



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS CAMPINA GRANDE - PB  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO**

**JOÃO RICARDO DE LIMA TIMÓTEO FILHO**

**REDES LORAWAN, DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO EM  
APLICAÇÕES DE INTERNET DAS COISAS**

**CAMPINA GRANDE - PB**

**2019**

**JOÃO RICARDO DE LIMA TIMÓTEO FILHO**

**REDES LORAWAN, DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO EM  
APLICAÇÕES DE INTERNET DAS COISAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Ciências da Computação da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de graduação em Ciências da Computação.

**Área de concentração: Redes de computadores.**

**Orientador:** Prof. Dr. Misael Elias de Moraes

**CAMPINA GRANDE - PB**

**2019**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

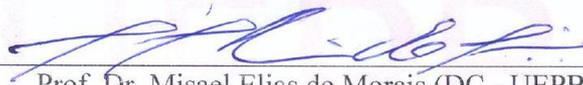
T586r Timóteo Filho, João Ricardo de Lima.  
Redes Lorawan, desenvolvimento e implantação em aplicações de internet das coisas [manuscrito] / Joao Ricardo de Lima Timoteo Filho. - 2019.  
32 p. : il. colorido.  
Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Computação) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2019.  
"Orientação : Prof. Dr. Misael Elias de Moraes ,  
Coordenação do Curso de Computação - CCT."  
1. LoRa. 2. LoRaWAN. 3. Internet das coisas. I. Título  
21. ed. CDD 004.678

JOAO RICARDO DE LIMA TIMOTEO FILHO

**REDE LORAWAN, DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO  
E APLICAÇÕES DE INTERNET DAS COISAS**

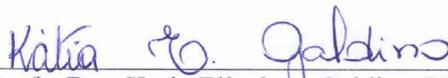
Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Ciência da Computação da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito à obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em 12 de Dezembro de 2019.



---

Prof. Dr. Misael Elias de Moraes (DC - UEPB)  
Orientador(a)



---

Profa. Dra. Katia Elizabeth Galdino (DC - UEPB)  
Examinador(a)



---

Mateus Antunes da Silva (NUTES - UEPB)  
Examinador(a)

## RESUMO

O seguinte trabalho tem como principal característica mostrar a rede LoRa® o seu protocolo LoRaWAN®, que se encaixa em redes do tipo LPWA e são responsáveis na realização de conexão sem fio entre objetos inteligentes quando se trata da Internet das Coisas, que tem em seu conceito a capacidade de dois objetos, conectados em rede, de se comunicar entre si sem a interferência humana. Para isso será apresentado um estudo sobre a rede LoRa® e o seu protocolo, mostrando o seu conceito, tipo de aplicação, comparação com outras tecnologias e apresentação de dados e histórico. Foi realizado um teste em campo, para mostrar a distância máxima de envio de um pacote de dados, com a utilização do equipamento ESP32 LoRa, da Heltech, que possui comunicação LoRa® e se caracteriza por ser uma nova tecnologia de rádio frequência, possuindo baixo consumo de energia, operado a bateria e comunicação a distância, e tais características estão dentro do conceito de Internet das coisas.

**Palavras-Chave:** LoRa®. LoRaWAN®. Internet das Coisas.

## **ABSTRACT**

The following work has as main feature to show the LoRa® network its LoRaWAN® protocol, which fits in LPWA networks and are responsible for making wireless connection between smart objects when it comes to the Internet of Things, which has in its concept the ability of two networked objects to communicate with one another without human interference. For this, a study on the LoRa® network and its protocol will be presented, showing its concept, type of application, comparison with other technologies and presentation of data and history. A field test was performed to show the maximum data packet sending distance using Heltech's ESP32 LoRa equipment, which features LoRa® communication and is characterized by a new radio frequency technology with low Power consumption, battery operated and remote communication, and such features are within the concept of Internet of Things.

**Keywords:** LoRa®. LoRaWAN®. Internet of Things.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Benefícios para os membros da Lora Alliance .....	17
Figura 2 - Processo de comunicação da rede LPWAN .....	20
Figura 3 - Forma da onda up-chirp e down-chirp .....	21
Figura 4 - Funcionamento da Classe A .....	24
Figura 5 - Funcionamento da Classe B .....	25
Figura 6 - Funcionamento da Classe C .....	25
Figura 7 - Comparação entre redes .....	28
Figura 8 - ESP32 LoRa .....	31
Figura 9 - Arduino IDE.....	32
Figura 10 - Placa responsável por enviar pacote .....	33
Figura 11 - Placa responsável por receber pacote.....	33
Figura 12 - Distância entre as placas ESP32 LoRa durante o teste.....	34

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BS	<i>Base Station</i>
BSN	<i>Base Station Network</i>
CHIRP	<i>Compressed High Intensity Radar Pulse</i>
CSS	<i>Chirp Spread Spectrum</i>
ED	<i>End Devices</i>
FSK	<i>Frequency-Shift Keying</i>
IBM	<i>International Business Machines</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
LoRa	<i>Long Range</i>
LoRaWAN	<i>Long Range Wide Area Network</i>
LPWA	<i>Low Power Wide Area</i>
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network</i>
M2M	<i>Machine to Machine</i>
OLED	<i>Organic Light-Emitting Diode</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	14
1.2	OBJETIVOS .....	14
1.2.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	14
1.2.2	<b>Objetivos Específicos</b> .....	15
1.3	METODOLOGIA DO TRABALHO .....	15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
2.1	REDE LORA® .....	16
2.2	HISTÓRICO DA REDE LORA® .....	17
2.3	APLICAÇÕES DE IOT E M2M .....	18
2.4	IOT APLICADA EM REDES LPWAN .....	19
2.5	CARACTERÍSTICAS DA REDE LORA® .....	20
2.6	MODULAÇÃO LORA® - CHIRP SPREAD SPECTRUM .....	21
<b>3</b>	<b>LORAWAN®</b> .....	<b>22</b>
3.1	CLASSES DE DISPOSITIVOS .....	24
<b>4.</b>	<b>COMPARATIVO COM OUTRAS TECNOLOGIAS</b> .....	<b>26</b>
4.1	REDES PARA APLICAÇÃO EM IoT .....	27
4.2	REDES PARA APLICAÇÃO EM LPWAN .....	28
4.2.1	<b>Sigfox</b> .....	28
4.2.2	<b>Weightless</b> .....	29
<b>5</b>	<b>TESTE DE CAMPO COM EQUIPAMENTO ESP32 LORA</b> .....	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos estamos cada vez mais inseridos na revolução tecnológica, e um dos principais temas citados se refere a internet das coisas, denominada IoT, abreviação do termo em inglês “*Internet of Things*” que é responsável pela maneira que interagimos com o mundo e como o mundo interage conosco. De maneira geral, a internet das coisas é o modo como os objetos físicos estão conectados e se comunicando com o usuário através de sensores inteligentes e *softwares* que transmitem dados para uma rede. Qualquer objeto que tenha capacidade de comunicação, processamento e sensoriamento pode ser relacionado com outro objeto para troca de dados, comunicação e tarefas, onde o resultado disso é um planeta mais inteligente e responsivo.

Devido ao fato de objetos inteligentes possuírem limitação quando se trata de processamento de energia, a tecnologia *Long Range* - LoRa chegou para auxiliar o processo de comunicação entre o usuário e o objeto. O LoRa é uma tecnologia de rádio frequência que permite a comunicação a longas distâncias com consumo mínimo de energia. Baseia-se em uma rede como topologia estrela, (onde toda a informação deve passar obrigatoriamente por uma estação central inteligente que deve conectar cada estação de rede e distribuir o tráfego para que uma estação não receba, indevidamente, dados destinados às outras) similar a uma rede de telefonia celular.

Dependendo da localização e das condições de instalação (topologia do terreno, prédios e outras construções) pode-se conseguir um alcance de 3-4km em área urbana, e em áreas rurais, é possível chegar a 12km ou mais. De modo geral as principais características são: o longo alcance, alta imunidade a ruídos, baixo consumo de energia e ela é baseada na tecnologia “*chirp spectrum modulation*” (tecnologia usada a décadas principalmente em sistemas militares e de radar, devido ao fato de possibilitar um longo alcance e grande imunidade a ruídos).

