

LoRa: Tecnologia Emergente para Internet das Coisas

C. C. P. Fonseca, C. F. Costa, V. Oliveira, F. A. Teixeira¹

Abstract— ¹The Internet of Things (IoT) has different technologies trying to control the market in the future. One of them is LoRa, a Semtech protocol who claims the capability of communicate in a range of 10km or more and the connection with thousands of nodes. Trying to understand more of that fascinating technology this paper was made. To achieve that goal, several information about LoRa was condensed in one session with the most important fundamentals, a prototype was developed to test the Semtech module SX1278, who is equipped with a LoRa chip, and tests were made trying to repeat the results found in the bibliography. Unfortunately, the prototype wasn't the expected success, but the data obtained at the experiments can guide future works for more consistent results.

Keywords— LoRa, Internet of Things, LPWAN.

Resumo — A internet das coisas possui diferentes tecnologias tentando controlar esse mercado no futuro. Uma delas é a LoRa, um protocolo desenvolvido pela Semtech que clama ter a capacidade de se comunicar num alcance de 10 km ou mais, e de poder se conectar com milhares de nós. Tentando entender mais dessa fascinante tecnologia esse trabalho foi feito. Para atingir esse objetivo, diversas informações sobre a LoRa foi condensado em uma sessão com os fundamentos considerados mais relevantes, um protótipo foi desenvolvido para testar o módulo SX1278 da Semtech, que é equipado com um chip LoRa, e testes foram feitos tentando repetir os resultados encontrados em bibliografia. Infelizmente, o protótipo não foi o esperado sucesso, entretanto os dados obtidos nos experimentos podem guiar futuros trabalhos para resultados mais consistentes.

I. INTRODUÇÃO

AS chamadas *low power wide area networks* (LPWAN) tem ganhado relevância nos últimos anos devido a consolidação da internet das coisas. Cujo suas aplicações necessita que a rede não se foque em prover alta taxa de transferência de dados, mas sim em economia de energia, eficiência, escalabilidade e área de cobertura. Nesse contexto, algumas tecnologias despontam como candidatas a assumir o mercado, como, por exemplo: *LoRa*, *Sigfox*, *Weighless*, entre outras [1].

Nesse trabalho, focou-se na *LoRa* (*Long Range*), uma forma de modulação sem fio proposta pela *Semtech* e promovida pela *LoRa Alliance*, instituição oficialmente estabelecida no “*Mobile World Congress*” no ano de 2015, que tem como objetivo inicial desenvolver e prover soluções técnicas para a *LoRa* [2]. O interesse do mercado por essa tecnologia se deve

a sua capacidade de consumir pouca energia, enquanto pode se comunicar com diversos dispositivos a uma distância da ordem de quilômetros. Isso é possível, principalmente, considerando suas técnicas de acomodação de múltiplo acesso de espectro difuso, que conseguem abrigar vários usuários em um só canal usando a ortogonalidade das sub bandas e quasi-ortogonalidade do fator de propagação. As soluções técnicas providas pela *LoRa Alliance*, como a *LoRaWAN*, também colaboram para que seja possível e atrativo criar diversas soluções de comunicação entre dispositivos usando essa tecnologia [3].

Sendo assim, acredita-se que a *LoRa* possa despontar como uma das tecnologias líderes no mercado de IOT no futuro. Entretanto, suas nuances só vêm sendo estudadas pela comunidade científica muito recentemente. Esse trabalho propõe iniciar a discussão sobre as possibilidades que a *LoRa* pode oferecer cientificamente, através de uma revisão bibliográfica. Além disso, apresentar resultados práticos sobre experimentos com um protótipo.

Muitos dos trabalhos estudados focam na obtenção dos parâmetros da *LoRa* para posterior simulação, a fim de saber os limites da tecnologia, ou na execução de testes focados em um determinado possível nicho de mercado. Este trabalho se limita a testar um módulo equipado com a tecnologia para checar se de fato é possível a comunicação através de distâncias quilométricas. Apesar de não explorar todas as possibilidades de análise, é relevante reforçar a discussão sobre a viabilidade da *LoRa* no Brasil.

As principais contribuições deste trabalho são as seguintes:

- Montagem de um protótipo funcional utilizando componentes viáveis de serem comercialmente obtidos;
- Um resumo dos principais conceitos envolvendo a *LoRa*, a fim de embasar trabalhos futuros nessa linha de pesquisa;
- Testes práticos com a tecnologia, identificando potencialidades e limitações que possam ser explorados no futuro;
- Disponibilização do Código no Github².
- Discussão a respeito dessa tecnologia dentro da UFSJ e, possivelmente, no âmbito nacional.

