

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CÂMPUS ITAJAÍ

YAN LUIZ DOS SANTOS

**INFRAESTRUTURA LORAWAN PARA MONITORAMENTO DE AMBIENTES
COSTEIROS: AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA COBERTURA DE REDE COM
GATEWAYS FIXO E PORTÁTIL**

ITAJAÍ
2026

Yan Luiz dos Santos

Infraestrutura LoRaWAN para Monitoramento de Ambientes Costeiros: Avaliação
Experimental da Cobertura de Rede com Gateways Fixo e Portátil

Monografia submetida ao curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Campus Itajaí como requisito para a obtenção do diploma de bacharel em engenharia elétrica .

Área de concentração: Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Roddy Alexander Romero Antayhua

Ficha de Identificação da obra elaborada pelo autor, através do cadastro de ficha de identificação disponível no portal discente do Sistema Integrado de Gestão Acadêmica - SIGAA, do IFSC.

Santos, Yan Luiz dos

Infraestrutura LoRaWAN para Monitoramento de Ambientes Costeiros: Avaliação Experimental da Cobertura de Rede com Gateways Fixo e Portátil / Yan Luiz dos Santos ; orientador(a): Roddy Alexander Romero Antayuha. -- Itajaí : 2026.
125 p.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Itajaí. Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, Itajaí, 2026.

Inclui referências.

1. LoRaWAN. 2. IoT. 3. Oceanografia. 4. Sensores. I. Antayuha, Roddy Alexander Romero. II. Instituto Federal de Santa Catarina, Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica. III. Título.

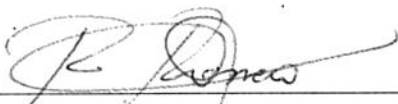
Yan Luiz dos Santos

Infraestrutura LoRaWAN para Monitoramento de Ambientes Costeiros: Avaliação
Experimental da Cobertura de Rede com *Gateways* Fixo e Portátil

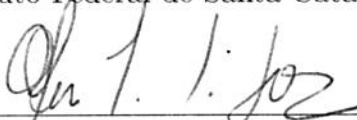
Monografia apresentada ao curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Santa Catarina, para obtenção do título de bacharel em engenharia elétrica.

Área de concentração: Engenharia Elétrica.

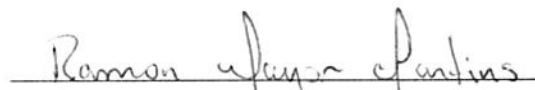
Itajaí-SC, 14 de agosto de 2026



Dr. Eng. Roddy Alexander Romero Antayhua
Instituto Federal de Santa Catarina



Me. Eng. Alfen Ferreira de Souza Júnior
Instituto Federal de Santa Catarina



Dr. Sc. Ramon Mayor Martins
Instituto Federal de Santa Catarina

ITAJAÍ-SC
2026

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa Raíssa, por todo o incentivo durante o curso. Sua cobrança e apoio durante os testes em campo, foram essenciais para manter o foco e a motivação.

Aos meus pais, que sempre me proporcionaram uma base sólida de educação e valores, e que me incentivaram desde o momento em que escolhi seguir o caminho da engenharia elétrica.

À empresa Foco Instaladora, pela parceria e colaboração ao disponibilizar maquinário e mão de obra para a instalação dos equipamentos em altura que foram instalados no Molhes da Barra.

Ao INIS de Itajaí, por conceder acesso ao espaço no Parque do Atalaia, permitindo que as atividades de campo fossem executadas nos horários certos.

À UNIVALI, pelo apoio com à Rádio Costeira, cuja colaboração foi fundamental para a viabilidade do local de instalação do *gateway*.

Ao professor Roddy, pelas ideias, orientações e acompanhamento ao longo de todo o desenvolvimento do trabalho.

Ao IFSC Câmpus Itajaí, que através de recursos projetos de pesquisa forneceu a maioria dos equipamentos utilizados neste trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste TCC, deixo aqui minha gratidão.

RESUMO

Os oceanos cumprem um papel importante na economia e nas mudanças climáticas mundiais. Para auxiliar em pesquisas referente a este assunto, este trabalho traz um estudo de cobertura de uma rede de IoT (*Internet of Things*) utilizando-se de um *gateway* (GW) com tecnologia LoRaWAN através de *hardware* e *software* embarcado em um *Raspberry Pi*, instalado no Molhes da Barra em Itajaí-SC, que pode ser utilizado para receber dados de pesquisadores em áreas marinhas e costeiras na foz do Rio Itajaí-Açu. Além disso, é apresentado um GW de modelo comercial capaz de operar com conexão à internet por dados de telefonia móvel e alimentação por baterias, podendo ser posicionado em locais de interesse para realizar testes de cobertura sem a necessidade de uma instalação fixa. Foram utilizados dispositivos finais de modelos comerciais e protótipos, instalados em embarcações, para verificar a cobertura principalmente do GW do Molhes da Barra e de um ponto de interesse em Bombinhas-SC com o GW portátil. Os testes de cobertura com o GW do Molhes de Barra apresentaram distâncias de transmissão superiores a 5 km, viabilizando a recepção de *uplinks* LoRaWAN para pesquisas que podem utilizar-se desta infraestrutura de rede.

