



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

JEFFERSON JOHN DO REGO LEITE

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE TRANSPORTE
ESTUDANTIL UTILIZANDO ESP32 E REDE LORA**

MOSSORÓ

2020

JEFFERSON JOHN DO REGO LEITE

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE TRANSPORTE
ESTUDANTIL UTILIZANDO ESP32 E REDE LORA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Pedro Thiago Valério de Souza,
Prof. Me.

Co-orientador: Francisco Carlos Gurgel da
Silva Segundo, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

L533i Leite, Jefferson John do Rêgo.
IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO
DE TRANSPORTE ESTUDANTIL UTILIZANDO ESP32 E REDE
LORA / Jefferson John do Rêgo Leite. - 2020.
36 f. : il.

Orientador: Pedro Thiago Valério de Souza.
Coorientador: Francisco Carlos Gurgel da Silva
Segundo.

Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia de
Computação, 2020.

1. LoRa. 2. ESP32. 3. Radio Mobile. I. Souza,
Pedro Thiago Valério de, orient. II. Silva
Segundo, Francisco Carlos Gurgel da, co-orient.
III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JEFFERSON JOHN DO REGO LEITE

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE TRANSPORTE
ESTUDANTIL UTILIZANDO ESP32 E REDE LORA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Defendida em: 06 / 02 / 2020.

BANCA EXAMINADORA

Pedro Thiago Valério de Souza
Pedro Thiago Valério Souza, Prof. Me. (UFERSA)
Presidente

Náthalee Cavalcanti de Almeida Lima
Náthalee Cavalcanti de Almeida Lima, Prof. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Marco Diego Aurélio Mesquita
Marco Diego Aurélio Mesquita, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me ajudado a superar as dificuldades.

A universidade e ao seu corpo docente e administrativo por ter proporcionado um bom ambiente de estudo.

Ao professor e orientador Pedro Thiago Valério de Souza, pelo seu apoio no desenvolvimento e correção do trabalho.

A professor e co-orientador Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo pelo apoio nas práticas desenvolvidas.

A minha mãe, pelo amor, incentivo e apoio.

E a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte da minha formação.

RESUMO

As irregularidades dos horários no transporte estudantil da UFERSA fazem com que alunos percam este meio de transporte. Desta forma, torna-se necessário investir em métodos que forneçam a localização do ônibus. Neste sentido, este trabalho tem por objetivo implementar um sistema de monitoramento do ônibus escolar, fornecido pela UFERSA Campus Pau dos Ferros, utilizando o ESP32, juntamente com o transreceptor LoRa e módulo GPS. Realizou-se um teste de viabilidade do sistema utilizando o *software* de simulação *Radio Mobile*. Como também testes práticos e desenvolvimento de um *software* para análise de teste e para o usuário final. Com a finalização do trabalho, foi possível observar que os testes práticos se diferenciaram da simulação devido à perda em ambiente urbano não ser contabilizada na simulação.

Palavras-chave: LoRa, ESP32, *Radio Mobile*.

ABSTRACT

The irregularities in the schedules of UFERSA's student transport cause students to miss this means of transport. Thus, it is necessary to invest in methods that provide the location of the bus. In this sense, this work aims to implement a school bus monitoring system, provided by UFERSA Campus Pau dos Ferros, using ESP32, together with the LoRa transceiver and GPS module. A system feasibility test was performed using Radio Mobile simulation software. As well as practical tests and software development for test analysis and for the end user. With the completion of the work, it was possible to observe that the practical tests differed from the simulation due to the loss in an urban environment not being accounted for in the simulation.

Keywords: LoRa, ESP32, Radio Mobile.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Arquitetura da rede LoRa.....	16
Figura 2: Funcionamento das Janelas da classe A.....	17
Figura 3: Tela inicial do <i>Radio Mobile</i> com a demonstração da ferramenta de análise de enlace rádios.	21
Figura 4: Pontos de paradas do ônibus no <i>Radio Mobile</i>	23
Figura 5: Perfil de enlace entre a Parada 12 e o receptor.	24
Figura 6: Módulo Transmissor.	25
Figura 7: Módulo Receptor.....	27
Figura 8: Informações no Firebase.	28
Figura 9: Resultado do teste prático.	29
Figura 10: Pagina Inicial do Cadê Ônibus.....	31
Figura 11: Ícone de Ônibus Lotado.	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Valores teóricos de taxa de transmissão em função do SF.....	20
Quadro 2: Quadro com os pontos de parada do ônibus.....	22
Quadro 3: Informações dos enlaces de comunicação.....	24
Quadro 4: Características da antena AP3900.	26
Quadro 5: Resultados do Teste Prático	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Anatel	Agencia Nacional de Telecomunicações
BW	<i>Band Width</i>
CR	<i>Code Rate</i>
CSS	<i>Chirp Spread Spectrum</i>
FEC	<i>Forward Error Correction</i>
GHz	Gigahertz
GPRS	<i>General Packet Radio Services</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
ID	Identificador
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>
KHz	Kilohertz
Km	Quilômetros
LoRa	<i>Long Range</i>
MHz	Megahertz
Rb	Taxa de Transmissão
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>
SF	<i>Spreading Factor</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
SNR	<i>Signal-to-noise</i>
Tc	Taxa de Codificação
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
2. TRANSMISSÃO SEM FIO E TECNOLOGIA LORA.....	15
2.1. Transmissão sem fio	15
2.2. Tecnologia LoRa.....	16
2.2.1. Parâmetros de Configuração do LoRa.....	19
2.3. Radio Mobile	20
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
3.1. Simulação feita no Radio Mobile	22
3.2. Caracterização do Sistema	25
3.3. Realização e Análise de Testes	28
3.4. O Software Cadê Ônibus	31
4. CONCLUSÕES.....	33
4.1. Trabalhos Futuros	33
REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

As transmissões de dados sem fio vêm crescendo com o passar dos anos, se tornando parte do cotidiano das pessoas com maior frequência. Para Rodrigues (2014) as características de mobilidade, fácil instalação, dentre outras das comunicações sem fio vem solucionando várias carências do mundo atual. Dispositivos sem fio provem um maior contato das pessoas com a *internet*, vários sensores ajudam a controlar entradas e saídas de locais públicos, redes *wireless* estão diminuindo os problemas de comunicação entre os seus usuários, entre outras funcionalidades.

A UFERSA disponibiliza um serviço gratuito de transporte para seus alunos. É fornecido um veículo do tipo ônibus que realiza uma rota pela cidade a fim de recolher os alunos e levar até a universidade.

É natural ouvir reclamações dos alunos, que ao sol espera o ônibus da UFERSA passar, para que nele possam chegar a universidade. Atrasos nos horários estabelecidos, sol forte na parada, falta de organização nas filas de embarque nas paradas são as queixas mais comuns. É comum que veículos, ainda mais os de grande porte como ônibus, sofram atrasos.

A universidade se localiza fora da zona urbana. A rota do ônibus é composta por paradas, que de acordo com o setor de transporte da universidade, visam a maior cobertura da cidade por meio do ônibus. Muitas vezes os alunos têm de chegar a parada muito mais cedo já que desconhecem o horário certo que o ônibus vai passar. Outras vezes pode ocorrer de um mal gerenciamento do tempo fazendo com que o aluno perca o ônibus. Caso a posição do ônibus seja conhecida, o aluno poderá acompanhá-la de forma a gerenciar melhor seu tempo e chegar a parada no horário certo, não ficando à mercê da sorte ou do tempo. Em muitos dias ocorre superlotação do ônibus, nesse caso o veículo não pára até que chegue a universidade, passando de forma contínua pelas paradas. Com o aluno já sabendo da lotação máxima do ônibus, ele terá mais tempo para buscar outros meios que o levem a universidade.

