

Definição do coeficiente de propagação de um sinal de rádio utilizando o padrão *LoRa*, um ESP32 e a antena TX915-JZ-5

Amanda Julia Vieira, Instituto Federal de Santa Catarina
Campus Itajaí
Email: amanda.jv@aluno.ifsc.edu.br

Resumo—O presente projeto realiza a extração do coeficiente de propagação de uma sinal de rádio frequência emitidos pela antena TX915-JZ-5 a partir do padrão de comunicação *LoRa* e compara com seu referencial teórico. Ainda, apresenta uma análise estatística sobre os dados recolhidos, com o intuito de sinalizar fator de propagação do sinal real com seu desvio padrão.

Palavras Chave—RSSI, Esp32, *LoRa*, TX915-JZ-5

I. INTRODUÇÃO

A internet das coisas - IoT - vem cada vez mais fazendo parte do dia a dia de todos e com a sua disseminação vem seus facilitadores, sua implementação consiste em conectar objetos à internet, automatizando funções [1]. Tecnologias que antes eram de difícil acesso hoje são incorporadas nos mais diversos eletrônicos e não é diferente com os padrões de comunicação que englobam esse mundo. Não é difícil alguém com o mínimo conhecimento na área de comunicações implantar uma automatização na sua casa seguindo tutoriais da internet com pequenos kits vendidos no mercado.

Uma dessas tecnologias é o *LoRa* que, assim como o *Wi-fi* e o *Bluetooth*, é uma forma de comunicação sem fio [2], porém é de baixo consumo e consegue atingir maiores distâncias - podendo chegar a 15 km [3]. Com essa tecnologia é possível criar redes de comunicação em que um ou mais dispositivos é visto (e programado) como gateway e recebem informações dos demais em tempo real. O presente trabalho estuda a propagação do sinal de rádio em um ambiente urbano utilizando o padrão *LoRa* em 915 MHz implementando em módulo microcontrolado baseado no SoC ESP32 e transceptor SX1276. O estudo é realizado através da comparação da potência do sinal recebido durante uma comunicação ponto a ponto e o seu referencial teórico dado pela fórmula de Friis..

Há projetos e trabalhos semelhantes desenvolvidos, como o de Cilene Renata Real (2015) [4] que realizou a coleta do RSSI em um ambiente industrial e analisou o comportamento da intensidade do sinal a partir de sua estabilidade, uma vez que ambientes industriais são mais propícios a possuírem obstáculos que prejudicam a propagação da onda de radiofrequência. Assim como Luqueta, Branquinho e Bianchini (2012)[5] que também avaliou a característica de propagação do sinal a partir do RSSI em ambientes industriais a fim de salientar a importância de planejamento do ambiente ao implantar uma rede sem fios e ambos os trabalhos utilizaram

sensores para a coleta do RSSI. Já Gustavo Antunes da Silva (2019) [3] em seu trabalho de conclusão de curso no curso de ciências da computação, utilizou também um microcontrolador ESP32 com a antena TX915-JZ-5 para avaliar o desempenho da tecnologia *LoRa* em ambientes internos para a aplicação do IoT, pois, segundo o autor, esse padrão de comunicação foi desenvolvido para comunicações de longas distâncias em ambientes externos, livres de interferências. Fernando Ortiz (2018) [6] realizou medições e analisou o padrão de comunicação com base na vazão, taxa de transmissão, taxa de perdas de pacotes, potência do sinal e relação sinal-ruído para caracterizar o padrão de comunicação *LoRa* com base na distância dos nós e no fator de espelhamento.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Padrão *LoRa*

O padrão de comunicação *LoRa* possui duas camadas, a camada física - denominada como *LoRa* - e a camada de enlace - denominada *LoRaWan* [2]. A frequência de operação desta tecnologia varia de acordo com a região do mundo no qual está sendo utilizada, podendo ser de 433 MHz, 868 MHz ou 915 MHz e há quatro parâmetros configuráveis na comunicação: a frequência da portadora, largura de banda, fator de espelhamento e taxa de codificação.