Palavras-chave: LoRaWAN; IoT; oceanografia; sensores.

ABSTRACT

The oceans play an important role in the world's economy and climate changes. Aiming in aiding research in oceans, this paper brings a coverage study of an IoT (Internet of Things) network, making usage of a gateway (GW) with LoRaWAN technology, with hardware and software on a Raspberry Pi, installed at Molhes da Barra in Itajaí - Brazil, which can be used to receive data from researches in maritime and coastal areas around the mouth of the Itajaí-Açu River. Alongside that, is presented a portable gateway capable of operating with internet connection with mobile cellphone data network, powered by batteries, which can be installed in points of interest, to make coverage tests, without the need for permanent installs. Commercial and prototype end-devices were used, installed in boats to verify the coverage of Molhes da Barra gateway and a point of interest with the portable gateway at Bombinhas - Brazil. The coverage tests of Molhes de Barra gateway presented transmission distances further than 5 km, enabling LoRaWAN uplink reception for the researches that could benefit from this technology.

Keywords: LoRaWAN; IoT; oceanography; sensors.

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 – Largura de banda (<i>bandwidth</i>) e distância (<i>range</i>) dos protocolos de comunicação	20
Imagem 2 – Topologia de uma rede LoRaWAN	21
Imagem 3 – Protótipo em Arduino com módulos LoRa e sensor de temperatura.....	22
Imagem 4 – <i>Gateway</i> comercial da fabricante Khomp, modelo ITG 200.....	23
Imagem 5 – <i>Raspberry Pi</i> com o shield WM1302 da Seeed Studio.....	26
Imagem 6 – Tela inicial do <i>software Raspberry Pi Imager</i>	27
Imagem 7 - Tela de escolha <i>Choose Device</i>	27
Imagem 8 - Tela de escolha <i>Choose OS</i>	28
Imagem 9 – Tela de progresso da instalação.....	29
Imagem 10 – Local de acoplamento de cartão SD na parte inferior da placa.....	29
Imagem 11 – Adaptador de energia conectado na porta USB-C de alimentação.....	30
Imagem 12 – Tela de configurações do sistema operacional do <i>Raspberry Pi</i>	32
Imagem 13 – Tela de configurações do sistema operacional do <i>Raspberry Pi</i>	35
Imagem 14 – Botão no console da TTN que inicia o formulário de cadastro de GW	35
Imagem 15 – Tela inicial de cadastro de gateway na TTN.....	36
Imagem 16 – Tela padrão contendo os últimos status do GW recebidos pela TTN..	37
Imagem 17 – Encapsulamento do <i>Raspberry Pi</i> , fonte de alimentação e antena.....	38
Imagem 18 – Encapsulamento do <i>Raspberry Pi</i> , com antena externa.....	39
Imagem 19 – Encapsulamento do <i>Raspberry Pi</i> , com antena externa.....	40
Imagem 20 – Etiqueta de identificação colada na parte externa do encapsulamento do gateway.....	40
Imagem 21 – Nó-sensor (end-device) comercial Khomp NIT 21 LI.....	41
Imagem 22 – Encapsulamento do <i>Raspberry Pi</i> , com antena externa.....	43
Imagem 23 – Tela de exemplo de dashboard na TagIO.....	43
Imagem 24 – Local de instalação provisória do gateway, próximo a janela.....	46
Imagem 25 – Último teste realizado no molhe com o dispositivo comercial da Khomp	47
Imagem 26 – Linha de visada entre posição provisória do gateway e última medição com o nó-sensor da Khomp.....	48
Imagem 27 – Menu de opções do GW no console da TTN.....	49

Imagem 28 – Informações exibidas sobre o GW do Molhes da Barra no mapa público da TTN.....	49
Imagem 29 – Informações exibidas sobre o GW do Molhes da Barra no mapa público da TTN.....	50
Imagem 30 – Fluxograma de operação do gateway.....	50
Imagem 31 – Fluxograma de operação do gateway melhorado com realimentação.....	51
Imagem 32 – Janela que se abre ao acessar o link de verificação de conta.....	53
Imagem 33 – Lista de dispositivos Raspberry vinculados a conta.....	53
Imagem 34 – Caminhão munck posicionado para iniciar o trabalho de instalação do gateway no telhado.....	54
Imagem 35 – Trabalho de instalação do Gateway no telhado finalizado.....	55
Imagem 36 – Gateway instalado no telhado da Rádio Costeira.....	55
Imagem 37 – Gateway situação atual.....	56
Imagem 38 – Placa de desenvolvimento com base em ESP32 TTGO LoRa V1.3....	56
Imagem 39 – Módulo de GPS Neo-6M.....	57
Imagem 40 – Baterias de Lí-Ion 4,2 V e 9800 mAh.....	58
Imagem 41 – Primeira versão do encapsulamento do protótipo de dispositivo LoRa	58
Imagem 42 – Chaves geradas automaticamente pela TTN.....	59
Imagem 43 – Codificação da mensagem para envio, com informações de latitude, longitude e HDOP.....	61
Imagem 44 – Codificação de mensagem com latitude, longitude, HDOP e nível de bateria.....	62
Imagem 45 – Imagem 45 – Trecho do decodificador que converte as informações de latitude.....	66
Imagem 46 – Trecho do decodificador que converte as informações de latitude.....	67
Imagem 47 – Ligação para teste inicial de duração da bateria.....	68
Imagem 48 – Curva de descarga bateria Intelbras XB1270.....	68
Imagem 49 – Montagem de baterias no painel e verificação da tensão após ligação em paralelo.....	69
Imagem 50 – Esquema de ligação somente com conversor CC-CC e duas baterias	70
Imagem 51 – Montagem do painel com baterias, gateway, conversor e antenas.....	70
Imagem 52 – Montagem do painel com baterias, gateway, conversor e antenas.....	71