Diante dos motivos expostos, torna-se necessário o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e rastreamento de ônibus da UFERSA. Diante disso, esse projeto propõe como uma alternativa para amenizar o impacto desses problemas sobre os usuários, desenvolver um *hardware* com base na tecnologia LoRa e um *software* que permita visualizar a trajetória e a localização do ônibus. O *hardware* deve ser capaz de prover a informação da localização do ônibus e se o veículo está com lotação máxima, enquanto o *software* armazenará essa informação e com base nela mostrar em um mapa a última localização conhecida do ônibus

bem como seu trajeto já percorrido naquela rota. O *software* também será capaz de fornecer, para maior facilidade de reconhecimento da posição do ônibus, a localização das paradas cadastradas pelo setor de transportes da UFERSA Pau dos Ferros.

Através de um site será possível que os usuários, alunos e a própria universidade, acessem estas informações acompanhando em tempo real a localização do ônibus no mapa. Através disso o aluno poderá gerenciar melhor seu tempo de forma a chegar na parada antes do ônibus, ou em caso de lotação máxima já buscar outra forma de locomoção para universidade.

É importante frisar que além dos alunos serem beneficiados com tal sistema, a própria universidade terá maior controle sobre o veículo, verificando a posição dele em cada instante. Isso pode inibir ações como a mudança de rota ou gasto excessivo de combustível.

Para que os alunos e a universidade tenham conhecimento da localização do ônibus, será desenvolvido um aplicativo denominando Cadê Ônibus. Nele irá conter um mapa da cidade de Pau dos Ferros e neste mapa será mostrado a localização de cada uma das paradas do ônibus. Além disso será mostrado a última localização conhecida do ônibus e sua trajetória.

Na literatura encontram-se diversos trabalhos que visam o monitoramento e rastreamento de veículos. Moura e Hamacher (2004) afirmam que os sistemas integrados de rastreamento não são apenas modismos do mercado, mas sim uma ferramenta importante para o aprimoramento das condições de transporte e de segurança das empresas que empregam esta tecnologia. Esta tese foi obtida por meio de pesquisa respondido por 510 profissionais de logística e de gerenciamento de risco.

Por sua vez, Anefalos e Caixeta Filho (2000) enfatizam que a principal razão para as empresas investirem em sistemas de rastreamento veicular está associada à necessidade de realização de gerenciamento de risco, por causa da pressão exercida pelas seguradoras em virtude dos assaltos frequentes, bem como grande probabilidade de ocorrências de sinistro em cargas de alto valor agregado.

Rodrigues (2014) propôs um sistema de automação, baseado na utilização de uma rede *wireless*, presente em cada ônibus do transporte público, capaz de prover informações aos usuários de chegada e partida do veículo em cada parada. O sistema é capaz de identificar quando cada veículo chegava à parada e qual seria seu destino posterior aquela parada.

Siqueira (2012) projetou e desenvolveu um protótipo de aplicação que permitiria aos usuários de transporte público acompanharem a posição e deslocamento dos veículos em tempo real, assim como configurar notificações mediante mensagem de chegada em paradas pré-definidas. Seu protótipo funcionou de forma a obter a geolocalização dos usuários presentes no

veículo, armazenando em um banco de dados para posterior organização e compartilhamento destas com outros usuários com intenção de utilizar o transporte público.

Galon (2014) gerou um protótipo envolvendo *hardware* e *software*, no qual o *software* foi desenvolvido para plataforma Android e o *hardware* contendo um microcontrolador integrado a um módulo GPRS. Afim de realizar a comunicação entre o *hardware* e o *software* utilizou-se a tecnologia SMS. Tal protótipo possibilitou maior gestão do veículo monitorado bem como segurança e confiabilidade já que a localização do veículo é conhecida.

Diante do exposto, tem-se como contribuição geral deste trabalho:

- Implementar um sistema de monitoramento do ônibus escolar, fornecido pela UFERSA Campus Pau dos Ferros, utilizando o ESP32, juntamente com o transreceptor LoRa e módulo GPS.

e como consequência, as seguintes contribuições específicas:

- Entender o funcionamento básico do ESP32, bem como os princípios básicos de Sistemas Embarcados e Computação Perversiva.
- Estudar sobre os princípios de transmissão de dados digitais utilizando o padrão LoRa;
- Ter conhecimento sobre as formas de comunicação do módulo Lora com o ESP32;
- Compreender os fundamentos sobre o módulo GPS e as formas de comunicação deste módulo com o ESP32;
- Realizar um estudo de viabilidade do sistema;
- Implementar o sistema de monitoramento do ônibus escolar;
- Realizar testes de performance do sistema implementado, traçando figuras de mérito que possam avaliar o desempenho do sistema.

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho consiste em realizar um estudo de viabilidade da transmissão de dados, utilizando-se do *software Radio Mobile*, que de forma simulada poderá confirmar a eficiência do sinal transmitido e recebido. Em seguida será montado um *hardware* que será dividido em dois módulos, transmissor e receptor. Ambos contêm um microcontrolador ESP32 ligado diretamente a um transreceptor que utiliza a tecnologia LoRa e a uma antena. A única diferença entre eles é que o módulo transmissor conta com um sistema GPS acoplado ao ESP32, capaz de fornecer a posição do módulo. Posteriormente será desenvolvido um *software* que também se divide em dois módulos. Ambos na linguagem JavaScript, integrado a um sistema de banco de dados em tempo real, Firebase.

O primeiro módulo será responsável por obter os dados do receptor e armazená-los no Firebase. Já o segundo módulo será competente em obter os dados armazenados no Firebase e, sobre um mapa, expor a última localização conhecida do ônibus bem como seu trajeto percorrido.

O presente trabalho será dividido em 4 capítulos, com a organização descrita conforme a seguir:

- No Capítulo 2, são apresentados os resultados da pesquisa bibliográfica acerca da transmissão sem fio e da tecnologia LoRa;
- No Capítulo 3, os resultados provenientes do *Radio Mobile*, hardware e software são apresentados e discutidos;
- No Capítulo 4, são apresentadas as considerações finais do trabalho.

2. TRANSMISSÃO SEM FIO E TECNOLOGIA LORA

Este capítulo destina-se a apresentar a transmissão de dados sem fio, bem como introduzir de maneira genérica a tecnologia LoRa, sendo destacado também a motivação para o uso de cada uma dessas tecnologias. Também será apresentada as linguagens de programação e os recursos utilizados para o desenvolvimento do trabalho.

2.1. Transmissão sem fio

Um sistema de comunicação de dados digitais pode ser caracterizado por três elementos fundamentais: o transmissor, o receptor e o canal de comunicação. O canal de comunicação tem um papel fundamental, dado que ele é o elemento físico responsável por guiar as informações do transmissor ao receptor. Os canais de comunicações podem ser dos mais variados tipos. De forma geral, os canais de comunicações podem ser divididos em duas classes: os canais com fio e os canais sem fio.

Nos canais de comunicação sem fio, a transmissão da informação é realizada através de ondas eletromagnéticas, que se propagam no espaço livre entre o transmissor e o receptor. Segundo Moraes (2009), as redes sem fio consistem de um sistema de transferência em que os dados trafegam sobre o espaço livre, não necessitando de canais de comunicações cabeados. Essas redes permitem a comunicação de dados com uma grande flexibilidade bem como custo inexistente para o canal de comunicação. Lages *et al.* (2003) também defende que as redes sem fio constituem uma alternativa às redes convencionais com fios, fornecendo as mesmas funcionalidades, mas de forma flexível, de fácil configuração e com boa conectividade, em áreas densamente urbanizadas ou de campus.

Atualmente, cresce o interesse da comunidade científica pelo estudo dos padrões de comunicações sem fio. Isso se deve ao fato que esse tipo de rede possui características de mobilidade e independência de ligações por cabos, o que pode diminuir o valor necessário para sua instalação. Outra característica importante é pela rede ser escalável, permitindo que ela suporte o crescimento ou redução da demanda.

Normas são aplicadas afim de caracterizar os enlaces de redes sem fios. A IEEE define em suas normas caracteriza a camada física das redes sem fios.

A norma IEEE 802.15.4 especifica a camada física e efetua o controle de acesso para redes sem fio de baixas taxas de transmissão. Nas redes sem fio as frequências licenciadas de acordo com a norma possuem as seguintes variações: 868 MHz, 902-928 MHz, 2,4 GHz.

