros são mais escassos para esse tipo de investimento.

2 Fundamentação Teórica

A maior parte da população vive nas cidades, cerca de 3,42 bilhões de pessoas superando 3,41 bilhões das áreas rurais e a estimativa que em 2050 sejam 5,2 bilhões representando um percentual de 84 % vivendo nas cidades [1]. Essa questão aliada com o fato que as cidades crescem sem um planejamento central, mas sim com as decisões individuais de cada cidadão criando um ambiente anárquico, geram vários problemas para o desenvolvimento e crescimento das cidades, no entanto acaba criando oportunidades em vários aspectos.

Com o advento da quarta revolução industrial criaram-se novos paradigmas, apoiados fortemente na tecnologia e na integração entre o mundo físico, virtual e biológico permitido pela *Internet of Things*, IoT e Inteligência Artificial, IA, um exemplo de paradigma é a produção distribuída local, para atender demandas específicas com produtos customizados, tendo como exemplo a impressão em 3D [3]. O conceito de *Internet of Things*, IoT, emergiu no fim dos anos 90 por ASHTON em 1999, em sua palestra para a P&G sobre RFID [4], desde essa primeira explanação o conceito evolui muito e hoje pode ser definido como uma infraestrutura global para interligação de objetos físicos e virtuais, através dos sistemas de comunicação para captura de informações e atuação no ambiente [5] [6]. A popularização de soluções IoT vêm crescendo devido à vários fatores como a evolução na miniaturização, redução de custo de sensores, velocidade de conexão, capacidade de identidade única de cada dispositivo, poder de processamento e armazenamento das informações na nuvem a baixo custo e o desenvolvimento da computação cognitiva e *machine learning* [7].

A convergência destes aspectos juntamente com as preocupações ambientais e de bem-estar social, quando balanceadas para atender as necessidades e desejos

da população com uma capacidade funcional sustentável, utilizando a tecnologia para transformar a infraestrutura e otimizar os recursos, criando assim um ambiente com o conceito de cidade inteligente[8]. Para fazer a leitura do mundo real são utilizados um grande número de dispositivos e sensores, distribuídos em longas distâncias e lugares muitas vezes de difícil acesso, ainda é possível que estejam em uma área que não tenham disponibilidade de fornecimento de energia elétrica, sendo necessário uma longa autonomia de bateria.

2.1 LoRaWan

O nome *LoRa* é a abreviatura de *Long Range*, sendo uma *Low Power Wide Area Network*, *LPWAN* que consistem em uma arquitetura de rede voltada a baixo consumo de energia e longo alcance, pontos chave para IoT, provendo comunicação segura bidirecional, mobilidade e serviço de localização. Esta rede geralmente utiliza a topologia estrela, com um *gateway* como ponte entre os dispositivos e o servidor central da rede, esse que possui uma conexão TCP/IP convencional. Outro ponto no padrão *LoRa* é que ele é aberto, permitindo qualquer empresa produza módulos, entretanto devem ser homologados pela *LoRa Alliance*[9].

A comunicação ocorre entre o dispositivo e o *gateway* utilizando faixas de frequência e taxa de dados específicas, as taxas definem o tempo que o dispositivo vai utilizar o canal de comunicação, assim como o tempo que a mensagem vai ficar no ar, quanto menor a taxa de transferência maior será o tempo no ar, as taxas de transferência variam de 0,3 kbps a 50 kbps. Isso na prática permite que na mesma área de abrangência de um *gateway* tenha diferentes taxa de dados, pois os dispositivos localizados mais perto do *gateway* podem ficar menos tempo no ar, assim economizando energia.

Um dos pontos críticos da infraestrutura para IoT é a segurança, assim para aumentá-la os dados durante a comunicação são criptografados e utilizando também identificadores únicos:

- *Unique Network key* (EUI64): Identificador único na rede com 64 bits.
- *Unique Application key* (EUI64): Identificador único da aplicação com 64 bits.
- *Device specific key* (EUI128) Identificador único do dispositivo com 128 bits.

