

# Análise da tecnologia LoRa 915MHz para a UFJF

Rafael S. Macêdo

Universidade Federal de Juiz de Fora

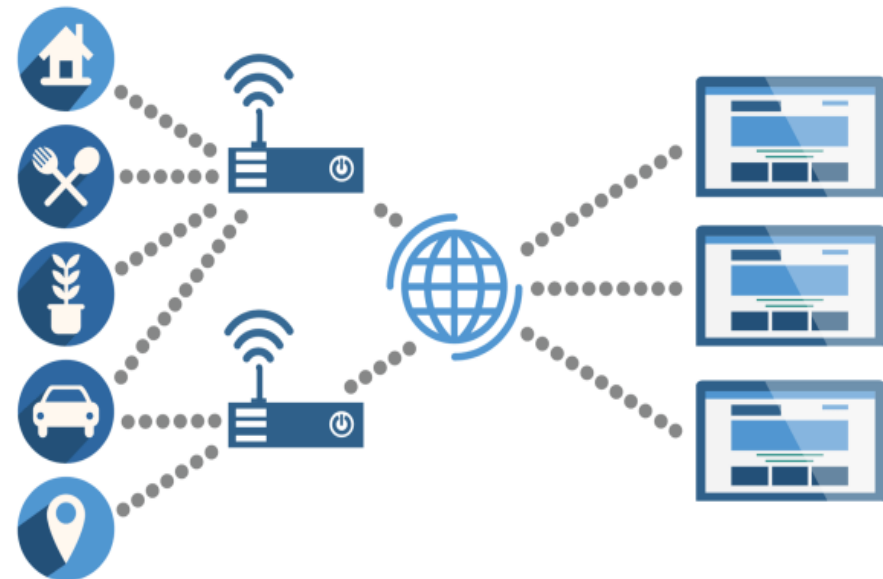


- Tecnologia LoRa
- Planejamento do trabalho
- Sistema de medição
- Caracterização de perda de percurso
- Análises com largura de banda
- Análises de cobertura
- Referências

- Tecnologia LoRa
- Planejamento do trabalho
- Sistema de medição
- Caracterização de perda de percurso
- Análises com largura de banda
- Análises de cobertura
- Referências

# Tecnologia LoRa - O que é LoRa

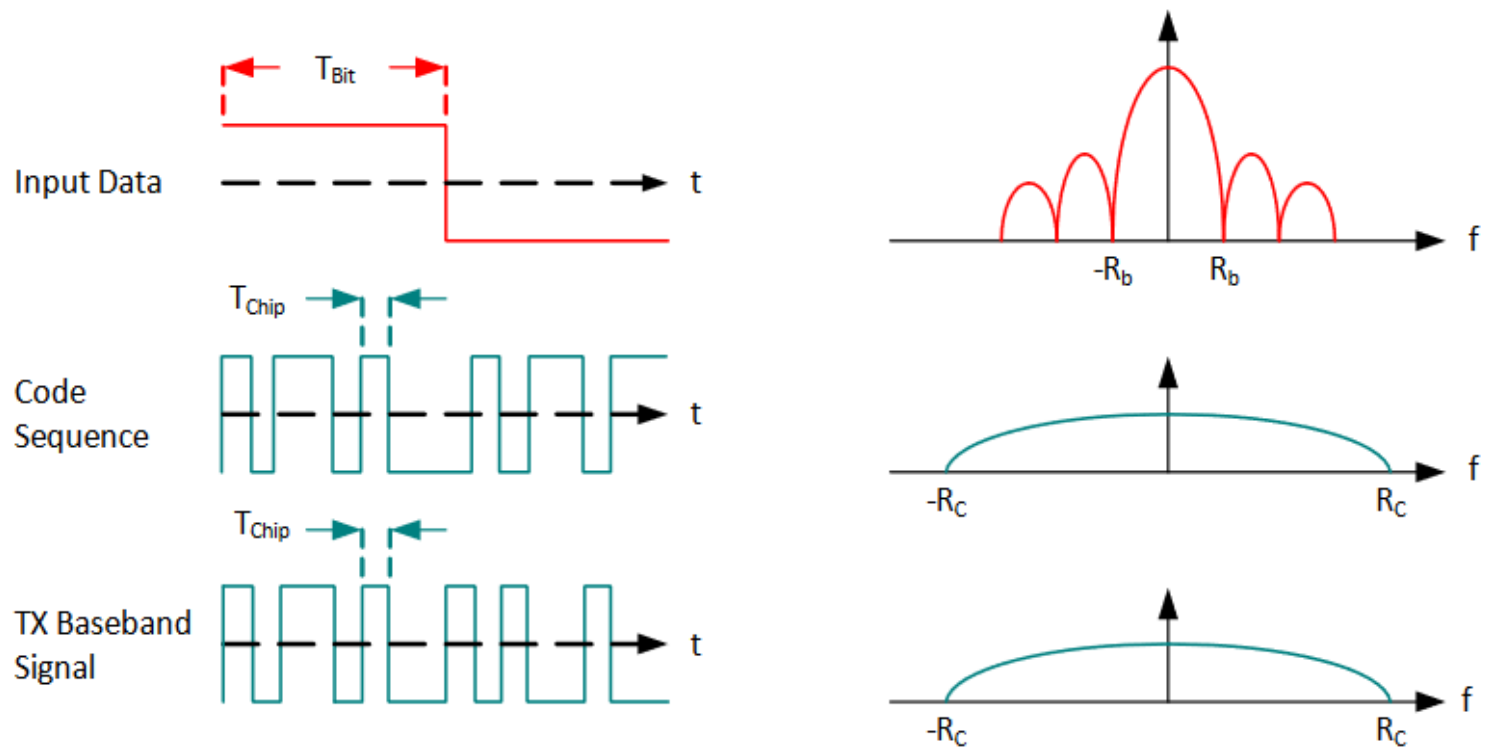
- Tecnologia LoRa
  - Tecnologia de camada física
  - Resistência à interferência
  - Longo alcance
  - Baixo consumo
  - Modulação derivada da **Chirp Spread Spectrum (CSS)**
- LoRaWAN
  - Rede IoT
  - Utiliza a tecnologia LoRa



# Tecnologia LoRa – Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

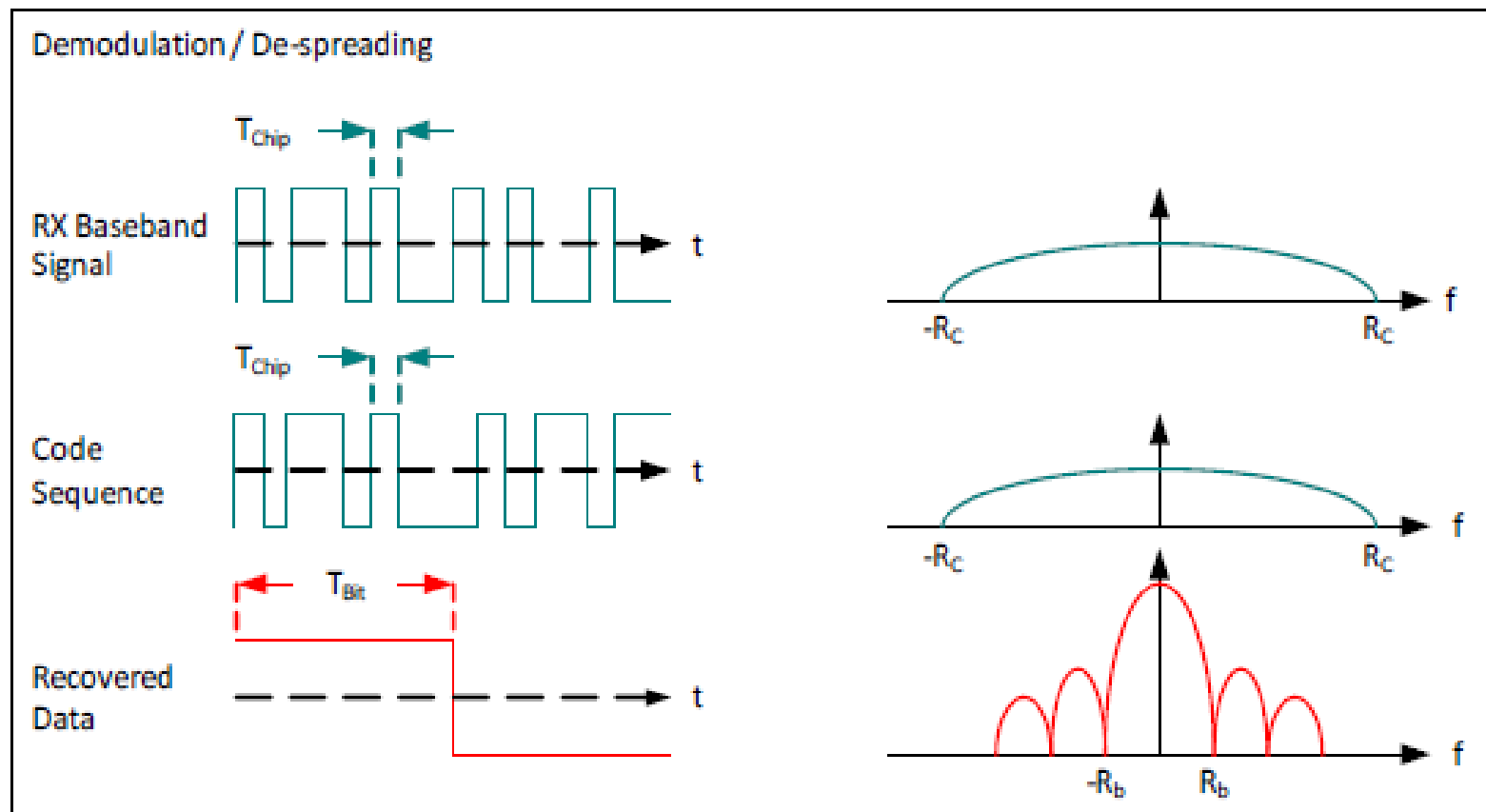
- modulação
  - Aumenta o espectro do sinal
  - Usa sinal de chip com frequência fixa

Modulation / Spreading



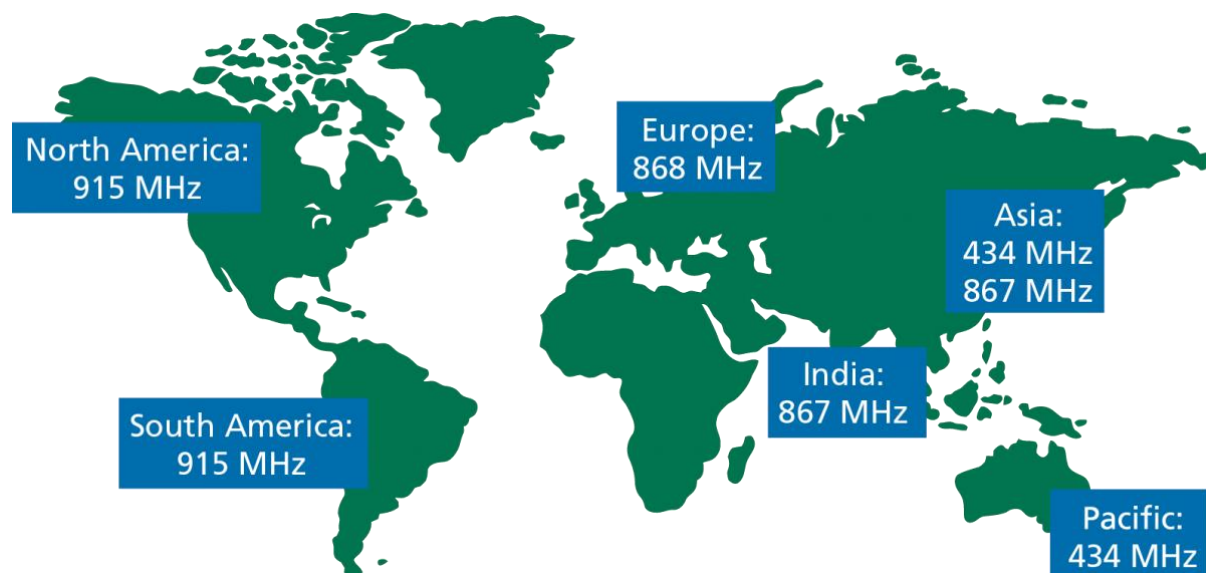
# Tecnologia LoRa – Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