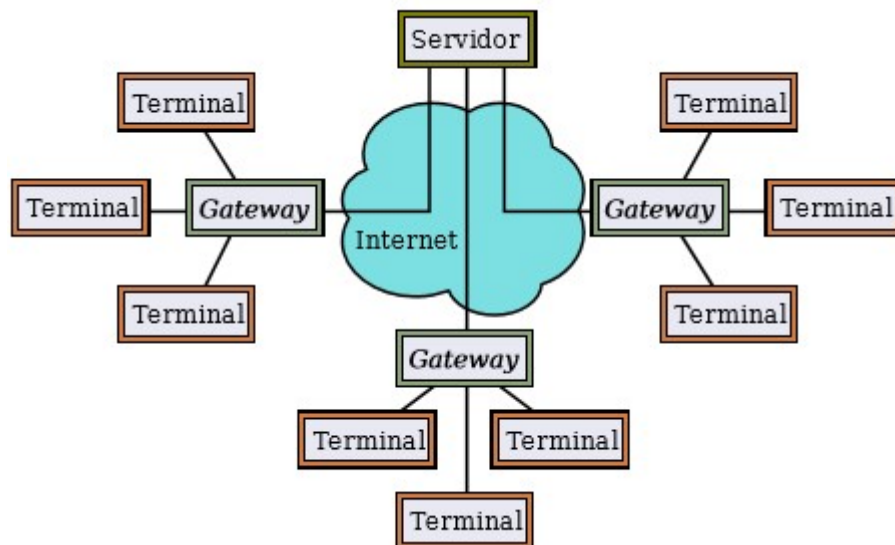
2.2. Tecnologia LoRa

A sigla LoRa (do inglês *Long Range*) apresenta como objetivo principal a comunicação sem fio através de longas distâncias. Esta tecnologia foi criada por uma associação denominada LoRa Alliance, criada em 2015 na Califórnia, que mantém o suporte oficial a tecnologia e aos métodos de comunicação desta.

A rede LoRa é composta por três tipos de dispositivos: terminais, *gateways* e servidores. Os dispositivos terminais são objetos inteligentes, tipicamente com restrições energéticas. Podem ser sensores, atuadores ou outros tipos de dispositivos inteligentes. Os *gateways* são dispositivos com restrições mais leves em termos de energia e processamento, que servem de ligação entre o LoRa e outras redes. Os servidores são dispositivos que recebem e analisam as informações enviadas pelos dispositivos terminais ou que comande os dispositivos terminais (BOR *et al.*, 2016).

O LoRa possui uma topologia em estrela conforme visto na Figura 1 (LORA ALLIANCE, 2019). Para Garay e Kofuji (2010) tal topologia permite uma maior área de cobertura e consumo menor de energia nos diferentes ambientes de comunicação.

Figura 1: Arquitetura da rede LoRa.

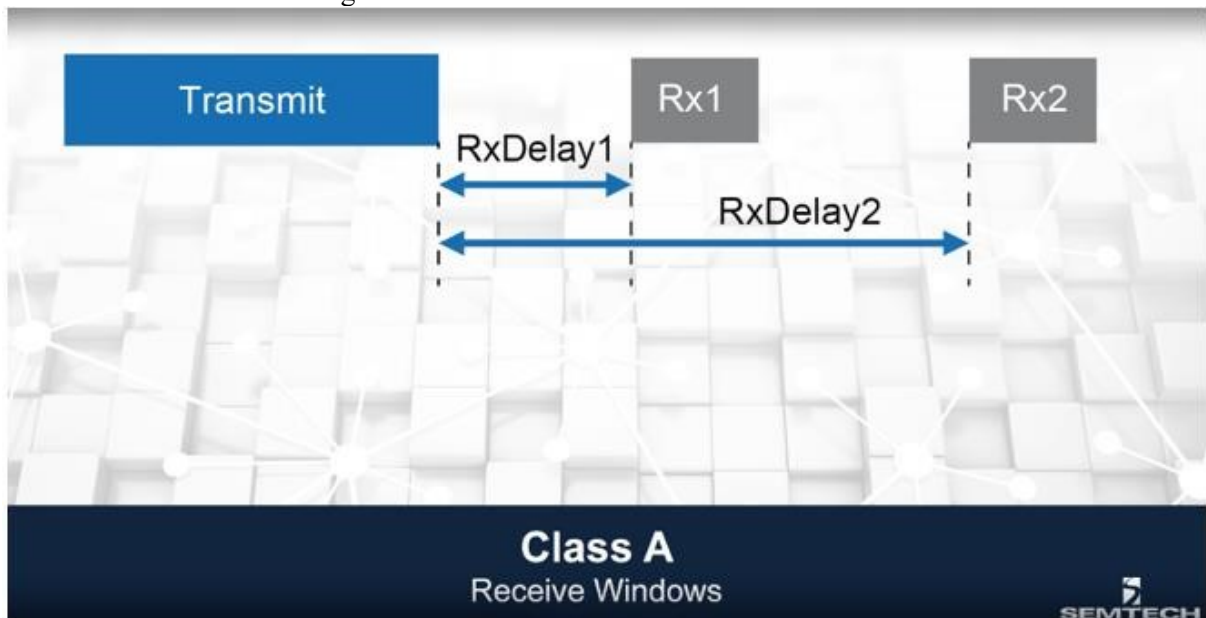


Fonte: (ORTIZ, 2018).

A especificação das redes LoRa define três classes de dispositivos terminais em sua arquitetura para atingir diferentes tipos de serviço: classe A, classe B, e classe C (LORA ALLIANCE, 2019).

Nos dispositivos classe A o nó terminal pode enviar mensagens para o nó *gateway* a qualquer momento, entretanto o dispositivo terminal só fica disponível para recepção durante janelas de tempo denominadas janelas de recepção. Durante essas janelas, o *gateway* pode enviar mensagens para o dispositivo terminal. Um dispositivo classe A inicia a comunicação como *gateway* e, após a transmissão, inicia uma janela de recepção, aguarda um determinado intervalo de tempo e inicia uma segunda janela de recepção. Uma nova janela de recepção apenas será aberta após uma transmissão do mesmo dispositivo classe A. Quando uma mensagem é enviada pelo dispositivo final por meio do uplink, uma janela Rx1 é aberta, pelo mesmo, para o recebimento de dados. A duração dessa janela deve ser, no mínimo, de mesmo valor que o tempo necessário para que o transceiver do dispositivo detecte um preâmbulo (do protocolo LoRaWAN) de download. Se, nesse período, um preâmbulo for detectado pelo dispositivo, o transceiver do mesmo continua ouvindo até que o pacote seja transmitido por inteiro. Entende-se que o pacote foi destinado para esse dispositivo se o final da recepção acontecer durante o tempo de duração da janela (Rx1). Caso contrário, o dispositivo final abre uma nova janela, Rx2, que se comporta da mesma forma, detectando o preâmbulo e recebendo o resto do pacote. Tal descrição pode ser exemplificada com a Figura 2. Esse modo de operação deve ser implementado por todos os dispositivos LoRa.

Figura 2: Funcionamento das Janelas da classe A.



Fonte: (LORA ALLIANCE, 2019).

Nos dispositivos classe B, o processo é semelhante ao da classe A. O dispositivo classe B também abre duas janelas de recepção após realizar uma transmissão. Porém, adicionalmente, os dispositivos classe B abrem janelas de recepção em tempos agendados, configurados através

de mensagens *beacon* emitidas pelo *gateway*. Os *beacons* também são responsáveis pelo sincronismo entre os dispositivos terminais e os dispositivos *gateway*.

Nos dispositivos classe C, os dispositivos terminais estão sempre disponíveis para recepção de mensagens (BOR *et al.*, 2016).