Os dispositivos *LoRa* são categorizados em classes para utilização adequada em cada projeto, sempre voltado para o menor consumo de energia:

Classe A: dispositivos bidirecionais, mas tendo a possibilidade de receber mensagens restritas logo após o envio, essa forma de operação reduz muito o consumo de energia, pois durante o resto do tempo o módulo estará desligado.

Classe B: dispositivos bidirecionais, mas tem possibilidade de receber mensagem com tarefas sincronizadas de tempo em tempo. Ao enviar uma mensagem pode ser criado uma tarefa para sincronizar o próximo horário que o dispositivo estará ouvindo.

Classe C: dispositivo bidirecional mas com a possibilidade de recebimento de mensagens a quase qualquer momento.

A utilização de faixas de frequência de rádio é limitada pelos governos locais dos países para definir regras, organização e evitar problemas de interferências entre os equipamentos de uso crítico, assim há um acordo internacional que define algumas frequências sem necessidade de regulamentação para incentivar o desenvolvimento industrial, científico e médico, esse acordo é denominado ISM band, *industrial, scientific and medical*. No Brasil o órgão regulador de telecomunicação é a Agência Nacional de Telecomunicação, ANATEL, entre as suas responsabilidades está as definições das faixas de frequência que necessitam de cadastramento para operação, logo segundo a resolução 506 da Anatel, no capítulo II, define as faixas de frequência restritas, que não necessitam de cadastramento junto ao órgão, conforme Tabela 1 [10].

Tabela 1. Tabela 3 segundo Resolução 506 Anatel

Radiofrequência
902-907,5 MHz
915-928 MHz
2.400-2.483,5 MHz
5.725-5.875 MHz
24,00-24,25 GHz

A instrução da *LoRa Alliance* para o continente americano é utilizar a faixa de frequência 902 a 928 MHz, Como pode ser observado nas Tabela 1 a faixa entre 907,5 a 915 MHz não pode ser utilizadas, assim ao utilizar dispositivos do padrão americano deve se tomar o cuidado de inutilizar esses canais via software na aplicação. No entanto essa limitação já ocorre em outros países que padronizaram a distribuição das faixas de frequência de tal modo que não sejam inutilizado canais, como é o caso do padrão australiano, entretanto ainda não há uma padrão brasileiro definido [11].

A plataforma para prototipação rápida, coleta e comunicação, *The Things Network*, TTN, é desenvolvida pela comunidade buscando a implantação de *gateways* de acesso público para a difusão da tecnologia *LoRaWan*, sendo que atualmente são cerca de 1389 ativos ao redor do mundo. Aliada com a plataforma Arduino que é comum a utilização no início de projetos, principalmente pelo seu baixo custo e tempo de aprendizado, iniciado em 2005 para ajudar estudantes no aprendizado de eletrônica e programação, foi o primeiro projeto de código aberto em hardware [12].

2.2 Trabalhos Relacionados

Inicialmente foi realizado busca em base de dados de artigos, CAPES, Scholar - Google acadêmico, *IEEE - xplore*, ACM e *Springer*, com a palavras chave *loraWan*, *lora* e *lpwan*, com objetivo de encontrar pesquisa que abordem as especificação da tecnologia, limitações e aplicações. Por ser uma tecnologia emergente existem muitas lacunas, entretanto há alguns trabalhos que podem ser citados,

Understanding the Limits of LoRaWAN de Adelantado, Ferran et al [13] realiza um estudo imparcial e visão geral da tecnologia abordando as suas capacidades e limitações, como taxa de transmissão, distância de transmissão, capacidade máxima de dispositivos, probabilidade de sucesso de transmissão. Dados esses itens, relata contextos em que pode ser aplicado a tecnologia *LoRaWan* e suas limitações nesses cenários, como cidades inteligentes, transporte, logística e vigilância em vídeo.