- demodulação
  - Usa o mesmo sinal de chip

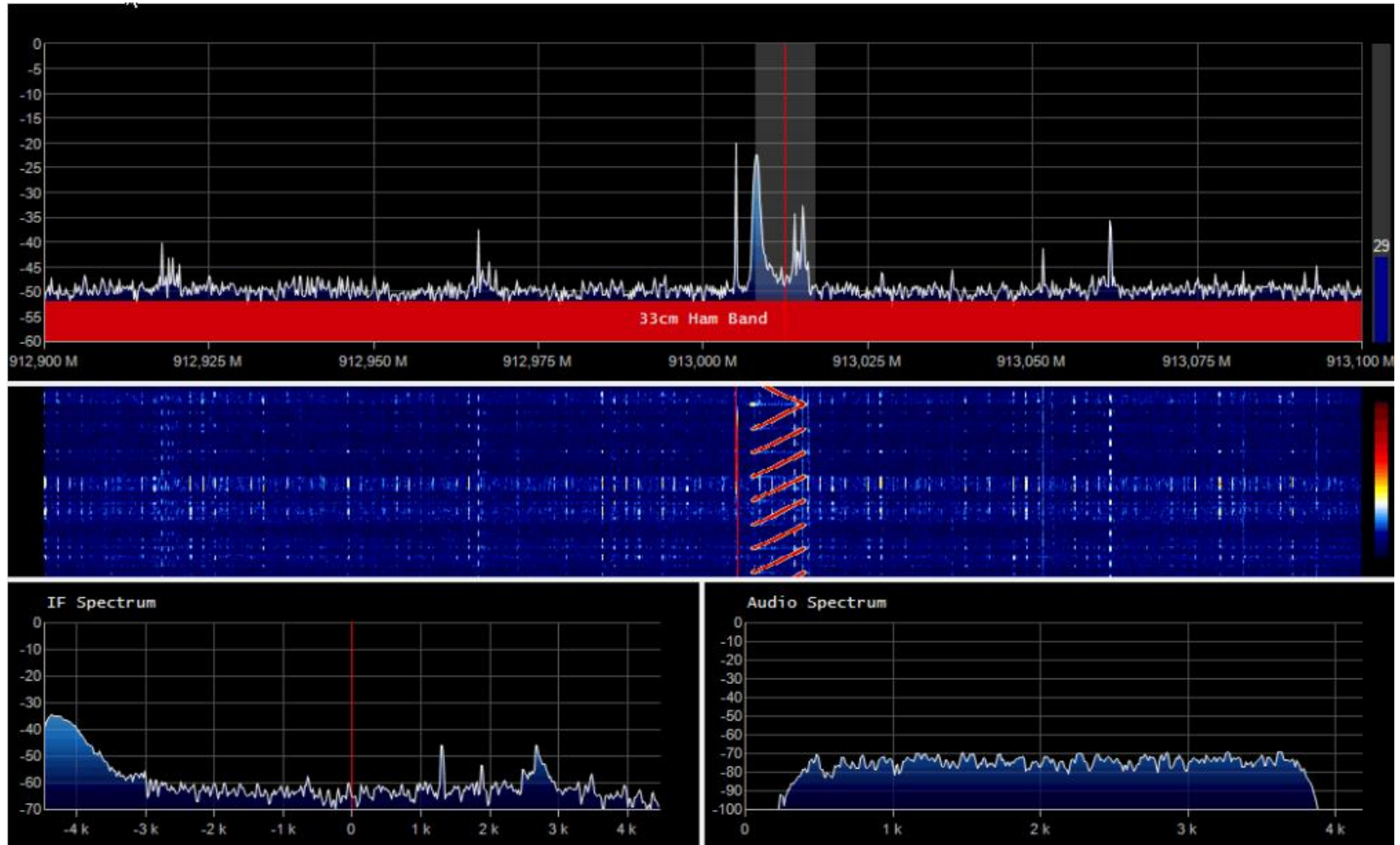


# Tecnologia LoRa - Características

- Chip variável com a frequência
  - Fator de espalhamento (FS)
    - Velocidade da variação na frequência
- Largura de banda de 7,1kHz até 500 kHz
- Received Signal Strength Indicator (RSSI)
- Utiliza frequências da banda ISM



# Tecnologia LoRa - Características





# Tecnologia LoRa - Legislação

- Plano de frequência AU-915-928<sup>1</sup>
  - Regulariza uplink e downlink
- Legislações da ABNT
  - resolução nº 680, de 27 de junho de 2017 <sup>2</sup>
    - Regulariza a banda para equipamento de radiação restrita
  - ato nº 14448, de 04 de dezembro de 2017<sup>3</sup>
    - Como aplicar a tecnologia

---

<sup>1</sup> The Tings Network “Frequency Plans” <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/frequency-plans.html>

<sup>2</sup> Agencia nacional de Telecomunicações (Anatel) “Resolução nº 680, de 27 de junho de 2017” <https://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2017/936-resolucao-680>

<sup>3</sup> Agencia nacional de Telecomunicações (Anatel) “Ato nº 14448, de 04 de dezembro de 2017” <https://www.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-requisitos-tecnicos-de-certificacao/2017/1139-ato-14448#item10.3.1>

# Sumário

- Tecnologia LoRa
- Planejamento do trabalho
- Sistema de medição
- Caracterização de perda de percurso
- Análises com largura de banda
- Análises de cobertura
- Referências

# Planejamento do trabalho – Diagrama de Gantt

Atividades	datas finais das atividades												
	Agosto			Setembro				Outubro				Novembro	
	17/ago	24/ago	31/ago	07/set	14/set	21/set	28/set	05/out	12/out	19/out	26/out	02/nov	04/nov
análise da tecnologia													
compra de equipamentos													
Realizar um estudo sobre os pontos importantes da tecnologia													
Implementar um dispositivo de repção e transmissão LoRa.													
Fazer uma calibração do equipamento e avaliar seu desempenho													
Realizar uma caracterização do desempenho das antenas e aparelhos de medição													
Realizar um planejamento de medição com rotas e metodologia													
Realizar medições de sinal no ambiente.													
Avaliar os dados recebidos e traçar um mapa com os resultados													
Avaliar possíveis alterações nas configurações do dispositivo para realização de novos testes													
Apresentar os resultados													
Relatorio inicial													
relatório parte 2													
relatorio parte 3													
relatorio final													
entrega do trabalho													

# Sumário

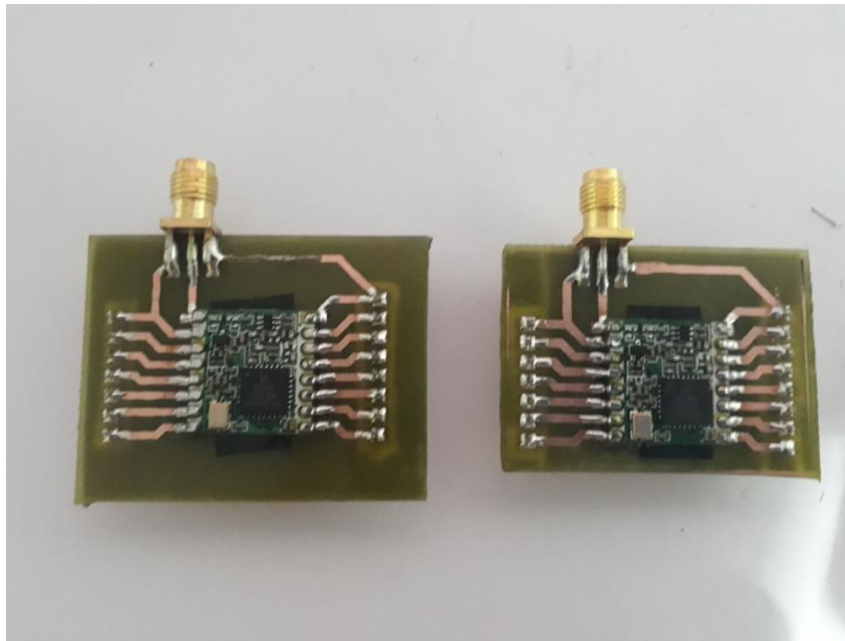
- Tecnologia LoRa
- Planejamento do trabalho
- Sistema de medição
- Caracterização de perda de percurso
- Análises com largura de banda
- Análises de cobertura
- Referências

# Sistema de medição

- Ponto alvo
  - Fácil de se programar
  - Modular e adaptável
  - Mobilidade
  - Possibilidade de alterar as antenas
  - Realizar aquisição de dados
  - Disponibilizar um feedback
- Três etapas
  - Módulo LoRa
  - Equipamento de medição
  - Antenas

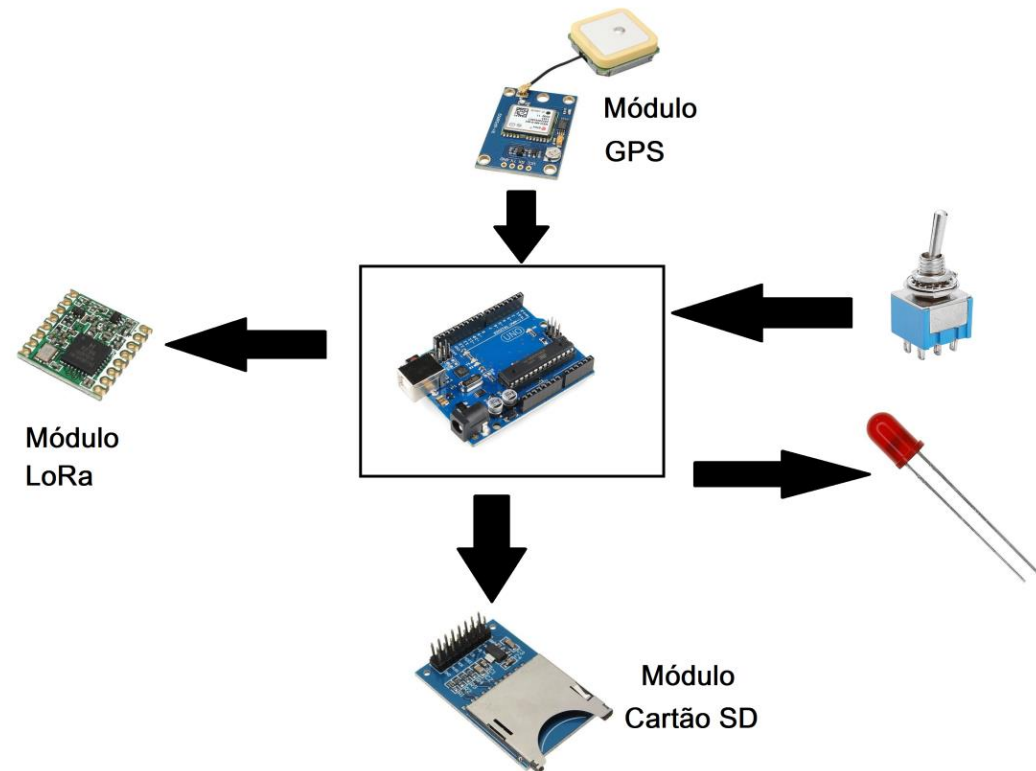
# Sistema de medição – Modulo LoRa

- RFM95W
  - 915MHz
  - Potencia máxima de 20dBm
  - Comunicação SPI



# Sistema de medição – Equipamento de medição

- Função
  - Enviar um pacote
  - Capturar a posição
  - Salvar a posição e o número do pacote
  - Interação com o usuário