O corpo deste artigo está dividido da seguinte forma: na seção II foram apresentados fundamentos relevantes ao entendimento do trabalho. Na seção III é introduzido o protótipo da rede. A seção IV apresenta a aplicação do que foi planejado para o protótipo. A seção V apresenta a metodologia dos experimentos e os resultados. A seção VI compara os resultados obtidos e os demais encontrados em trabalhos relacionados. A seção VII apresenta as conclusões obtidas através desse estudo.

¹C. C. P. Fonseca, UFSJ, Ouro Branco, Brasil, mila.camilla09@gmail.com

C. F. Costa, UFSJ, Ouro Branco, Brasil, cleitonfcosta@gmail.com

V. Oliveira, UFSJ, Ouro Branco, Brasil, victor.vdo@bol.com.br

F. A. Teixeira, UFMG, Belo Horizonte, Brasil, teixeira@dcc.ufmg.br

²<https://github.com/victor-vdo/LORA>

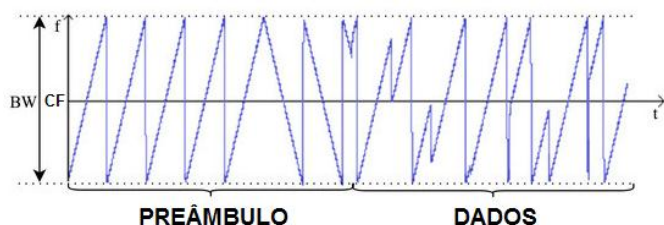


Fig.1. Exemplo de sinal CSS, figura inspirada em [5].

II. FUNDAMENTOS

Nessa seção o item A descreve os principais fundamentos envolvendo o funcionamento da *LoRa* incluindo especificações de sua camada física e do protocolo *LoRaWan*. No item B é apresentado uma breve explicação de tecnologias relacionadas e suas diferenças com a *LoRa* tais como *SigFox*, *NB-IOT* e *Weightless*.

A. *LoRa*

Camada Física

No cerne da *LoRa* está o método de modulação próprio baseado no "*Chirp Spread Spectrum*" (CSS), com posterior correção integrada de erros (FEC) desenvolvido pela *Semtech*. O método torna possível o envio de dados em longos alcances, já que promove ganho de processamento para o sinal recebido [2]. Uma transmissão com modulação CSS é composta por "*chirps*", que são variações na largura de banda da onda utilizadas para transmitir o sinal, o que possibilita longas distâncias com um baixo custo energético [4]. Existe um limite para essa variação que na Fig.1 foi apontado como BW. Essa variação tem uma frequência central assinalada na Fig.1 como CF. Os "*chirps*" possuem um padrão para iniciar a transmissão, o preambulo, e posteriormente assumem outros padrões para que os dados sejam transmitidos ao receptor. Um exemplo de como isso ocorre pode ser visto na Fig.1.

As principais promessas das transmissões *LoRa* são: longo alcance, alta robustez, suportar vários acessos, resistência ao efeito *Doppler* e baixo consumo energético [6].

Um emissor *LoRa* possui quatro parâmetros de configuração: "*Carrier Frequency*", "*Spreading Factor*", "*Coding Rate*" e "*Bandwidth*". Os valores selecionados para esses parâmetros determinam a resistência ao ruído, alcance da transmissão e consumo energético [7].

Carrier Frequency (CF)

"*Carrier Frequency*" ou, em português, frequência portadora, é a frequência central que pode ser programada em intervalos de 61 kHz nos limites entre 137 MHz a 1020 MHz. Esses limites podem variar entre modelos diferentes de módulos *LoRa*. A configuração desse parâmetro deve obedecer a regras pré-estabelecidas em algumas regiões, como o caso da Europa (863 MHz até 870 MHz) ou dos Estados Unidos (902 MHz até 928 MHz), com o intuito de que transmissões *LoRa* não criem interferências em transmissões de outras tecnologias [6].

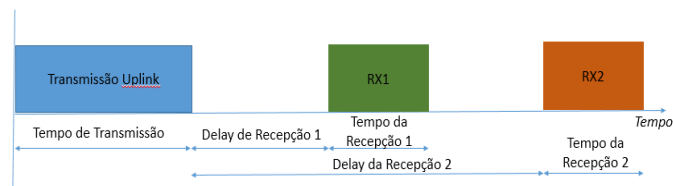


Fig.2. Transmissão em um dispositivo tipo A, figura inspirada em [1].

