



Universidade Federal de São Paulo
Instituto de Ciência e Tecnologia

Desenvolvimento de um subsistema de comunicação utilizando tecnologia LoRa aplicado a pequenos satélites.

Lucas Saavedra Vaz

Universidade Federal de São Paulo
Instituto de Ciência e Tecnologia

20 de Janeiro de 2023

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Objetivos
- 3 Fundamentação Teórica
- 4 Desenvolvimento
- 5 Resultados
- 6 Conclusão
- 7 Referências

Introdução

- Satélites são dispositivos em órbita com um propósito;
- Dispositivos de grande porte possuem um custo elevado;
- Miniaturização;
- Plataforma e carga útil;
- Diversos métodos de modulação de rádio são utilizadas;
- LoRa é um dos métodos mais populares.

Objetivos

Objetivos do desenvolvimento do trabalho:

- Utilizar microcontroladores para testes de transmissões LoRa;
- Analisar e implementar as possíveis configurações de transmissão;
- Aplicar recursos de software para tornar a transmissão mais confiável;
- Produzir um *framework* para selecionar diferentes parâmetros de LoRa com base nos requisitos do projeto;

Fundamentação Teórica

CubeSats

- 10 cm x 10 cm x 10 cm e 1,33 kg;
- Grandes vantagens em relação a satélites de grande porte;
- Rideshare.

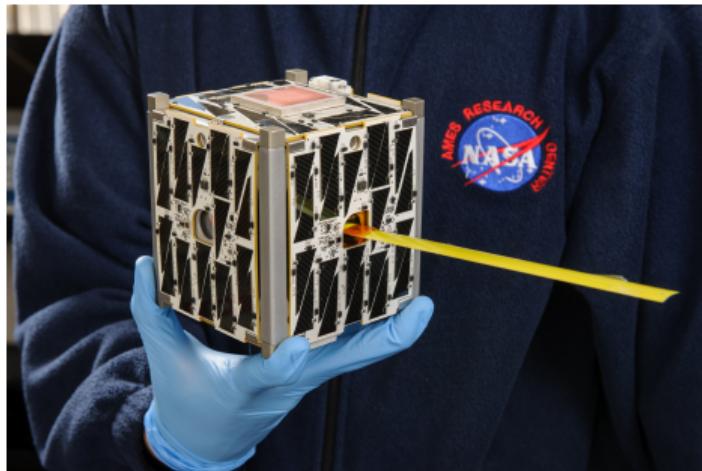


Figura: PhoneSat 2.5. Fonte: Thompson (2015)