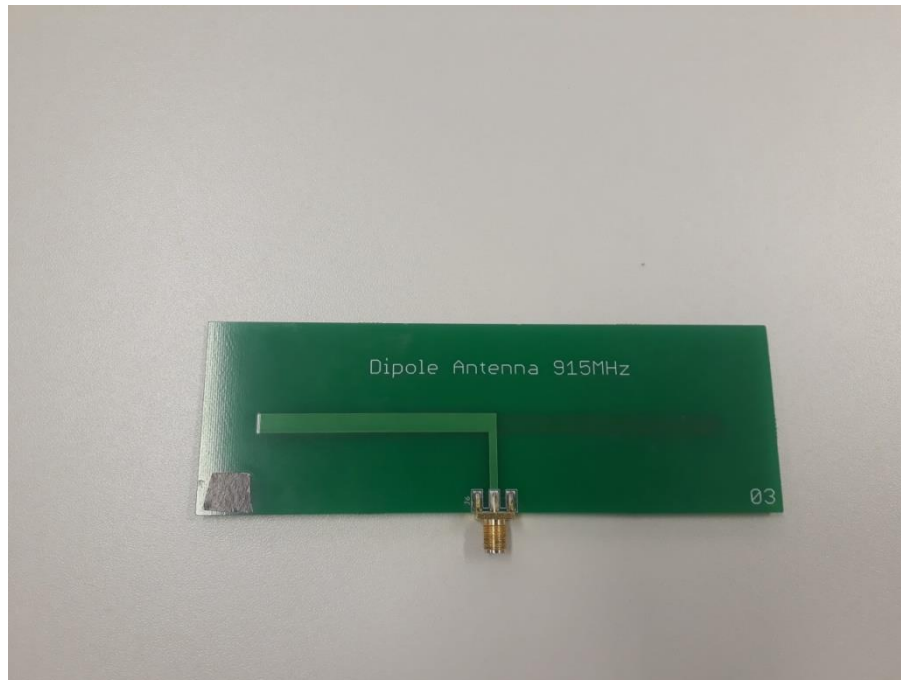
# Sistema de medição – Antenas

- Confeccionadas para o trabalho
  - Antenas compradas não estavam casadas
- Dois projetos
  - Antena dipolo
    - Para o transmissor
  - Antena colinear
    - Para o receptor



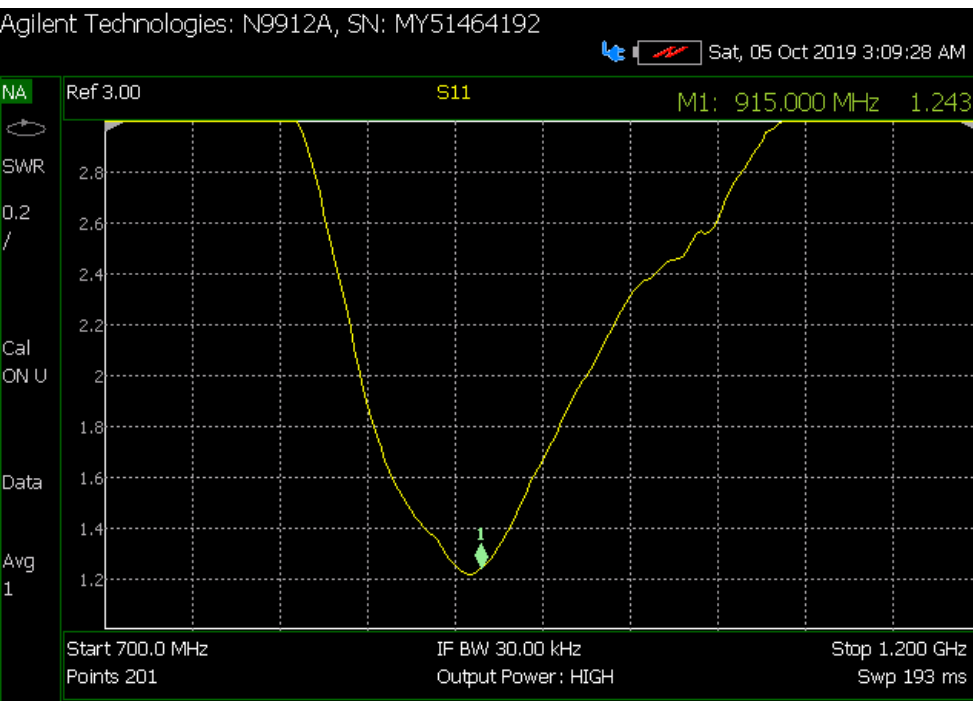
# Sistema de medição – Antena dipolo

- Projeto a partir das medidas de uma antena pronta
  - Omnidirecional
  - Casada em 915MHz



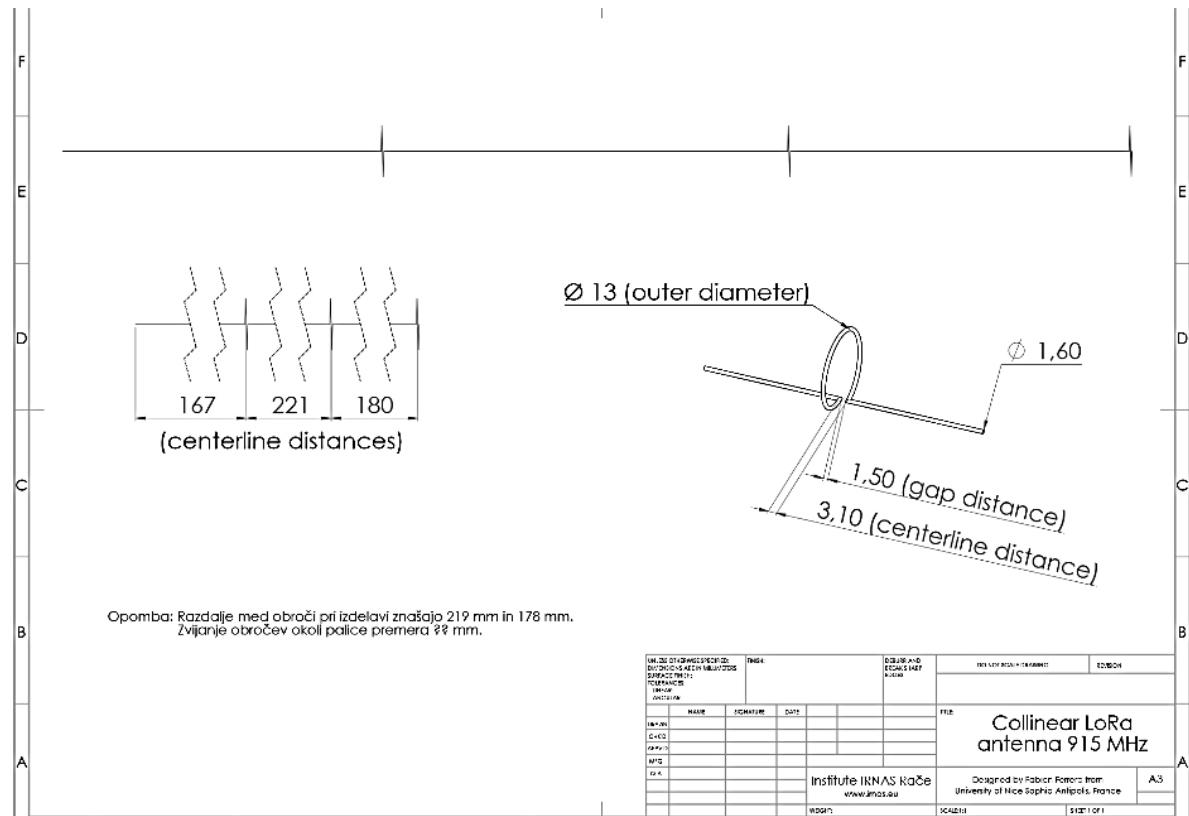
# Sistema de medição – Antena dipolo

- Medido o VSWR com FildFox
  - Casada em 915MHz
  - VSWR de 1.243



# Sistema de medição – Antena colinear

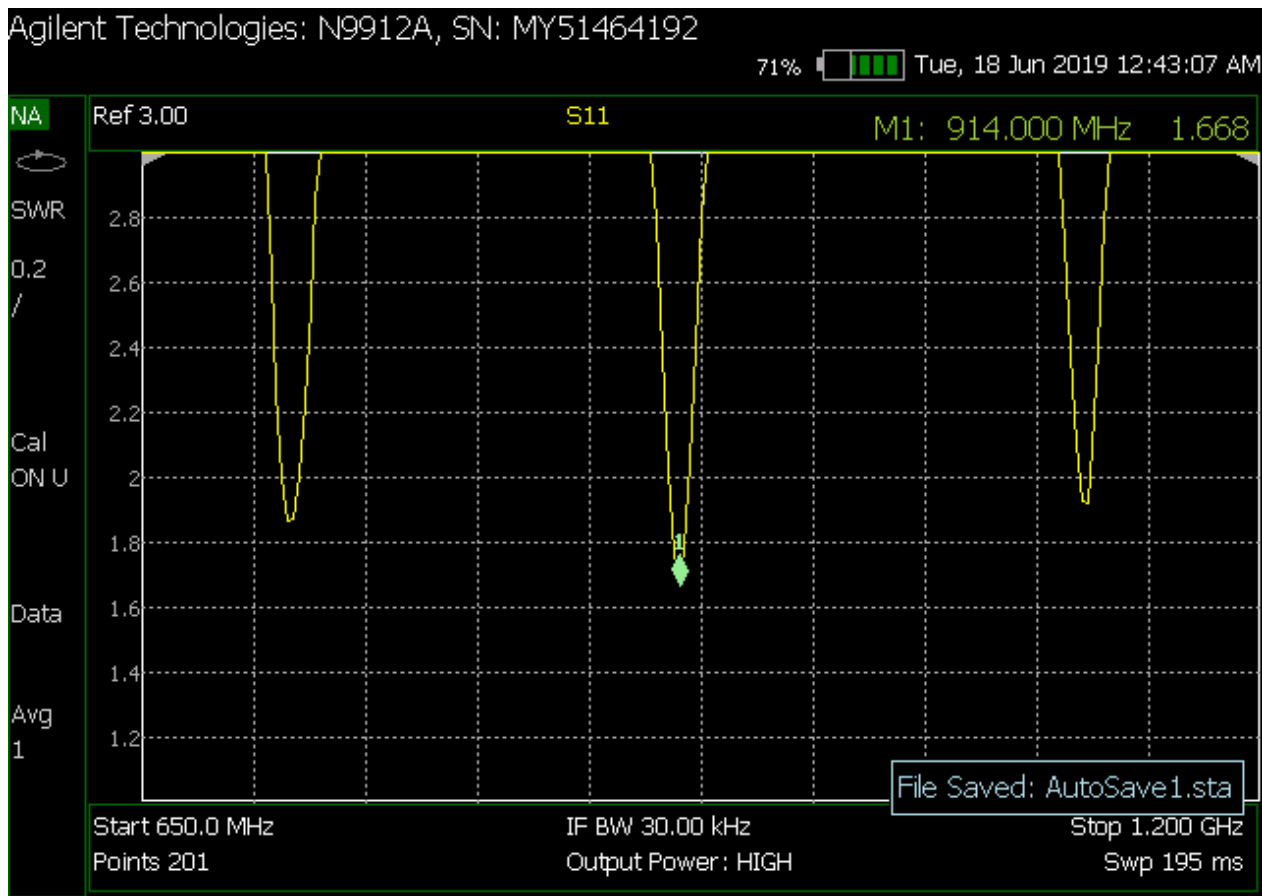
- Confeccionada a partir de um projeto<sup>4</sup>
  - Ressonante em 915MHz



<sup>4</sup>Github “Build and configure your own LoraWAN Gateway from The Things Conference On Tour in Maribor!” <https://github.com/IRNAS/ttn-irnas-gw>

# Sistema de medição – Antena dipolo

- Medido o VSWR com FildFox
  - Casada em 914MHz e mais dois pontos
  - VSWR de 1.668