Para Ortiz (2018), uma vez que é necessário consumir energia para realizar a recepção de mensagens, as classes de operação se diferenciam não só pelo caráter da bidirecionalidade da comunicação, mas também pelo consumo de energia. A operação de modo classe A, por exemplo, pode servir a dispositivos que sejam sensores e cujo tráfego de dados seja predominantemente a entrega de dados coletados ao *gateway*, com o menor custo de energia. Um exemplo de aplicação para operação e classe B é em dispositivos que sejam sensores e atuadores que, a intervalos regulares, recebam ordens de atuação, com um custo energético intermediário. O modo de operação classe C, por outro lado, serve para sensores e atuadores que possam receber ordens de atuação a qualquer momento, a um custo maior de energia.

A técnica de modulação do sinal de rádio utilizada pelo LoRa é o espalhamento espectral (SEMTECH CORPORATION, 2015). Nesta técnica, o sinal original é espalhado no campo da frequência, aumentando a robustez do sinal a interferências externas. Na especificação do LoRa, o espalhamento espectral está relacionado a um parâmetro denominado fator de espalhamento (*Spreading Factor* – SF). O LoRa pode ser configurado com seis valores diferentes para o SF (SF7, SF8, SF9, SF10, SF11 e SF12) (LORA ALLIANCE, 2019). Para fator de espalhamento existe um compromisso entre a robustez da modulação a interferências e a taxa de transmissão de bits. Por um lado, o aumento da taxa de transmissão aumenta a vazão da comunicação. Em contrapartida, a perda de robustez a interferências pode induzir a perdas de mensagens, reduzindo a vazão (ORTIZ, 2018). Um maior SF aumenta a sensibilidade do limiar de recepção em termos de potência, porém, aumenta o tempo de propagação no ar e diminui a taxa de transmissão do enlace (Raza *et al.*, 2017).

Para Bor *et al.* (2016) a camada física da tecnologia LoRa modula sinais em sub-banda de rádio de faixa de frequências não licenciadas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) na ordem dos MHz (União Europeia: 868 MHz e 433 MHz, Estados Unidos da América: 915 MHz e 433 MHz). Para o Brasil, de acordo com a Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações), a faixa de frequência regulamentada para ISM é entre 902 MHz e 928 MHz. A camada física do LoRa usa correção de erros FEC (*Forward Error Correction*) que é uma técnica de modulação de espalhamento espectral proprietária, uma variante do espelhamento espectral por

chirp CSS (*Chirp Spread Spectrum*), que usa um pulso para fazer a varredura das frequências, a fim de expandir o sinal espectral (LORA ALLIANCE, 2019).

2.2.1. Parâmetros de Configuração do LoRa

O consumo de energia, a faixa de transmissão e a resistência a interferências do ruído podem ser determinados a partir de quatro parâmetros de configuração da camada física do LoRa: a frequência da portadora, a largura de banda, a taxa de código CR (*Code Rate*) e o fator de espelhamento SF, que define o espalhamento espectral (SEMTECH CORPORATION, 2015).

A frequência da portadora é definida de acordo com a região de operação dos equipamentos. Assim sendo, esse parâmetro não é, em geral, ajustável de acordo com aplicações.

A BW (*Band Width*) largura de banda, por sua vez, possui nove larguras programáveis: 7,8 KHz, 10,4 KHz, 15,6 KHz, 20,8 KHz, 31,25 KHz, 41,7 KHz, 62,5 KHz, 125 KHz e 250 KHz nas especificações gerais do LoRa. A largura de banda com maior capacidade de transmissão de dados é a de 250 KHz. Assim sendo, este trabalho considera apenas a maior largura de banda, 250 KHz.

A taxa de código (CR) é relacionada com a técnica de FEC. A CR define quantos bits são utilizados para causar redundância na mensagem, a fim de realizar a recuperação de erros. A CR define a taxa de codificação T_c (SEMTECH CORPORATION, 2015) como é mostrado na Equação 2.1.

$$T_c = \frac{4}{4+CR}, \text{ com } CR \in \{1, 2, 3, 4\}. \quad (2.1)$$

Como exemplo do uso da Equação 2.1, para um CR igual a 4 teremos um T_c equivalente a 4/8 ou uma codificação de 100%. Logo a informação será enviada de forma duplicada.

É definida uma taxa de transmissão R_b teórica, em função do fator de espelhamento como:

$$R_b = SF \left(\frac{T_c \cdot BW}{2^{SF}} \right), \text{ com } SF \in \{7, 8, 9, 10, 11, 12\}. \quad (2.2)$$

Através das equações acima é possível construir o Quadro 1, que exhibe os valores teóricos de taxa de transmissão de diferentes fatores de espelhamentos, para um CR de 0,8 e uma largura de banda de 250 KHz.

Quadro 1: Valores teóricos de taxa de transmissão em função do SF.

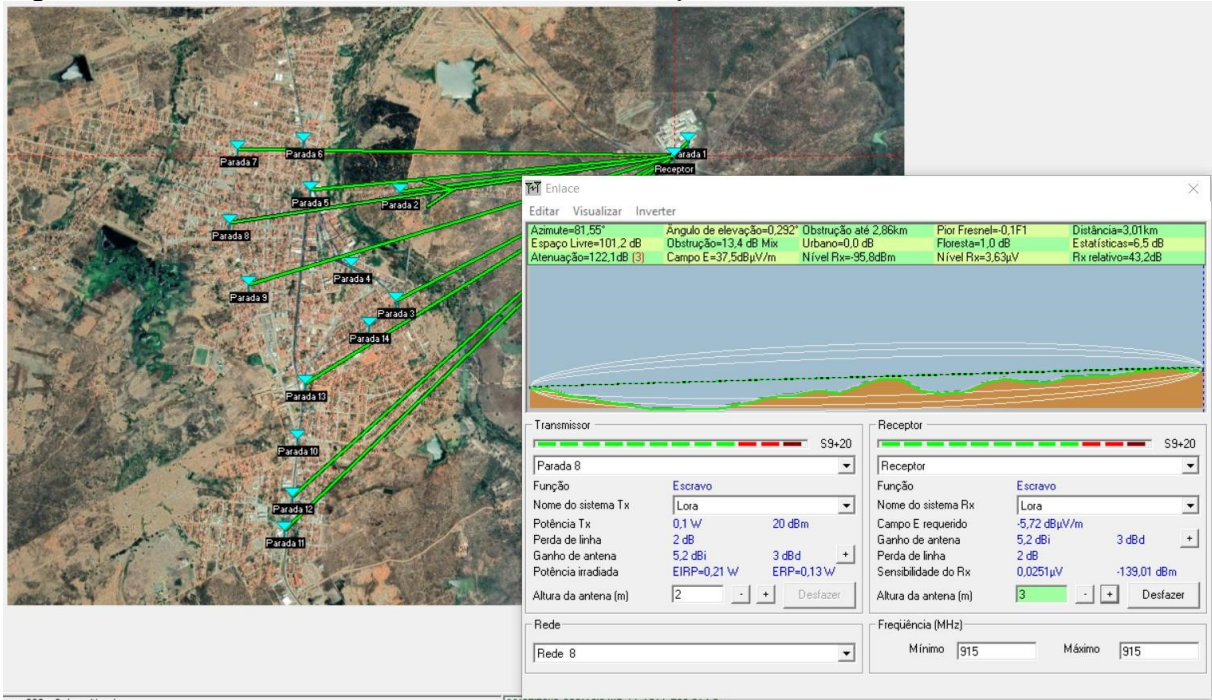
Fator de espelhamento	Taxa de transmissão teórica (bits/s)
SF7	10937
SF8	6250
SF9	3515
SF10	1953
SF11	1074
SF12	585

Fonte: Autor (2019).