Bandwidth (BW)

"*Bandwidth*", ou largura de banda, é um dos parâmetros mais importantes das transmissões *LoRa*, pois a taxa de "*chirps*" da técnica de modulação CSS dependerá somente desse parâmetro, correspondendo a um "*chirp*" por segundo, por Hertz da largura de banda [5]. Essa relação entre a largura de banda e os "*chirps*" pode ser observada na Fig.1. Esse parâmetro pode ser configurado para obter valores entre 7.8 kHz até 500 kHz. Porém, em aplicações, somente os valores de 125 kHz, 250 kHz e 500 kHz são utilizados. Uma maior largura de banda gera um sinal mais resistente às interferências, além de aumentar a taxa de transferência de dados. Mas como efeito negativo os receptores *LoRa* tem maior dificuldade em captar o sinal[8].

Spreading Factor (SF)

Também chamado de fator de propagação, é a relação entre a taxa de símbolos e a taxa de "*chirps*". Um alto fator de propagação aumenta a resistência do sinal às interferências, à sensibilidade e ao alcance, mas também aumenta o tempo necessário para transmissão do pacote. O número de "*chirps*" por símbolo pode ser calculado por 2^{SF} . Por exemplo, se o SF for 12, será calculado por 2^{12} , o que resulta em 4096 "*chirps*" usados por símbolo. O aumento no tempo de transmissão gerado aumenta também o gasto energético do dispositivo que está transmitindo. Pode-se configurar o SF entre valores de 6 a 12. Valores diferentes de SF tornam os sinais de rádio ortogonais entre si, fazendo possível uma separação de redes usando somente esse fator [6].

Coding Rate (CR)

É a quantidade de "*Forward Error Correction*" (FEC) que será aplicada à mensagem para protegê-la de interferências. Um alto valor de "*Coding Rate*" faz com que a mensagem seja mais longa, aumentando, assim, seu tempo de transmissão. Transreceptores *LoRa* com diferentes valores para o CR podem se comunicar, desde que estejam operando no modo "*explicit header*". O CR é codificado no cabeçalho da mensagem [8].

LoRaWan

LoRaWan é definido como um protocolo de comunicação e sistema de arquitetura para uma rede *LoRa*. Sua configuração, que é adaptável, impacta diretamente no consumo energético, na capacidade da rede, na qualidade do serviço, na segurança na transmissão e em mais uma variedade de aplicações utilizadas na rede [4].

A camada MAC dessa tecnologia é basicamente um protocolo ALOHA controlado por um servidor. Os receptores *LoRa* podem receber sinais de diversos dispositivos simultaneamente (no momento, até 9) graças a ortogonalidade das sub bandas e a quasi-ortogonalidade do fator de

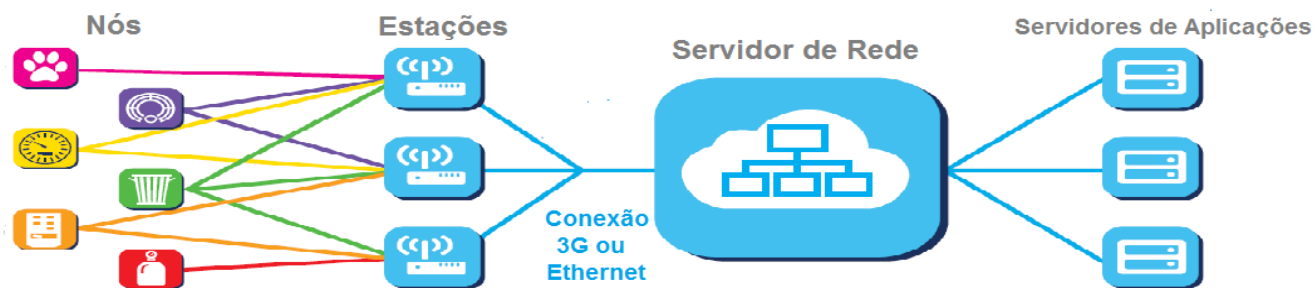


Fig.3. Exemplo da arquitetura *LoRaWan*, figura inspirada em [4].

propagação [3], o que justifica, de certo modo, a simplicidade do protocolo.

A versão 1.0 de *LoRaWan* também define três classes de dispositivos finais, nomeadas A, B e C. A implementação da classe A é obrigatória, enquanto B e C são opcionais. Para os dispositivos de classe A, cada upload de dados é seguida de duas janelas para recepção de dados (RX1 e RX2), que podem ser usadas pela estação para transmitir dados ao dispositivo final.