Por via de regra o LoRa é a camada física da rede LoRaWAN, que por sua vez é a camada lógica da rede. De acordo com o site oficial “*LoRa Alliance*” o LoRaWAN, padrão aberto criado pela *Semtech, IBM Research e Actility*, é um protocolo de rede LWPAN (*Low Power Wide Area*, que em tradução livre significa “Área Ampla com Baixa Potência”) projetado para conectar sem fios, objetos que são operados por baixa bateria à internet. O protocolo inclui recursos que suportam comunicação bidirecional de baixo custo, móvel e segura para IoT, máquina-a-máquina (M2M), cidade inteligente e aplicações industriais. O LoRaWAN é otimizado para baixo custo de energia e é projetado para ser dimensionado

de uma única instalação de *gateway* até grandes redes globais com bilhões de dispositivos. Os recursos inovadores de especificação LoRaWAN incluem: suporte para operações redundantes, geolocalização e baixo consumo de energia.

O presente estudo tem por metodologia, mostrar que o protocolo LoRaWAN pode receber mensagem em um amplo espaço e que hoje em dia ele pode ser utilizado em grande escala em cidades inteligentes. Será realizado um estudo de campo com o auxílio de duas placas “LoRa Esp32”, um software para desenvolvimento (Arduino) e um código para programar as placas, o intuito é conseguir um maior alcance no envio de uma string de uma placa para outra. Em comparação com outras tecnologias *wireless*, como por exemplo, o WiFi, *Bluetooth*, ZigBee, que funcionam com um alcance reduzido, o LoRaWAN é capaz de fazer longas transmissões de poucos dados, usando pouca energia e em grandes distâncias.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O seguinte trabalho tem como justificativa mostrar uma opção de rede wireless de longo alcance com um excelente custo-benefício em comparação as outras redes que existem atualmente, exibindo seu crescimento e mostrando suas características dentro do universo da *Internet of Things* (IoT). A rede LoRaWAN, em questão, é uma excelente alternativa para envio de dados a longa distância devido a seu protocolo de segurança, sua economia no uso de energia, sua escalabilidade e o controle de dados.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo da rede LoRa® e o protocolo LoRaWAN®, junto com seus conceitos, tipos de aplicação e comparando-as com outras redes: WiFi, *Bluetooth* e Celular.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Apresentar dados sobre a rede LoRa® e o protocolo LoRaWAN®;
- Apresentar características da rede LoRa®;
- Realizar um teste em área aberta com equipamento que utiliza a rede LoRa® para transmissão de dados (ESP32 LoRa);
- Exibir o resultado do teste.

### 1.3 METODOLOGIA DO TRABALHO

Primeiramente foi utilizado o Arduino IDE (Integrated Development Environment) para dispor de um código em C++ que foi escrito por Aaron Lee(6), este responsável por fazer parte da empresa criadora da placa LoRa ESP32 e disponibilizar ajuda para o melhor entendimento e configuração da mesma. Em seguida, com a utilização de duas placas, uma sendo responsável por enviar um pacote e a outra designada a receber o pacote, foi iniciado o teste. Importante ressaltar que para ocorrer o teste, ambas as placas devem estar conectadas simultaneamente. Assim que o teste foi iniciado, ambas as placas começaram a atualizar seus dados da seguinte maneira: a placa responsável por enviar o pacote irá mostrar no *display* um número de maneira crescente e em tempo real a outra placa irá mostrar a distância, o tamanho do pacote que está recebendo e a *string* que está sendo recebida com um contador crescente que representará o recebimento dos dados.

A presente pesquisa de campo foi realizada no condomínio *Parkville Residence Prive* localizado na cidade de Campina Grande na Paraíba, com a utilização de duas placas LoRa Esp32 e o aplicativo do Google Maps para mostrar as distâncias entre os dois pontos onde as placas estarão dispostas assim que for iniciado a troca de dados entre as mesmas. A data da realização do teste ocorreu em junho de 2019, no dia 25. A pesquisa foi realizada em uma área aberta para que exista pouca ou quase nenhuma interferência no sinal, com intuito de mostrar qual será o máximo alcance entre os dispositivos durante o envio de dados.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo mostra uma revisão bibliográfica da rede LoRa® apresentando seu histórico, suas características e seu tipo de modulação.

### 2.1 REDE LORA ®

Com o amplo crescimento tecnológico atual, existem buscas por redes capazes de atender uma ampla área com intuito de realizar uma comunicação dispositivo a dispositivo ou tornar objetos acessíveis a internet, onde os mesmos, são denominados, objetos inteligentes e relacionado a este existe o conceito de cidade inteligente, que por sua vez é uma área urbana que utiliza diversos sensores eletrônicos relacionados a Internet das Coisas (IoT), onde esses sensores são responsáveis por coletar dados e informações uteis para a população, como por exemplo, informações de trânsito, saneamento básico, e diversos outros serviços.

Para atender as necessidades e serviços de uma cidade inteligente, é necessário a utilização de uma rede que tenha um longo alcance e pouco consumo de energia, para isso, temos a rede LoRa (*Long Range*) que atende os requisitos de um paradigma de IoT.

*LoRa, which stands for “Long Range”, is a long-range wireless communications system, promoted by the LoRa Alliance. This system aims at being usable in long-lived battery-powered devices, where the energy consumption is of paramount importance. LoRa can commonly refer to two distinct layers: (i) a physical layer using the Chirp Spread Spectrum (CSS) [17] radio modulation technique; and (ii) a MAC layer protocol (LoRaWAN), although the LoRa communications system also implies a specific access network architecture. (7)<sup>1</sup>*

O LoRa, que teve seus direitos adquiridos pela empresa *LoRa Alliance*, é um sistema de comunicação sem fio, a longa distância e que possui como objetivo ser utilizável em dispositivos que são alimentados por bateria. O LoRa de maneira geral é uma camada física que utiliza o protocolo LoRaWAN e uma camada física que utiliza a técnica de modulação por rádio, *Chirp Spread Spectrum*.

---

<sup>1</sup> AUGUSTIN, Aloÿs *et al*, A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things, *Sensors*, v. 16, n. 9, p. 1466, 2016.

## 2.2 HISTÓRICO DA REDE LORA®

O LoRa foi criado na França, desenvolvida pela Cycleo e logo em seguida foi adquirida pela *Semtech*. Posteriormente, a empresa *Lora Alliance*, que foi criada em maio de 2015, quis impulsionar e promover o protocolo *LoRaWAN*, que é um protocolo de padrão aberto e utiliza a rede LoRa para alcançar todas suas características.

A empresa *Lora Alliance* consiste de membros presentes em todas as partes do mundo, os mesmos fazem parte de empresas multinacionais, fabricantes de equipamentos, fabricantes de sensores, empresas iniciantes e semicondutores. A *Lora Alliance* é uma organização com associações que atendem às necessidades de cada empresa e é dividida em um patrocinador, colaborador e um grupo de filiados <sup>2</sup>. A figura a seguir mostra os benefícios e os tipos de associações.

**Figura 1 - Benefícios para os membros da Lora Alliance**

Membership right to:	Sponsor \$50k	Contributor \$20k	Adopter \$3k	Institutional Free
Apply for NetID Type 0	✓	-	-	-
Request Board of Director seat	✓	-	-	-
Vote in the election of Board of Directors	✓	-	-	-
Apply to be a LoRaWAN Ambassador and represent the LoRa Alliance with media/analysts	✓	✓	-	-
The right to apply for NetID Type 3	✓	✓	-	-
Participate in press articles and interviews	✓	✓	-	-
Opportunity to initiate, participate in, vote and chair Committees and Work Groups	✓	✓	-	✓*
The right to contribute to Draft Deliverables	✓	✓	-	✓
Spotlight position on website (details tbc)	✓	✓	-	-
Priority promotion through social marketing	✓	✓	-	-
Have a company page within LoRaWAN online catalog (in dev)	✓	✓	✓	-
Have use cases, blogs, PR promoted on the LoRa Alliance website	✓	✓	✓	-
Participate in Alliance hosted tradeshows	✓	✓	✓	-
Access to industry market reports and analysis	✓	✓	✓	-
Use of LoRa Alliance member and LoRaWAN logos for marketing	✓	✓	✓	✓
The right to use Alliance Member and/or marketing collateral for marketing	✓	✓	✓	✓
The right to certify products using official LoRaWAN Certification program and use LoRaWAN Certified mark	✓	✓	✓	✓
Access Final Deliverables	✓	✓	✓	✓
Attend LoRa Alliance Open House Days (LoRaWAN Live)	✓	✓	✓	✓
Participate in Alliance Webinars and Seminars	✓	✓	✓	✓
Join local country-specific Marketing Task Force groups	✓	✓	✓	✓
Access to "members-only" portal for key ecosystem information – based on membership level	✓	✓	✓	✓
The right to apply for NetID Type 6	✓	✓	✓	✓
Receive LoRa Alliance official newsletter communication and updates	✓	✓	✓	✓
Access Publicly Released Deliverables	✓	✓	✓	✓

<sup>2</sup> **Benefícios para Membros | LoRa Alliance**™, disponível em: <<https://lora-alliance.org/membership-benefits>>, acesso em: 30 out. 2019.