2.3. *Radio Mobile*

Em telecomunicações, é comum o uso de *softwares* que possibilitam a simulação de sistemas complexos, facilitando sua organização e implementação. Para simulação de enlaces ponto-a-ponto, o *software Radio Mobile*® (RADIO MOBILE, 2019) é muito utilizado para fins acadêmicos e até mesmo profissionais, possuindo uma ampla gama de recursos e funcionalidades. Em Trandafir (2010), demonstra-se o uso do *software* para a análise de uma rede pública de internet *Wi-fi*. É importante acrescentar que o *software Radio Mobile*® leva em conta a topografia da região, incluindo alguns aspectos morfológicos, fator importante para projetos mais realistas (RIBEIRO, 2004). A Figura 3 mostra uma tela inicial do *software Radio Mobile*® com os recursos de análise de viabilidade de enlaces em redes de telecomunicações. Com o *Radio Mobile*® é possível projetar sistemas de telecomunicações e verificar o desempenho de sistemas de rádios incluindo informações sobre a topografia do terreno, tipo de relevo, condições de propagação, entre diversas funcionalidades.

Figura 3: Tela inicial do *Radio Mobile* com a demonstração da ferramenta de análise de enlace rádios.



Fonte: Software Radio Mobile® (2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo tem por finalidade apresentar os resultados obtidos com a simulação realizada bem como a montagem do sistema físico para realização dos testes práticos. Além disso, é mostrado o desenvolvimento de um *software* para análise dos testes. Por fim, apresenta-se um sistema desenvolvido para acompanhamento de rota e posição do ônibus escolar em tempo real.

3.1. Simulação feita no *Radio Mobile*

Através do setor de transportes da UFERSA foram obtidos os pontos de paradas que o ônibus faz quando realiza a rota. No Quadro 2 é possível visualizar todos os pontos de paradas bem como o termo designado a cada ponto que será colocado no *Radio Mobile*. A utilização desse termo viabiliza um nome mais simples a fim de identificação na simulação.

Quadro 2: Quadro com os pontos de parada do ônibus.

Paradas Oficiais	Termo Usado
UFERSA	Parada 1
Trevo do Alto São Geraldo	Parada 2
Atacadista Rio Grande	Parada 3
Restaurante Popular	Parada 4
Posto Segundo Melo	Parada 5
Entrada da Rua Hemetério	Parada 6
Igreja Ministério Casa	Parada 7
Mercantil Pauferrense	Parada 8
DNOCS	Parada 9
Igreja Universal	Parada 10
Posto Carioca	Parada 11
Posto Bolivel	Parada 12
Posto Planalto	Parada 13
Posto de Saúde	Parada 14

Fonte: Autor (2019).

Os pontos de paradas são nomes de lugares de referência de forma a facilitar o entendimento dos usuários. Através disso foi possível obter a localização, latitude e longitude, dos pontos afim de proceder com a simulação. Na Figura 4 visualiza-se os pontos de paradas plotado como antenas, já que esta simulação busca identificar se o sinal transmitido pelo ônibus em cada ponto chegaria ao receptor presente no Campus da UFERSA. Esta abordagem foi utilizada devido a simulação, via *Radio Mobile*, ser realizada apenas ponto a ponto. Os pontos de paradas são os mais importantes, pois em um pior caso o usuário poderia identificar, pelo menos, em qual ponto de parada o ônibus estaria. Em um melhor caso seria possível identificar qual a localização exata do ônibus.

Figura 4: Pontos de paradas do ônibus no *Radio Mobile*.



Fonte: Autor (2019).

Posteriormente, procedeu-se com a caracterização da antena, na qual foi definida no *Radio Mobile* como vertical, omnidirecional, com frequência de operação de 915 MHz, ganho de 5,15 dBi, e altura de 2 metros para o transmissor (ônibus) e 3 metros para o receptor. Esta diferença de altura entre os módulos transmissor e receptor é explicado devido o ônibus possuir uma altura de 2 metros, logo a antena do modulo transmissor ficaria acoplada em cima do ônibus. Já a altura da antena do modulo receptor, ficaria em cima do prédio de caixas d'água, que possui altura de 3 metros.

Na simulação foi configurado a comunicação sem fio LoRa, na frequência de 915 MHz, com potência de transmissão de 20 dBm e recepção de -139 dBm (INSTITUTO NEWTON C BRAGA, 2019). Devido as ligações entre os módulos e as antenas foi considerado uma perda de 2 dB nas conexões e cabos.

O Quadro 3 mostra o resultado simulado da potência do sinal recebido, sendo sempre uma comunicação simplex do transmissor para o receptor. Além disso o Quadro 3 também apresenta a distância, em linha reta, entre as antenas e o ângulo de elevação.

Quadro 3: Resultado simulado dos enlaces de comunicação.

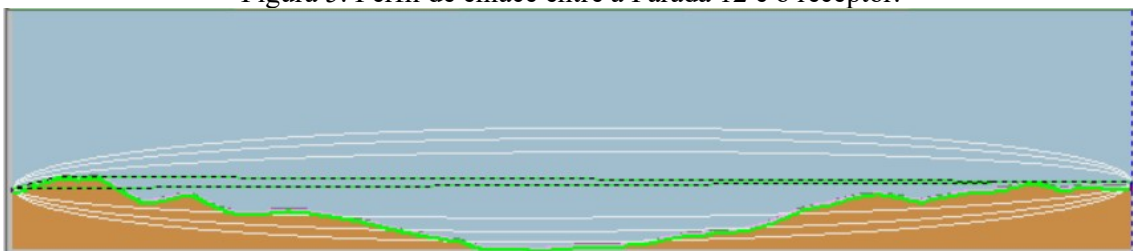
Ponto	Potência Recebida (dBm)	Distância (Km)	Ângulo de Elevação (Graus)
Parada 1	-54,5	0,14	0,031
Parada 2	-104	1,85	0,584
Parada 3	-98,1	2,1	0,639
Parada 4	-107,7	2,28	0,74
Parada 5	-110,2	2,45	0,717
Parada 6	-100,9	2,48	0,678
Parada 7	-95,5	2,92	0,241
Parada 8	-100,6	3,01	0,277
Parada 9	-100,4	2,97	0,229
Parada 10	-103	3,15	0,01
Parada 11	-103,6	3,61	0,075
Parada 12	-120,7	3,42	0,049
Parada 13	-99,8	2,9	0,166
Parada 14	-92,6	2,33	0,345

Fonte: Autor (2019).

Analisando o Quadro 3, verifica-se que a maior distância entre as antenas é de 3,61 Km, entre a Parada 11 e o receptor. Apesar deste enlace possuir a maior distância ele não apresenta a menor potência recebida, pois tal valor depende do nível do terreno em que o enlace está presente.

Nota-se também no Quadro 3 que a menor potência de sinal recebido é de -120,7 dBm, sendo entre a Parada 12 e o receptor. Esse enlace, conforme é visto na Figura 5, apresenta um obstáculo natural a 130 metros da Parada 12. Tal impedimento pode ser considerado um Gume de Faca que diminui a potência do sinal transmitido. Observa-se também, na Figura 5, que as zonas de Fresnel da parte superior não são obstruídas, isso evidencia que pode haver comunicação.

Figura 5: Perfil de enlace entre a Parada 12 e o receptor.



Fonte: Autor (2019).

Conforme é observado na Figura 5, o perfil de enlace contempla apenas formações geológicas através do perfil de terreno. Sendo que esta simulação não calcula atenuações devido a construções, logo a atenuação de área urbana é nula para esta simulação.

Desta forma, é possível concluir que a implantação de tal sistema é possível, já que a menor potência recebida, -120,7 dBm, é maior que a potência mínima de recepção (-139 dBm) do módulo LoRa.

3.2. Caracterização do Sistema

O sistema físico é composto de dois módulos: um transmissor e um receptor com acesso à *internet*. Ambos os módulos possuem um microcontrolador ESP32 ligado diretamente a um transreceptor que utiliza a tecnologia LoRa e a uma antena, conforme apresentado na seção 1.4.

Na Figura 6 encontra-se o módulo transmissor, que foi acomodado em uma caixa afim de protegê-lo. Tal sistema deve possuir uma proteção, pois o mal tempo pode danificar seriamente as partes presentes. Já a antena pode ficar na parte externa não sofrendo grandes danos pela ação do tempo.

Figura 6: Módulo Transmissor.



Fonte: Autor (2019).