Evaluation of LoRa LPWAN Technology for Indoor Remote Health and Well-being Monitoring de Juha Petäjälä [14] relata os experimentos utilizando dispositivos comerciais da tecnologia *LoRaWan* no campus da Universidade de Oulu na Finlândia, utilizando diferentes *spreading factors*, larguras de banda e potência de transmissão. No caso de estudo utilizando uma potência de transmissão de 14 dBm cobriu toda a área do campus, 570 x 320 metros, com uma média de 96,7 % de sucesso de transmissão, já utilizando 2 dBm obtiveram uma perda de 13,1% de pacotes. São relatados testes tanto no exterior quanto no interior de construções, utilizando *spreading factors* de 7 a 10, ao final é realizado um relato breve do consumo de energia com essa variação de *spreading factors*, concluindo que é possível a transmissão, mesmo *indoor* em 300 metros.

The design and implementation of a smart-parking system for Helsinki Area de Charles Wasswa Sewagudde [14] relata a validação de um sistema de estacionamento inteligente, com o foco na construção do dispositivo, o trabalho utiliza os conceitos de IoT para abordar o problema de estacionamento tendo uma região crítica da cidade, os dispositivos foram criados utilizam a tecnologia *LoRaWan*, com um módulo comercial, porém montado em uma placa de circuito impresso desenvolvida pelo próprio pesquisador. A aplicação tinha como principal objetivo verificar se há algum carro utilizando a vaga, auxiliando motoristas que buscam estacionamento e também a função de parquímetro. Ao final são relatados as dificuldades na implementação da solução tais como, custo dos dispositivos, a limitação do uso das bandas ISM, a necessidade de conhecimento diversificado em eletrônica, rádio, sistemas embarcados, banco de dados e tecnologias web, demandam bastante mão de obra aumentando o custo das aplicações. No entanto o pesquisador deixa algumas provocações e desafios futuros como automatização da identificação dos carros, pagamentos automatizados e soluções que não necessitem de *gateways*.

3 Metodologia

A implementação foi iniciada definindo um esboço do fluxo das informações através da arquitetura representada pela Figura 1, dividido em blocos e subdividindo em partes para simplificar o desenvolvimento. A parte central é o *gateway* que irá receber as informações do dispositivo via *LoRaWan*, posteriormente encaminhar para os serviços na internet pelo protocolo TCP/IP.

O desafio inicial foi encontrar fornecedores de equipamentos *LoRaWan* com preços acessíveis no varejo, pois o mercado até início de 2017 possuía apenas *gateways* profissionais com custos superior a 300 dólares [15], entretanto com a

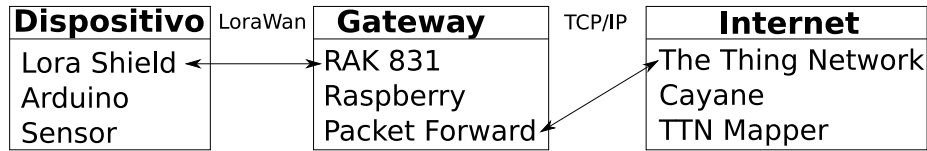


Figura 1. Arquitetura do Protótipo

difusão da tecnologia surgiram novas soluções [16], assim como soluções voltadas para a prototipação e plataformas de desenvolvimento que apesar de possuírem alguns recursos limitados [17], tem a metade do custo, sendo possível a montagem de um *gateway* para instalação *indoor* com aproximadamente 165 dólares e cada dispositivo com valores abaixo de 40 dólares.