A frequência da portadora está na faixa de 860 MHz a 1020 [MHz] e pode ser programado em passos de 61 Hz [6]. Já a largura de banda por canal pode ser programada em até 3 valores: 125 [kHz], 250 [kHz] e 500 [kHz] e quanto maior, mais rápido é a transmissão do sinal, consequentemente, menos sensível a captação de dados, ou seja, pode haver perdas. Dessa forma os dados são enviados com uma taxa *chip* igual a largura de banda, então se a largura de banda for de 250 [kHz], temos uma taxa de transmissão de 250 [kcps] - pacotes por segundo. O fator de espelhamento determina o espelhamento espectral e o intervalo de transmissão do pacote de dados e tem seis valores possíveis para o padrão de comunicação *LoRa*: SF7, SF8, SF9, SF10, SF11 e SF12 e é diretamente proporcional a relação sinal-ruído. Já a taxa de codificação é utilizada para a recuperação de erros na transmissão a partir da quantidade de bits empregados na redundância da mensagem.

O sinal de rádio utilizado pelo padrão *LoRa* utiliza a modulação por espectro de propagação chirp (*CSS - Chirp Spread Spectrum*) que permite longas distâncias, baixa potência e

robustez a interferência, porém nesta última característica há a perda de vazão, ou seja, perda de mensagens na transmissão [7]. Os chirps são sinais que conseguem codificar mensagens pois suas frequências aumentam e diminuem ao decorrer do tempo (*up-chirp* e *down-chirp*) [8]. Na técnica citada os símbolos são enviados em sinais de banda estreita sobre uma banda de frequência mais ampla, porém com a mesma densidade de potência [6]. A resultante é um sinal semelhante ao sinal do ruído, entretanto, o sinal resultante é resistente à interferências internas e externas e não é facilmente detectado por fontes externas. Entretanto, a demodulação só é viável quando a potência do sinal é no máximo 20 dB mais baixa que a potência do ruído [8]

B. Método de extração do coeficiente de propagação

Um dos métodos de classificar um sinal é utilizar a fórmula de Friss para calcular a potência do sinal [W] e quando convertidos para dBm - decibel miliwatt - temos o RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) [9]. Com esse parâmetro é possível definir o quanto um sinal pode detectar e receber informações de uma antena para a outra [10], ou seja, com o RSSI é possível estipular se um sinal de propagação da onda de rádio é suficiente para compor uma rede ou um sistema de comunicações sem fios.

A Fórmula de Friss, apresentada a seguir (1), é baseada em condições ideais e apresenta a razão da potência da antena receptora sobre a antena transmissora.

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t \times G_r \frac{\lambda^2}{4\pi^2 \times R^2} \quad (1)$$

Onde:

- P_r = Potência antena receptora;
- P_t = Potência antena transmissora;
- G_t = Ganho antena transmissora;
- G_r = Ganho antena receptora;
- λ = Comprimento de onda;
- R = distância entre as antenas;

Para converter a potência encontrada pela fórmula de Friss [9] para dBm utiliza-se a seguinte equação (2)(3):

$$x = 10 \times \log(x^2) \quad (2)$$

$$x = 20 \times \log(x) \quad (3)$$

Quando plota-se um gráfico da potência do sinal pela distância é comum utilizar a distância em escala logaritmica e a potência em dBm. Porém, como já citado, para realizar tal conversão para a potência utilizamos a equação acima (2), já para converter a distância de metros para a escala logaritmica utilizamos apenas a função matemática \log na base 10. A parte não utilizada é o coeficiente da equação - $20 = 2 \times 10$, então para os resultados do presente trabalho deve-se dividir o valor da constante por 10 para encontrar o coeficiente de propagação.