Imagem 53 – Janela do console demonstrando as mensagens que foram recebidas por múltiplos GWs.....	72
Imagem 54 – Direção de visada para testar ajuste de offset de RSSI.....	73
Imagem 55 – Posição do nó-sensor na baía, em direção ao Molhes da Barra.....	74
Imagem 56 – Dispositivo final comercial de GPS no barco.....	77
Imagem 57 – Visualização dos pontos de medição da saída do dia 22 de fevereiro de 2025.....	79
Imagem 58 – Nó-sensor Dragino posicionado no barco na saída do dia 17 de março de 2025 e posteriormente no retorno no dia seguinte.....	80
Imagem 59 – Pontos coletados na saída do dia 17 de março de 2025.....	81
Imagem 60 – Mapa retorno dia 18 de março de 2025.....	82
Imagem 61 – Nó-sensor comercial Dragino posicionado com o protótipo de GPS feito com ESP32 deste trabalho.....	83
Imagem 62 – Mapa com os pontos coletados pelo nó-sensor Dragino.....	85
Imagem 63 – Mapa com os pontos coletados pelo protótipo ESP32.....	86
Imagem 64 – Nós-sensores posicionados no barco para a saída do dia 12 de julho de 2025.....	87
Imagem 65 – GW portátil posicionado para medições da saída do dia 12 de julho de 2025.....	87
Imagem 66 – Pontos coletados pelo ESP32 na saída do dia 12 de julho de 2025.....	90
Imagem 67 – Pontos coletados pelo Dragino na saída do dia 12 de julho de 2025.....	93
Imagem 68 – Todos os pontos coletados na saída do dia 12 de julho de 2025.....	93
Imagem 69 – Localização do Parque do Atalaia em relação ao Molhes da Barra....	94
Imagem 70 – ESP32 posicionado no barco.....	95
Imagem 71 – GW portátil posicionado no telhado da Secretaria de Pesca de Bombinhas.....	96
Imagem 72 – Mapa ESP32 saída 10 de novembro de 2025.....	98
Imagem 73 – Mapa Dragino 10 novembro de 2025.....	99
Imagem 74 – Nós-sensores instalados no barco na saída do dia 27 de dezembro de 2025.....	100
Imagem 75 – Posição do GW portátil no Morro do Atalaia.....	100
Imagem 76 – Mapa com os pontos coletados com o Dragino no dia 27 de dezembro de 2025.....	101

Imagem 77 – Mapa com os pontos coletados com o ESP32 no dia 27 de dezembro de 2025.....	101
Imagem 78 – Mapa de cobertura GW Molhes da Barra.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de RSSI e SNR obtidos durante os testes iniciais.....	48
Tabela 2 – Valores de RSSI e SNR registrados antes da configuração de offset.....	74
Tabela 3 – Valores de RSSI e SNR registrados após a configuração de offset.....	75
Medições coletadas na saída de barco no dia 22 de fevereiro de 2025.....	77
Tabela 5 – Medições coletadas na saída de barco no dia 17 de março de 2025.....	80
Tabela 6 – Medições coletadas no retorno do barco no dia 18 de março de 2025...	81
Tabela 7 – Medições coletadas na saída do dia 04 de julho de 2025 com protótipo ESP32.....	84
Tabela 8 – Medições coletadas na saída do dia 04 de julho de 2025 com Dragino..	84
Tabela 9 – Medições coletadas na saída do dia 12 de julho de 2025 com ESP32 (GW Molhes da Barra).....	88
Tabela 10 – Medições coletadas na saída do dia 12 de julho de 2025 com Dragino (GW Molhes da Barra).....	90
Tabela 11 – Medições coletadas com dispositivo Dragino pelo GW do Parque do Atalaia.....	94
Tabela 12 – Medições coletadas na saída do dia 10 de novembro de 2025 com ESP32.....	96
Tabela 13 – Medições coletadas na saída do dia 10 de novembro de 2025 com Dragino.....	97
Tabela 14 – Medições coletadas na saída do dia 27 de dezembro de 2025 com ESP32 (GW Molhes da Barra).....	102
Tabela 15 – Medições coletadas na saída do dia 27 de dezembro de 2025 com Dragino (GW Molhes da Barra).....	103
Tabela 16 – Medições ESP32 Ambos os GWs (Molhes da Barra).....	105
Tabela 17 – Medições ESP32 Ambos os GWs (Parque do Atalaia).....	105
Tabela 18 – Medições ESP32 Ambos os GWs (Molhes da Barra).....	105
Tabela 19 – Medições ESP32 Ambos os GWs (Parque do Atalaia).....	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMFRI	Associação dos Municípios da Região da Foz do Rio Itajaí
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANI	Associação Náutica de Itajaí
API	Application Programming Interface
AppEUI	Application Extended Unique Identifier
AppKey	Application Key
DevEUI	Device Extended Unique Identifier
EPAGRI	Empresa de Pesquisa e Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
EUI	Extended Unique Identifier
GPIO	General Purpose Input/Output
GW	Gateway
HDOP	Horizontal Dilution of Precision
IoT	Internet of Things
JSON	JavaScript Object Notation
JoinEUI	Join Extended Unique Identifier
JS	JavaScript
LMIC	LoRa MAC in C
LoRa	Long Range
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network
LPWAN	Low Power Wide Area Network
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
MSB	Most Significant Bit
NB-IoT	Narrowband Internet of Things
OTAA	Over-the-Air Activation
RSSI	Received Signal Strength Indicator
SMA	SubMiniature version A
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SPI	Serial Peripheral Interface
TTN	The Things Network

UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
USB	Universal Serial Bus

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 JUSTIFICATIVA.....	16
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 Objetivo Geral.....	16
1.2.2 Objetivos Específicos.....	17
1.3 ESTADO DA ARTE.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1 REDES E INTERNET OF THINGS.....	19
2.2 TOPOLOGIA DE UMA REDE LORAWAN.....	20
2.2.1 Dispositivos Finais (End-Devices).....	21
2.2.2 Gateways.....	22
2.2.3 Aplicações.....	23
2.3 THE THINGS NETWORK.....	24
3.1 MONTAGEM DE UM PROTÓTIPO DE GATEWAY.....	25
3.1.1 Instalação do Sistema Operacional.....	26
3.1.2 Instalação do Shield no Raspberry Pi.....	29
3.1.3 Configurando gateway na TTN e testes do Packet Forwarder.....	34
3.1.4 Encapsulamento do Protótipo do Gateway.....	37
3.1.5 Nó-sensor Comercial, TTN e TagoIO.....	41
3.1.6 Instalação Provisória do Gateway.....	46
3.1.7 Configurações Avançadas do Gateway.....	50
3.1.8 Instalação Definitiva do Gateway.....	52
3.2 PROTÓTIPO DE END-DEVICE GPS.....	56
3.2.1 Sensor de GPS.....	59
3.2.2 Nível de Bateria.....	60
3.2.3 Payload Formatter.....	62
3.2.3.1 Nível de Bateria.....	63
3.2.3.2 Valores de GPS.....	64
3.2.4 Dashboard na TagoIO.....	65
3.2.5 GPS tracker comercial.....	66
3.3 GATEWAY PORTÁTIL.....	67
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
4.1 TESTES DE COBERTURA DO GATEWAY MOLHES DA BARRA.....	76
4.1.1 Saída em 22 de fevereiro de 2025.....	76
4.1.2 Saída em 17 de março de 2025.....	79
4.1.3 Saída em 04 de julho de 2025.....	83
4.1.4 Saída em 12 de julho de 2025.....	86
4.1.5 Saída em 11 de novembro de 2025.....	95
4.1.6 Saída em 27 de dezembro de 2025.....	99

4.2 MAPA DA COBERTURA DO GW MOLHES DA BARRA.....	105
5 CONCLUSÃO.....	107
APÊNDICE A – CÓDIGO VERIFICADOR DE STATUS DO PROTÓTIPO DE GATEWAY COM A TTN.....	112
APÊNDICE B – ARQUIVO RESET_LGW.SH ATUALIZADO PARA ATENDER AO SISTEMA DEBIAN BOOKWORM.....	115
APÊNDICE C – CÓDIGO PAYLOAD FORMATTER COMPLETO DO PROTÓTIPO DE GPS.....	117
APÊNDICE D – CÓDIGO DE COMUNICAÇÃO VIA MQTT COM A TTN PARA VERIFICAR QUAIS GATEWAYS RECEBERAM O MESMO UPLINK DE UM DISPOSITIVO.....	119
APÊNDICE E – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO PARA O GW GLOBAL_CONF.JSON.....	121

1 INTRODUÇÃO

A bioquímica e biologia do oceano cumprem um papel importante na economia mundial e nas mudanças climáticas (BRICIU-BURGHINA et al., 2023). Santa Catarina é referência nacional na produção de moluscos, sendo esta atividade presente em diversos municípios costeiros (SUPLICY, 2022). Atividades econômicas e humanas, podem causar impactos diretos no ecossistema marítimo, sendo este, o objeto de estudo de diversos pesquisadores. Um exemplo disto, é o monitoramento de temperatura de ninhos de tartarugas marinhas, pois é um fator determinante para o sexo do filhotes, o que torna importante realizar o acompanhamento deste dado para tomada de decisão referente a implementação de estratégias de manejo eficazes (FARIA et al., 2025). Outro exemplo, é um projeto em parceria da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) com a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que utiliza-se de sensores para verificar, coletar e quantificar fezes e pseudofezes de moluscos bivalves, pois esses resíduos podem se acumular no fundo do mar e causar impactos ambientais (EPAGRI, 2025).