Fundamentação Teórica

CubeSats

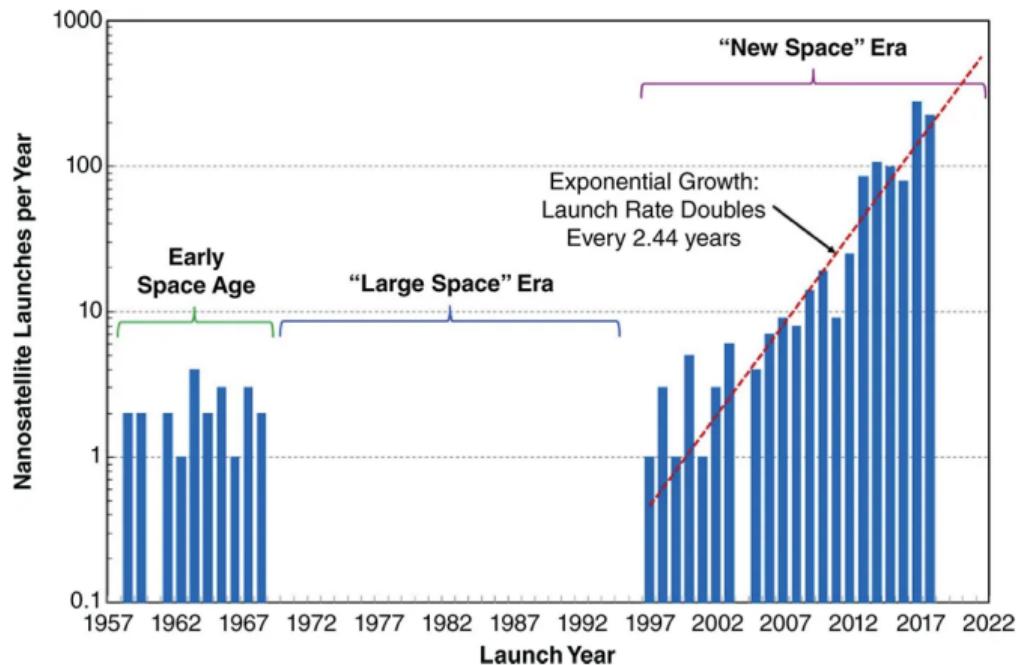


Figura: Lançamentos de nanossatélites por ano. Fonte: Carvalho, Estela e Langer (2020)

Fundamentação Teórica

Sistemas Embarcados

- Sistemas computacionais de pequeno porte;
- Função estática dentro de um dispositivo.

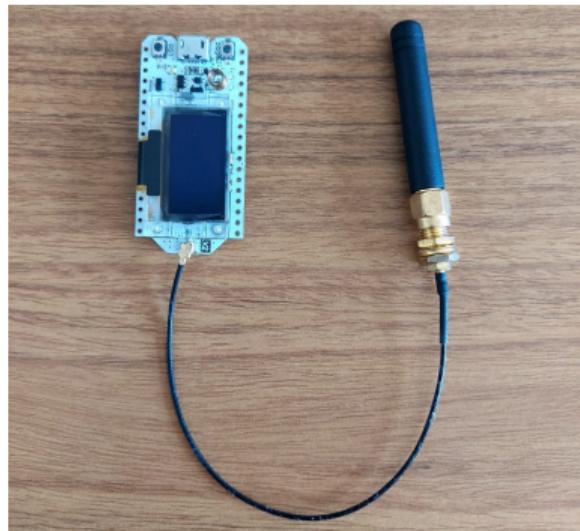


Figura: ESP32 WiFi LoRa V2.

Fundamentação Teórica

LoRa

- Modulação baseada em *chirps*;
- Baixa potência e longo alcance;
- Melhor utilizado em situações onde a perda de pacotes e velocidade de transmissão não é de extrema importância;
- Principais parâmetros de configuração disponíveis:
 - Potência de Transmissão (*TX Power*);
 - Largura de Banda (BW);
 - Fator de Espalhamento (SF);
 - Razão de Codificação (CR).