Essa dinâmica pode ser melhor visualizada na Fig.2. A classe B, além de RX1 e RX2, tem uma terceira janela de recepção. Essa característica cria a necessidade do servidor enviar ao classe B sinalizadores para manter a sincronização, já que duas janelas é o padrão. Por fim, os dispositivos classe C permanecem recebendo dados o tempo inteiro [1].

A *LoRaWan* tipicamente assume arquitetura estrela de estrelas, nos quais o servidor atua como raiz, as estações no nível 1 e os dispositivos finais fazendo o papel folhas (6), como mostra a Fig.3. Isso é implementado com o intuito de economizar energia, uma vez que outros tipos de rede como uma rede em malha, podem significar maior gasto energético devido ao fato de que constantemente dispositivos consomem energia para receber mensagens que muitas vezes não são endereçadas a ele [4].

Uma importante propriedade da *LoRaWan* é a “*adaptive data rate*”, ou taxa de transferência adaptável, que reside no servidor, também representado na Fig.3. Através dessa propriedade, pode-se otimizar a taxa de transferência de dispositivos que estejam estáticos. Em geral, dispositivos devem usar uma taxa de transmissão fixa, pois um possível movimento pode gerar mudanças significativas nas características do canal de rádio. Porém, para muitas aplicações de interesse da *LoRa*, o tempo estático excede muito o tempo em movimento, podendo solicitar, então, através da ADR, um aumento na taxa de transmissão a fim de aumentar a eficiência [9].

Outra importante propriedade da *LoRaWan* é o mecanismo usado para filtrar mensagens redundantes que o servidor possui. Isso é necessário, pois as mensagens enviadas por dispositivos podem ser captadas por mais de uma estação base e então encaminhadas ao servidor. Essa maneira de envio de mensagens, no qual qualquer receptor no alcance pode captar a mensagem, também é em prol da economia de energia. Entende-se que uma checagem e seleção da estação

demandaria um mecanismo próprio para tal, o que necessitaria do estabelecimento de uma comunicação entre todas as estações disponíveis para essa avaliação, consumindo energia durante esse processo. O servidor também é responsável por segurança, diagnósticos e reconhecimento [9].

Por fim, a *LoRaWan* tem grande relevância na comunidade *LoRa* e é uma das principais propulsoras de seu sucesso. Mas existem alternativas a ela, como é o caso da *LoRa Fabian*, que apesar de ser menos conhecida tem um bom desempenho em testes [10].

B. Tecnologias Relacionadas

No universo que envolve as LPWAN, existem outras tecnologias que almejam, assim como a *LoRa*, dominar o mercado de IOT. É comum que as similaridades entre suas aplicações gerem confusão. Esse tópico busca citar e diferenciar alguns desses concorrentes.

SigFox

Sendo a primeira tecnologia proposta para IOT, ainda em 2009, a *Sigfox* utiliza em sua camada física o método de modulação sem fio *Ultra Narrow Band* (UNB). Já na camada de rede, praticamente não há documentação do seu funcionamento. O que faz parte do modelo de negócio da *Sigfox*, que acredita não precisar revelar as especificações de seu módulo proprietário [11].

Porém, topologicamente, a *LoRa* e a *SigFox* trabalham de modo análogo, com topologias estrelas e a maior parte do tratamento de dados sendo efetuado pelos servidores para os quais os dados são destinados [12].

No Brasil, esse protocolo adota a faixa de 915 MHz. E clama para si um perímetro de funcionamento de até 10 km em áreas urbanas e até 50 km em áreas rurais. No modelo de mercado da *SigFox*, essa não se apresenta somente como uma tecnologia a ser implementada, mas, também, como operadora LPWAN, oferecendo abstração de investimentos, custos e eventuais dificuldades na infraestrutura da rede, facilitando a implantação de redes IOT [12].

Weightless

Desenvolvida pela “*Weightless Special Interest Group*”, uma organização global sem fins lucrativos, possui dois padrões: *Weightless-N* e *Weightless-W*. A primeira foi desenvolvida para ter baixo consumo energético, utilizar uma modulação UNB a bandas de frequências ISM abaixo de 1

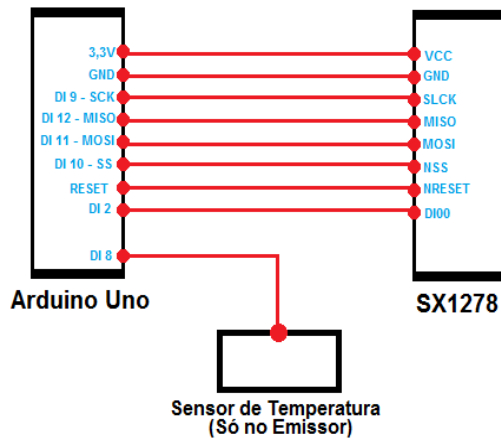


Fig.4. Diagrama de blocos da montagem do protótipo do emissor.