Fonte: LoRa Alliance <sup>TM</sup>, disponível em: <<https://lora-alliance.org/membership-benefits>>, acesso em: 30 out. 2019.<sup>3</sup>

A figura acima mostra quatro tipos de membros, classificados respectivamente em: “Patrocínio”, “Contribuinte”, “Filiados” e “Institucional”. De acordo com o grau de participação e investimento, um membro que faz parte do conjunto “Patrocínio”, por exemplo, participará de eventos até votações em comitês da própria empresa.

## 2.3 APLICAÇÕES DE IOT E M2M

A ideia de IoT e M2M (*Machine-to-Machine*) pode ser dita como métodos que se conectam a dispositivos em uma mesma rede ou entre si, sem a necessidade de fios apenas utilizando conexão à internet. Segundo uma publicação do *Research Journal of Science & IT Management* “*More machines are talking to each other. Machine-to-machine (M2M) solutions are going main stream. Vodafone forecasts that 50 percent of companies will have adopted M2M communications Technologies by 2020.1*”<sup>4</sup>, ou seja, existe uma grande escala de comunicação entre objetos inteligentes presentes na atualidade e empresas estão adotando a tecnologia M2M para alcançar esse objetivo.

O IoT depende exclusivamente da evolução das comunicações M2M, e de maneira geral, a evolução de ambas a tecnologias irá auxiliar a vida da população presentes em cidades que já utilizam objetos inteligentes, e de acordo com Reis (2012, p. 7)<sup>5</sup>

Uma vez apresentada a forma como IoT e comunicações M2M estão relacionadas resta também referir algumas das suas aplicações típicas no mundo real [...]. Em áreas como a segurança, as comunicações M2M permitirão o desenvolvimento de sistemas de vigilância e o controle de acesso em espaços físicos. No contexto da preservação ambiental, recorrendo a comunicações M2M será possível obter mais valias na monitorização do meio ambiente. Melhorias significativas nos processos de automatização e monitorização de redes de gás, eletricidade e aquecimento permitirão uma redução drástica dos consumos de energia.

Para dar a continuidade no desenvolvimento e aplicações das tecnologias de IoT é necessário levar em consideração custos de manutenção e gerenciamento de rede, economia de energia, estruturação, capacidade de acompanhar o crescimento e cobertura que a rede irá alcançar. Em conformidade com as questões citadas, uma

---

<sup>3</sup> *Ibid.*

<sup>4</sup> **Internet of Things (IoT) and Machine-to-Machine (M2M) communications**, [s.l.: s.n., s.d.].

<sup>5</sup> REIS, Daniel de Oliveira, Estudo de uma Plataforma Aberta para Comunicações M2M, p. 98, .

alternativa é a utilização da rede LPWAN, que está associada diretamente com a Internet das Coisas.

## 2.4 IOT APLICADA EM REDES LPWAN

A rede LPWAN (*Low Power Wide Area Network*), são redes de baixa potência e longo alcance, ela trabalha com pequenos pacotes de dados que acaba se tornando benéfico com os equipamentos de IoT, devido ao fato de que a ideia da Internet das Coisas é possuir diversos dispositivos inteligentes que irão realizar pequenas tarefas e precisam de uma banda menor, conseqüentemente terá baixo fluxo de dados, menor consumação de energia e vida útil longa das baterias dos dispositivos.

*LPWAN is increasingly gaining popularity in industrial and research communities because of its low power, long range, and low-cost communication characteristics. It provides long-range communication up to 10–40 km in rural zones and 1–5 km in urban zones [2]. In addition, it is highly energy efficient (i.e. 10+ years of battery lifetime [3]) and inexpensive, with the cost of a radio chipset being less than 2€ and an operating cost of 1€ per device per year [4].<sup>6</sup>*

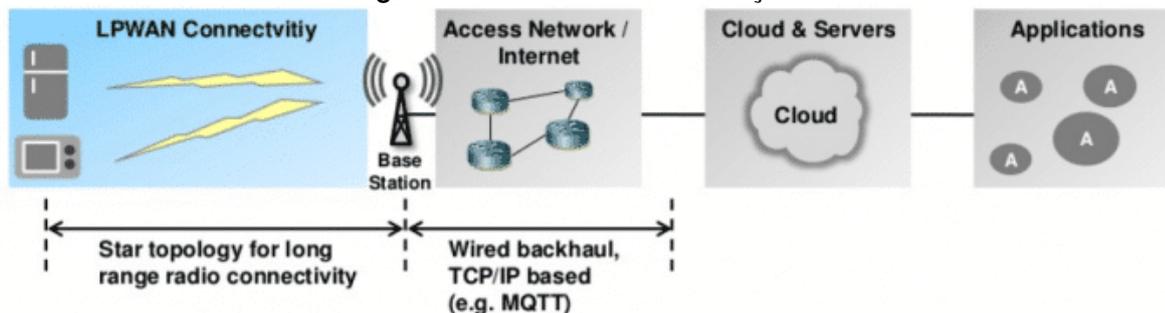
A comunicação entre objetos IoT não necessita a utilização de fios e pode ser encaixilhar em duas condições: transmissão por banda licenciada, que são obtidas por meio de contrato com operadoras e banda não licenciada, que tem como exemplo a rede Wi-Fi.

A arquitetura da rede LPWAN é do tipo estrela, onde as informações devem passar obrigatoriamente por uma estação central, chamado de *gateway*, que deve estar conectado com cada estação e distribuir os devidos dados, evitando que uma estação não receba um dado que foi destinado a outra. Apenas o *gateway* recebe as informações que serão enviadas aos sensores.

---

<sup>6</sup> MEKKI, Kais *et al*, A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment, **ICT Express**, v. 5, n. 1, p. 1–7, 2019.

Figura 2 - Processo de comunicação da rede LPWAN



Fonte: (MELO, Pablo, 2017)<sup>7</sup>

A figura 2 mostra o processo de comunicação que funciona quando a estação base inicia a conexão com vários dispositivos e o transporte de dados são enviados para os servidores com a utilização do protocolo TCP/IP.

## 2.5 CARACTERÍSTICAS DA REDE LORA®

LoRa, abreviação da palavra “*Long Range*”, é uma tecnologia utilizada para a comunicação, sem fio, de objetos e possui um padrão aberto de rede, chamado LoRaWAN. O LoRa possui características que o tornam uma rede única, como por exemplo a técnica de modulação *spread spectum* que consiste em um método de transmissão digital de sinais. Outra característica importante são as taxas de dados que se adaptam e permite que o LoRa tenha um grande desempenho independente da distância e interferência entre o *gateway* e o nó. A bi direcionalidade está presente na rede LoRa como uma importante característica, onde ele pode enviar e receber dados, por exemplo, os dados podem ser pré-programados para enviar informações em um intervalo de tempo e assim informando eventos e/ou alarmes, além disso, os dados podem ser analisados em qualquer momento para se obter informações sobre seu estado. A tecnologia LoRa possui um custo acessível e foi uma das primeiras a utilizar técnica de larga escala. Importante ressaltar que o LoRa é a parte física da rede, enquanto o LoRaWAN é o protocolo da rede, ou seja, a parte lógica da rede.