Fundamentação Teórica

LoRa

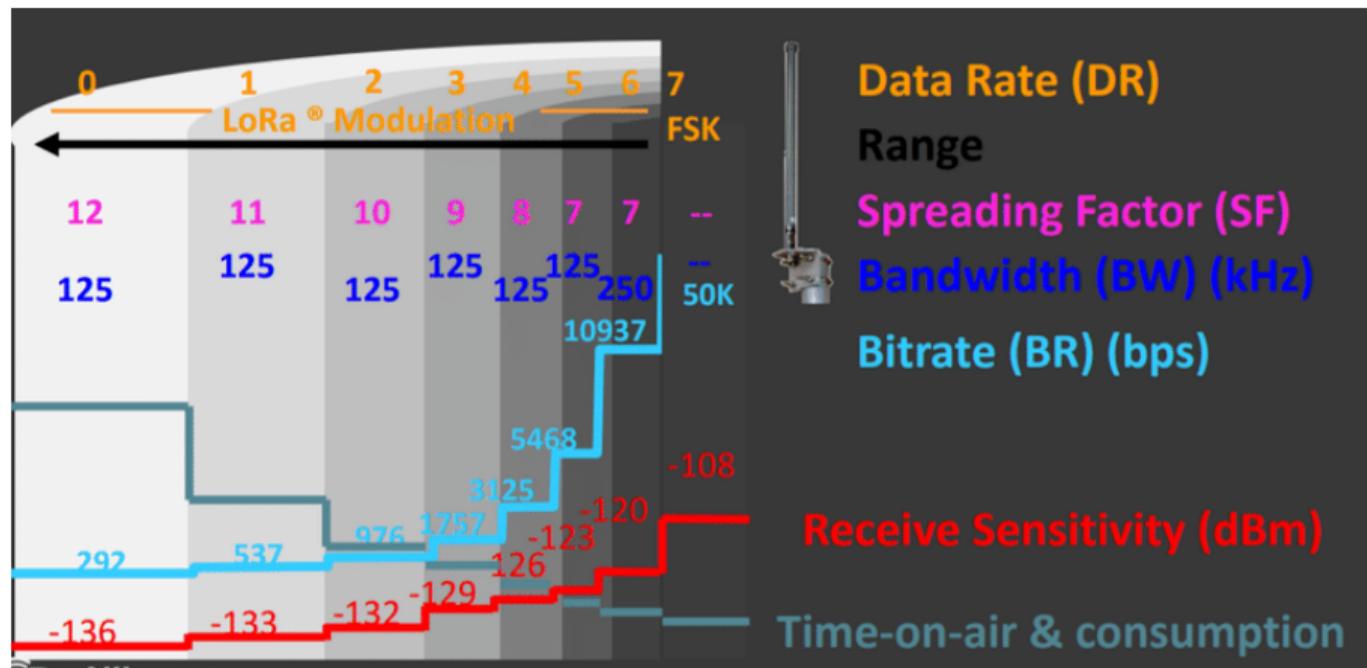


Figura: Relação entre os parâmetros LoRa. Fonte: LoRa Alliance (2017)

Fundamentação Teórica

Códigos Corretores de Erros

- Algoritmos capazes de recuperar informação perdida a partir de redundância;
- Informação adicionada a cada "palavra".

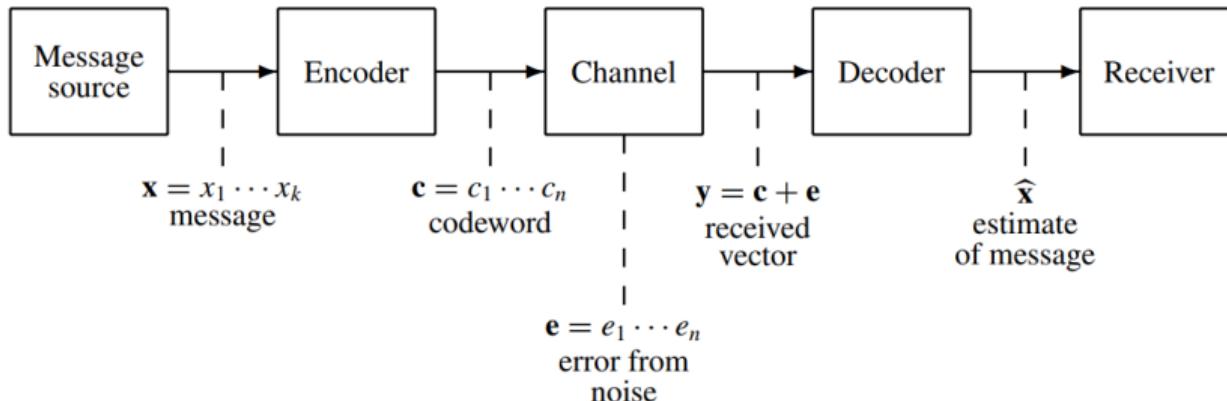


Figura: Modelo de canal de comunicação. Fonte: Huffman e Pless (2010)

Desenvolvimento

Hardware

- SX1276 operando na frequência de 915 MHz (Agência Nacional de Telecomunicações, 2017);
- Antena de baixo ganho;
- Os sistemas podem diferir desde que utilizem os mesmos parâmetros.