Para o desenvolvimento de atividades que requerem monitoramento de dados, a utilização de sensores que fazem a medição de forma eletrônica são imprescindíveis, pois reduzem os custos e aumentam a confiabilidade da pesquisa. De acordo com Durante (2018), são poucos os sensores que apresentam conexão com ou sem fio para aquisição eletrônica de dados em ambientes aquáticos, fazendo com que os dados tenham que ser coletados manualmente em campo. Para auxiliar os pesquisadores, a transmissão de dados de forma remota dos dados obtidos por esses sensores pode ser utilizada, levando em conta os custos de equipamentos, instalação e manutenção, comparada com os custos de visitas em campo, que demandam tempo de deslocamento e meio de transporte adequado. Tais sistemas eletrônicos podem parecer ameaçadores em ambientes fluviais e marítimos, onde a disponibilidade de energia elétrica, comunicação de dados e manutenção são de grandes desafios. Além disto, a escolha pela tecnologia empregada pode não ser trivial, pois existem diversas tecnologias de transmissão de dados sem fio, como por exemplo, Wi-Fi e 4G, cada uma com as suas particularidades de custos de implementação e manutenção, distância de transmissão e área de cobertura.

1.1 JUSTIFICATIVA

Para propor uma solução para este problema, neste trabalho será apresentado uma forma de rede de monitoramento de Internet of Things (IoT) do tipo Low Power Wide Area Network (LPWAN) denominada de Long Range Wide Area Network (LoRaWAN), que é capaz de transmitir dados entre nós-sensores (também chamados de end-devices ou dispositivos finais) e gateways (GWs). A utilização do sistema pelo usuário final pode limitar-se a apenas a implementação de um nó-sensor, desde que haja cobertura do local pelas antenas de um gateway público, ou contratação adicional de acesso à um gateway privado, como por exemplo da empresa *Netmore*, que possui cobertura parcial de áreas costeiras¹. A implementação fica então relativamente fácil, com comunicação segura por criptografia, e pode abranger centenas de metros quadrados de área de cobertura (DAVCEV et al., 2018). Os nós-sensores possuem baixa manutenção e baixo consumo de energia, podendo operar em locais onde não há fornecimento de energia elétrica, através de baterias, podendo durar até mesmo por mais de um ano (DAVCEV et al., 2018) sem substituição ou recarga.

Neste trabalho, buscou-se realizar a instalação de um GW em local estratégico no Molhes da Barra em Itajaí-SC, tendo como base o projeto intitulado Metodologia para a implementação de uma rede sem fio Long Range (LoRa) como suporte a pesquisas em regiões costeiras, para previsão de cobertura da região costeira da Associação dos Municípios da Região da Foz do Rio Itajaí (AMFRI), onde realizou-se o levantamento de materiais e custos para montagem de *gateways* e nós-sensores e estudo sobre utilização de plataformas como a *The Things Network* (TTN) e TagoIO.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Viabilizar o uso da tecnologia LoRaWAN para a comunicação sem fio em cenários de monitoramento de ambientes marinhos costeiros através da

¹ Cobertura verificada no mapa disponibilizado pela empresa *Netmore* no endereço: <https://iot-labs.io/rede-neutra-iot-lorawan-da-netmore/#cobertura>

implementação de estrutura de IoT em local de estudos selecionado, composta de *gateway*, nós-sensores e plataforma de visualização de dados

1.2.2 Objetivos Específicos

- Implementar um *gateway* em ponto chave na cidade, com apoio das autoridades, testando a conectividade do GW com a plataforma da TTN;
- Implementar um nó-sensor LoRa através de placa de desenvolvimento ESP32, verificando seu funcionamento com comunicação através do GW implantado;
- Montar um *gateway* portátil, com alimentação elétrica por baterias e acesso a rede de internet por telefonia móvel, para permitir a realização de testes de cobertura em locais determinados, sem a necessidade de instalação fixa;
- Verificar o funcionamento e área de cobertura da estrutura de IoT implementada, com sensores tipo georreferenciamento em movimento com auxílio de embarcações, comparando os resultados entre os *gateways*.

1.3 ESTADO DA ARTE

Realizadas as pesquisas em trabalhos acadêmicos em âmbito nacional sobre a tecnologia e aplicação LoRaWAN, é possível notar a utilização principalmente em agricultura. Nesta seção, serão apresentados alguns artigos e trabalhos desenvolvidos no exterior que envolvem problemas semelhantes aos que são enfrentados em ambientes marítimos, por exemplo, a falta de cobertura de telefonia móvel e dificuldade de implementação de alimentação elétrica para nós sensores.

