LoRa no ESP32

Comunicação ponto a ponto com duas Heltec WiFi LoRa 32 V2 - manual prático

Placa	2 x Heltec WiFi LoRa 32 V2 (ESP32 + SX1276), versão 915 MHz, com antena
Framework	Arduino Core, via PlatformIO
Biblioteca	RadioLib (jgromes/RadioLib)
Escopo	LoRa puro, de uma placa para outra. Sem LoRaWAN e sem gateway
Nível	Intermediário
Tutorial online	iiot.esp32.tec.br/tutoriais/lora-no-esp32-comunicacao-ponto-a-ponto

Sobre a validação. Os dois programas do kit **compilam** com o PlatformIO (emissor e receptor), mas **não foram gravados nem rodados em placa** a partir deste kit. Os números de alcance, sensibilidade e tempo no ar citados vêm de **testes de laboratório** com duas Heltec V2 num firmware ESP-IDF próprio, e não de uma instalação de campo. Meça o alcance no seu terreno.

1. LoRa não é Wi-Fi com mais alcance

LoRa é uma modulação de rádio de longo alcance e baixo consumo que troca velocidade por sensibilidade. Serve para poucos bytes, de vez em quando: temperatura, nível, contagem, alarme. Não serve para foto, áudio nem atualização grande de firmware.

	LoRa	LoRaWAN
O que é	A camada de rádio	Protocolo de rede em cima do LoRa
Precisa de	Dois rádios com os mesmos parâmetros	Gateway, servidor de rede e chaves
Confirmação de entrega	**Não tem**: você constrói (sequência, ACK)	Prevista pelo protocolo
Neste kit	Sim	Não

2. SF, banda e tempo no ar

Os dois lados precisam usar os mesmos SF, banda, CR, frequência e sync word. Tempo no ar de um pacote de 20 bytes com banda de 125 kHz e CR 4/5 (fórmula da Semtech):

SF	Tempo no ar	Taxa aproximada	Sensibilidade típica SX1276
7	57 ms	5,5 kbps	-123 dBm
8	103 ms	3,1 kbps	-
9	185 ms	1,8 kbps	-129 dBm
10	371 ms	1,0 kbps	-
11	741 ms	540 bps	-134 dBm
12	1,3 s	290 bps	-137 dBm

Cada passo de SF dobra o tempo no ar. Escolha o **menor SF que ainda fecha o enlace**. Um pacote de 56 bytes leva uns 100 ms no SF7 e 2,6 s no SF12.

3. As nove armadilhas

Armadilha	Consequência	O que fazer
1. Transmitir sem antena	Pode danificar o amplificador	Antena conectada antes de ligar
2. Frequência do módulo	433, 868 e 915 MHz não se trocam por código	Conferir a placa: 915 MHz no Brasil
3. Parâmetros diferentes	Receptor mudo, sem erro	SF, banda, CR, frequência e sync word iguais
4. Alimentação	Reinício ao transmitir (pico de 250 a 350 mA com Wi-Fi)	Fonte firme, fio curto, capacitor
5. Pinos do SPI	radio.begin falha	Usar a pinagem da sua versão da placa
6. Regras do espectro	Uso irregular	Conferir a norma vigente da Anatel
7. Qualquer um ouve	Dado e comando expostos	Sem dado sensível; comando não repetível
8. Cristal sem TCXO	Cerca de 8 kHz de diferença entre as duas placas	Banda de 125 kHz tolera; bandas estreitas exigem AFC
9. Espera do ACK fixa	Retransmissões em SF alto	Margem do ACK acompanha o símbolo

4. Pinagem e firmware

Pinagem da Heltec WiFi LoRa 32 V2 (em **include/lora_config.h**). Outras versões usam outros pinos e outro chip:

Sinal	GPIO
SCK	5
MISO	19
MOSI	27
NSS (chip select)	18
RESET	14
DIO0	26
DIO1	35

Parâmetros do rádio, idênticos nos dois lados:

```
const float FREQ_MHZ = 915.0;
const float BW_KHZ = 125.0;
const uint8_t SF = 9;
const uint8_t CR = 5;
const uint8_t SYNC_WORD = 0x12;
const int8_t POTENCIA_DBM = 10;
```

O receptor não faz laço de espera: o DIO0 avisa quando chega um pacote, e o loop só trata o aviso. No fim de cada tratamento, **startReceive()** reabre o ouvido; sem ele, o módulo recebe um pacote e fica surdo.

5. Gravar e testar

```
pio run -e emissor -t upload --upload-port COMx
pio run -e receptor -t upload --upload-port COMy
pio device monitor -p COMx
```

O que você deve ver (os valores variam):

```
[TX] 0,41.7 -> ok (0)
[RX] 0,41.7 rssi=-52 snr=9.8 perdidos=0
```

Teste	Resultado esperado
Placas a 2 m, SF9	Pacote no receptor a cada 10 s, perdidos=0
Afastar o receptor, observando RSSI e perdidos	RSSI cai; perdidos sobe perto do limite
Subir o SF de 9 para 11 nos dois lados	Alcance maior e tempo no ar quatro vezes maior
Mudar o SF em um só lado	Receptor mudo, sem erro (parâmetros diferentes)

6. O que medimos em laboratório

> Números de um projeto próprio com duas Heltec V2 (915 MHz), em **testes de laboratório**, num firmware ESP-IDF. Valem para aquele ambiente e aquela antena; não são promessa para o seu.

Medida	Resultado
Alcance horizontal, receptor dentro de um prédio	Cerca de 50 m no SF7 e 150 m no SF12 (três vezes)
Limite do enlace no SF12	RSSI abaixo de -128 dBm e SNR perto de -20 dB
Ruído do canal	Cerca de -121 dBm, canal limpo
Diferença de frequência entre as duas placas	Cerca de 8 kHz (8,7 ppm)
Retransmissões antes e depois de a margem do ACK acompanhar o símbolo	30 a 40% antes; 0 em 8 comandos depois

7. Quando algo não funciona

Sintoma	Causa provável	O que fazer
Emissor diz ok e o receptor não escreve nada	Parâmetros diferentes, antena, frequência	Conferir os parâmetros e as antenas
radio.begin falha	Pinagem, alimentação, chip errado	Ler o esquema da sua versão da placa
Reinício ao transmitir	Alimentação não aguenta o pico	Fonte melhor, fio curto, capacitor
Pacotes com CRC inválido	Interferência, antena ruim, limite do enlace	Aproximar, trocar a antena, subir o SF
Receptor acusa perdidos sempre	Colisão, receptor surdo, limite do enlace	Conferir o startReceive(); aumentar o intervalo

8. O que este kit não cobre

- **LoRaWAN**: gateway, servidor de rede, chaves e o plano de frequências regional (no Brasil, AU915).

- **ACK e retransmissão**: o contador de sequência detecta a perda, mas não a corrige.

- **Cifra e autenticação** do pacote.

- **Baixo consumo**: sono profundo acordando só para transmitir.

9. Checklist

	Item
[ ]	Antena conectada em cada placa antes de ligar
[ ]	Placas de 915 MHz e pinagem conferida com a sua versão
[ ]	Parâmetros idênticos nos dois lados
[ ]	Alimentação firme (USB com fonte adequada)
[ ]	Primeiro pacote visto no receptor, com RSSI e SNR
[ ]	Perdas medidas pelo número de sequência
[ ]	Alcance medido no seu terreno, não pelo folheto
[ ]	Norma vigente da Anatel conferida para a aplicação