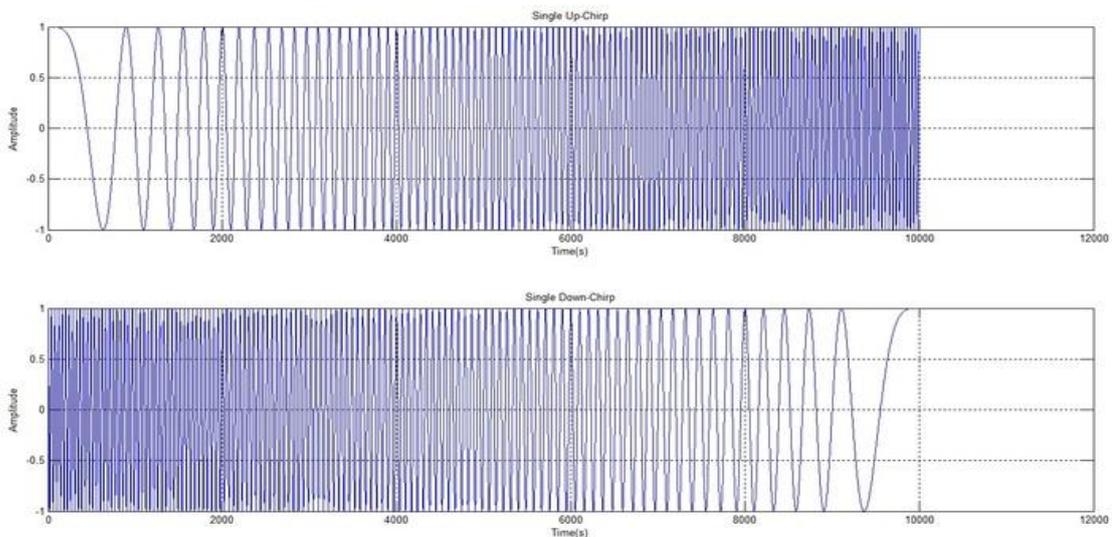
<sup>7</sup> MELO, Pablo, **Introdução ao LPWAN (Low Power Wide Area Network) - Embarcados**, Embarcados - Sua fonte de informações sobre Sistemas Embarcados, disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/introducao-ao-lpwan/>>, acesso em: 1 nov. 2019.

## 2.6 MODULAÇÃO LORA® - CHIRP SPREAD SPECTRUM

O *chirp* (*Compressed High Intensity Radar Pulse*) é um sinal cuja a frequência aumenta ou diminui com o tempo, muito comum em sonar e radar, e é utilizado *no Chirp Spread Spectrum* (CSS).

O CSS foi desenvolvido para aplicações de radar. Os sinais do *Chirp* têm uma amplitude constante e passam toda a largura de banda de maneira linear ou não linear de uma extremidade à outra em um determinado período de tempo. O CSS utiliza a largura de banda completa para transmissão de sinais. Se a frequência muda do mais baixo para o mais alto é chamado de *up-chirp* e se a frequência muda do mais alto para o mais baixo, é chamada de *down-chirp*.

**Figura 3** - Forma da onda up-chirp e down-chirp



Fonte: (NOREEN, Umber; BOUNCEUR, Ahcene; CLAVIER, Laurent, 2017)

A técnica CSS ajuda a transmissão de dados a longas distâncias, possui uma alta robustez o que significa que os pulsos de *chirp* são resistentes a distúrbios, tem a capacidade de consumir pouca energia, pois essa técnica pode ser implementada de maneira analógica, ocasionando o baixo consumo de energia e possui uma baixa latência, fazendo com que uma conexão sem fio seja estabilizada rapidamente. Segundo Bastani (2009, p. 76)

*Note that the communication range (being irrelevant to the ranging function) depends on two factors, the transmitted signal's power, and the transmission energy function. These two are correlated to enable the signal reaching the receiver. This comparison becomes more comprehensive by a simple example; the distance a car can travel most importantly depends on the amount of fuel (energy) it has rather than the horsepower of the engine. Thus, one of the main objectives of engineering the signal is to apply exactly the correct amount of energy to secure a successful transmission without wasting the bandwidth. These features are better functional in the CSS.<sup>8</sup>*

A citação acima mostra a importância dos fatores essenciais para o alcance de uma comunicação, e são eles, a potência do sinal transmitido e a função da energia de transmissão. O autor faz a comparação com a distância que um carro pode percorrer de acordo com a quantidade de combustível e não com a potência do motor, mostrando que o principal objetivo é aplicar a quantidade de energia correta para garantir uma transmissão e não desperdiçar largura de banda.

### 3 LORAWAN®

Com o surgimento de novas tecnologias e o avanço científico, o mundo se tornou um lugar onde não apenas pessoas são capazes de interagir umas com as outras, mas também de interagir com objetos e fazer com que os mesmos sejam autônomos. A prova disso está relacionada com a Internet das Coisas, que de maneira geral, é a comunicação entre objetos físicos que estejam conectados à internet. Para que ocorra essa conexão entre dispositivo-dispositivo e usuário-dispositivo, é necessário que exista uma rede que seja capaz de transmitir os dados e informações. Como a ideia é conectar objetos a distância e torná-los autossuficientes no que se refere a transmissão de dados, a rede LoRaWAN se torna uma excelente alternativa para essa comunicação, pois é uma rede que opera objetos por bateria e sem fios. Dessa forma, se encontra exposto no site do Lora Alliance:

*The LoRaWAN specification is a Low Power, Wide Area (LPWA) networking protocol designed to wirelessly connect battery operated 'things' to the internet in regional, national or global networks, and targets key Internet of Things (IoT) requirements such as bi-directional communication, end-to-end security, mobility and localization services.<sup>9</sup>*

<sup>8</sup> BASTANI, Hamed, Spatial Positioning with Wireless Chirp Spread Spectrum Ranging, p. 235, .

<sup>9</sup> **About LoRaWAN® | LoRa Alliance™**, disponível em: <<https://lora-alliance.org/about-lorawan>>, acesso em: 5 nov. 2019.

Seguindo a linha de raciocínio, o LoRaWAN é um protocolo que possui uma característica de abranger uma ampla área com pouca potência, tradução livre para o termo *Low Power Wide Area*, ou seja, conseguir um excelente alcance para transmissão de dados com pouca consumação de energia, logo que os objetos estão sendo operados a bateria e é necessário a economia. O protocolo LoRaWAN também se encaixa em todas as especificidades quando se trata de IoT, pois possui serviço bidirecional onde objetos são capazes de receber e enviar informações entre si, segurança *end-to-end* que é uma maneira de garantir a segurança no tráfego de informações entre dois objetos sem interferência de terceiros, mobilidade e localização já que seu alcance é amplo ele pode ser transportado para qualquer localidade e com a praticidade de ser operado a bateria.

Para continuar falando do protocolo LoRaWAN, é necessário o entendimento do conceito de LoRa, que por sua vez é a parte responsável pela modulação física dos sinais de rádio, enquanto o LoRaWAN é a parte lógica desenhada pelo LoRa Alliance que utiliza o LoRa para realizar suas comunicações. De acordo com o pdf que é disponibilizado pelo site oficial:

*LoRa® is the physical layer or the wireless modulation utilized to create the long range communication link. Many legacy wireless systems use frequency shifting keying (FSK) modulation as the physical layer because it is a very efficient modulation for achieving low power. LoRa® is based on chirp spread spectrum modulation, which maintains the same low power characteristics as FSK modulation but significantly increases the communication range. Chirp spread spectrum has been used in military and space communication for decades due to the long communication distances that can be achieved and robustness to interference, but LoRa® is the first low cost implementation for commercial usage.*<sup>10</sup>

Como se pode notar, o LoRa é responsável por ser a parte física da conexão, utilizando o protocolo LoRaWAN que por sua vez é responsável pela segurança, funcionamento, ajuste de potência e qualidade do serviço. Em relação a transmissão de dados, a modulação FSK é utilizada por algumas operadoras para identificar chamadas, porém consome muita potência, enquanto o LoRa utiliza o espectro de propagação *chirp*, pois alcança longas distâncias e possui uma grande imunidade a ruídos. Por muito tempo essa tecnologia sempre teve alto custo e estabilidade de frequência, logo a tecnologia LoRa foi a pioneira na redução de custos dessas tecnologias para uso comercial.