Campagnaro et al. (2022) sugere a necessidade de baixo custo em equipamentos de coleta de dados em locais de costa e aquáticos, citando como exemplo um leito de rio, onde podem ser posicionais sensores e transmissores para obter informações relevantes à qualidade da água. Comparando tecnologias como NB-IoT, Sigfox e LoRaWAN, encolheram esta última, devido ao baixo consumo de energia e longa distância de transmissão. Além disso, com um sensor instalado a 1 metro de profundidade em uma piscina, conseguiram transmitir dados diretamente para um GW terrestre. O presente trabalho, implementa uma arquitetura LoRa de

baixo custo, com GW instalado em ponto fixo, e verifica através de nós-sensores a cobertura de uma área costeira.

Pinelo et al. (2023) buscou implementar um GW comercial em ponto fixo instalado na Ilha dos Açores, e com nós-sensores instalados em pequenos barcos de pesca, mapeou a cobertura do GW, obtendo distâncias de transmissão superiores a 100 km com linha de visada desobstruída. O presente trabalho traz a implementação desse tipo de sistema de comunicação com sistemas de baixo custo, como GWs e nós-sensores construídos a partir de placas de desenvolvimento como *Raspberry Pi* e ESP32.

Pozzebon et al. (2023) demonstra através de nós-sensores com tecnologia de transmissão LoRa, a possibilidade de receber os pacotes de dados enviados mesmo com esses dispositivos submersos, à um custo de redução na distância de transmissão, devido a atenuação causada pela água. O presente trabalho apresenta um GW comercial, encapsulado com baterias e conexão com a internet através de rede de telefonia móvel, que pode ser útil para determinar a viabilidade de transmissão destes dispositivos.

O trabalho de Jovalekic et al. (2018) que traz no âmbito da tecnologia LoRa a possibilidade de utilizar-se desse sistema, ao invés de satélites ou Wi-Fi, implementou nós-sensores e GWs comerciais compactos com antenas omnidirecionais em pontos fixos separados por um golfo. Levando em consideração visada direta entre as antenas e condições climáticas, obtiveram distâncias de transmissão superiores à 22 km e ainda afirmam a possibilidade de maiores distâncias, desde que utilizadas antenas de maiores tamanhos e potências. Ainda, confirma a possibilidade de utilizar este tipo de transmissão até mesmo onde existam obstáculos entre as antenas. O presente trabalho, implementa GWs e nós-sensores em condições semelhantes, indo além da área terrestre, em embarcações para determinar viabilidade em ambientes marítimos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REDES E *INTERNET OF THINGS*

De acordo com (ROSE; ELDRIDGE; CHAPIN, 2015) o termo *Internet of Things* denota uma tendência em que um grande número de dispositivos embarcados empregam serviços de comunicação oferecidos por protocolos de internet. Muitos desses dispositivos, frequentemente chamados de objetos inteligentes, não são operados diretamente por pessoas, e estão espalhados por diversos locais, como prédios, carros e no meio ambiente.

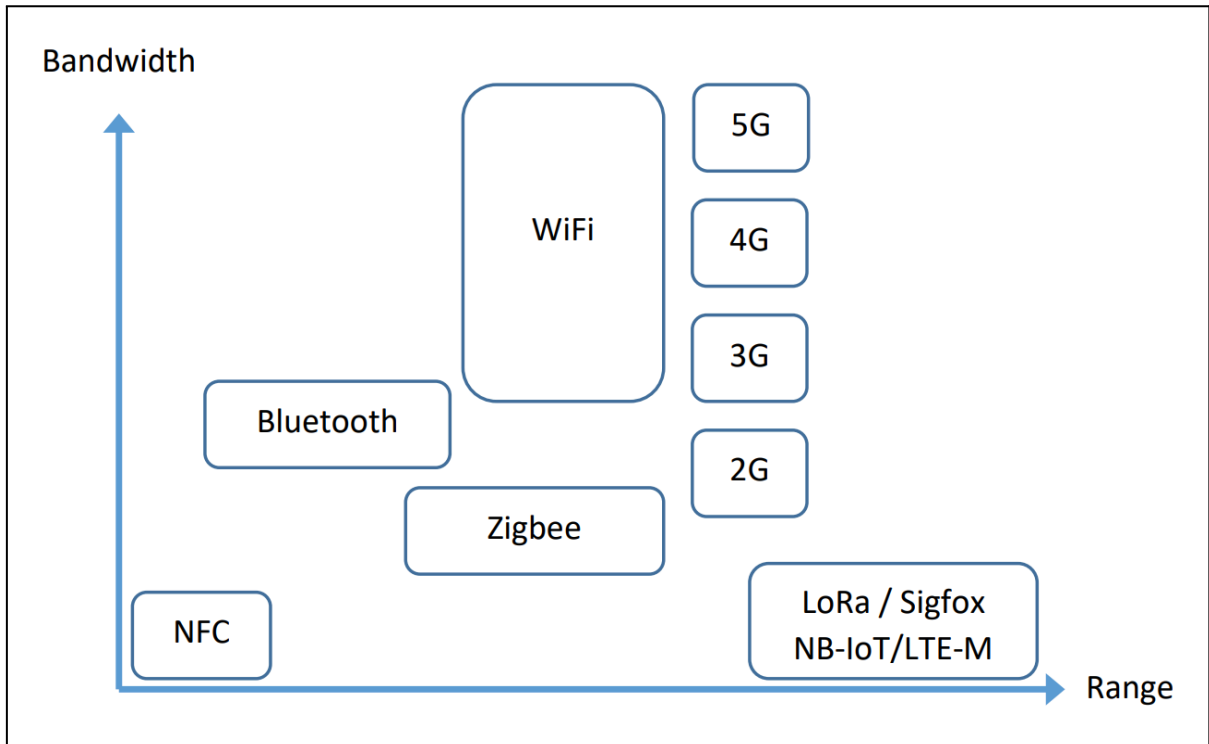
Diversos protocolos podem ser utilizados como por exemplo, *Bluetooth*, Wi-Fi, 3G, 4G, NFC, Zigbee etc. e podemos classificá-los de acordo com a largura de banda e distância (MONTAGNY, 2022). É possível notar essas características no gráfico da Imagem 1 onde podemos observar que a tecnologia 5G possui uma ótima capacidade de banda e de distância de transmissão, enquanto LoRa, que é a tecnologia de transmissão que empregou-se neste trabalho, possui a melhor capacidade de distância, porém baixa capacidade de transferência de dados.