GHz e comunicação “low power M2M” associada a um método de divisão de tempo de múltiplo acesso, para minimizar interferências. A *Weightless-W* tem características similares, mas funciona nas bandas de frequência comuns a televisão [13].

NB-IOT

A *Narrowband IOT* é uma tecnologia desenvolvida pela 3GPP que se está integrada no padrão LTE. Ela baseia seu baixo consumo energético em simplificações da comunicação padrão, removendo características como mensuração da qualidade do canal, conectividade dual, entre outros. Ela trabalha nas mesmas faixas de largura de banda dos padrões LTE e utiliza a modulação QPSK, diferente da *LoRa* que trabalha em faixas não licenciadas e utiliza a modulação CSS. As topologias em que são empregadas também se diferem, além das diferenças em desempenho, uma vez que a *LoRa* é mais eficiente energeticamente e tem uma melhor imunidade à interferência [14]. Já a NB IOT se oferece como uma tecnologia mais confiável e amplamente testada.

III. PROTÓTIPO DA REDE

A rede foi projetada para funcionar de maneira a simular uma comunicação entre dois dispositivos *LoRa*, um exclusivamente como receptor e outro exclusivamente como emissor de dados. Para isso, foi utilizado um módulo equipado com a tecnologia *LoRa*, desenvolvido pela *SemTech* e chamado SX1278, em conjunto com uma placa de Arduino UNO. A fim de demonstrar as possibilidades de seu funcionamento, o protótipo do emissor de dados também foi equipado com um sensor de temperatura, sendo sua medição um dos dados a serem enviados. O diagrama da montagem desses dispositivos podem ser vistas na Fig.4. Já o esquema eletrônico adotado pode ser visualizado na Fig.5.

A biblioteca e parte do código embarcado no Arduino foram obtidos através de fóruns online e modificados para atender aos objetivos desse trabalho. Os parâmetros adotados nessas transmissões foram os padrões do módulo adotado [15], sendo eles 4/6 de CR, 125 KHz de *Bandwidth*, *Carrier Frequency* de 4331 MHz e 12 de *Spreading Factor*.

Desse modo, ambos os protótipos foram alimentados pelos cabos de rede do Arduino UNO, o que também tornou seu monitoramento possível através dos *notebooks* conectados a eles. O protótipo montado pode ser visualizado na Fig.6.

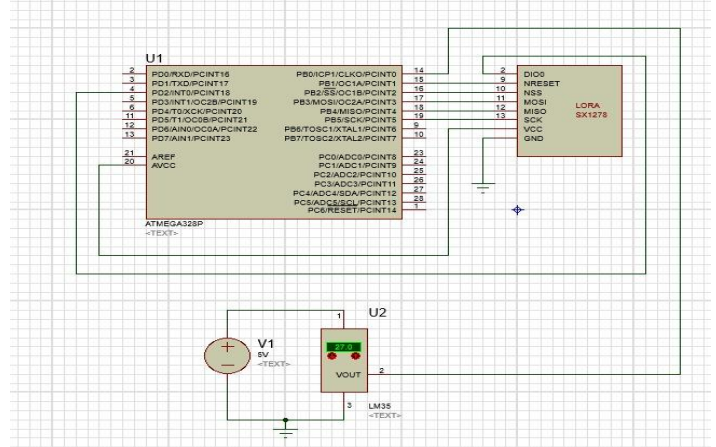


Fig.5. Esquema eletrônico do protótipo do emissor feito

IV. APLICAÇÃO

Para chegar ao desenvolvimento do protótipo foi necessário superar diversas adversidades como: Escassez de trabalhos nacionais e até internacionais; Dificuldade para encontrar pessoas capacitadas nessa tecnologia e que pudessem prestar auxílio; Informações, esquemáticos e até bibliotecas equivocadas.

Após obter sucesso em recolher dados confiáveis, foi necessário a adaptação da biblioteca escolhida para a frequência em que o módulo SX1278 opera, além da escrita dos códigos para os testes realizados. O resultado desses esforços culminou no framework nomeado “*LoRa CAP SX1278*”, disponibilizado na comunidade github. O esquemático da Fig. 6 apresenta o framework em conjunto com os demais itens do protótipo.