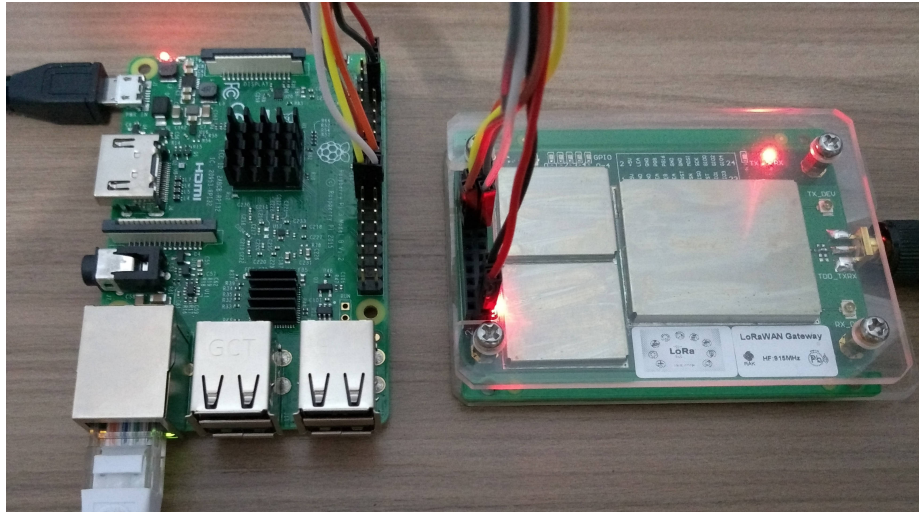


Figura 2. *Raspberry Pi 3 Modelo B* e Placa RAK 831 conectadas diretamente pelas portas GPIO

Na construção do gateway, Figura 2, foi utilizado a placa *Raspberry Pi 3 Modelo B* que possui todas as conexões e poder de processamento necessários para a operação da placa RAK 831, assim como tem seu custo extremamente baixo. No caso do módulo RAK 831, este é baseado no *Semtech SX1301*, assim como outros concentradores mais caros do mercado, podendo operar na frequência de 433, 868 e 915 MHz, com sensibilidade de recepção de -138dBm, suporte a 8 canais de recepção e 1 para envio de informações.

Na *Raspberry* foi instalado o sistema operacional padrão, *raspbian* [18], em seguida habilitado a comunicação via *Serial Peripheral Interface*, SPI. A interligação física entre o módulo RAK foi realizada utilizando as portas GPIO da

Raspberry tendo como base a documentação oficial [19] e membros da comunidade [20]. O *gateway* construído, Figura 2, conta também com uma antena omnidirecional de 5 dBi. O próximo passo foi o cadastro do *gateway* na plataforma TTN que necessita de informações básicas como identificador único, localização geográfica e faixa de frequência que será utilizada, no caso 915 Mhz.

Com esses dados também é configurado o *packet forwarder*, este que é responsável de encaminhar as mensagens dos dispositivos para a nuvem na TTN [21]. Pelo fato do módulo RAK 831 ter sido lançado a pouco tempo, não há suporte oficial pela TTN, entretanto foi possível de realizar a comunicação utilizando o protocolo SPI de outro módulo, *IMST ic880a*, que também utiliza o mesmo *semtech SX1301*.

O objetivo para o dispositivo era ser algo simples, para explorar o ambiente de desenvolvimento, noções básicas de eletrônica e principalmente as capacidades de transmissão de um simples dispositivo. No desenvolvimento do dispositivo o maior desafio foi utilizar as bibliotecas adequadamente para o módulo *LoRaWan* e frequência utilizada, no caso as principais foram desenvolvidas na Europa, operando em outras faixas de frequência, assim deve se ter o cuidado de realizar a adequação para as faixas corretas para o padrão americano. A biblioteca *LMiC* foi desenvolvida inicialmente pela IBM para módulos *LoRa* Semtech SX1272/SX1276 e HopeRF RFM92/95, mas atualmente foi modificada pela comunidade em repositórios *fork* do original sendo possível de forma relativamente simples integração com o Arduino [22]. Isso aliado com os módulos *LoRa* para Arduino já serem encapsulados na forma de *shields* agilizando a prototipação para um dispositivo simples, no caso do dispositivo construído para os testes constitui-se de um *Arduino Uno*, *Shield Lora Dragino* [17], sensor de temperatura e umidade modelo *DHT 11*, antena de 2 dBi e bateria.

Neste ponto é possível realizar a comunicação do dispositivo para o gateway, e do gateway para a nuvem, permitindo a captura de informações do ambiente real e transpondo para o virtual, entretanto foi utilizado um protocolo das mensagens voltado para rápida prototipação, seguindo o padrão *Cayenne Low Power Payload*, LLP,[23] este que é baseado no padrão *IPSO Alliance*, que busca prover interoperabilidade entre dispositivos inteligentes de vários fabricantes, como Google, Bosh, Intel, Texas Instrument, entre outros [24]. Utilizando mensagens neste protocolo é possível integrar e capturar as mensagens diretamente da rede TTN para o aplicativo *cayenne* para *smartphone* em uma alto nível, com poucos passos, sendo de certa forma didático.