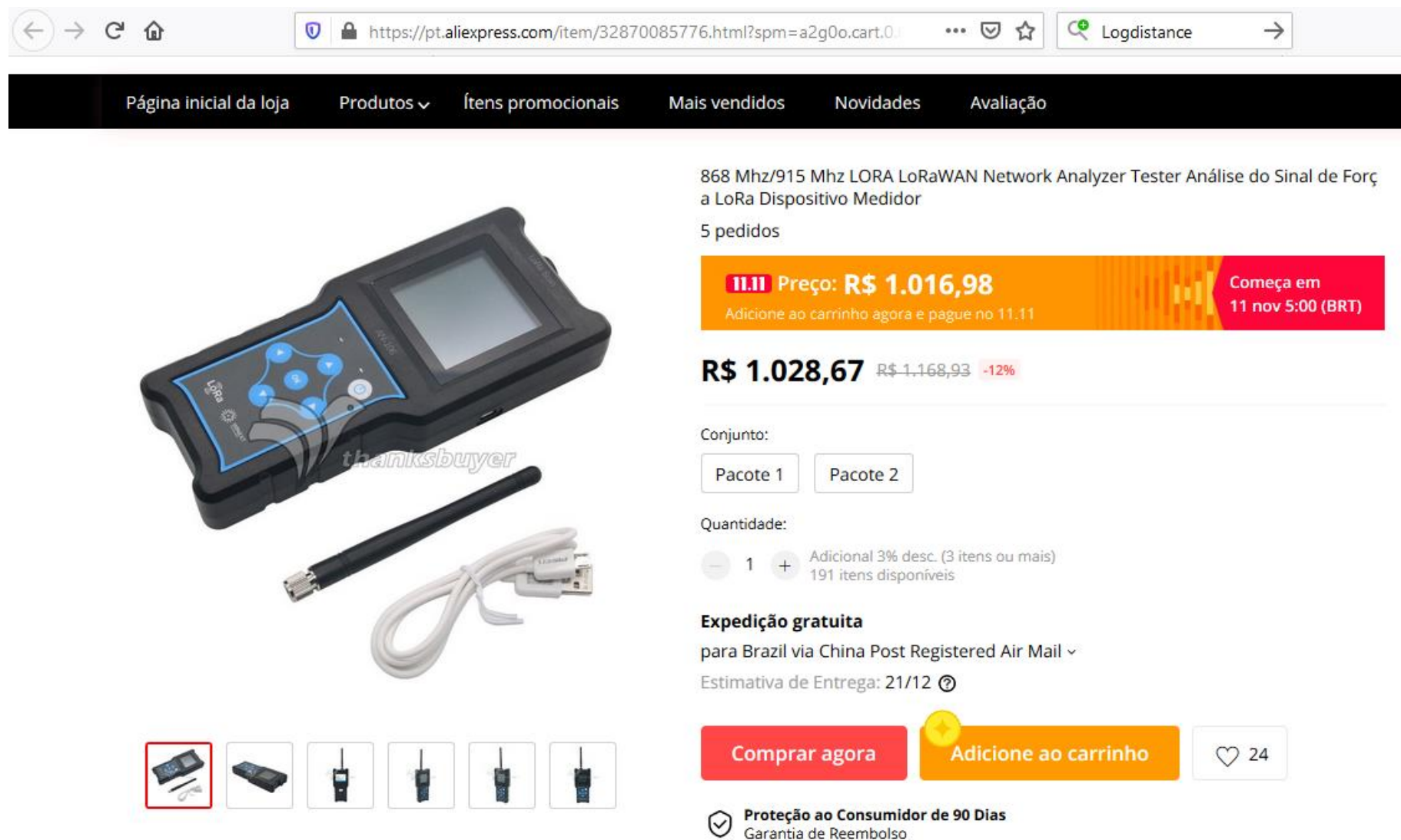


# Sistema de medição – Custos

- Total de R\$230,98 gasto com o projeto

Descrição	Custo unitario	Quantidade
Modulos LoRa RFM95W 915MHz*	46,86	1
Placa de fibra de vidro dupla face tamanho 10x20	10,24	1
Conector SMA de rosca com angulo de 180°	7,56	2
Arame De Cobre (fio Nú) Diâmetro 2,40mm (500g=12,5metros)	40,00	1
Arduino Uno Rev3 R3 Atmega328 Smd	27,89	2
Módulo <u>Gps</u> Ublox Neo-6m Gy-gps6mv2 Com Antena Cerâmica	54,08	1
Módulo Cartão Leitor Sd Para Arduino Automação Pic Robótica	8,90	1

# Sistema de medição – Custos



The screenshot shows a web browser window with the URL <https://pt.aliexpress.com/item/32870085776.html?spm=a2g0o.cart.0>. The page features a navigation bar with links: 'Página inicial da loja', 'Produtos', 'Ítems promocionais', 'Mais vendidos', 'Novidades', and 'Avaliação'. The main product image is a black handheld device with a screen and buttons, labeled 'LoRaWAN Network Analyzer Tester'. Below the image are several smaller images showing different views of the device. To the right of the image, the product title is '868 Mhz/915 Mhz LORA LoRaWAN Network Analyzer Tester Análise do Sinal de Força a LoRa Dispositivo Medidor'. Below the title, it says '5 pedidos'. A large orange banner displays the price 'R\$ 1.016,98' with a '11.11' sale tag. A red banner indicates the sale starts on '11 nov 5:00 (BRT)'. Below the banner, the price is shown as 'R\$ 1.028,67' with a crossed-out original price of 'R\$ 1.168,93' and a '-12%' discount. The 'Conjunto' section shows two options: 'Pacote 1' and 'Pacote 2'. The 'Quantidade' section shows a quantity of '1' with a '+3%' discount for 3 or more items. The 'Expedição gratuita' section states 'para Brasil via China Post Registered Air Mail' with an estimated delivery date of '21/12'. At the bottom, there are buttons for 'Comprar agora' and 'Adicione ao carrinho', along with a heart icon showing '24' favorites. A 'Proteção ao Consumidor de 90 Dias' guarantee is also displayed.

868 Mhz/915 Mhz LORA LoRaWAN Network Analyzer Tester Análise do Sinal de Força a LoRa Dispositivo Medidor

5 pedidos

**11.11** Preço: **R\$ 1.016,98**

Adicione ao carrinho agora e pague no 11.11

Começa em 11 nov 5:00 (BRT)

**R\$ 1.028,67** ~~R\$ 1.168,93~~ -12%

Conjunto:

Pacote 1 Pacote 2

Quantidade:

1 Adicional 3% desc. (3 itens ou mais) 191 itens disponíveis

**Expedição gratuita**

para Brasil via China Post Registered Air Mail

Estimativa de Entrega: 21/12

**Comprar agora** **Adicione ao carrinho** 24

**Proteção ao Consumidor de 90 Dias**

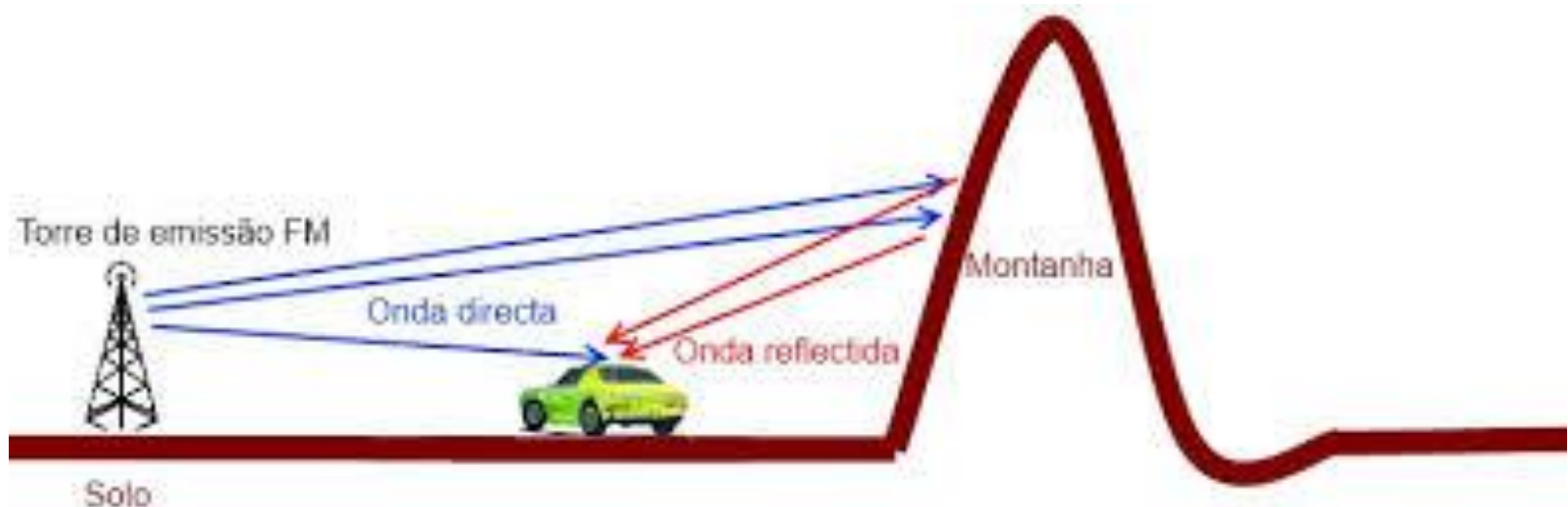
Garantia de Reembolso

# Sumário

- Tecnologia LoRa
- Planejamento do trabalho
- Sistema de medição
- Caracterização de perda de percurso
- Análises com largura de banda
- Análises de cobertura
- Referências

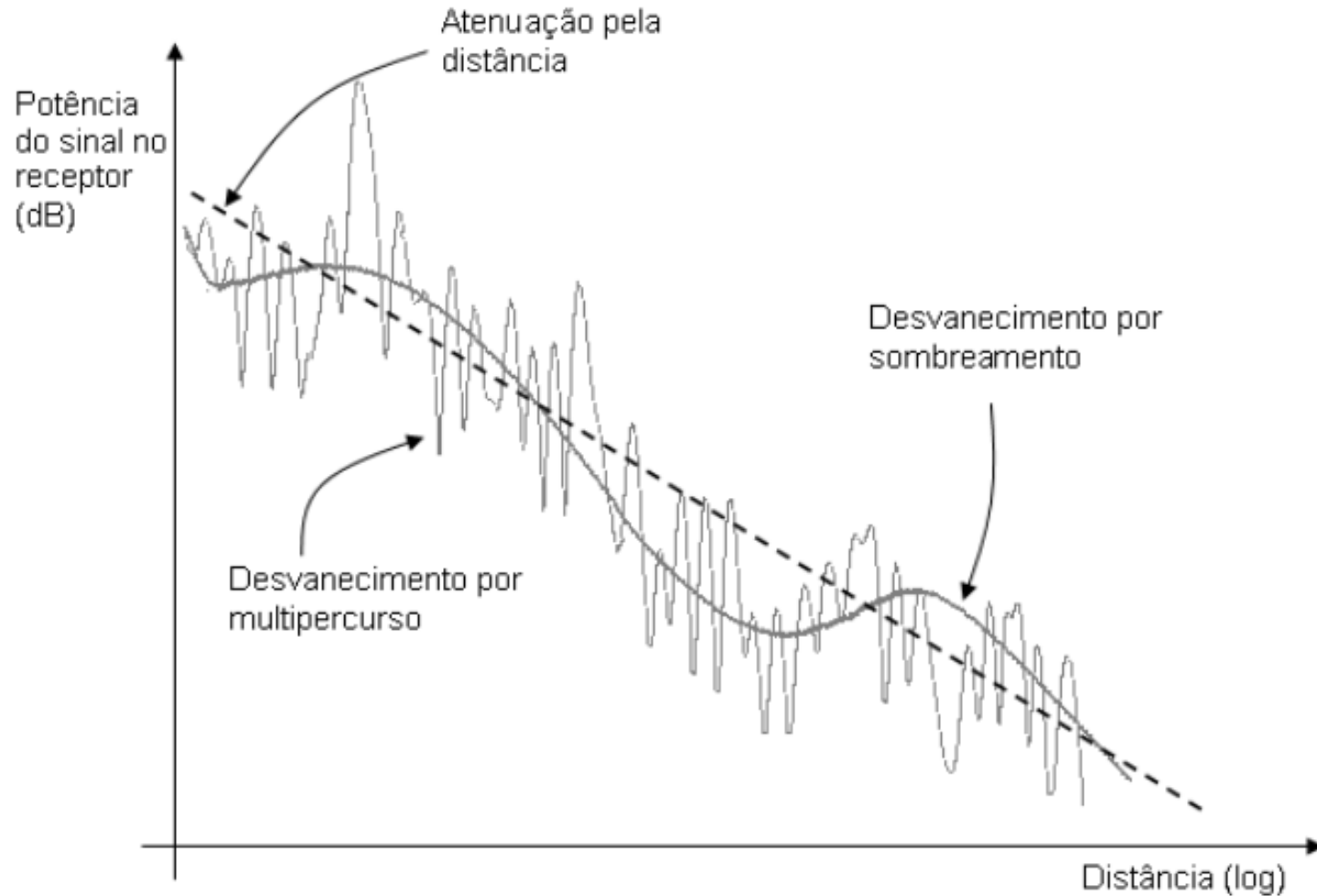
# Caracterização de perda de percurso

- Sinal de rádio frequência pode sofrer alterações
  - Perda de percurso (Atenuação pela distância)
  - Multipercurso (Desvanecimento por multipercurso)
  - Sombreamento (Desvanecimento por sombreamento)