Por fim, a conexão física entre o módulo SX1278 e o Arduino também representou dificuldades, uma vez que para tal foi necessário ferramentas para uma soldagem mais fina, ausentes nos laboratórios do Campus Alto Paraopeba. Felizmente essa dificuldade foi sanada com o auxílio de colegas, o resultado pode ser visualizado na Fig. 5.

Uma vez que as conexões entre um Arduino e um módulo SX1278 sejam feitas como mostrado no diagrama da Fig.4, os códigos para receptor e emissor, disponibilizados no github, sejam carregados nos Arduinos via programa homônimo, os testes presentes nesse trabalho podem ser replicados em qualquer localidade.

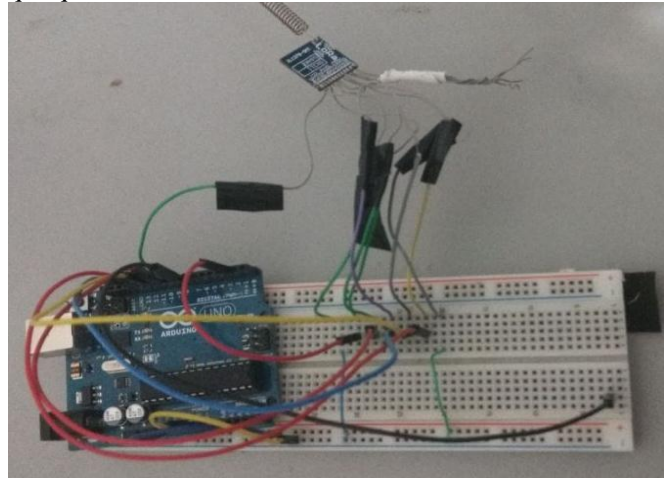


Fig.5. Protótipo montado em protoboard.

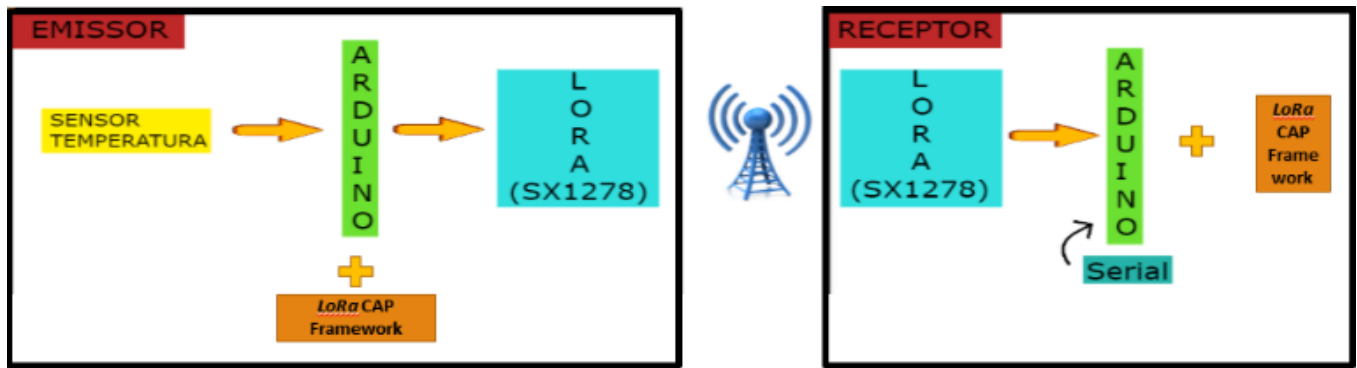


Fig.6. Aplicação desenvolvida.

V. METODOLOGIA E RESULTADOS

Com o intuito de averiguar até qual distância os protótipos eram capazes de se comunicar, foi adotado um teste simples: os protótipos foram conectados a *notebooks* e monitorados através do monitor serial do programa nativo do Arduino. O protótipo programado para ser emissor permanecia estático, enquanto o programado como receptor se deslocava para distâncias cada vez maiores. Uma vez que fossem encontradas as distâncias em que a comunicação cessava, essas eram registradas.

Essas amostras foram recolhidas em três situações diferentes. O teste A foi realizado na área urbana de Ouro Branco-MG. Já o teste B foi feito nas imediações do Campus Alto Paraopeba, situada no km 7 da rodovia MG 443, uma área não urbana. Por fim, o teste C também ocorreu no Campus Alto Paraopeba, porém, usando os prédios do campus como obstáculos.