A Figura 3 exemplifica como as informações são exibidas no aplicativo *cayenne*, no caso, utilizando o protocolo corretamente, já especificadas as grandezas, essas são configuradas automaticamente no aplicativo.

O TTN Mapper é um projeto derivado da *The Things Network* que consiste em um sistema que visa mapear e divulgar a cobertura dos *gateways*, assim incentivar outros desenvolvedores a utilizarem estes. Resumidamente, através do aplicativo para Android disponível no site, o usuário deve vincular um dispositivo cadastrado na rede TTN, em seguida acessar o modo de mapeamento e se mover pela cidade. Todos os pacotes recebidos serão analisados o *received signal strength*

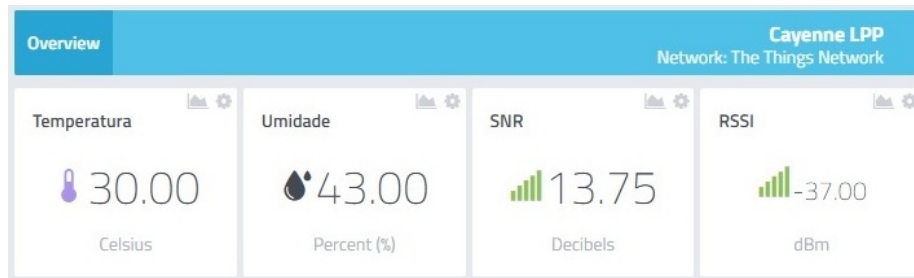


Figura 3. Informações sendo exibidas n aplicativo *cayenne*

indicator, RSSI e com essas informações será construído um mapa de calor com a cobertura do *gateway* na plataforma [25].

3.1 Análise e discussão dos resultados

Para validação foi realizado um experimento na cidade de Ijuí, localizada no noroeste do estado do Rio Grande de Sul, buscando mensurar o alcance dos dispositivos em um ambiente real de uma cidade com obstáculos, como árvores, prédios, elevações e interferências de outros possíveis aparelhos que utilizam esta mesma faixa de frequência. O *gateway* estava localizado *indoor* no 5º andar em um edifício na área central da cidade, aproximadamente a 321 metros de altura em relação ao nível do mar, assim foram realizados medições principalmente em uma direção.

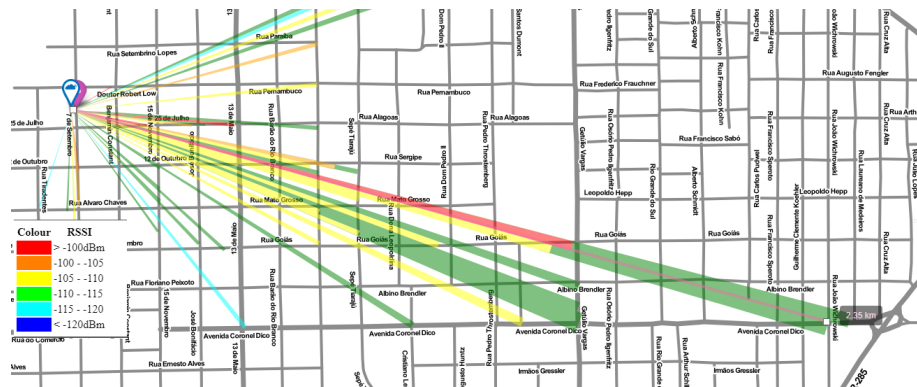


Figura 4. Cobertura de Sinal do Protótipo no TTN Mapper [26]

Conforme pode ser observado na Figura 4 a cobertura do protótipo obtida pelo TTN Mapper, as áreas em tom de vermelho indicam maior potência do sinal, amarelo representam mediana e azul baixa. Neste teste inicial a maior

distância obtida foi de 2,35 Km, devido a geografia da cidade de Ijuí [27] possuindo ondulações moderadas, lugares mais distantes, porém mais altos, tem melhor cobertura, que lugares mais próximos que são mais baixos, pelo fato que durante o deslocamento ocasionalmente obtinha-se linha de visada para o *gateway*.