Observa-se na Figura 6 o ESP32 e o rádio LoRa integrado em uma placa de circuito da cor branca, que possui um pequeno visor podendo facilitar a detecção de erros. Ligado por fios ao ESP32 encontra-se o GPS VK2828U7G5LF que fornece a posição, latitude e longitude, a cada segundo. Ligado a placa também está a antena AP3900, em que no Quadro 4 é possível visualizar suas características. Conforme será visto no Quadro abaixo, tal antena é fiel a simulação descrita na seção anterior, já que seu ganho também foi contabilizado.

Quadro 4: Características da antena AP3900.

Característica	Valor
Frequência	900 MHz
Potência	100 Watts
Impedância	50 Ohms
Ganho	5,15 dBi
Comprimento	5/8 de onda
Peso	62 gramas

Fonte: Autor (2019).

Após a montagem do módulo transmissor procedeu-se com a programação do ESP32 em linguagem C++. Tal código inicia uma repetição obtendo a latitude, longitude e número de satélites as quais o GPS está conectado. Posteriormente, as informações, latitude e longitude, são enviadas através do LoRa e em seguida as informações enviadas são exibidas no pequeno *display* presente na placa. O código escrito usou 245745 *bytes* (18%) de espaço de armazenamento para programas, sendo que o máximo é de 1310720 *bytes*. Já as variáveis globais usaram 16388 *bytes* (5%) de memória dinâmica, deixando 311292 *bytes* para variáveis locais, sendo o máximo de 327680 *bytes*.

O módulo transmissor pode ser alimentado por uma tensão de 5 *Volts* e uma corrente de 0,2 Amperes. Tal módulo foi pensado em ser acoplado ao ônibus e por meio de um adaptador, de 12 *Volts* para 5 *Volts*, já que o ônibus fornece apenas alimentação de 12 *Volts*.

Na Figura 7 encontra-se o módulo receptor, que também foi acomodado em uma caixa para proteção. Semelhante ao transmissor este módulo possui a pequena diferença de não possuir o GPS, pois tal módulo será responsável por receber a localização do transmissor. Também ligando a outra antena AP3900 sendo fiel à simulação da seção 3.1.

Figura 7: Módulo Receptor.



Fonte: Autor (2019).

Semelhante ao transmissor esse módulo foi programado usando a linguagem C++, mas com funcionalidades diferentes. Este deve ser capaz de receber as informações advindas do transmissor, latitude e longitude, e enviá-las via USB juntamente com o RSSI (potência recebida) e o SNR (relação sinal ruído). As informações também são exibidas no visor a fim de facilitar a identificação de erros. O código escrito usou 246081 bytes (18%) de espaço de armazenamento para programas, sendo que o máximo é de 1310720 bytes. Já as variáveis globais usaram 16420 bytes (5%) de memória dinâmica, deixando 311292 bytes para variáveis locais, sendo o máximo de 327680 bytes.

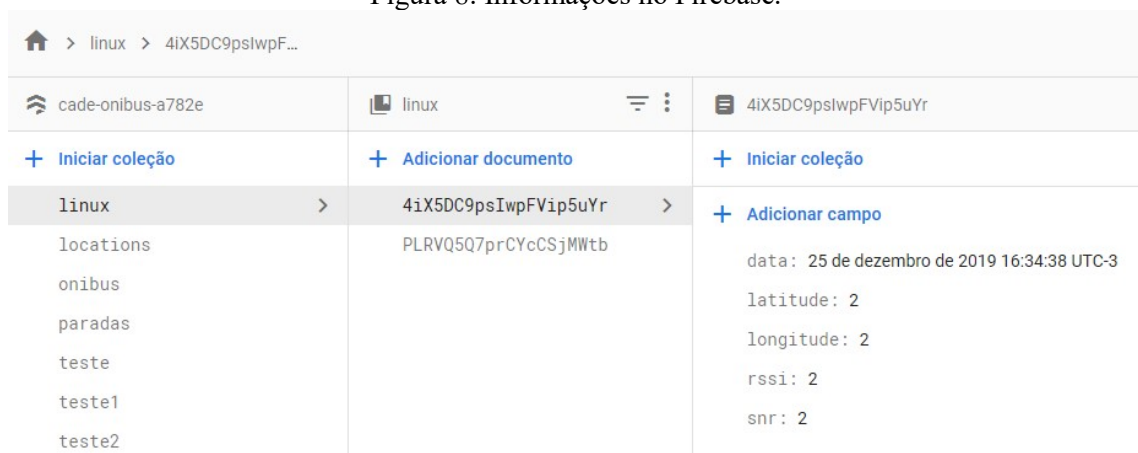
O módulo receptor é alimentado por uma porta USB do computador que receberá as informações de latitude, longitude, RSSI e SNR.

3.3. Realização e Análise de Testes

Afim de avaliar de forma prática o sistema, foi desenvolvido um *software* utilizando a linguagem JavaScript. Tal *software* é capaz de plotar um ponto, de cor azul, no mapa de cada posição recebida pelo receptor. Para isso o *software* dividiu-se em 2 etapas.

A primeira etapa consiste em adquirir os dados e salvar de forma que sejam recuperados mais tarde. Para obtenção, o *software* deve se conectar a porta serial em que o EP32 está conectado e receber as informações advindas do modulo receptor, latitude, longitude, RSSI e SNR. Posterior a cada uma dessas informações recebidas deve-se proceder com o acesso ao Firebase, banco de dados em tempo real, afim de salvar essas informações em uma coleção. A cada informação enviada ao Firebase é anexado a hora e data do envio e o próprio banco cria um ID automático para aquela informação que passará a ser chamada de documento. Na Figura 8 é possível observar como os dados são organizados no banco.

Figura 8: Informações no Firebase.



Fonte: Autor (2020).

A segunda etapa consiste em mostrar o mapa da cidade de Pau dos Ferros e plotar, em pontos azuis, a localização que foi enviada. A fim de facilitar o entendimento foi plotado também a posição de cada uma das paradas com seus nomes oficiais abreviados. Os dados serão obtidos através do Firebase. Outra funcionalidade implementada nesta etapa é que ao clicar em um ponto azul do mapa, deve-se exibir o RSSI e SNR daquele sinal.

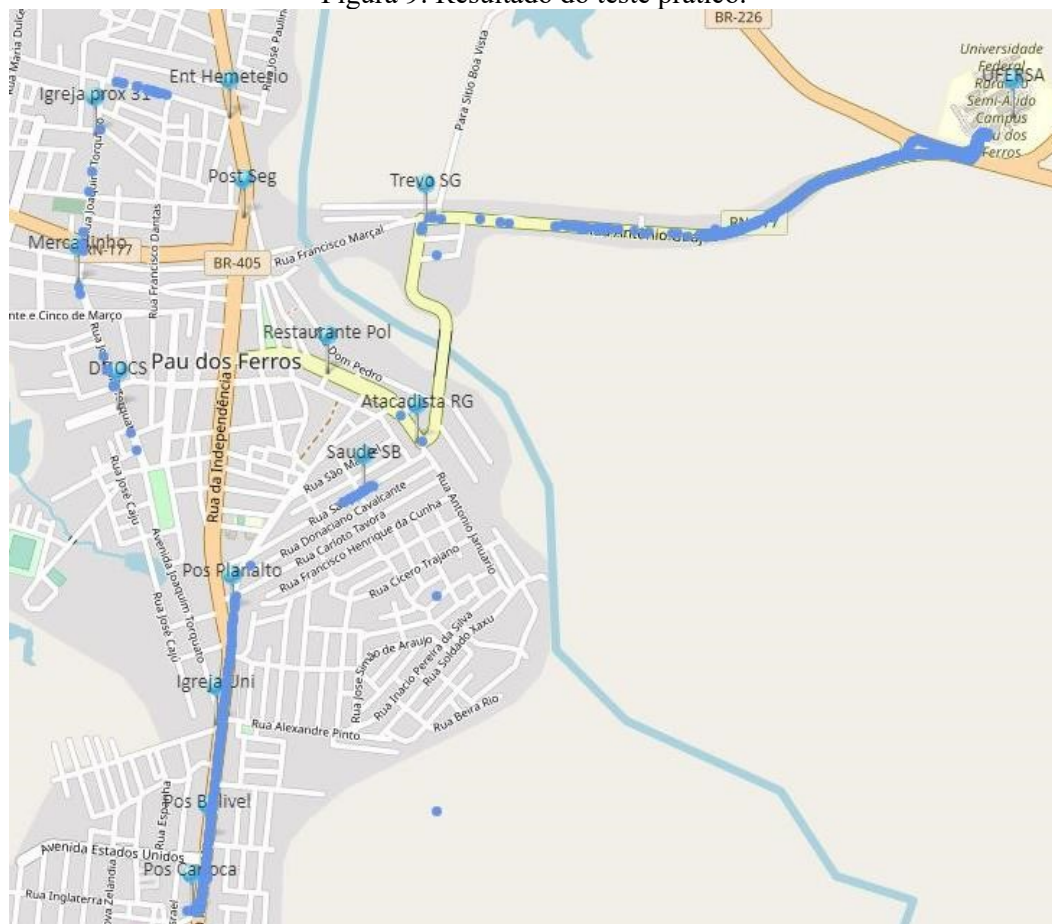
Os testes foram realizados na cidade de Pau dos Ferros – RN, no qual o receptor ficou posicionado em cima do prédio da caixa d'água da UFERSA e o transmissor posicionado em cima de um carro popular que realizará o mesmo percurso do ônibus. Existe uma pequena