# Caracterização de perda de percurso



# Caracterização de perda de percurso

- Modelo Log-distance
  - Perda de percurso

$$Pl(d) = P0 - 10 n \log(d)$$

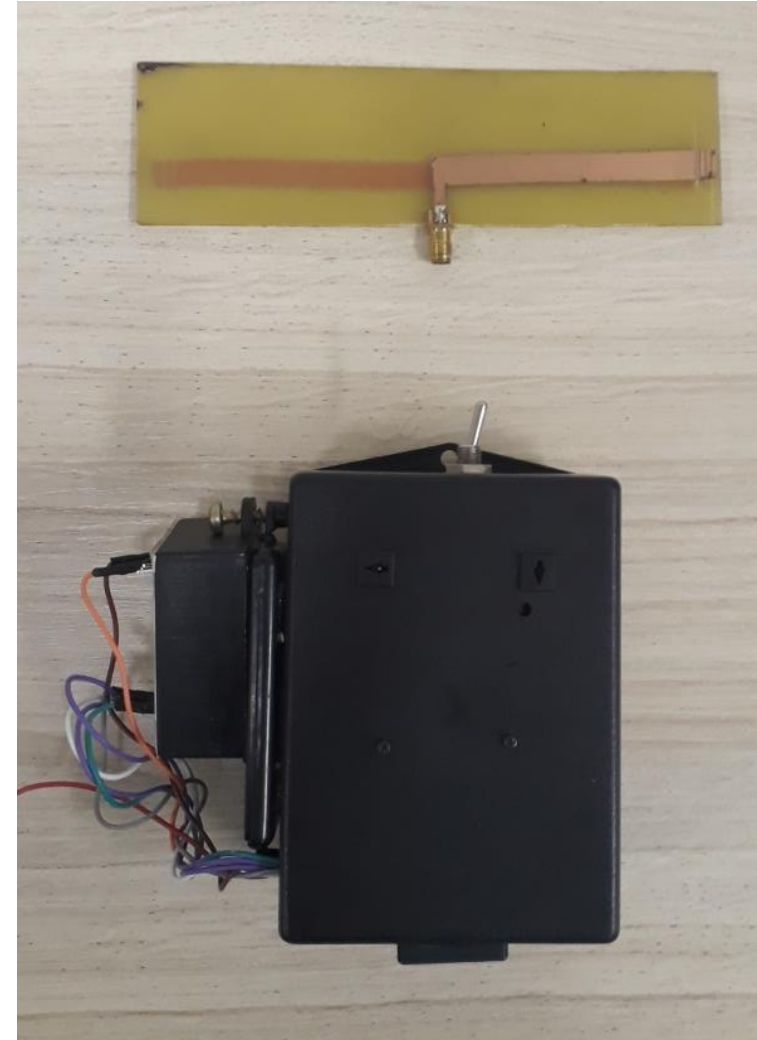
- Chega-se aos valores de  $P0$  e  $n$  por mínimos quadrados
  - Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM)
    - Métrica de avaliação da modelagem

# Caracterização de perda de percurso- cenários

- Dois ambientes com dois cenários cada
  - Outdoor
    - Cenário A: Ambiente outdoor com visada
    - Cenário B: Ambiente outdoor sem visada
  - Indoor
    - Cenário C: Ambiente indoor com visada
    - Cenário D: Ambiente indoor sem visada

# Caracterização de perda de percurso- setup ambiente outdoor

- Módulo LoRa
  - SF = 12
  - Largura de banda = 125kHz
  - Potência = 14dBm
- Altura TX: 1,5 metros
- Altura RX: 4 metros



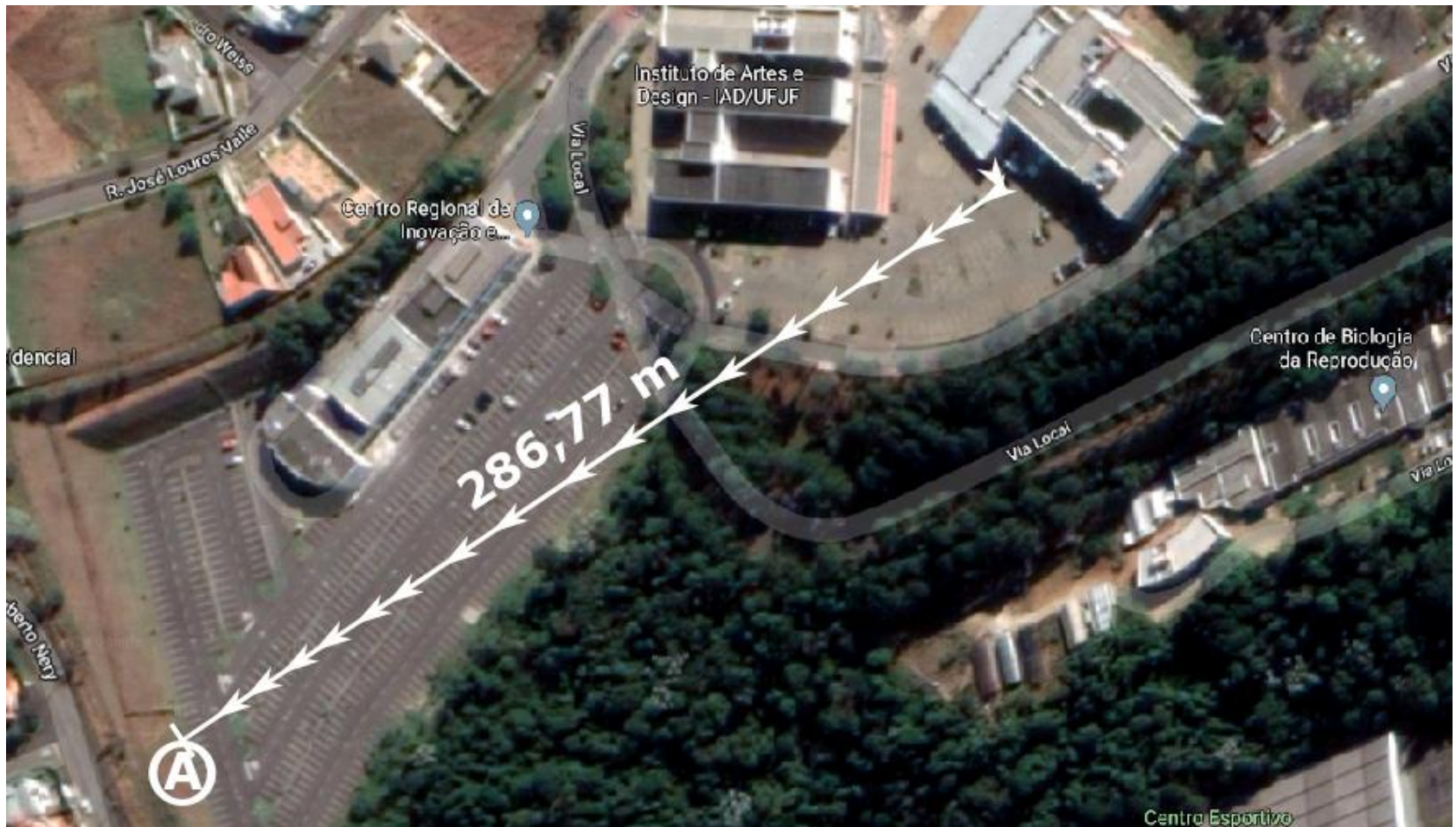
# Caracterização de perda de percurso- setup ambiente outdoor