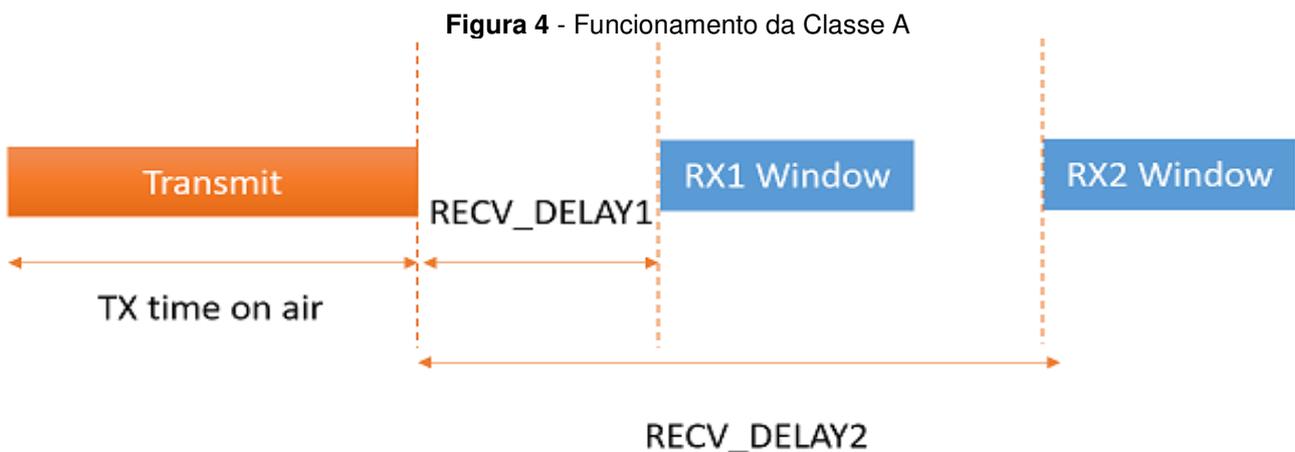
---

<sup>10</sup> **What is LoRaWAN® | LoRa Alliance™**, disponível em: <<https://loro-alliance.org/resource-hub/what-lorawanr>>, acesso em: 5 nov. 2019.

### 3.1 CLASSES DE DISPOSITIVOS

O protocolo LoRaWAN pode ser dividido em 3 classes, são elas: Classe A que se caracteriza na comunicação bidirecional entre o dispositivo final e o servidor, Classe B que trabalha com comunicação bidirecional, porém com janelas de recepção agendadas e a Classe C, onde os dispositivos abrem duas janelas de recepção contínuas e só serão fechadas durante a transmissão.

Classe A: Pertence aos dispositivos alimentados por bateria, pois apresentam o menor consumo de energia. Realiza uma comunicação bidirecional, onde pode ocorrer um envio de mensagens a qualquer instante (*uplink*). Em seguida, são abertas duas janelas para o recebimento das mensagens (*downlink*), que irá conter alguma informação em relação a configuração ou confirmação de recebimento.

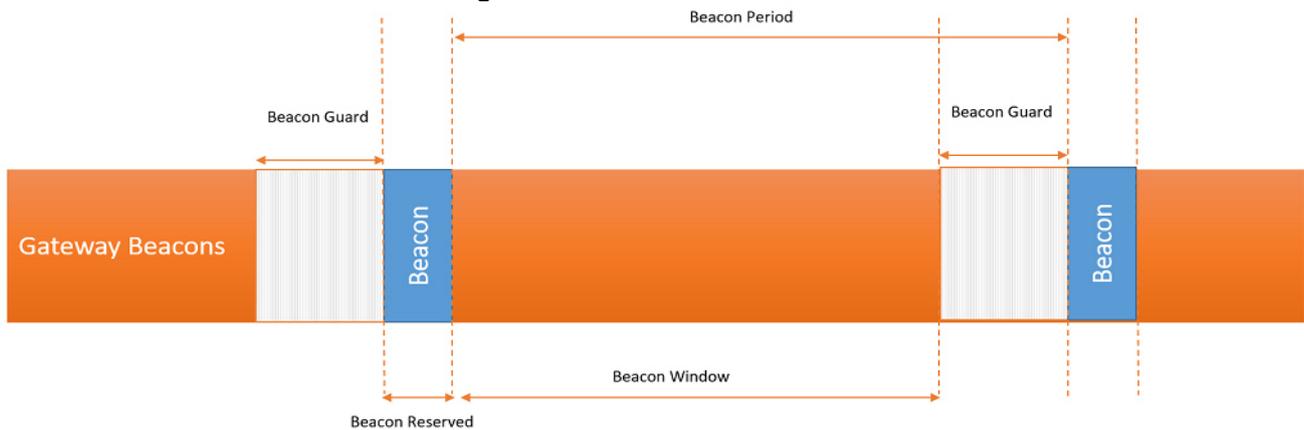


Fonte: Documentação do Mbed OS 5, disponível em: <<https://os.mbed.com/docs/mbed-os/v5.14/reference/lora-tech.html>>, acesso em: 7 nov. 2019.<sup>11</sup>

A qualquer momento o nó final pode transmitir um sinal. Após essa transmissão (*uplink*) o nó final irá receber uma resposta do *gateway*. O nó abre dois *slots* de recebimento (RECV\_DELAY1 ou RECV\_DELAY2) após a transmissão (*uplink*) e o *gateway* pode responder no primeiro *slot* ou no segundo, mas não em ambos.

Classe B: Igual a classe A, realizando comunicação bidirecional, mas esses dispositivos também abrem uma janela extra de recebimento em horários programados.

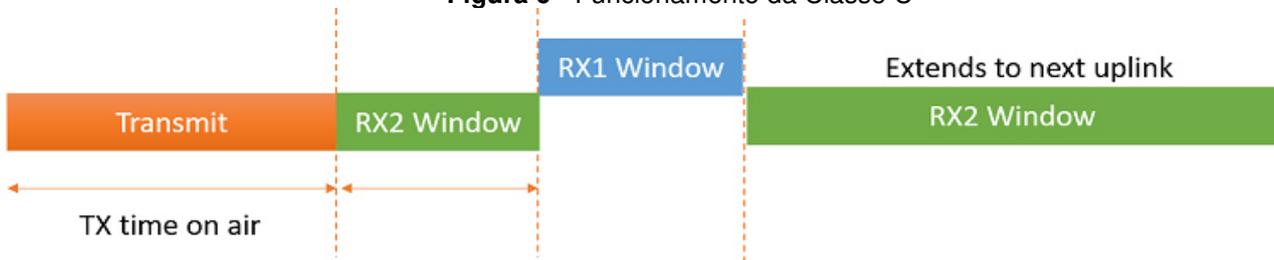
<sup>11</sup> LoRaWAN - Referência | Documentação do Mbed OS 5, disponível em: <<https://os.mbed.com/docs/mbed-os/v5.14/reference/lora-tech.html>>, acesso em: 7 nov. 2019.

**Figura 5 - Funcionamento da Classe B**

Fonte: Documentação do Mbed OS 5, disponível em: <<https://os.mbed.com/docs/mbed-os/v5.14/reference/lora-tech.html>>, acesso em: 7 nov. 2019.<sup>12</sup>

Os dispositivos da classe B permitem mais slots de recepção, além de abrir janelas extras de recebimento em horários programados. Para o dispositivo final abrir sua janela de recebimento no horário agendado, ele recebe do gateway um sinalizador (*Beacon*) sincronizado, garantindo que, no momento específico, o receptor ou dispositivo esteja ouvindo. Dispositivos com latência se encaixam na classe B, pois usam uma comunicação com *slots* sincronizados.

Classe C: Os dispositivos dessa classe possuem continuamente abertas as janelas de recepção, que só serão fechadas durante a transmissão. Logo, os dispositivos da classe c consomem mais energia e na maioria dos casos, são alimentados por energia da rede elétrica.

**Figura 6 - Funcionamento da Classe C**

Fonte: Documentação do Mbed OS 5, disponível em: <<https://os.mbed.com/docs/mbed-os/v5.14/reference/lora-tech.html>>, acesso em: 7 nov. 2019.<sup>13</sup>

<sup>12</sup> *Ibid.*

<sup>13</sup> *Ibid.*

Os dispositivos da classe c consomem mais energia que os dispositivos das outras classes, porém oferece menor latência para a comunicação do servidor com o dispositivo final.