diferença de altura entre o carro e o ônibus, mas tal diferença deve afetar de forma negativa na comunicação. Logo se o transmissor fosse acoplado ao ônibus os resultados seriam iguais ou melhores. O uso do carro ao invés do ônibus é justificado devido o transporte dos alunos ser feito por uma empresa terceirizada.

O módulo receptor está ligado a um computador com o acesso à internet que realizará a primeira etapa do *software* de teste. Logo, as informações recebidas já ficarão disponíveis, no banco de dados, para consultas.

O carro, no qual o módulo transmissor está acoplado, realizou a rota do ônibus por duas vezes. Com os dados já coletados e disponíveis obteve-se a Figura 9.

Figura 9: Resultado do teste prático.



Fonte: Autor (2019).

O mapa mostrado na Figura 9 foi obtido através do Open Street Maps, um serviço de código aberto que funciona sobre licença gratuita (OPENSTREETMAP, 2019).

Cada ponto azul significa uma localização recebida, bem como cada alfinete representa um ponto de parada com seu respectivo nome abreviado. Nota-se que dos 14 pontos de paradas,

houve transmissão de dados em 11. Além da localização o RSSI e a SNR também foram transmitidos, possibilitando a construção do Quadro 5, que apresenta os valores práticos obtidos através do teste bem como os valores simulados obtidos no Quadro 3.

Quadro 5: Resultados do Teste Prático

Ponto	Potência Recebida Simulada (dBm)	Potência Recebida Prática (dBm)	SNR Prática
Parada 1	-54,5	-87	10,25
Parada 2	-104	-114	-7,25
Parada 3	-98,1	-116	-10,25
Parada 4	-107,7	Sem Sinal	Sem Sinal
Parada 5	-110,2	Sem Sinal	Sem Sinal
Parada 6	-100,9	Sem Sinal	Sem Sinal
Parada 7	-95,5	-115	-9,25
Parada 8	-100,6	-115	-7,75
Parada 9	-100,4	-114	-5,75
Parada 10	-103	-115	-7,5
Parada 11	-103,6	-115	-8,25
Parada 12	-120,7	-116	-9
Parada 13	-99,8	-115	-9
Parada 14	-96,2	-114	-3,25

Fonte: Autor (2020).

Observa-se no Quadro 5 que houve diferença entre os valores de potência recebida simulada e prática. Tal diferença é de 14% em média, para os pontos onde houve comunicação. Evidenciando que não houve muita diferença, exceto pelos pontos onde não houve comunicação, entre os valores práticos e simulados. Os baixos valores de SNR mostram também que a comunicação não é muito boa. O uso de bits de paridade que já integram a tecnologia LoRa, favorece a decodificação do sinal recebido. Outro fator que beneficia esta comunicação é a necessidade de uma baixa velocidade, cerca de 300 *bits* por segundo, pois só são transmitidos os valores de latitude e longitude.

É observado, na Figura 9 como também no Quadro 5, que em 3 pontos de parada não houve comunicação, sendo estes a parada do Restaurante Popular, Posto Segundo Melo e a entrada da Rua Hemetério Fernandes. Esses pontos se localizam no centro da cidade, onde possuem muitos edifícios que uma zona de sombra. A simulação não leva em consideração a atenuação gerada por áreas urbanas logo a simulação poderia não ser fiel em ambientes urbanos com grandes edificações.

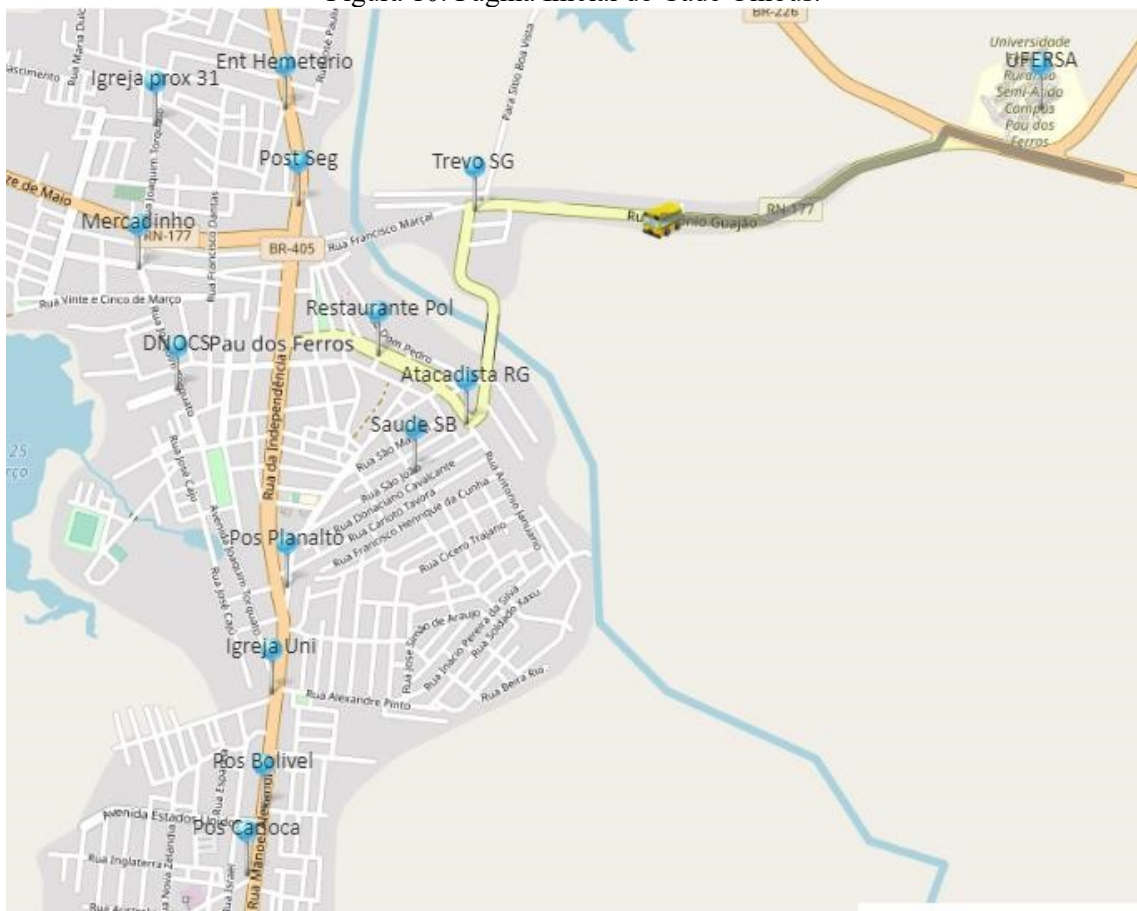
Durand e Portugal (2005) também observaram em seu trabalho que a propagação de ambientes urbanos sofre grande variação de potência do sinal recebido, isso se dá devido aos

vários bloqueios impostos pela área urbana. Mello (2012) do mesmo modo descreve que áreas urbanas atuam vigorosamente na propagação do sinal, pois o atenua fortemente em comparação a outros ambientes.