O coeficiente de propagação demonstra como um sinal irá se comportar, ou seja, é utilizado para definir como uma variável irá de propagar quando o referencial teórico não é suficiente pois não engloba componentes reais. Pela Fórmula de Friss [9] é possível identificar que o valor do coeficiente de propagação é 2 quando trata-se de elementos ideais.

Quando os RSSI são colhidos, geralmente eles não apresentam uma reta e então é necessário calcular a função que mais se aproxime dos pontos para extrair o coeficiente de propagação. Em uma reta, o coeficiente angular determina a propagação da curva em relação ao eixo das abscissas (eixo x) [11] e é definido pelo coeficiente que acompanha a variável da função, identificado o coeficiente angular o coeficiente de propagação é encontrado a partir da divisão por 10. Em casos em que os pontos não estão localizados em cima da reta, calcula-se também o desvio padrão - medida que manifesta a dispersão da média. [12]. Visto isso, torna-se viável estipular como um sinal vai se comportar em determinadas condições pré-estabelecidas.

III. MÉTODOS E IMPLEMENTAÇÃO

O presente projeto utilizou a IDE do Arduino para programar os microcontroladores, esprega-se assim, a linguagem C++ com pequenas alterações compatíveis com o software. Para a adaptação do ESP32 com a plataforma foram necessários ajustes iniciais. Realizou-se alterações em códigos de exemplo da própria da biblioteca do *LoRa* [13], já que o objetivo era medir a intensidade do sinal e havia exemplos com tais funções. Para a construção do projeto foram utilizados os seguintes componentes:

- ESP32: microcontrolador da marca TTGO;
- Duas antenas: modelo TX915-JZ-5;
- IDE do Arduino;
- Dois cabos UBS Micro B;

O ESP32 é um sistema de baixo custo e baixo consumo de energia em um chip (SoC), o seu núcleo é composto por um ou dois microprocessadores Tensilica Xtensa LX6 de 32 bits e possui uma frequência de clock de até 240 MHz. Projetado para aplicações de IoT, pode ser integrado à antenas, amplificadores de potência, amplificadores de recepção de baixo ruído, módulos de gerenciamento de energia [14]. Para o presente projeto é realizado uma comunicação ponto a ponto com dois ESP32-D0WDQ6 que, entre outras especificações, possui um chip *LoRa* modelo SX1276 integrado de frequência de 868 ou 915 MHz, tensão de operação de 2,2 a 3,6 V, conexão *WiFi* de 2,4 GHz e um display de LED de 0,96" [15].

Na programação do microcontrolador, fez-se necessário definir algumas variáveis no que se diz respeito a antena de acordo com os parametros definidos pelo fabricante [15]. Um dos parametros ajustáveis é a potência do amplificador da antena, estipulada em *20dBm* - máxima potência indicada pelo fabricante - e a frequência de transmissão de dados - *915MHz*.

Para a aplicação deste trabalho um microcontrolador foi denominado como receptor e o segundo equipamento, de emissor. Um contador roda na programação do emissor e este é

enviado ao receptor que também mostra, no display do ESP32, o RSSI do sinal recebido. A potência do sinal é mostrada a partir do comando $lora_{rssi}$, já presente na biblioteca *LoRa* utilizada no código.

As medições foram feitas em área urbana sem a presença de prédios e a distância máxima apresentada é a distância pouco antes das antenas perderem a comunicação. Estipulou-se medidas pequenas: 2m, 30m, 65m e conforme o máximo de alcance da antena fosse encontrada, seria acrescido mais medidas. Para a captação dos dados, a antena emissora foi fixada e polarizada verticalmente, na mesma direção em que a antena receptora ficou enquanto as medições eram coletadas.