Outro objetivo dos experimentos foi entender a relação entre o tamanho da mensagem enviada e o alcance. Para tal, inicialmente foi obtido empiricamente o limite de *bytes* máximo de uma mensagem *LoRa*. Com as placas lado a lado, foi transmitido por diversas vezes um texto aleatório com cerca de 300 caracteres dos quais foram recebidos somente 249. Portanto, pela tabela ASCII, é possível afirmar que a máxima transmissão de dados entre o emissor e receptor foi de 249 *bytes*.

TABELA I
DISTÂNCIAS ALCANÇADAS.

Teste	Distancia (m)
A	203
B	169
C	240

Foram repetidos então os testes B e C, dessa vez, utilizando mensagens que variavam entre 1 e 249 bytes. Entretanto, não houveram alterações significativas nas distâncias alcançadas pelas transmissões.

Esperava-se, a partir da bibliografia, um alcance na casa de quilômetros. Uma das possibilidades que podem ser levantadas para esse resultado não ter sido alcançado é o baixo ganho da antena utilizada no protótipo, que pode ser visualizada na Fig.5. Apesar de não ter sido mensurado o valor desse ganho, em comparação com [2], que utiliza uma antena com conector do tipo planar-F para o emissor e uma antena

biconical D100-1000 para o receptor, fica evidente a diferença qualitativa.

Outro possível fator limitante do alcance, foi a alimentação do módulo SX1278. Segundo [15], o módulo deveria funcionar com tensões entre -0,5 V e 3,9 V, faixa na qual está inclusa a saída de 3,3 V do Arduino UNO. Entretanto, consultando entusiastas da tecnologia *LoRa* na comunidade *github*, foi elucidado que para seu melhor desempenho são necessários 120 mA de corrente, e a fonte de 3,3 V do Arduino UNO fornece somente algo em torno de 50 mA [16], o que não possibilita o máximo desempenho do módulo.

Por fim, o Campus Alto Paraopeba, local escolhido para efetuar os testes B e C tem em seus arredores uma antena de distribuição e outra de rádio, o que pode ter interferido nas transmissões. Um forte indício dessa possível interferência é que, por coincidência, no teste B, no qual o emissor estava a poucos metros da antena de distribuição, o alcance teve uma queda de aproximadamente 16% em relação ao teste C, no qual a distância entre o protótipo e a antena eram maiores.

VI. TRABALHOS RELACIONADOS

Nos trabalhos realizados sobre a *LoRa*, como em [1] que são feitos experimentos cujo os dados foram utilizados calibração de parâmetros que posteriormente implementados em simulações para estimar as capacidades da *LoRa*, ou em [5] no qual os experimentos são feitos na região urbana de Paris movendo protótipo *LoRa* via carro para colher dados empíricos de alcance e qualidade de transmissão, e até mesmo em [10] em que um novo protocolo é proposto, a *LoRa Fabian*, e para testar sua eficácia foi necessário um protótipo. Em todos os exemplos citados era comum confirmar um alcance de ao menos 3 km para transmissões, o que corroborava os dados da *LoRa Alliance* [4].

Mesmo em trabalhos em que houve uma adaptação dos parâmetros para uma altíssima performance em relação à entrega de pacotes, como era o caso de [2], no qual experimentos visando a utilização da *LoRa* para monitoramento de sinais vitais em hospitais ou eventos esportivos foram feitos, transmissões com distâncias próximas de 400 m foram observadas. O que demonstra uma certa disparidade entre os resultados obtidos nesse trabalho e os esperados.

A bibliografia consultada, além dos estudos empíricos, explora as possibilidades de melhoria do alcance da transmissão através de um maior número de estações [8] [10],

ou da melhoria da confiabilidade do sinal através da inclusão de um protocolo MAC [7], mais confiável que o ALOHA puro usado nas transmissões atuais. Mas pouco se fala sobre as especificações do protótipo em si, somente com a exceção de [2]. O que aponta que entre os motivos do baixo alcance encontrado provavelmente está o protótipo desenvolvido, já que esse é o tópico no qual menos se divide informações.

VII. CONCLUSÃO

A IOT tem se desenvolvido cada vez mais e, como uma das tecnologias emergentes dessa fatia do mercado, a *LoRa* tem grande potencial para se consolidar como uma tecnologia dominante. Seus entusiastas acreditam que ela pode ser o *wireless* da internet das coisas e, apesar de ser um modo ousado de pensar, as possibilidades que essa tecnologia oferece podem tornar essa visão possível. Esse trabalho foi realizado com o intuito de explorar essa nova tecnologia e suas possibilidades.