#### 4. COMPARATIVO COM OUTRAS TECNOLOGIAS

Em comparação com as outras redes *wireless*, a rede LoRa é a melhor opção para projetos relacionados a internet das coisas, pelo fato de possuir um baixo consumo de energia, um custo acessível e um longo alcance. O *Bluetooth* por sua vez é uma tecnologia sem fio de rede pessoal, e é denominado por Dedeles, 2003 “[...] um padrão de comunicação para curtas distâncias entre dispositivos e periféricos pessoais, como celulares, computadores e *mouses*.”<sup>14</sup>. O *Bluetooth* é uma tecnologia prática para ambientes pessoais, utilizada hoje para diversos utensílios domésticos e eletrônicos. Porém quando se trata de Internet das Coisas, este não possui uma eficácia tão boa quanto a rede LoRa, devido as suas características.

A rede Zigbee no entanto foi projetada para IoT, mas sua diferença em relação ao LoRa ocorre quando se trata de distância, pois segundo Ferreira, Ortiz, Costa é “[...] uma tecnologia de rede de área pessoal e, portanto, de curto alcance [...]”<sup>15</sup>. A rede em questão é uma tecnologia nova para IoT, com características semelhantes a rede LoRa, onde possui um baixo consumo de energia, baixa potência em operação, mas quando se trata de distância, esta, opera em ambientes pessoais e de curto alcance.

Já o WiFi, para Santos et al. (2016)

O Wi-Fi foi desenvolvido como uma alternativa ao padrão cabeado Ethernet, com pouca preocupação com dispositivos que possuem consumo energético limitado, como é o caso das aplicações para IoT. Assim, não se espera que muitos dispositivos utilizados em IoT adotem o padrão Wi-Fi como principal protocolo de comunicação. Contudo, o Wi-Fi possui algumas vantagens, como alcance de conexão e vazão, o que o torna adequado para navegação na Internet em dispositivos móveis, como smartphones e tablets. A principal desvantagem do Wi-Fi é o maior consumo de energia, quando comparado com outras tecnologias de comunicação sem fio.<sup>16</sup>

Conforme a ideia apresentada, O WiFi é uma excelente alternativa para a navegação na internet, transferência de grande quantidade de dados e alcance de

<sup>14</sup> DIDELESMYRA, Bluetooth, **XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students**, 2003.

<sup>15</sup> FERREIRA, Ana Elisa Leitão Alonso; MOLANO ORTIZ, Fernando; COSTA, Luis Henrique Maciel Kosmalski, Avaliação de Tecnologias de Comunicação Sem-Fio para Monitoramento em Ambientes de Floresta, *in: Anais do XXXVII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC 2019)*, [s.l.]: Sociedade Brasileira de Computação - SBC, 2019, p. 113–126.

<sup>16</sup> SANTOS, Bruno P *et al*, Internet das Coisas: da Teoria à Prática, p. 50, .

conexão para dispositivos utilizados no dia a dia, como por exemplo os smartphones. Mesmo com suas qualidades ele não é apropriado para a utilização do IoT em longas distâncias, visto que a rede LoRa apresenta um melhor alcance e menor utilização de recursos.

#### 4.1 REDES PARA APLICAÇÃO EM IOT

Atualmente existem várias redes voltadas a comunicação, dando a possibilidade de escolher a melhor de acordo com o cenário. Temos como exemplos, Wi-Fi, Zigbee, *Bluetooth*, LoRaWAN. A questão principal é adaptação de uma determinada rede para uma certa atividade. São vários os critérios para a escolha de uma rede que atenda os requisitos de aplicações em IoT, são eles; Alcance máximo de transmissão de dados entre os dispositivos, economia de energia, custo-benefício, segurança no envio de dados e frequência.

De acordo com o site da *Semtech*:

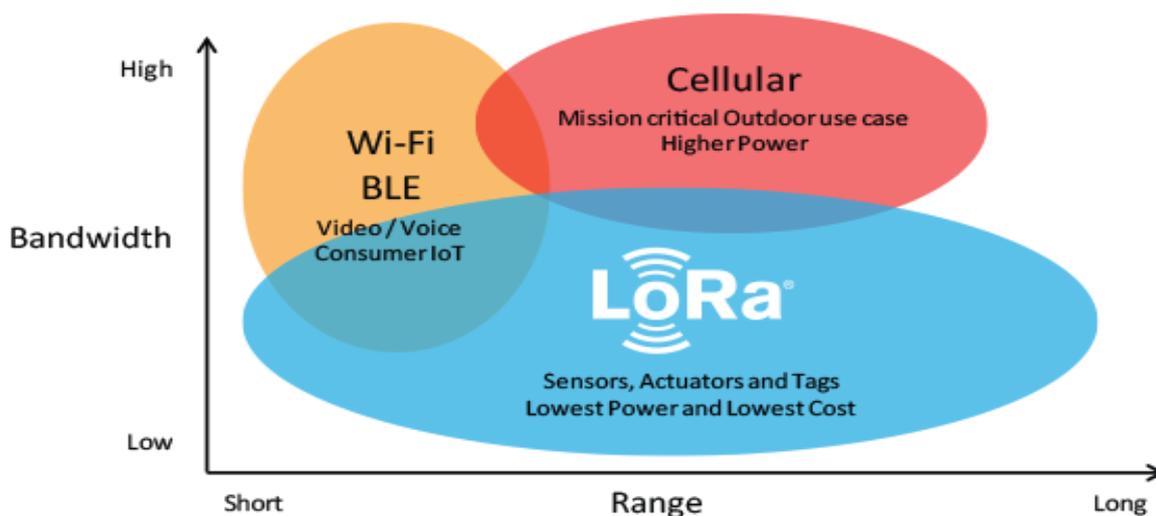
*LoRa Technology has revolutionized IoT by enabling data communication over a long range while using very little power. When connected to a non-cellular LoRaWAN network, LoRa devices accommodate a vast range of IoT applications by transmitting packets with important information. LoRaWAN fills the technology gap of Cellular and Wi-Fi/BLE based networks that require either high bandwidth or high power, or have a limited range or inability to penetrate deep indoor environments. In effect, LoRa Technology is flexible for rural or indoor use cases in smart cities, smart homes and buildings, smart agriculture, smart metering, and smart supply chain and logistics.*<sup>17</sup>

De acordo com a citação acima, o protocolo LoRaWAN oferece uma solução tanto para ambientes externos e internos, mostrando que as redes de celulares, Wi-Fi e *Bluetooth* utilizam uma alta potência e são ineficientes para penetrar ambientes internos e profundos. A figura 7 mostra graficamente o que foi dito na citação.

---

<sup>17</sup> **Why LoRa? | Semtech LoRa Technology | Semtech**, disponível em: <<https://www.semtech.com/lora/why-lora>>, acesso em: 8 nov. 2019.

Figura 7 - Comparação entre redes



Fonte: Why LoRa? | Semtech LoRa Technology | Semtech, disponível em: <<https://www.semtech.com/lora/why-lora>>, acesso em: 8 nov. 2019.<sup>18</sup>

## 4.2 REDES PARA APLICAÇÃO EM LPWAN

A LPWAN, como vista anteriormente, é uma rede de baixa potência que consome pouca energia, possuem longo alcance no envio de dados, sem fio e projetada especificamente para aplicação de IoT com baixo tráfego de dados. Quando se trata de redes para aplicações em LPWAN temos que levar em consideração as características citadas. Pode-se citar três redes que se enquadram, LoRaWAN, Sigfox e *Wighthless*. Essas redes possuem características similares e podem ser usadas como solução para a conectividade, principalmente, em grandes áreas.

### 4.2.1 Sigfox

A rede Sigfox, desenvolvida por uma operadora francesa e no Brasil é representada pelo WND, é uma solução orientada a envio de mensagens, não mantendo uma conexão estável contínua, mas é possível enviá-las periodicamente. As mensagens são de 12 bytes no *uplink* e 8 bytes no *downlink*, ou seja, do dispositivo para a rede serão 12 bytes e da rede para o dispositivo, 8 bytes. Com esses valores é possível realizar rastreamento veicular, criar alarmes, obter informações de diagnóstico, leitura de água e luz, entre outros. É uma rede que alcança longas distâncias e muito resistente a interferências.