Para cada distância, coletou-se 10 medidas da potência do sinal e calculou-se a média destas como valor final para a utilização no tratamento dos dados. Após as medições, o próximo passo é estipular qual seria o valor do RSSI naquele ponto com base em fundamentos teóricos (utilizando as distância, a frequência e a potência da antena utilizada nas medições) e para tal, aplica-se a fórmula de Friis na configuração da equação abaixo, (4) [9]. A partir dessa teoria é possível estipular a potência do sinal no ponto e qual a perda de potência em decorrência o casamento das impedâncias. Assumimos que o ganho das antenas é unitário, pois antenas como as utilizadas no presente projeto apresentam ganhos relativamente baixos.

$$Pr = Pt \times Gt \times Gr \frac{\lambda^2}{4^2 \times \pi^2 \times R^2} \quad (4)$$

A fórmula apresentada exige que a potência da antena seja apresentada em W e não em dBm como trás o datasheet, então uma pequena conversão precisou ser realizada utilizando o software ConvertWorld [16], assim temos os valores:

- $Pt = 20[dBm] = 0,1[W]$;
- $Gr = Gt = 1[dB]$;
- $Freq = 915[MHz]$;
- $\lambda = 3,28 \times 10^{-1}[m]$;

Dessa forma, temos, para cada distância:

$$Pr = \frac{6,81 \times 10^{-5}}{R^2} \quad (5)$$

Os valores resultantes estão descritos em Watts $[W]$, visto isto é necessário alternar para $[dBm]$ pela fórmula (6), e assim, realizar a comparação entre os valores.

$$Pt[dBm] = 10 \times \log(Pt[W]) \quad (6)$$

Para encontrar o fator de propagação dos pontos medidos, é preciso estipular uma reta que demonstre, aproximadamente, a inclinação dos pontos. Utilizando o software Graph, é possível encontrar a função que mais se aproxima dos pontos e caso seja necessário, derivar a função até encontrar sua reta e assim, achar ao fator de inclinação. Porém as distâncias também precisam ser convertidas para a escala logarítmica para plotar o gráfico. Diante disso emprega-se a fórmula de conversão descrita a seguir (7):

$$d[\log] = \log(d[m]) \quad (7)$$

A reta deve possuir um formato similar a equação a seguir (8) para que o coeficiente angular [11] seja de fácil identificação, dividi-lo por 10 e assim tem-se o coeficiente de propagação.

$$r = ax + b \quad (8)$$

Sendo:

- a = coeficiente angular;
- b = ponto em que a reta toca eixo X ;
- x = variável;

A último passo, a análise estatística, conta com dois processos, primeiramente calculasse a diferença entre cada ponto medido e os valores encontrados a partir do referencial teórico a fim de encontrar a média destes valores. Por fim, determina-se, com base na equação da reta encontrada pelos valores medidos, qual seria a potência do sinal naquele ponto, diminuindo do valor medido para encontrar o desvio padrão e a variância dos pontos em relação ao fator de propagação encontrado. Para calcular a média (\bar{x}), variância (s^2) e desvio padrão (s) utilizamos, respectivamente, as seguintes equações [17]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x}{n} \quad (9)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (10)$$

$$s = \sqrt{s^2} \quad (11)$$

IV. RESULTADOS

Nas medições, a maior distância alcançada pelo micro-controlador com o padrão *LoRa* foi de 190 metros. Diante disto, foi acrescido mais um ponto de medição em 130 metros, assim, temos os seguintes espaços entre as antenas que resultaram nas medições: 0,7, 2, 30, 65, 130 e 190 metros. Possuindo as distâncias definidas, apresenta-se a conversão para a escala logarítmica, mostradas a seguir:

- $0,7m = -0,15[\log]$;
- $2m = 0,3[\log]$;
- $30m = 1,47[\log]$;
- $65m = 1,81[\log]$;
- $130m = 2,11[\log]$;
- $190m = 2,27[\log]$;

Na Tabela 1 exibe os valores registrados de RSSI para cada distância. São dez valores anotados para espaçamento, a primeira linha são as distâncias em metros e os valores apresentados abaixo, as intensidades dos sinais recebidos em dBm .