3.4.O Software Cadê Ônibus

Desenvolveu-se utilizando a linguagem JavaScript, um *software* denominado Cadê Ônibus, o qual se assemelha com o software de testes descrito na seção anterior. Este por sua vez mostra a posição do ônibus em tempo real bem como a trajetória já realizada pelo ônibus naquela rota conforme é mostrado na Figura 10.

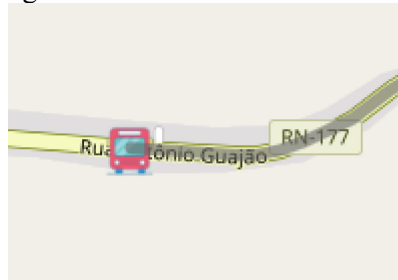
Figura 10: Pagina Inicial do Cadê Ônibus.



Fonte: Autor (2020).

Observa-se na Figura 10 que o mapa contém as paradas com seus nomes abreviados, bem como um traço preto meio transparente que indica a trajetória já percorrida pelo ônibus e por fim o ícone do ônibus amarelo que indica sua última localização conhecida. Outra funcionalidade presente no *software* que caso o motorista aperte o botão disponível, este indica que o veículo está com carga máxima não admitindo mais ingresso de alunos no ônibus. Quando o botão for acionado o ícone que representa o veículo sofrerá modificação, ficando vermelho, e será igual ao mostrado na Figura 11.

Figura 11: Ícone de Ônibus Lotado.



Fonte: Autor (2020).

A funcionalidade de ônibus lotado é de fundamental importância, já que não há avisos de quando o veículo está lotado, fazendo muitas vezes o aluno esperar no ponto de parada sem qualquer chance de embarque.

4. CONCLUSÕES

A partir do teste realizado nesse trabalho, foi possível perceber que a tecnologia LoRa é bastante promissora devido ao seu baixo custo e baixo consumo energético. Sendo ideal para sistema que possuem restrições energéticas, como sistemas a baterias.

Com relação ao teste realizado, considerando os resultados obtidos em apenas três pontos de paradas não houve comunicação. Isso se deu devido à alta densidade de construções elevadas no centro da cidade, contribuindo para formação de zonas de sombra. Apesar disso, os outros onze pontos de paradas conseguiram enviar as informações referentes a posição.

4.1. Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros, sugere-se a tentativa de instalação de receptores em áreas de difícil ou nenhuma comunicação, neste caso no centro da cidade. Assim as zonas de sombra seriam minimizadas e esta área que ficou sem transmissão passaria a transmitir de forma desejada. A elevação das antenas receptores melhoraria bastante a possibilidade de visada direta, proporcionando uma ótima comunicação e precaução de perda de dados.

Outro ponto importante seria a adição de criptografia durante a transmissão, de forma a tornar segura as informações enviadas. Sendo que somente o receptor seria capaz de decodificar tal informação, pois a tecnologia LoRa transmite em *Broadcast*, logo qualquer dispositivo LoRa dentro do alcance poderia decodificar a informação.

Funcionalidades poderiam ser agregadas ao *software*, tornando-o mais intuitivo e com alertas de regiões em que o veículo está. Camadas de segurança podem ser adicionadas a fim de permitir o acesso apenas para pessoas autorizadas, no caso os alunos e funcionários da UFERSA.

REFERÊNCIAS

- ANEFALOS, Lilian Cristina; CAIXETA FILHO, José Vicente. **Análise de utilização de sistemas de rastreamento por satélite em empresa de transporte rodoviário de cargas.** Revista de Administração, São Paulo, v. 35, n. 4, p.22-35, dez. 2000.
- BOR, Martin C.; VIDLER, John; ROEDIG, Utz. **LORA FOR THE INTERNET OF THINGS.** In: EWSN. 2016. p. 361-366.
- DURAND, Fábio Renan; PORTUGAL, Junior Cesar Dos Santos. **ESTUDO DA PROPAGAÇÃO DO SINAL EM AMBIENTES URBANOS.** 2005.
- GALON, Handrey Emanuel. **Sistema de rastreamento e controle de recursos de um veículo utilizando um smartphone android.** 2014. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.
- GARAY, Jorge R. Beingolea; KOFUJI, Sergio Takeo. **Uma Avaliação das Topologias Estrela e Malha do Padrão ZigBee: Uma Analise em Ambientes Reais.** 2010.
- INSTITUTO NEWTON C BRAGA (Brasil). **Módulo ESP32 HELTECH:** Módulo. 2019. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/microcontrolador/143-tecnologia/16326-moduloesp32-heltech-mec218>>. Acesso em: 13 jan. 2020.
- LAGES, Tiago; SANTOS, Humberto; VELEZ, Fernando J. **REDES SEM FIOS IEEE 802.11: INSTALAÇÃO, CONFIGURAÇÃO E SEGURANÇA.** In: Actas da Conferência Engenharia'2003-Inovação e Desenvolvimento. 2003. p. 5-7.
- LORA ALLIANCE. **ABOUT LORA.** 2019. Disponível em: <<https://lora-alliance.org/about-lorawan>>. Acesso em: 13 dez. 2019.
- MELLO, Bruno Ricardo Santana. **Modelo de propagação para ambiente de parque urbano.** Niterói, 2012. 82 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Fluminense. Departamento de Engenharia de Telecomunicações, 2012
- MORAES, Alexandre Fernandes. **REDES DE COMPUTADORES FUNDAMENTOS.** 6.ed.São Paulo: Érica Ltda, 2009.
- MOURA, Luis Cláudio Bernardo; HAMACHER, Sílvio. **AValiação DO IMPACTO DO SISTEMA DE RASTREAMENTO DE VEÍCULOS NA LOGÍSTICA.** Rio de Janeiro, 2004. 67pag. Dissertação de Mestrado (Opção profissional) - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- OPENSTREETMAP. **O OpenStreetMap fornece dados a centenas de sites na internet, aplicações de celular e outros dispositivos.** 2019. Disponível em: <<https://www.openstreetmap.org/about>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

ORTIZ, Fernando M. et al. **CARACTERIZAÇÃO DE UMA REDE SEM-FIO DE BAIXA POTÊNCIA E LONGO ALCANCE PARA INTERNET DAS COISAS**. In: Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos. SBC, 2018.

RADIO MOBILE WEB SITE. **Tutorial de utilização e download do software *Radio Mobile***. Disponível em: <<http://www.cplus.org/rmw/english1.html>>. Acesso em: abr. 2019.

RAZA, U., KULKARNI, P. e SOORIYABANDARA, M. (2017). **Low power wide area networks: An overview**. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(2):855–873.

RIBEIRO, J. A. J. **Propagação das ondas eletromagnéticas: princípios e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2004.

RODRIGUES, Glauco Oliveira. **REDE ADAPTATIVA WIRELESS PARA MONITORAMENTO DE ROTAS DO TRANSPORTE PÚBLICO**. 2014. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso Superior de Tecnologia em Redes de Computadores, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

SEMTECH CORPORATION. **Lora modulation basics**. Application Note AN1200. 2015.

SIQUEIRA, Luciano Goulart. **APLICAÇÃO BUS TRACKER: OFERECENDO UMA MELHOR EXPERIÊNCIA AOS USUÁRIOS DO TRANSPORTE URBANO, A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES DE RASTREAMENTO VEICULAR**. 2012. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

TRANDAFIR, B.; FRATU, O.; HALUNGA, S. **Simulation and analysis of a Wi-Fi public network using the Radio Mobile Software**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM IEEE ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS (ISETC), 9., 2010, Timisoara. Proceedings... Timisoara: [s.n.], p. 281-284.