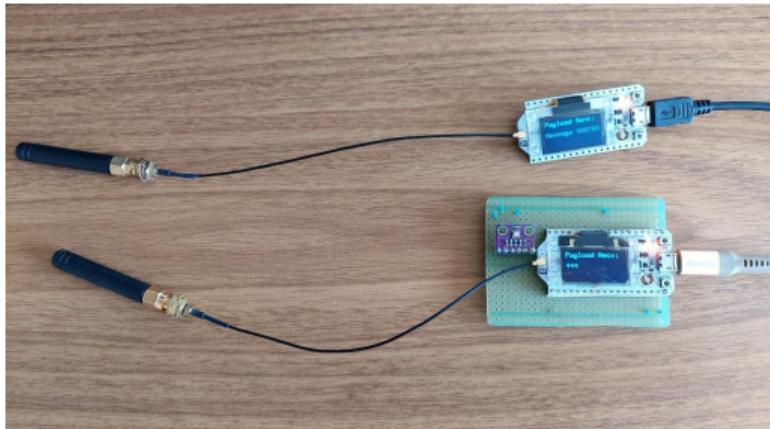


Figura: Transmissor e receptor utilizados nos testes.

Desenvolvimento

Software

- Arduino IDE (C++);
- Mensagens de teste de 23 bytes;
- Camada dupla de correção de erros (YAZDANI et al., 2021);
- Parâmetros de rádio controlados por software.

```
1 void loop() {
2     int line = 1;
3
4     snprintf(message, msg_len, "Message %06d", message_counter);
5     rs.Encode(message, lora_buf);
6
7     rf95.send((uint8_t *)lora_buf, lora_len);
8     rf95.waitPacketSent();
9
10    display.clearBuffer();
11
12    display.drawStr(0, line * (FONT_HEIGHT + 2), "Payload Sent:");
13    line = 3;
14    display.drawStr(0, line * (FONT_HEIGHT + 2), message);
15    Serial.println("Payload Sent");
16
17    display.sendBuffer();
18
19    message_counter++;
20
21    delay(100);
22 }
```

Figura: Construção e codificação do pacote a ser transmitido.

Desenvolvimento

Testes

- Teste de distância máxima, taxa de sucesso e tempo de transmissão;
- Combinação dos parâmetros testados:
 - Largura de banda (BW): 125MHz e 250MHz;
 - Fator de espalhamento (SF): 7 a 12;
 - Razão de Codificação (CR): 1 e 4.

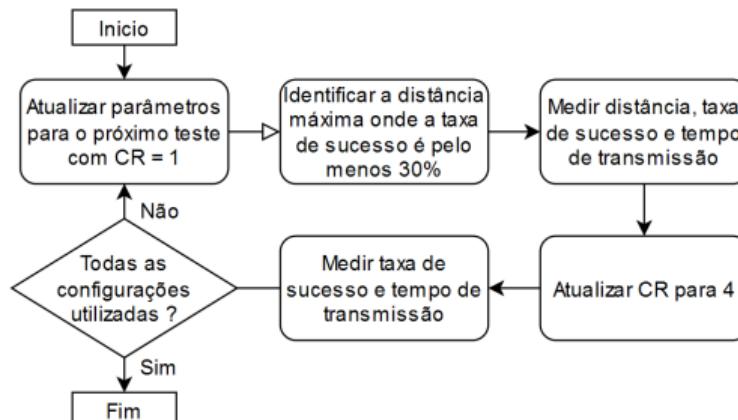


Figura: Fluxo de testes.

Resultados

Distância Máxima

- Diferença inicial entre as curvas;
- Declive superior na curva de 125MHz.