Com característica similares em termos de distância, pode-se citar SigFox que opera através de uma rede privada e proprietária, sendo possível a utilização mediante à assinatura de pacote de dados, porém possui limite de até 140 mensagens diárias e 12 *bytes* de limite por mensagem; e NB-IoT que opera também em modelo de rede paga, com conexão através de operadoras de telefonia móvel. Esta possui maior quantidade de dados, porém consome mais energia.

É importante destacar que, apesar de aparentemente termos uma limitação de transmissão de dados em relação a outras formas, o baixo consumo de energia é um dos principais motivos para utilizar a tecnologia LoRa. A exemplo disto, podemos citar a ficha técnica de um transmissor comercial da fabricante Khomp modelo NIT 21 LI² que opera com duas pilhas AA e pode, de acordo com o manual do fabricante, transmitir por 390 dias com transmissões a cada 5 minutos.

² Disponível em:
https://docs.khomp.com/wikidocs/images/e/eb/Manual_NIT_2xLI_-_PT_v3.pdf

Imagem 1 – Largura de banda (*bandwidth*) e distância (*range*) dos protocolos de comunicação

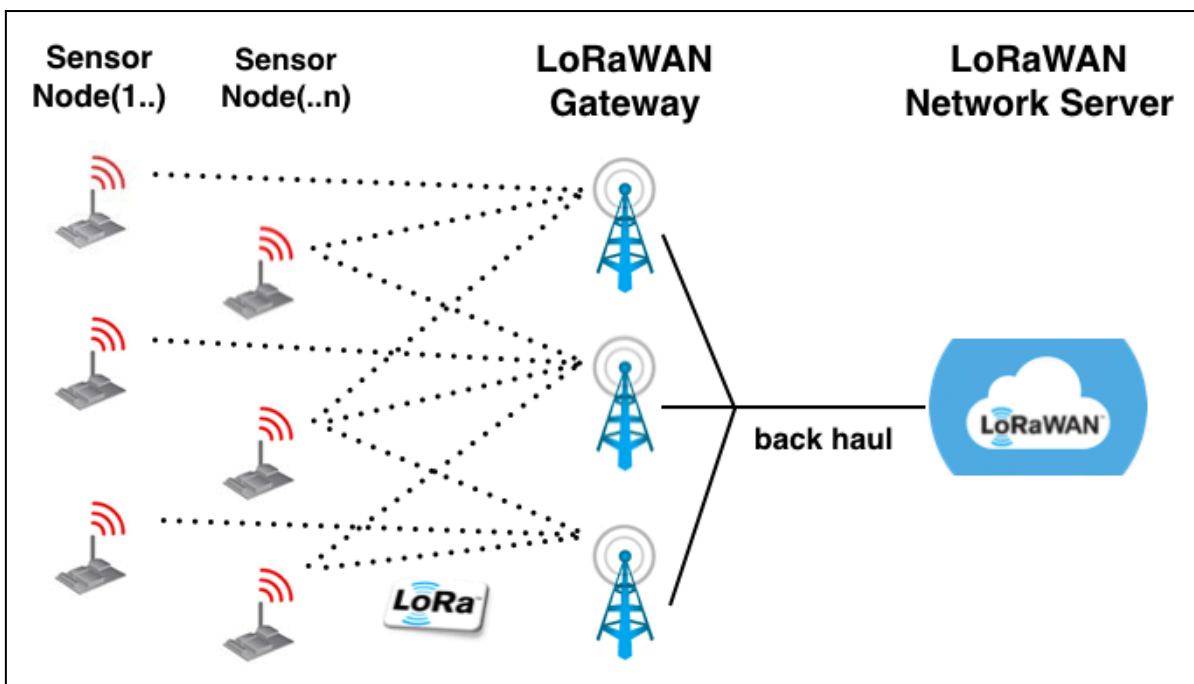


Fonte: Montagny (2022).