Como há várias medições, utilizamos a média de cada distância, apresentadas na Tabela 2.

Utiliza-se estes dados e as distâncias é para plotar o gráfico com o software *Graph*. O logaritmo da distância é

Tabela I
VALORES DE RSSI MEDIDOS PARA CADA DISTÂNCIA

0,7m	2m	30m	65m	130m	190m
-63	-87	-104	-113	-120	-120
-64	-81	-105	-111	-121	-119
-64	-79	-103	-113	-120	-122
-64	-83	-103	-109	-121	-120
-64	-74	-104	-109	-120	-120
-64	-79	-105	-110	-121	-121
-64	-76	-103	-109	-121	-121
-63	-84	-102	-109	-120	-122
-64	-77	-103	-110	-121	-122
-64	-82	-102	-109	-119	-121

Tabela II
DISTÂNCIA VS MÉDIA - RSSI MEDIDO

Distância [log]	RSSI [dBm]
-0,15	-63,8
0,3	-80,2
1,47	-103,4
1,81	-110,2
2,11	-120,4
2,27	-120,8

apresentada no eixo das abscissas e a o RSSI no eixo das ordenadas. No próprio programa é possível inserir uma linha de tendência dos pontos, a Figura 1 mostra esta linha com os pontos plotados.

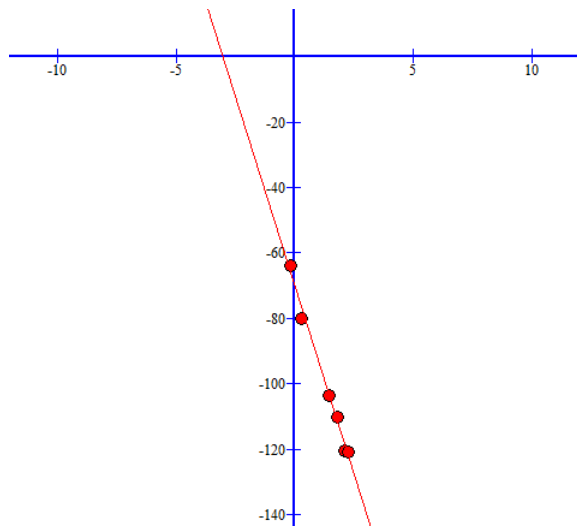


Figura 1. Distância em escala logarítmica (eixo x) e RSSI medido (eixo y)

A equação da reta - dada pelo software - está a seguir:

$$Pr[\text{dBm}] = -23.0073937x - 69.85204254 \quad (12)$$

Então, temos o coeficiente angular de $-23,007$, porém como já citado, ao dividi-lo por 10 encontra-se o fator de propagação e este é sempre positivo. Dessa forma, temos que o coeficiente de propagação do RSSI é de 2,3.

Em seguida, para efeitos de comparação, calculou-se o RSSI com base no referencial teórico e fez-se a conversão para dBm, dessa forma convertemos apenas o valor final do RSSI para seu equivalente em dBm. A fórmula de Friss [9] apresenta

uma variação no qual a intensidade do sinal é calculada já em dBm, mas para tal equação precisa-se converter, inicialmente, mais valores.

- $0,7\text{m} = +1,39 \times 10^{-4}[\text{W}] = -38,6[\text{dBm}]$;
- $2\text{m} = +1,7 \times 10^{-5}[\text{W}] = -47,7[\text{dBm}]$;
- $30\text{m} = +7,57 \times 10^{-8}[\text{W}] = -71,2[\text{dBm}]$;
- $65\text{m} = +1,61 \times 10^{-8}[\text{W}] = -77,9[\text{dBm}]$;
- $130\text{m} = +4,03 \times 10^{-9}[\text{W}] = -83,9[\text{dBm}]$;
- $190\text{m} = +1,89 \times 10^{-9}[\text{W}] = -87,2[\text{dBm}]$;

Tabelando os resultados, procedeu-se como nos valores medidos, resultando na Tabela III e na Figura 2.