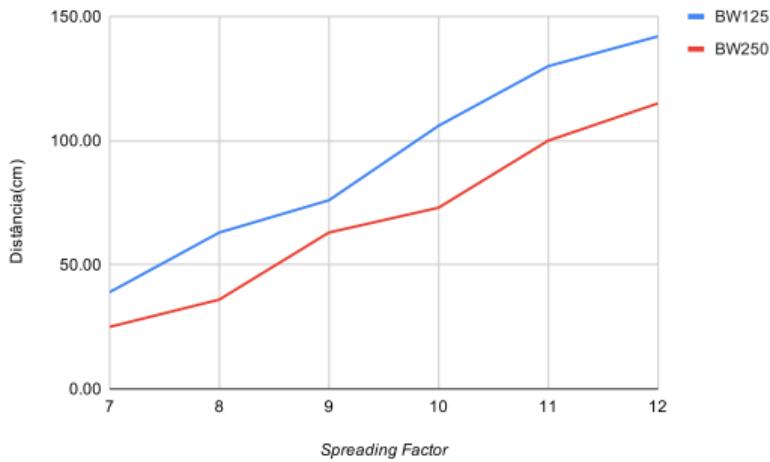


Figura: Distâncias máximas entre largura de banda de 125 e 250 MHz.

Resultados

Taxa de sucesso de transmissão

- 125MHz: Ganho médio de 14,7% e máximo de 45%;
- 250MHz: Ganho médio de 7% e máximo de 31%.

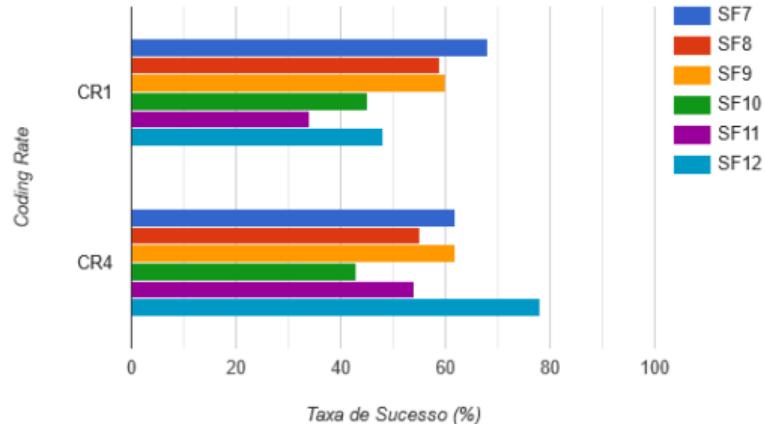
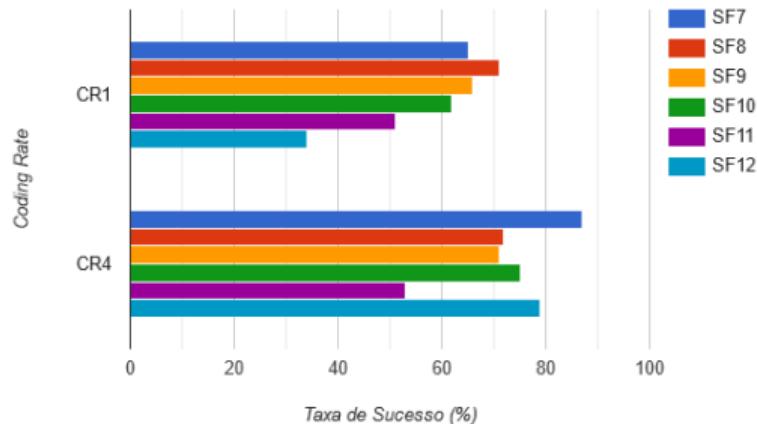


Figura: Taxa de sucesso com largura de banda de 125MHz (esquerda) e 250MHz (direita).