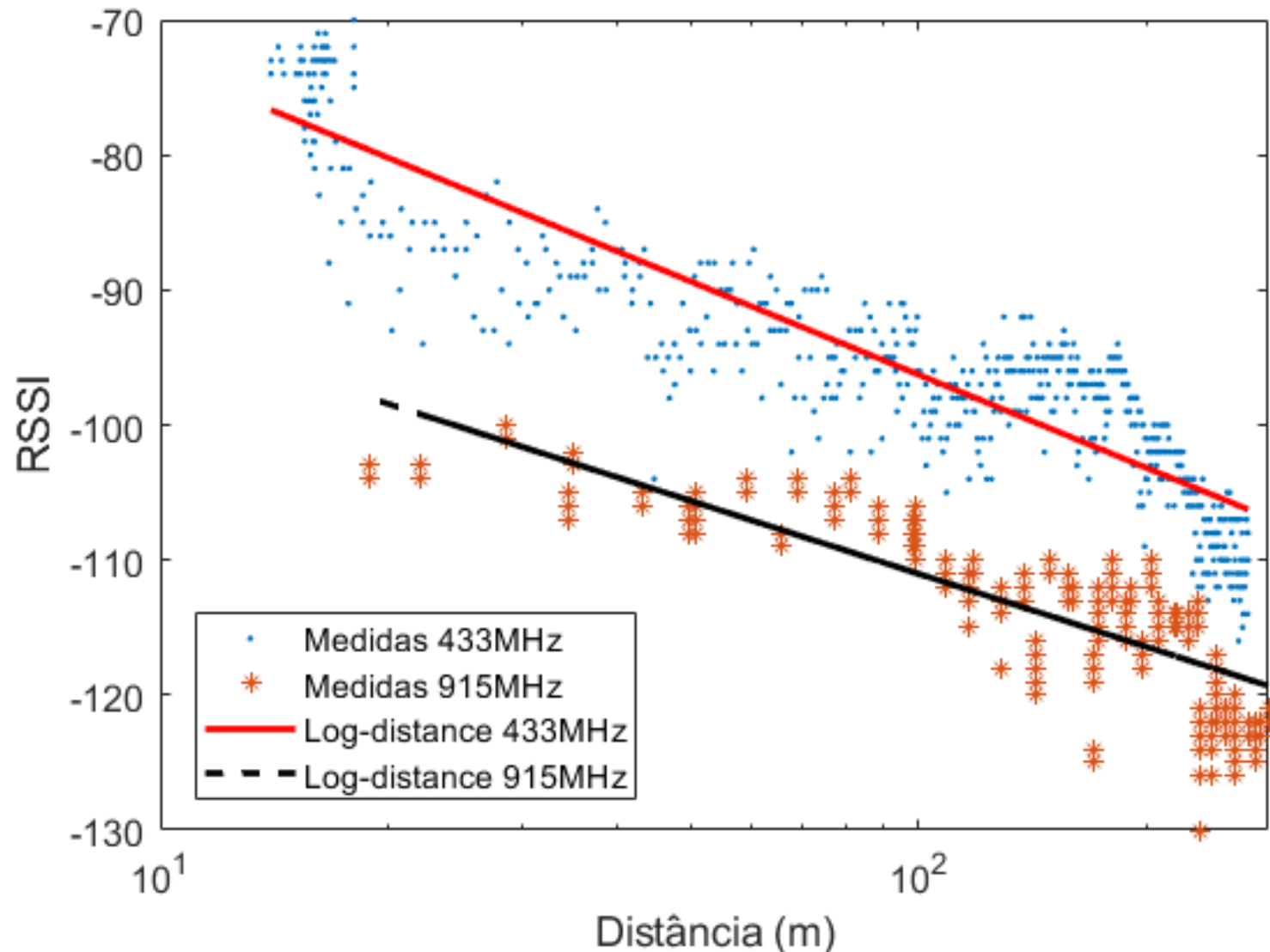


# Caracterização de perda de percurso- Outdoor

- Cenário A
  - Medidas em espaços de  $30\lambda$



# Caracterização de perda de percurso- Outdoor





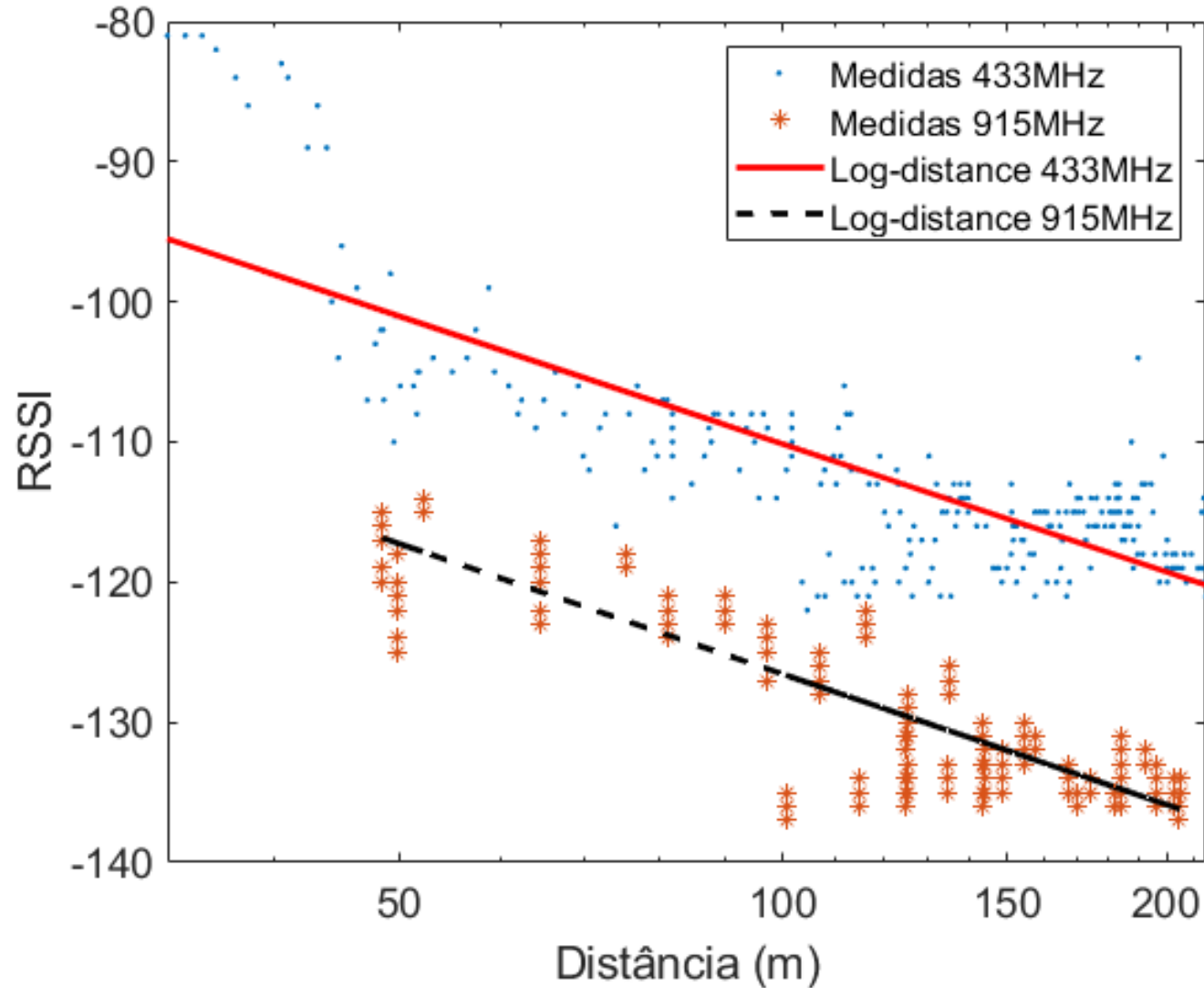
# Caracterização de perda de percurso- Outdoor

- Cenário B
  - Medidas em espaços de  $30\lambda$





# Caracterização de perda de percurso- Outdoor

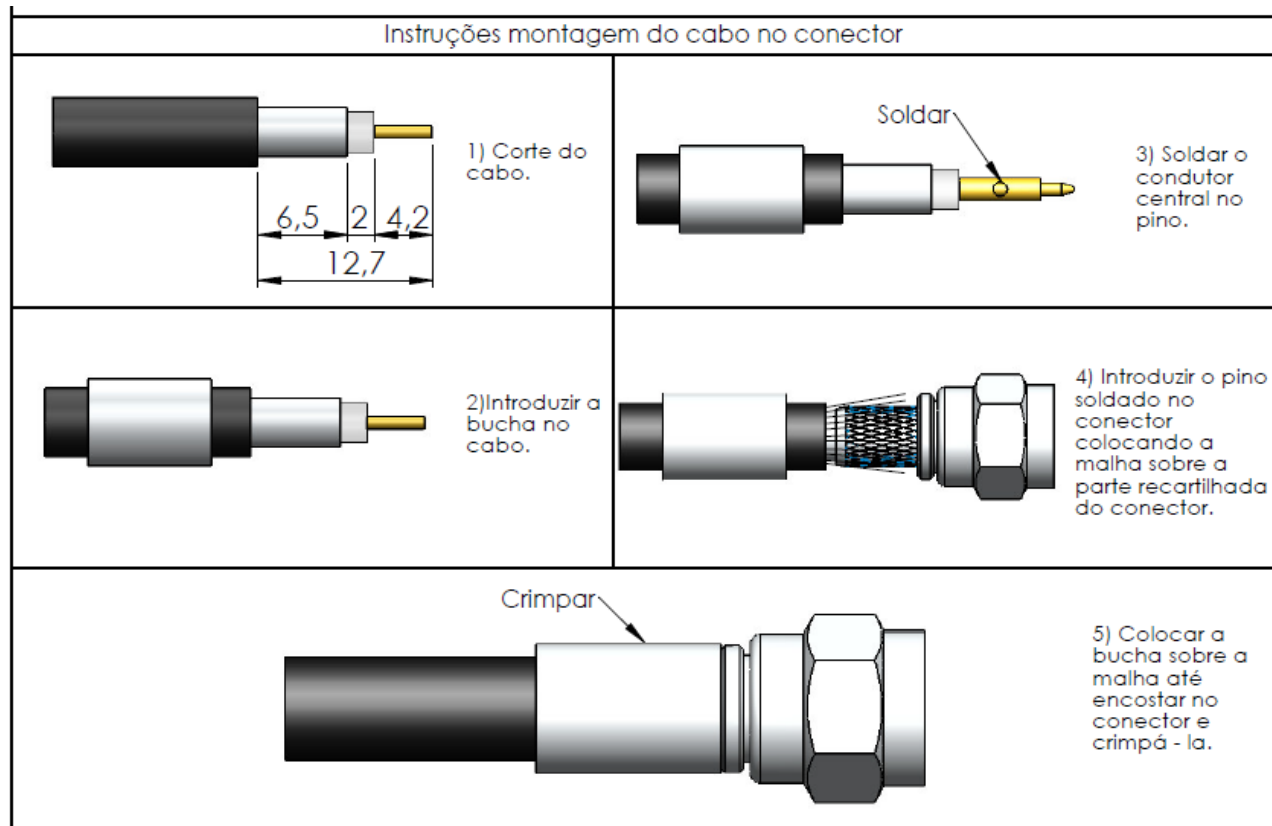


# Caracterização de perda de percurso- Outdoor

Parâmetro	Cenário A		Cenário B	
	433MHz	915MHz	433MHz	915MHz
n	2,2972	1,7997	3,0362	3,0968
P0	-50,3351	-75,0325	-49,4207	-64,6280
REQM	4,2261	3,2953	4,5641	3,2166

# Caracterização de perda de percurso- Outdoor

- Dificuldades
  - GPS não atualizava os valores
  - Não havia como confirmar se os dados chegavam
  - Problema nos conectores dos cabos



FEVEREIRO 2010

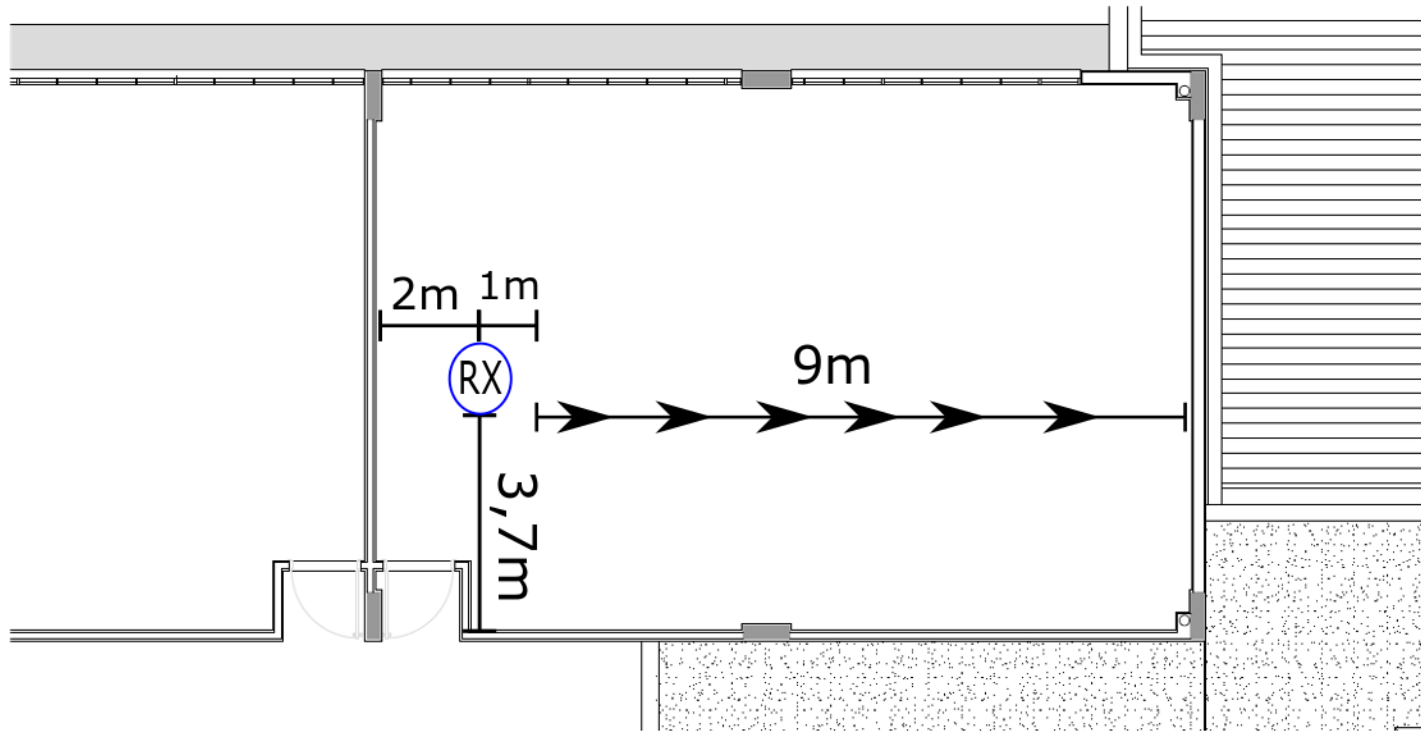
# Caracterização de perda de percurso- setup ambiente indoor