Segundo o site da Sigfox

*Sigfox is rolling out the first global IoT network to listen to billions of objects broadcasting data, without the need to establish and maintain network*

<sup>18</sup> *Ibid.*

*connections. This unique approach in the world of wireless connectivity, where there is no signaling overhead, a compact and optimized protocol, and where objects are not attached to the network. Sigfox offers a software based communications solution, where all the network and computing complexity is managed in the Cloud, rather than on the devices. All that together, it drastically reduces energy consumption and costs of connected devices.*<sup>19</sup>

A rede Sigfox o gerenciamento em nuvem e não nos dispositivos, utilizando um protocolo compacto e otimizado, fazendo com que ocorra uma redução no consumo de energia e custo dos dispositivos que estarão conectados.

#### 4.2.2 Weightless

Implementada pela empresa Ubiik do Taiwan, a rede *Weightless*, segundo o site responsável pela rede<sup>20</sup>, é um padrão para comunicação sem fio de baixa potência em redes públicas ou privadas com dispositivos finais que atendem os requisitos da Internet das coisas (IoT), possui taxa de transferência limitada e baixa latência, podendo operar em qualquer faixa de frequência.

Possui as seguintes características:

- Comunicação 100% bidirecional e totalmente reconhecida para confiabilidade;
- Otimizado para um grande número de dispositivos finais de baixa complexidade com comunicação assíncrona dominada por *uplink* com tamanhos de carga menor que 48 bytes;
- Otimizado para consumo de energia ultrabaixo (às custas da latência e da taxa de transferência em comparação às tecnologias celulares).

A rede *Weightless* são compostas por:

- Dispositivos finais: o nó folha na rede, ciclo de baixa complexidade, baixo custo e geralmente baixo trabalho;
- Estações base (BS): o nó central em cada célula, com o qual todos os EDs se comunicam por meio de uma topologia em estrela;
- Rede de estação base (BSN): interconecta todas as estações base de uma única rede para gerenciar a alocação e o agendamento de recursos de rádio pela rede e lidar com autenticação, *roaming* e agendamento.

<sup>19</sup> **Sigfox Technology Overview | Sigfox**, disponível em: <<https://www.sigfox.com/en/sigfox-iot-technology-overview>>, acesso em: 9 nov. 2019.

<sup>20</sup> **Especificação sem peso - Weightless Management Ltd**, disponível em: <<http://www.weightless.org/about/weightless-specification>>, acesso em: 9 nov. 2019.

## 5 TESTE DE CAMPO COM EQUIPAMENTO ESP32 LORA

Primeiramente foi utilizado o programa “Arduino” para dispor de um código em C++ que foi escrito por Aaron Lee<sup>21</sup>, este responsável por fazer parte da empresa criadora da placa LoRa ESP32 e disponibilizar ajuda para o melhor entendimento e configuração da mesma. Em seguida, com a utilização de duas placas, uma sendo responsável por enviar um pacote e a outra designada a receber o pacote, foi iniciado o teste. Importante ressaltar que para ocorrer o teste, ambas as placas devem estar conectadas simultaneamente. Assim que o teste foi iniciado, ambas as placas começarão a atualizar seus dados da seguinte maneira: a placa responsável por enviar o pacote irá mostrar no display um número de maneira crescente e em tempo real a outra placa irá mostrar a distância, o tamanho do pacote que está recebendo e a *string* que está sendo recebida com um contador crescente que representará o recebimento dos dados.

A presente pesquisa de campo foi realizada no condomínio *Parkville Residence Prive* localizado na cidade de Campina Grande na Paraíba, com a utilização de duas placas LoRa Esp32 e o aplicativo do *Google Maps* para mostrar as distâncias entre os dois pontos onde as placas estarão dispostas assim que for iniciado a troca de dados entre as mesmas. A data da realização do teste ocorreu em junho de 2019, no dia 25. A pesquisa foi realizada em uma área aberta para que exista pouca ou quase nenhuma interferência com intuito de mostrar qual será o máximo raio de alcance na transmissão dos dados.

---

<sup>21</sup> AARON.LEE, *Heltec-Aaron-Lee/WiFi\_Kit\_series*, [s.l.: s.n.], 2019.

**Figura 8 - ESP32 LoRa**



Fonte: <https://www.usinainfo.com.br/lora/esp32-lora-wifi-sx1278-433mhz-de-longo-alcance-com-display-oled-e-bluetooth-5517.html><sup>22</sup>

Foram utilizadas duas placas idênticas ao da figura 8. O equipamento é composto por:

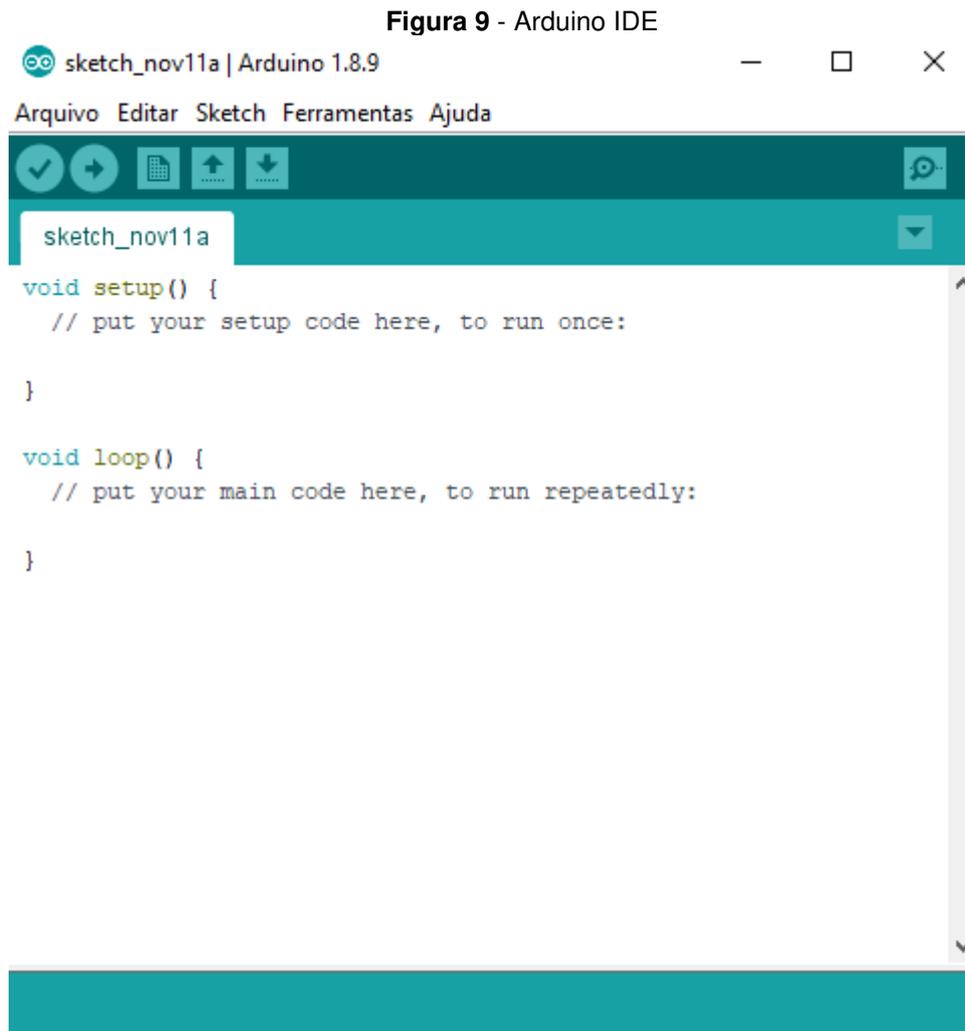
- 2 placas WiFi LoRa 32 – ESP32/ LoRa / *Display* OLED;
- Chicote e antena 915MHz;
- 2 barras de pinos.

Importante ressaltar que os testes foram feitos com os equipamentos idênticos ao da figura 8, ou seja, o alcance máximo foi de acordo com a antena utilizada.

Em seguida as placas foram configuradas para a realização do teste. O programa utilizado foi o Arduino IDE<sup>23</sup> e o código utilizado foi escrito por Aaron Lee.