Resultados

Tempo de transmissão

- Maior tempo de transmissão implica em maior gasto de energia;
- Importante em dispositivos com fonte de energia limitadas;

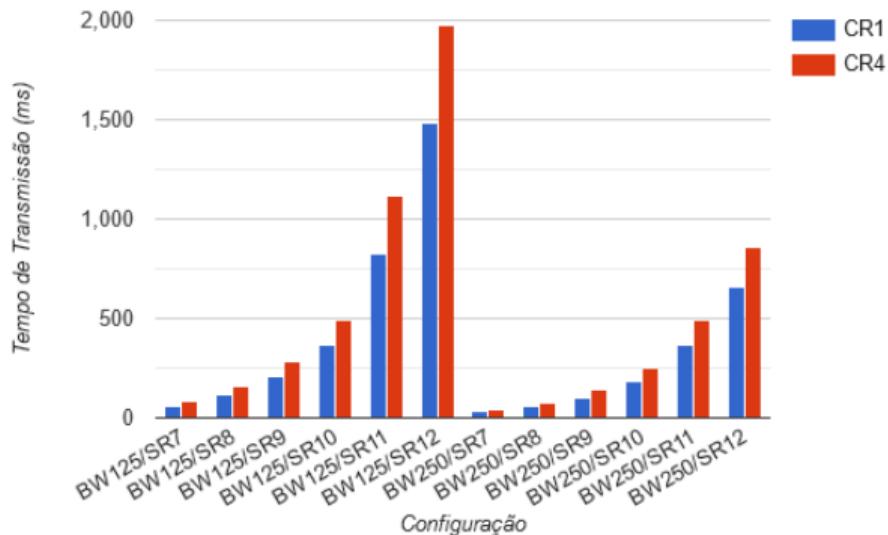


Figura: Tempo de transmissão de mensagem de 23 bytes em diferentes configurações LoRa.

Resultados

Síntese

- +: Aumentar o parâmetro melhora a característica;
- -: Diminuir o parâmetro melhora a característica;
- α : Caso a perda de dados não tenha consequências, é ideal escolher o menor SF possível que atenda a distância desejada;
- β : Não altera a característica em si, porém torna a conexão mais consistente.

Tabela: Configuração de parâmetros para diferentes características desejadas

Característica	Parâmetro	BW	SF	CR	Potência de Transmissão
Distância	-	+	β		+
Robustez	+	α	+		+
Bitrate	+	-	-		+
Eficiência energética	+	-	-		-

Conclusão

- Atestamos que LoRa é viável para a comunicação com satélites de pequeno porte;
- Parâmetros LoRa dependerão do projeto;
- Melhorias futuras:
 - Validação em ambiente controlado (câmara anechoica);
 - Antena de maior qualidade e ganho;
 - Utilização de RTOS.

Referências I

-  Agência Nacional de Telecomunicações. *Ato nº 14448, de 04 de dezembro de 2017*. 2017. Disponível em: <<https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-certificacao-de-produtos/2017/1139-ato-14448>>.
-  CARVALHO, R. D.; ESTELA, J.; LANGER, M. *Nanosatellites: Space and Ground Technologies, Operations and Economics*. [S.l.: s.n.], 2020.
-  HUFFMAN, W. C.; PLESS, V. S. *Fundamentals of error-correcting codes*. [S.I.]: Cambridge University Press, 2010.
-  LoRa Alliance. *LoRaWAN 101*. 2017. Disponível em: <<https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a20fe760334f84a9788c5b11820281bd0.pdf>>.
-  THOMPSON, T. NASA Opens New CubeSat Opportunities for Low-Cost Space Exploration. *Space Tech*, National Aeronautics and Space Administration, Aug 2015. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/press-release/nasa-opens-new-cubesat-opportunities-for-low-cost-space-exploration>>.

Referências II

 YAZDANI, N. et al. Energy Efficient Data Recovery from Corrupted LoRa Frames. *CoRR*, abs/2107.08868, 2021. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2107.08868>>.