- Receptor e transmissor a alturas de 1,5 metros

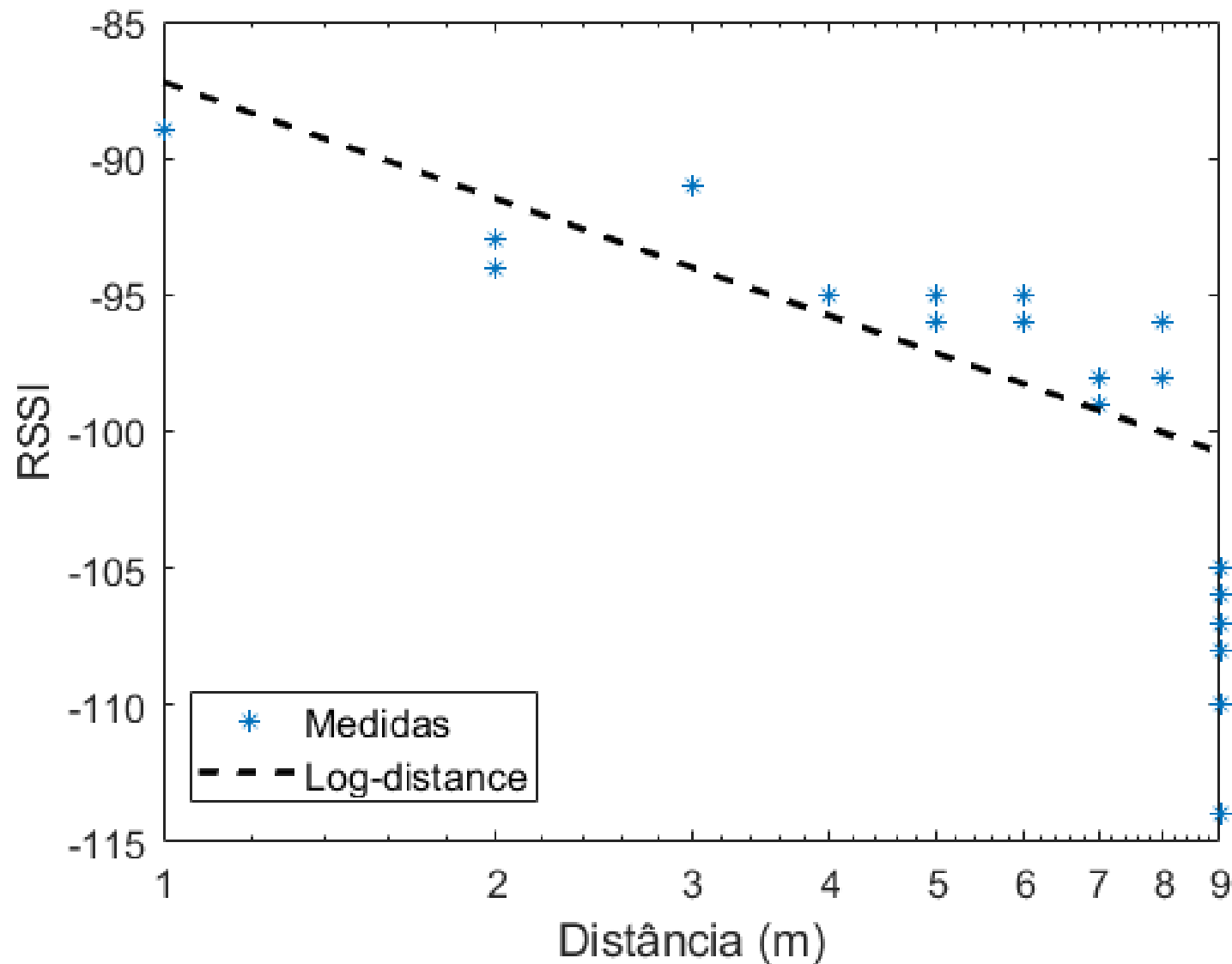


# Caracterização de perda de percurso- Indoor

- Cenário C
  - Medidas em espaços de 1 metro

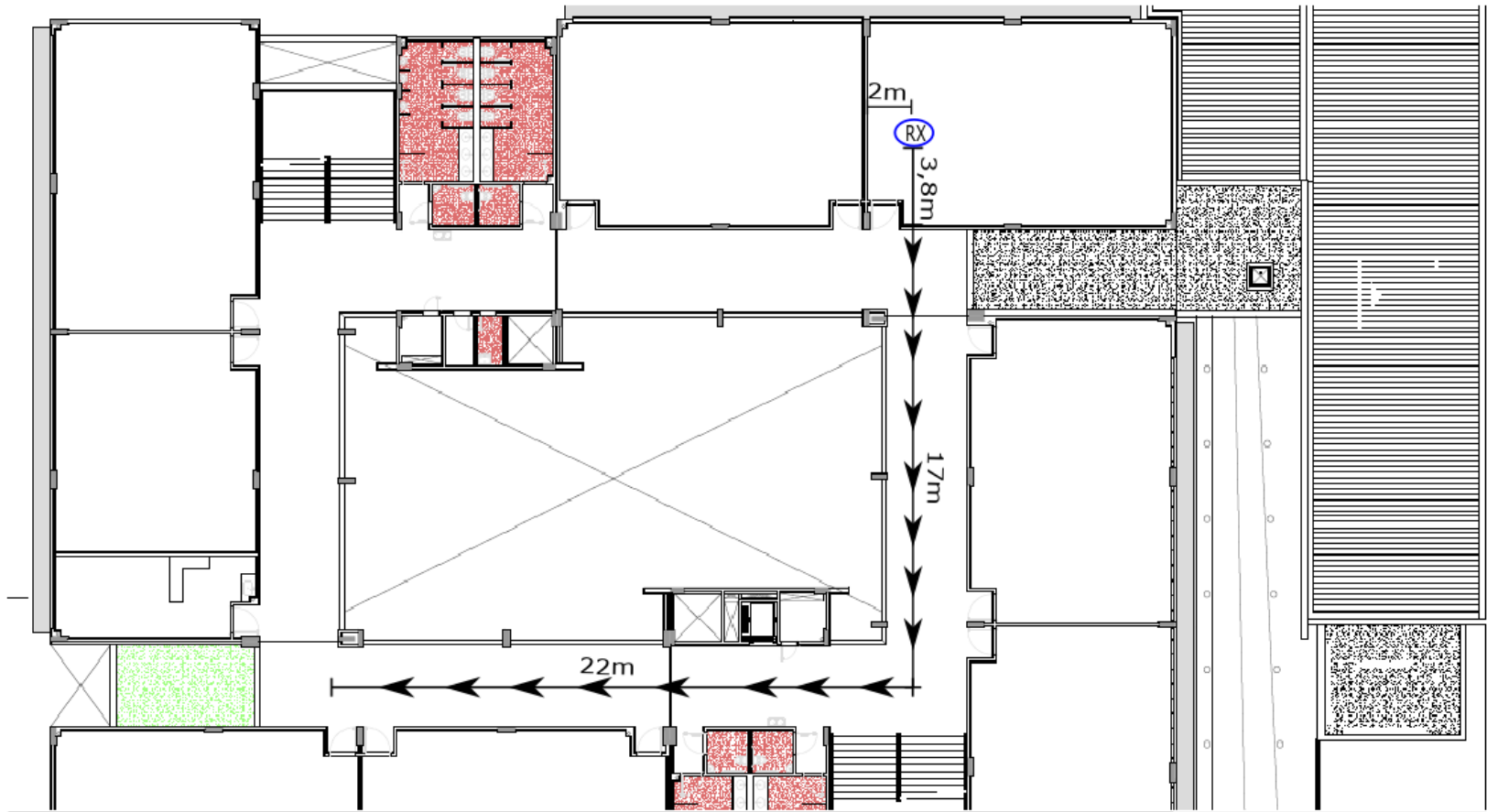


# Caracterização de perda de percurso- Indoor

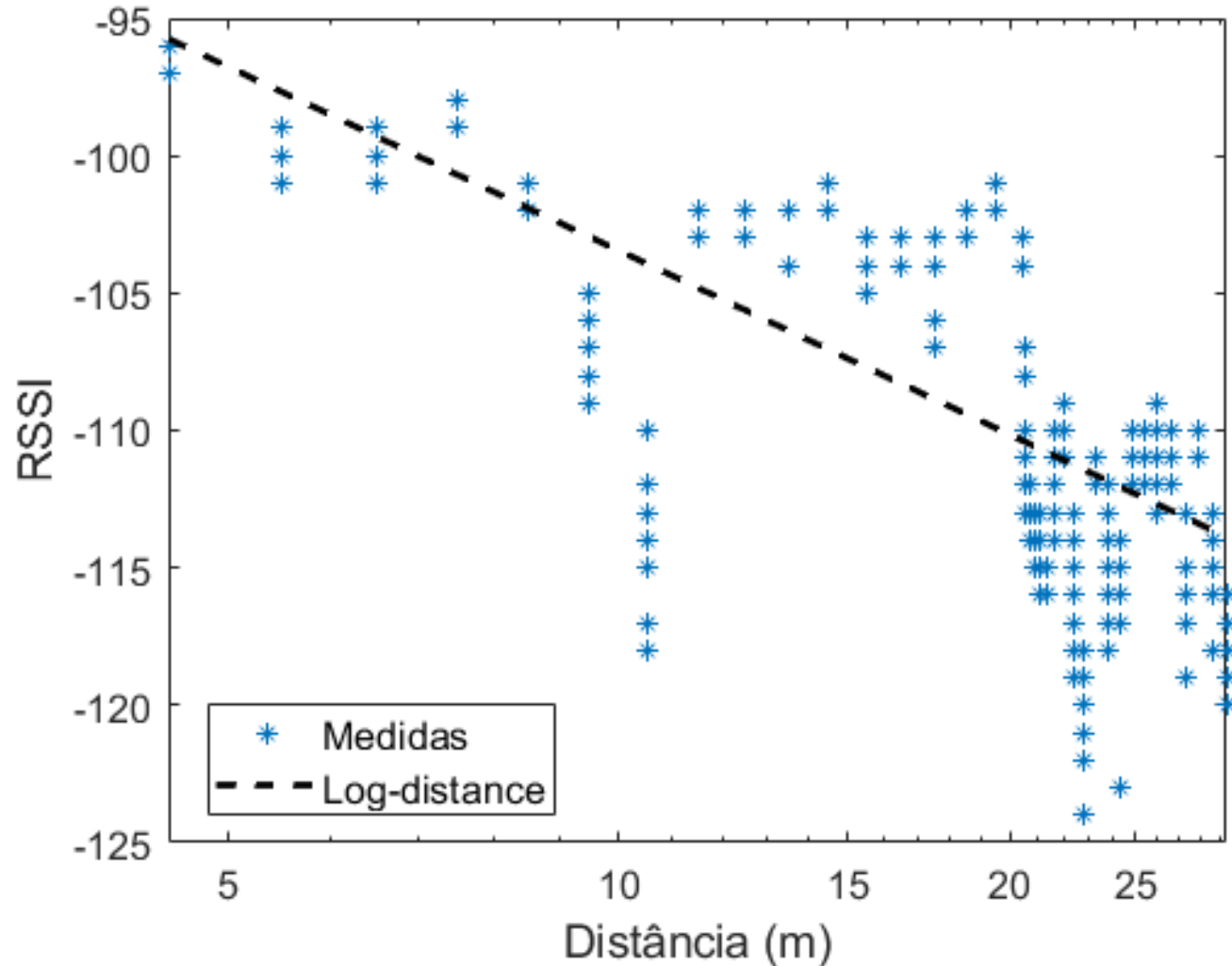


# Caracterização de perda de percurso- Indoor

- Cenário D
  - Medidas em espaços de 1metro



# Caracterização de perda de percurso- Indoor





# Caracterização de perda de percurso- Indoor

Parâmetro	Cenário C	Cenário D
n	1,4200	2,2256
P0	-87,2171	-81,2019
REQM	3,2370	4,2335

# Caracterização de perda de percurso- Indoor

- Dificuldades
  - Numero de medidas muito pequeno
  - A presença de pessoas no ambiente

# Sumário

- Tecnologia LoRa
- Planejamento do trabalho
- Sistema de medição
- Caracterização de perda de percurso
- **Análises com largura de banda**
- Análises de cobertura
- Referências