Existe uma dificuldade inerente a trabalhar com tecnologias emergentes e propondo quebrar a inércia que essa dificuldade inicial, fez-se um levantamento das informações mais relevantes envolvendo a *LoRa*. Além disso, foi apresentado um protótipo que consegue ter sucesso na transmissão de dados. Foi possível a coleta de dados tanto quantitativos, quanto qualitativos a respeito da comunicação entre módulos *LoRa*. Por fim, baseado nos dados colhidos e bibliografia consultada, foi possível estimar caminhos para o aperfeiçoamento do protótipo.

O trabalho realizado se torna referência para trabalhos futuros, que podem vir a ser desde o estudo dos efeitos dos parâmetros que envolvem a transmissão *LoRa*, até novos testes que envolvam um protótipo mais robusto, capaz de explorar toda a capacidade que essa tecnologia fascinante pode oferecer.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao professor Sérgio de Oliveira e aos entusiastas da *LoRa*: Allan Andrade e Monik Suvagiya.

REFERÊNCIAS

- [1] Mikhaylov, K.; Petäjärvi, J.; Hänninen, T. Analysis of the capacity and scalability of the LoRa wide area network technology. In *Proceedings of the 22th European Wireless Conference, Oulu, Finland*, 18–20 May 2016; pp. 1–6.
- [2] J. Petäjärvi, K. Mikhaylov, R. Yasmin, M. Hämäläinen and J. Iinatti, "Evaluation of LoRa LPWAN Technology for Indoor Remote Health and Wellbeing Monitoring", *International Journal of Wireless Information Networks*, vol. 24, no. 2, pp. 153-165, 2017.
- [3] O. Georgiou and U. Raza, "Low Power Wide Area Network Analysis: Can LoRa Scale?", *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 6, no. 2, pp. 162-165, 2017.
- [4] LoRa Alliance, *LoRaWAN™ What is it? A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™*. 2015, pp. 4-14 [Online] Available: https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf. [Accessed: 04- Nov- 2017].
- [5] A. Augustin, J. Yi, T. Clausen and W. Townsley, "A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things", *Sensors*, vol. 16, no. 9, p. 1466, 2016.
- [6] M. Bor, U. Roedig, T. Voigt and J. Alonso, "Do LoRa Low-Power Wide-Area Networks Scale?". *Proceedings of the 19th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems - MSWiM '16*, pp. 1-9, 2016.

- [7] Bor, Martin and Vidler, John Edward and Roedig, Utz (2016) *LoRa for the Internet of Things*. In: *EWSN '16 Proceedings of the 2016 International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks*. Junction Publishing, Canada, pp. 361-366. ISBN 9780994988607.
- [8] T. Voigt, M. Bor, U. Roedig, and J. Alonso, "Mitigating inter-network interference in LoRa networks," Nov. 2016. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1611.00688>. [Accessed: 15- Out- 2017].
- [9] J. Petäjärvi, K. Mikhaylov, M. Pettissalo, J. Janhunen and J. Iinatti, "Performance of a low-power wide-area network based on LoRa technology: Doppler robustness, scalability, and coverage", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 13, no. 3, p. 155014771769941, 2017.
- [10] T. Petric, M. Goessens, L. Nuaymi, L. Toutain, A. Pelov, "Measurements performance and analysis of LoRa FABIAN a real-world implementation of LPWAN", *IEEE 27th Annual Int. Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, 2016, pp. 1-8.
- [11] M. Centenaro, L. Vangelista, A. Zanella and M. Zorzi, "Long-range communications in unlicensed bands: the rising stars in the IoT and smart city scenarios", *IEEE Wireless Communications*, vol. 23, no. 5, pp. 60-67, 2016.
- [12] P. S. R. Garcia, J. H. Kleinschmidt., "Tecnologias Emergentes de Conectividade na IoT: Estudo de Redes LPWAN", *Proceedings of XXXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais – SBRt2017*, 3-6 de Setembro de 2017, São Pedro, SP, pp. 1-5, 2016.
- [13] A. Bhuvaneshwari, "A Survey on Internet of Things [IoT]", *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, vol. 8, no. 1, pp. 1-7, 2017.
- [14] R. Sinha, Y. Wei and S. Hwang, "A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT", *ICT Express*, vol. 3, no. 1, pp. 14-21, 2017.
- [15] Semtech. Datasheet. SX1276/77/78/79 - 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver. Eletronic. Publication, 2015.
- [16] "Arduino Uno Rev3", *Arduino*. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>. [Accessed: 19- Mar- 2018].