<sup>22</sup> **ESP32 LoRa WiFi SX1278 433MHZ Longo Alcance com Tela OLED**, Usinainfo, disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/lora/esp32-lora-wifi-sx1278-433mhz-de-longo-alcance-com-display-oled-e-bluetooth-5517.html>>, acesso em: 13 dez. 2019.

<sup>23</sup> **Arduino - Software**, disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/main/software>>, acesso em: 11 nov. 2019.



Fonte: Própria (2019)

Após a configuração das placas, foi realizado o teste de campo. O dispositivo responsável por enviar os dados ficou fixo em uma determinada localização, enquanto o dispositivo responsável por receber os dados sempre se manteve em movimento até atingir o limite máximo de distância para a conectividade e envio do pacote entre os mesmos. Outro fator importante em relação ao aparelho ESP32 LoRa, é que após sua configuração o programa instalado continuará salvo no aparelho, fazendo com que mesmo após desconectá-lo as últimas configurações ficarão salvas e só se modificarão se o usuário apagar ou programar outro código na IDE do Arduino.

**Figura 10** - Placa responsável por enviar pacote



Fonte: Própria (2019)

**Figura 11** - Placa responsável por receber pacote



Fonte: Própria (2019)

Importante comentar o que significa cada nome presente na placa responsável pelo recebimento dos dados (Figura 11).

- RSSI – Distância entre as antenas, ou seja, a distância da antena da placa de recebimento para a da placa de envio.
- Rx – Tamanho do dado que está sendo recebido.
- *hello* 459 – Nome do dado que está sendo recebido e a quantidade de vezes que ele já foi enviado.

Na figura 12, a seguir, a distância na qual as placas se mantiveram conectadas, em um ambiente com pouca ou quase nenhuma interferência de terreno ou construções.

**Figura 12** - Distância entre as placas ESP32 LoRa durante o teste



Fonte: Própria (2019)

## 6 CONCLUSÃO

Atualmente já é possível, por exemplo, automatizar uma residência e controlar apenas por um dispositivo, como o celular. A Internet das coisas é um novo modelo de interação direta de objeto com usuário, onde toda a comunicação é iniciada por dispositivos que estejam conectados a internet. A ideia é transformar o mundo em um lugar inteligente, onde os objetos irão ajudar a sociedade, como por exemplo, a mostrar um engarrafamento para que está dirigindo, o resultado de exame a um paciente, entre outros. Para isso é necessário a utilização de uma tecnologia que seja econômica em relação ao consumo de energia, envie dados em tempo real, segura e tenha um longo alcance. Como isso, temos a rede LoRa, criada pela empresa *Semtech*, que em 2015 a *LoRa Alliance* foi criada para dar suporte ao protocolo LoRaWAN e garantir a interoperabilidade dos produtos e tecnologia LoRaWAN.

A rede LoRa e o seu protocolo LoRaWAN atendem muito bem as expectativas quando se trata de conexão em relação a conectividade de objeto relacionados a Internet das Coisas. Devido a sua economia de energia, envio de dados e alcance, a rede LoRa pode ser considerada uma das melhores, se não, a melhor rede para a conexão de dispositivos IoT. Dependendo da localização e das condições de instalação (topologia do terreno, prédios e outras construções) pode-se conseguir um alcance de 3-4km em área urbana, e em áreas rurais, é possível chegar a 12km ou mais. De modo geral as principais características são: o longe alcance, alta imunidade a ruídos, baixo consumo de energia e ela é baseada na tecnologia "*chirp spectrum modulation*" (tecnologia usada a décadas principalmente em sistemas militares e de radar, devido ao fato de possibilitar um longo alcance e grande imunidade a ruídos). Como essa tecnologia é aplicada em rede LPWAN, onde o consumo de energia deve ser mínimo e os dados são enviados apenas se forem solicitados, o protocolo LoRaWAN torna a rede LoRa, confiável.

O teste de campo realizado obteve resultados esperados, com um ótimo alcance e envio em tempo real de pacote de um dispositivo para o outro. Durante todo o trajeto até o máximo alcance, os dispositivos sempre se mantiveram trocando informações em tempo real, até atingir a máxima distância. A antena utilizada no teste, foi a mesma que já vem junto com a placa ESP32 LoRa. A essa distância, as redes como Wi-Fi e *Bluetooth*, já perderiam conectividade e seria impossível manter um envio de dados. Com isso a rede LoRa e seu protocolo LoRaWAN, se torna uma das redes ideias para a aplicação da Internet das Coisas.

## REFERÊNCIAS

AARON.LEE. **Heltec-Aaron-Lee/WiFi\_Kit\_series**. [s.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <[https://github.com/Heltec-Aaron-Lee/WiFi\\_Kit\\_series](https://github.com/Heltec-Aaron-Lee/WiFi_Kit_series)>. Acesso em: 11 nov. 2019.

AUGUSTIN, Aloÿs; YI, Jiazi; CLAUSEN, Thomas; *et al.* A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things. **Sensors**, v. 16, n. 9, p. 1466, 2016.  
BASTANI, Hamed. Spatial Positioning with Wireless Chirp Spread Spectrum Ranging. p. 235, .

DIDELESMYRA. Bluetooth. **XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students**, 2003. Disponível em: <<https://dlnext.acm.org/doi/abs/10.1145/904080.904083>>. Acesso em: 8 nov. 2019.

FERREIRA, Ana Elisa Leitão Alonso; MOLANO ORTIZ, Fernando; COSTA, Luis Henrique Maciel Kosmalski. Avaliação de Tecnologias de Comunicação Sem-Fio para Monitoramento em Ambientes de Floresta. *In: Anais do XXXVII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC 2019)*.

[s.l.]: Sociedade Brasileira de Computação - SBC, 2019, p. 113–126. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/sbrc/article/view/7354>>. Acesso em: 8 nov. 2019.

MEKKI, Kais; BAJIC, Eddy; CHAXEL, Frederic; *et al.* A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. **ICT Express**, v. 5, n. 1, p. 1–7, 2019.

MELO, Pablo. **Introdução ao LPWAN (Low Power Wide Area Network) - Embarcados**. Embarcados - Sua fonte de informações sobre Sistemas Embarcados. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/introducao-ao-lpwan/>>. Acesso em: 1 nov. 2019.

REIS, Daniel de Oliveira. Estudo de uma Plataforma Aberta para Comunicações M2M. p. 98, .

SANTOS, Bruno P; SILVA, Lucas A M; PERES, Bruna S; *et al.* Internet das Coisas: da Teoria à Prática. p. 50, .

**About LoRaWAN® | LoRa Alliance™**. Disponível em: <<https://lora-alliance.org/about-lorawan>>. Acesso em: 5 nov. 2019.

**Arduino - Software**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/main/software>>. Acesso em: 11 nov. 2019.

**Benefícios para Membros | LoRa Alliance™**. Disponível em: <<https://lora-alliance.org/membership-benefits>>. Acesso em: 30 out. 2019.

**ESP32 LoRa WiFi SX1278 433MHZ Longo Alcance com Tela OLED**. Usinainfo. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/lora/esp32-lora-wifi-sx1278-433mhz-de-longo-alcance-com-display-oled-e-bluetooth-5517.html>>. Acesso em: 13 dez. 2019.

**Especificação sem peso - Weightless Management Ltd.** Disponível em: <<http://www.weightless.org/about/weightless-specification>>. Acesso em: 9 nov. 2019.

**Internet of Things (IoT) and Machine-to-Machine (M2M) communications.** [s.l.: s.n., s.d.].

**LoRaWAN - Referência | Documentação do Mbed OS 5.** Disponível em: <<https://os.mbed.com/docs/mbed-os/v5.14/reference/lora-tech.html>>. Acesso em: 7 nov. 2019.

**Sigfox Technology Overview | Sigfox.** Disponível em: <<https://www.sigfox.com/en/sigfox-iot-technology-overview>>. Acesso em: 9 nov. 2019.

**What is LoRaWAN® | LoRa Alliance™.** Disponível em: <<https://loralliance.org/resource-hub/what-lorawanr>>. Acesso em: 5 nov. 2019.

**Why LoRa? | Semtech LoRa Technology | Semtech.** Disponível em: <<https://www.semtech.com/lora/why-lora>>. Acesso em: 8 nov. 2019.