# Análise com largura de banda

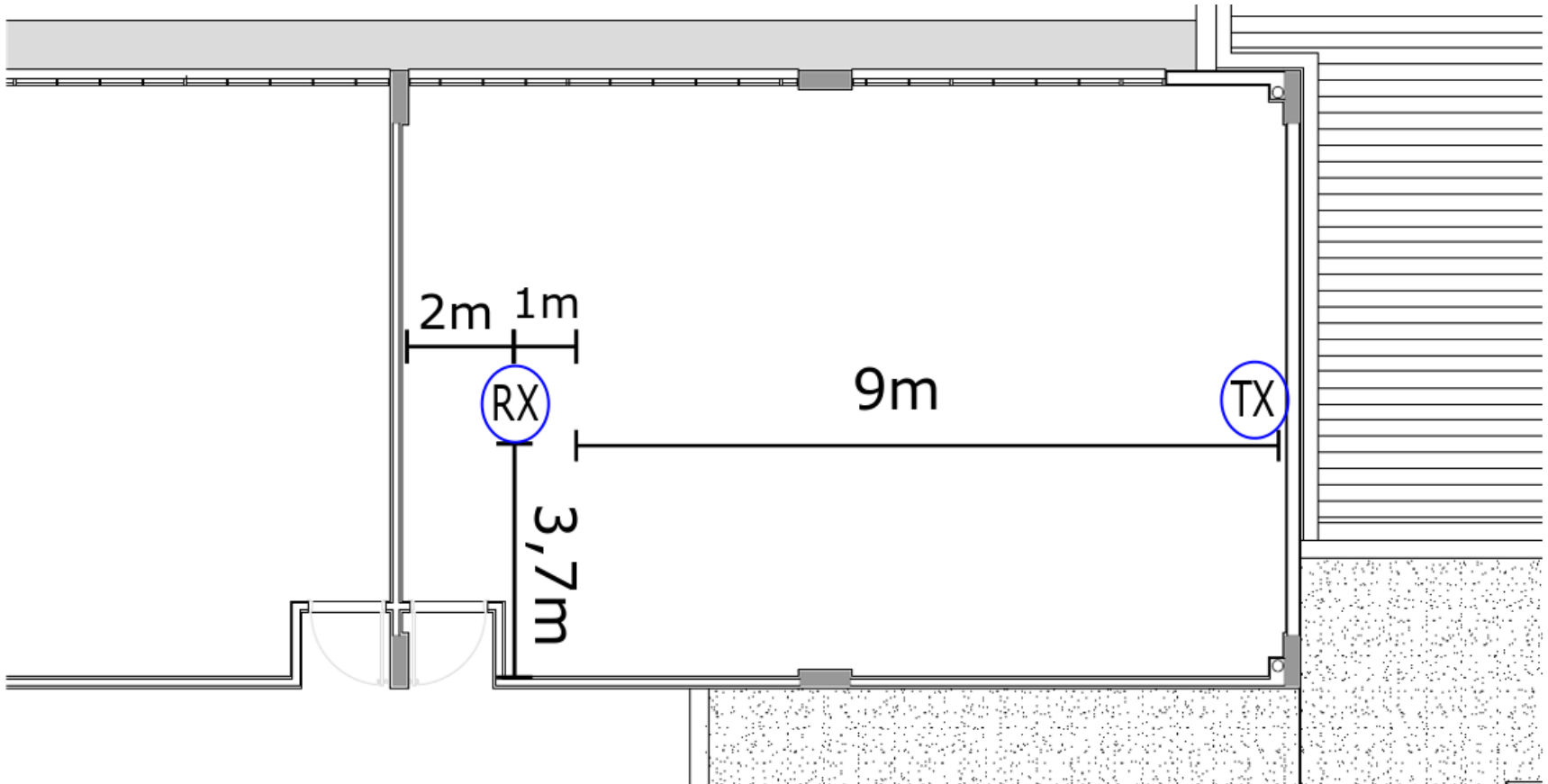
- Enviar pacotes de tamanhos diferentes
  - 8, 16, 32 e 48 bytes
- Fazer testes em diferentes larguras de banda
- Analisar taxa de erro de bits (BER)

$$BER = \frac{n^{\circ} \text{ bits errados}}{n^{\circ} \text{ total de bits}} \times 100$$

- Avaliar pacotes recebidos, errados e perdidos

# Análise com largura de banda - setup

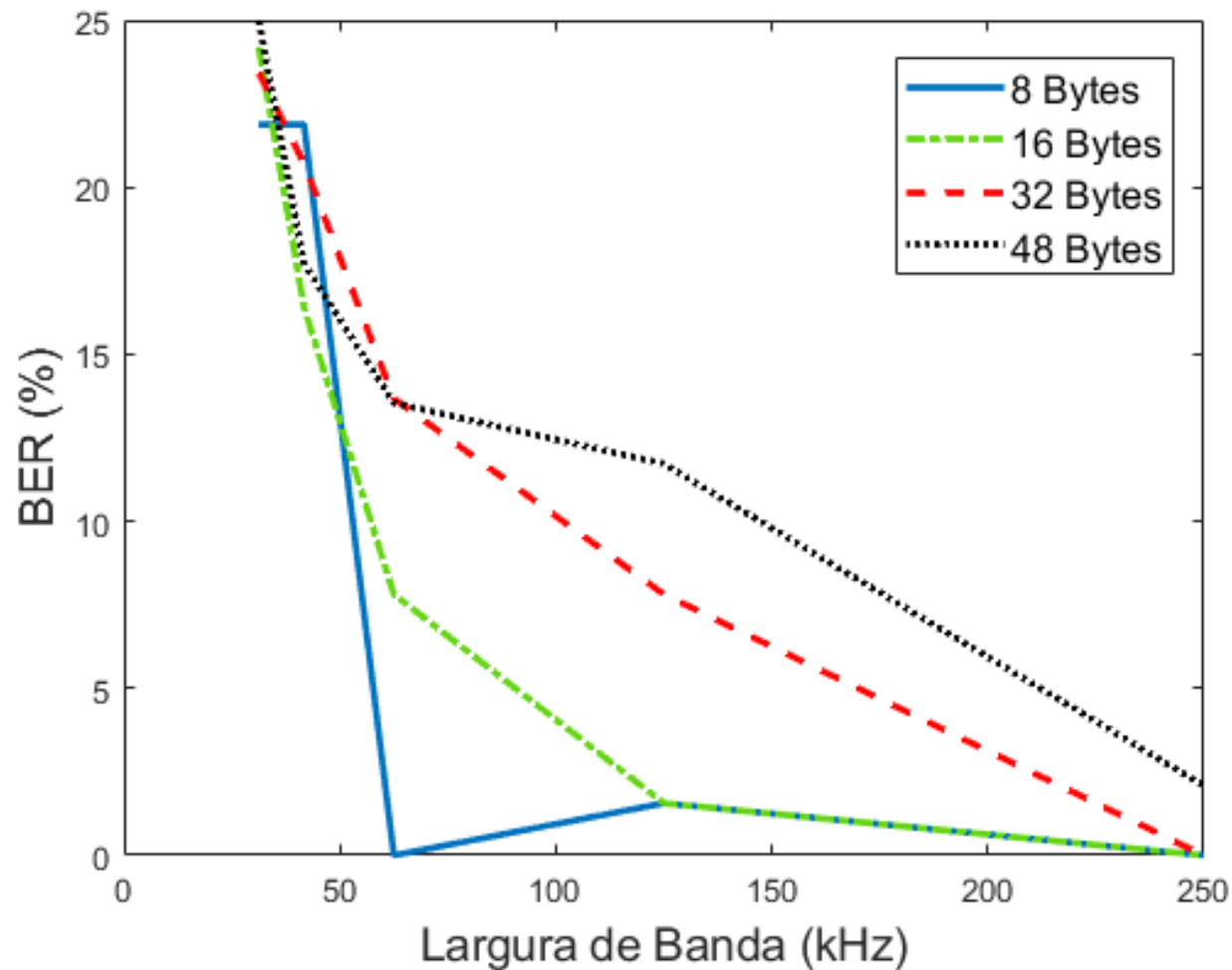
- TX e RX com altura de 1,5 metros



# Análise com largura de banda

Largura de banda(kHz)	Tamanho do pacote	Pacotes errados	Pacotes perdidos	Pacotes corretos	BER (%)	Bits errados	Caracteres corretos	Total de bits
31,2	8	1	9	0	21,8750	14	2	64
	16	5	5	0	24,2188	31	6	128
	32	3	7	0	23,4375	60	10	256
	48	6	4	0	25	96	17	384
41,7	8	9	1	0	21,8750	14	2	64
	16	10	0	0	16,4063	21	7	128
	32	10	0	0	20,7031	53	13	256
	48	9	1	0	17,7083	68	25	384
62,5	8	0	0	10	0	0	8	64
	16	7	0	2	7,8125	10	10	128
	32	10	0	0	13,6719	35	17	256
	48	9	1	0	13,5417	52	28	384
125	8	1	0	9	1,5625	1	7	64
	16	2	0	8	1,5625	2	15	128
	32	9	0	1	7,8125	20	21	256
	48	9	0	1	11,7188	45	29	384
250	8	0	0	10	0	0	8	64
	16	0	0	10	0	0	16	128
	32	0	0	10	0	0	32	256
	48	2	0	8	2,0833	8	44	384

# Análise com largura de banda



# Sumário

- Tecnologia LoRa
- Planejamento do trabalho
- Sistema de medição
- Caracterização de perda de percurso
- Análises com largura de banda
- **Análises de cobertura**
- Referências



# Análise de cobertura



# Análise de cobertura

Ponto	Local	Pacotes recebidos	Pacotes perdidos	RSSI médio	Distância (m)	RSSI max esperado	RSSI min esperado
A	RU	10	0	-131,8	127,049	-112,897	-129,784
B	Proximo FAEFID	8	2	-133,375	258,69	-118,455	-139,347
C	Protão SUL	10	0	-137,2	653,69	-125,701	-151,814
D	Chegada HU	10	0	-128,4	774,40	-127,025	-154,093
E	Porta HU	10	0	-123,9	853,29	-127,784	-155,3983
F	Portão HU	10	0	-130,3	618,68	-125,271	-151,074
G	Direito	10	0	-136,9	733,984	-126,606	-153,373
H	Reitoria	9	1	-135,777	723,272	-126,491	-153,175
I	Odonto chegada	10	0	-132,8	598,766	-125,014	-150,6341
J	Humanas	10	0	137	945,026	-128,581	-156,771
K	Biologia	10	0	-137,3	316,875	-120,041	-142,076
L	Economia	9	1	-134,888	868,98	-127,926	-155,643
M	Odonto saída	8	2	-136	742,96	-126,701	-153,536
N	Engenharia	10	0	-110,1	80,14	-109,296	-123,586

- Tecnologia LoRa
- Planejamento do trabalho
- Sistema de medição
- Caracterização de perda de percurso
- Análises com largura de banda
- Análises de cobertura
- Referências



# Referências

- <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>.
- <https://abinc.org.br/projeto-ttn-the-things-network/>
- <https://www.thethingsnetwork.org/>
- <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/frequency-plans.html>
- <https://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2017/936-resolucao-680>
- <https://www.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-requisitos-tecnicos-de-certificacao/2017/1139-ato-14448#item10.3.1>
- <https://github.com/IRNAS/ttn-irnas-gw>
- <https://pt.aliexpress.com/item/32809306023.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.5b2cb90a3fqftV>
- <https://pt.aliexpress.com/item/32870085776.html?spm=a2g0o.cart.0.0.142c3c00yxjLea&mp=1>
- P. Jörke, S. Böcker, F. Liedmann and C. Wietfeld, "Urban channel models for smart city IoT-networks based on empirical measurements of LoRa-links at 433 and 868 MHz," 2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), Montreal, QC, 2017, pp. 1-6.
- J. Petajajarvi, K. Mikhaylov, A. Roivainen, T. Hanninen and M. Pettissalo, "On the coverage of LPWANs: range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology," 2015 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST), Copenhagen, 2015, pp. 55-59.
- S. Benaissa et al., "Internet of animals: characterisation of LoRa sub-GHz off-body wireless channel in dairy barns," in Electronics Letters, vol. 53, no. 18, pp. 1281-1283, 31 8 2017.
- Rafael da S. Macêdo, Matheus H. A. Miranda, João Paulo S. H. Lima, Álvaro A. M. de Medeiros "Modelagem inteligente de perda de percurso utilizando transceptores LoRa," em XXXVII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais (SBrT 2019), October 1, 2019.

Obrigado

rafael.macedo2016@engenharia.ufjf.br