Pelo fato do *gateway* estar *indoor*, este tem seu alcance prejudicado na direção perpendicular ou oposta a janela, tendo baixas medições com apenas 2 quarteirões de distância. Assim constata-se que a instalação em ambiente aberto seria essencial para uma aplicação real.

Algumas medições acabaram sendo realizadas com o veículo em movimento, que não foi efetivo, entretanto as medições mais distantes foram realizadas com o veículo estacionado, obtendo melhores resultados.

O investimento financeiro total em equipamentos de 165 dólares para montar está estrutura, que permite realizar a comunicação sem fio através da cidade, aliado com o fato que para o dispositivo foi necessário apenas 40 dólares, e pode ser reduzido esse custo otimizando a construção, é muito atrativo e expande muitos horizontes para novas aplicações em vários segmentos. No entanto a compra de equipamentos importados no Brasil tem um grande entrave que são os impostos de importação de 60%, isso acaba desencorajando, até certo ponto, pesquisadores e empreendedores apostarem em tecnologias emergentes, pois o risco acaba sendo maior.

O mercado de cidades e fazendas inteligentes é muito vasto, não será efetivo uma organização estar presente em todas as aplicações e setores, cada nicho terá que se movimentar individualmente gerando demanda para os que o cercam, no caso da comunicação gerará grandes volumes de dados contínuos, o setor de análise de dados terá sua demanda elevada, que por sua vez irá apontar novos dados que precisam ser obtidos. Da mesma maneira que cada cidade irá implementar soluções para seus devidos problemas, que muitas vezes serão parecidos mas não iguais das cidades vizinhas, que criarão suas próprias soluções, gerando demandas locais que serão resolvidas pelos seus cidadãos.

4 Considerações

Este trabalho pode demonstrar que a tecnologia *LoRaWan* cumpre as expectativas de ser uma solução de baixo custo, pois não tem necessidade da contratação de planos de dados por dispositivo, mas apenas para o *gateway*, devido ao fato de utilizar frequência restritas, respeitando a mesma regras de rede *Wi-Fi*, 2.400 MHz, não tendo a necessidade de regulamentação. Os testes iniciais, mesmo com o equipamento de baixo custo, demonstram a cobertura de um raio de 2,35 Km, já permitindo a criação de aplicações abrangendo quase toda a cidade de Ijuí com apenas 1 *gateway*.

Como trabalhos futuros pretende-se investigar a cobertura do *gateway* sendo instalado em um local mais alto para buscar reduzir a limitação da topografia, as limitações com um número maior de dispositivos simultâneos para averiguar qual seria a interferência entre eles e as deficiências no tráfego, mas principalmente

é prover a criação de aplicações para solução de problemas reais utilizando a massa de dados que a tecnologia permite coletar.