Tabela III
DISTÂNCIA VS RSSI - RSSI CALCULADO

Distância [m]	Diferença [dBm]
0,7	-38,6
2	-47,7
30	-71,2
65	-77,9
130	-83,9
190	-87,2

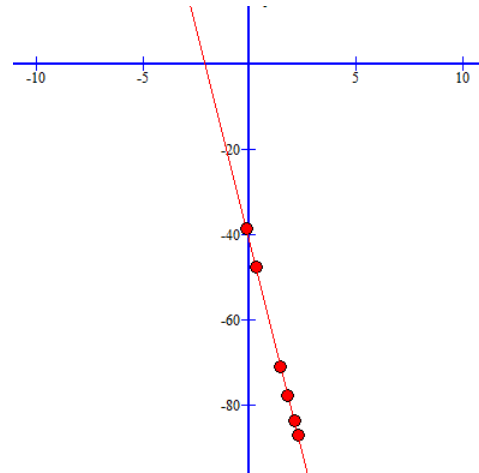


Figura 2. Distância em escala logarítmica (eixo x) e RSSI calculado (eixo y)

É possível notar que a equação de Friss é inversamente proporcional à distância elevada ao quadrado, por esse fato, o resultado é uma reta que pode ser descrita pela seguinte função abaixo, que apresenta um coeficiente de propagação igual a 2, como demonstra o referencial teórico.

$$Pr[\text{dBm}] = -20.05188618 * x - 41.64912816 \quad (13)$$

A tabela a seguir (Tabela IV) mostra a diferença entre os valores da potência do sinal medido e a média desses valores pode ser interpretada como a perda de potência causada pelo casamento de impedâncias.

Utilizando a soma dos valores encontrados divididos pelo número de valores temos a média aritmética, que neste caso

Tabela IV
DISTÂNCIA VS RSSI - DIFERENÇAS ENTRE OS PONTOS MEDIDOS E CALCULADOS

Distância [log]	RSSI [dBm]
-0,15	25,2
0,3	32,2
1,47	32,2
1,81	32,3
2,11	36,5
2,27	33,6

é 32dBm, ou seja, há uma perda resultante da junção das características do circuito de radiofrequência do transmissor, do cabo da antena e impedância da antena.

A próxima análise estatística é utilizar a reta encontrada na equação $Pr[\text{dBm}] = -23.0073937x - 69.85204254$ para calcular os valores nos pontos exatos, encontrando assim:

Tabela V
DISTÂNCIA VS RSSI - VALOR NO PONTO

Distância [log]	$Pr = -23.0073937d - 69.85204254[\text{dBm}]$
-0,15	-66,40
0,3	-76,75
1,47	-103,67
1,81	-111,49
2,11	-118,39
2,27	-122,08

Com esses valores, utiliza-se a diferença do RSSI (Tabela VI) encontrado pela equação acima e calcular a variância e o desvio padrão referentes ao índice de propagação encontrado, a diferença de ponto a ponto é dado a seguir:

Tabela VI
DISTÂNCIA VS RSSI - DIFERENÇAS ENTRE O PONTO MEDIDO E O CALCULADO PELA RETA

Distância [log]	IDiferença [dBm]
-0,15	2,60
0,3	3,44
1,47	0,27
1,81	1,29
2,11	2,00
2,27	1,27

Empregando as equações 8, 9 e 10 para calcular, respectivamente, a média, variância e desvio padrão, temos:

- Média= 1,81;
- Variância= 1,25;
- Desvio padrão= 1,12;

V. CONCLUSÕES

As teorias são base para muitos estudos e testes, porém na maioria das vezes, a teoria considera componentes ideais, não levando em conta perdas e descasamentos. O presente trabalho apresentou um o coeficiente de propagação da potência do sinal emitido pelo padrão de comunicação *LoRa* a partir de medições, ou seja, tem-se um coeficiente mais real sobre a

propagação do RSSI pela distância quando utilizado a antena TX915-JZ-5, sendo ele de 2, 3 com um desvio padrão de 1, 12. Vale ressaltar que o valor aqui citado para a propagação do sinal em um meio foi definido em um ambiente urbano sem a presença de prédios ou grandes edificações e que ambientes com características diferentes afetam a potência do sinal.

A maior distância alcança por esta antena foi de 190 metros em área urbana, porém as bibliografias mostram que o padrão *LoRa* pode ir muito além disso, basta que outra antena seja incorporada ao projeto.

Tem-se também a diferença das medições em relação ao referencial teórico - equação de Friis [9], que apresentam uma média de 32dB de variação. Isto é consequência do casamento de impedâncias dos circuitos, em outras palavras, é as características que o microcontrolador, a antena e o chip de comunicação apresentam quando estão juntos. Não podemos afirmar que a melhor frequência para o estudo aqui apresentado - 915MHz - é a mais eficiente e ainda, tem-se a perda de potência da própria antena - medição não realizada no presente projeto - que também auxiliam nessa diferença da teoria.

REFERÊNCIAS

- [1] D. Evans, "A internet das coisas como a próxima evolução da internet está mudando tudo," Cisco, 2011.
- [2] M. Bor, J. Vidler, and U. Roedig, "Lora for the internet of things," *Proceedings of the 2016 International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks*, vol. 16, 2016.
- [3] G. A. d. Silva, "Análise da tecnologia de conectividade de longa distância lora para internet das coisas," *Universidade Federal Fronteira do Sul*, 2019.
- [4] C. R. Real, "Medida e análise de comportamento da rssi de uma rede de sensor sem fio em ambiente industrial," *Pontifícia Universidade Católica de Campinas*, 2015.
- [5] G. R. Luqueta, O. C. Branquinho, and D. Bianchini, "Caracterização da propagação de redes de sensores sem fio em ambientes industriais utilizando a rssi como parâmetro de avaliação," *MOMAG*, 2012.
- [6] F. M. Ortiz, "Análise de desempenho de uma rede sem fio de baixa potência e longo alcance para a internet das coisas," *COPPE UFRJ*, 2018.
- [7] F. E. Soares e Silva, "Lorawan para comunicações de redes elétricas inteligentes em áreas suburbanas e rurais," *UFMS*, 2019.
- [8] P. H. M. Pereira, "Desenvolvimento de dispositivos de sensoramento para cidades inteligentes usando o padrão lorawan," *UFRGS*, 2019.
- [9] F. T. Ulaby, *Eletromagnetics for engineers*. Pearson, 2005.
- [10] Speedcheck. (2020) Rssi. [Online]. Available: <https://www.speedcheck.org/pt/wiki/rssi/>
- [11] K. Academy. (2020) Valor dado pela tangente do ângulo de inclinação. [Online]. Available: <https://pt.khanacademy.org/math/algebra/two-variable-equations/slope/a/slope-review>
- [12] E. t. Haar and V. Bindilati, "Uso de escalas logarítmicas e linearização."

- [13] P. Bertoleti. Comunicação lora ponto-a-ponto com módulos esp32 lora url = <https://www.filipeflop.com/blog/comunicacao-lora-ponto-a-ponto-com-modulos-esp32-lora/> year = 2019.
- [14] esp32. (2020) Rssi. [Online]. Available: <http://esp32.net/>
- [15] U. Info. Esp32 lora ttgo sx1276 868/915mhz de longo alcance com display oled e bluetooth.
- [16] ConvertWorld. dbm (dbm), potência.
- [17] Silvia and Shimakura. (2020) Média, variância e desvio padrão. [Online]. Available: <http://www.leg.ufpr.br/silvia/CE003/node16.html>