Referências

1. NATIONS, U. *Urban and Rural Areas 2009*. Acessado: 14 Agosto. 2017. Disponível em: <<http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/urbanization/urban-rural.shtml>>. Acesso em: 14 Agosto. 2017.
2. SIGFOX. *SIGFOX*. Acessado: 16 jun. 2017. Disponível em: <<https://www.sigfox.com>>. Acesso em: 16 jun. 2017.
3. SCHWAB, K. *A Quarta Revolução Industrial*. [S.l.]: Edipro, 2016.
4. ASHTON, K. That 'internet of things' thing. *RFiD Journal*, v. 22, n. 7, p. 97–114, 2009.
5. VERMESAN, O.; FRIESS, P. *Internet of things-from research and innovation to market deployment*. [S.l.]: River Publishers Aalborg, 2014.
6. ITU. *Overview of the Internet of thing - International Telecommunication Union*. Acessado: 14 jun. 2017. Disponível em: <<https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I>>. Acesso em: 14 mai. 2017.
7. DIAS, R. R. de F. *Internet das Coisas Sem Mistérios: Uma nova inteligência para os negócios*. São Paulo: Netpress Books, 2016. 120 p.
8. FARIAS, J. et al. Cidades inteligentes e comunicações. v. 1, p. 28–32, 10 2011.
9. ALLIANCE, L. LoRaWAN™ specification. *LoRa Alliance*, 2016.
10. RESOLUÇÃO n 506, de 1º de julho de 2008. Acessado: 14 mai. 2017. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/23-2008/104-resolucao-506>>. Acesso em: 14 mai. 2017.
11. ALLIANCE, L. LoRaWAN™ regional parameters. *LoRa Alliance*, 2016.
12. ARDUINO - About Us. Acessado: 1 jun. 2017. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/AboutUs>>. Acesso em: 01 jun. 2017.
13. ADELANTADO, F. et al. Understanding the limits of lorawan. *arXiv preprint arXiv:1607.08011*, 2016.
14. PETÄJÄJÄRVI, J. et al. Evaluation of lora lpwan technology for indoor remote health and wellbeing monitoring. *International Journal of Wireless Information Networks*, Springer, v. 24, n. 2, p. 153–165, 2017.
15. LORIOT. *Lora Gateways and concentrators*. Acessado: 28 ago. 2017. Disponível em: <<https://www.loriot.io/lora-gateways.html>>. Acesso em: 28 ago. 2017.
16. RAKWIRELESS. *RAK831 - LoRaWan Gateway Module*. Acessado: 28 ago. 2017. Disponível em: <<http://www.rakwireless.com/en/WisKeyOSH/RAK831>>. Acesso em: 28 ago. 2017.
17. DRAGINO. *Dragino - Lora Shield*. Acessado: 28 ago. 2017. Acesso em: 28 ago. 2017.
18. FOUNDATION, R. P. *RASPBIAN*. Acessado: 02 ago. 2017. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>>. Acesso em: 02 ago. 2017.
19. FOUNDATION, R. P. *GPIO: RASPBERRY PI MODELS A AND B*. Acessado: 20 ago. 2017. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio/>>. Acesso em: 20 ago. 2017.
20. KRISH, N. *Getting started with the RAK 831 Lora Gateway and RPi3*. Acessado: 20 ago. 2017. Disponível em: <<https://www.hackster.io/naresh-krish/getting-started-with-the-rak-831-lora-gateway-and-rpi3-e3351d>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

21. THETHINGSNETWORK. *TTN Packet Forwarder*. Acessado: 28 ago. 2017. Disponível em: <https://github.com/TheThingsNetwork/packet_forwarder>. Acesso em: 28 ago. 2017.
22. IBM. *IBM LMIC*. Acessado: 28 ago. 2017. Disponível em: <<https://github.com/matthijskooijman/arduino-lmic>>. Acesso em: 28 ago. 2017.
23. MYDEVICES cayenne. *cayenne MyDevices*. Acessado: 28 ago. 2017. Disponível em: <<https://cayenne.mydevices.com>>. Acesso em: 28 ago. 2017.
24. ALLIANCE, I. *IPSO Alliance*. Acessado: 28 ago. 2017. Disponível em: <<https://www.ipso-alliance.org>>. Acesso em: 28 ago. 2017.
25. THETHINGSNETWORK. *TTN Mapper*. Acessado: 28 ago. 2017. Disponível em: <<https://ttnmapper.org/>>. Acesso em: 28 ago. 2017.
26. MAPPER, T. *TTN Mapper - gateway=manchini*. Acessado: 07 set. 2017. Disponível em: <<http://ttnmapper.org/?gateway=manchini-gateway&type=radar>>. Acesso em: 07 set. 2017.
27. IJUÍ, M. D. *Geografia de Ijuí*. Acessado: 20 ago. 2017. Disponível em: <<http://www.ijui.rs.gov.br/paginas/geografia>>. Acesso em: 20 ago. 2017.