2.2 TOPOLOGIA DE UMA REDE LORAWAN

Para permitir a integração de dispositivos à internet, podemos utilizar uma topologia denominada *Long Range Wide Area Network* (LoRaWAN), que no Brasil opera na faixa de frequência de 915 MHz (ANTAYHUA; MACHADO, 2024), deste modo conferindo ligação à internet de forma indireta através de *gateways* (GWs). O dispositivo final, que pode ser um sensor de temperatura ou umidade por exemplo, envia as informações através de rádio LoRa, que pode ser recebido por um ou mais *gateways* e então são enviados para um servidor na internet que é responsável por gerenciar e decodificar as mensagens recebidas, enviando-as para a aplicação do usuário, podendo então os dados serem finalmente acessados. A Imagem 2 ilustra a topologia que é empregada para o funcionamento básico da rede LoRaWAN.

Imagem 2 – Topologia de uma rede LoRaWAN



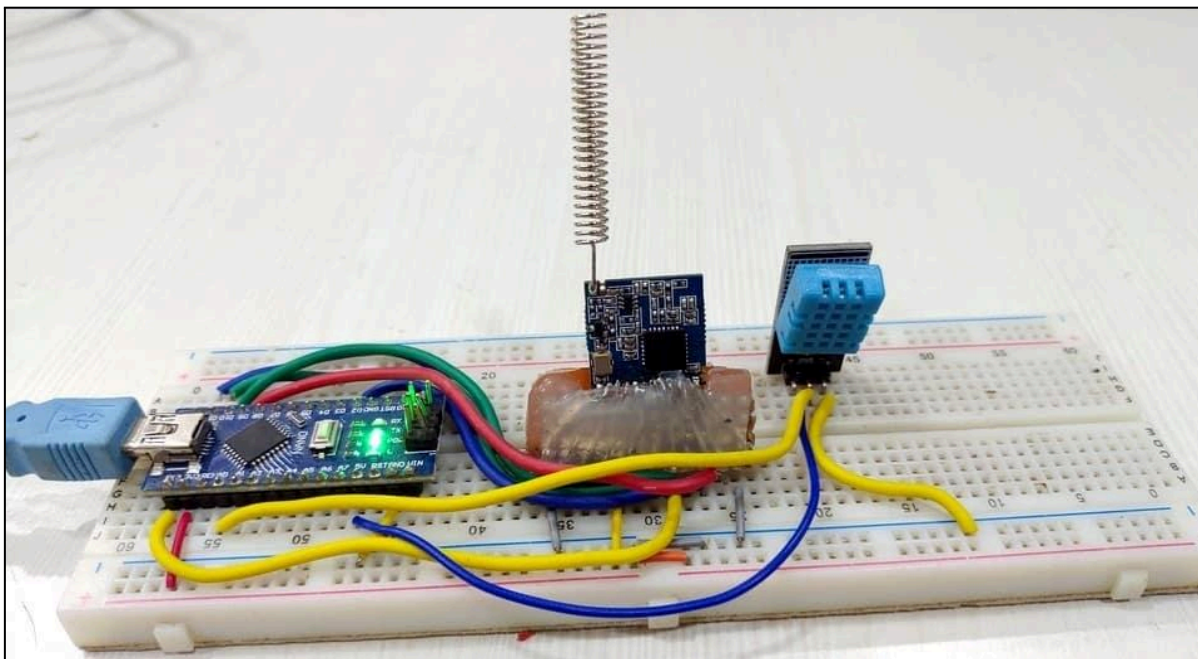
Fonte: *Researchgate* (2025).

2.2.1 Dispositivos Finais (*End-Devices*)

Estes dispositivos são responsáveis por converter os dados brutos de sensores e transdutores de forma a prepará-los para transmissão. Como exemplo, podemos citar um módulo sensor de temperatura e um módulo transmissor LoRa conectado à uma placa de desenvolvimento microcontrolada Arduino, ilustrada na Imagem 3. Na programação, com auxílio das bibliotecas que possuem métodos para interpretar os dados dos sensores e controle do transmissor, cadastra-se o dispositivo com um identificador único e uma chave de criptografia, e incluem-se esses dados na aplicação do servidor de rede. Durante a coleta de dados do sensor, o envio de mensagem é feito, que contém informações do dispositivo e a informação de temperatura. O cabeçalho - parte da mensagem que contém informações pertinentes ao dispositivo e a transmissão - e o pacote de dados que são as informações que desejamos transmitir, neste caso a temperatura. Somando o cabeçalho e o pacote de dados tem-se a composição da mensagem, que é criptografada, e neste exemplo, pode ter algo em torno de 20 bytes. Por último, um dispositivo final também pode receber mensagens, vindas de um *gateway*, por exemplo, para confirmar a entrada na rede ou configurar a potência de transmissão.

Os pacotes enviados do dispositivo ao *gateway* são denominados *uplinks* enquanto os pacotes enviados do *gateway* ao dispositivo são denominados *downlinks*.

Imagem 3 – Protótipo em Arduino com módulos LoRa e sensor de temperatura

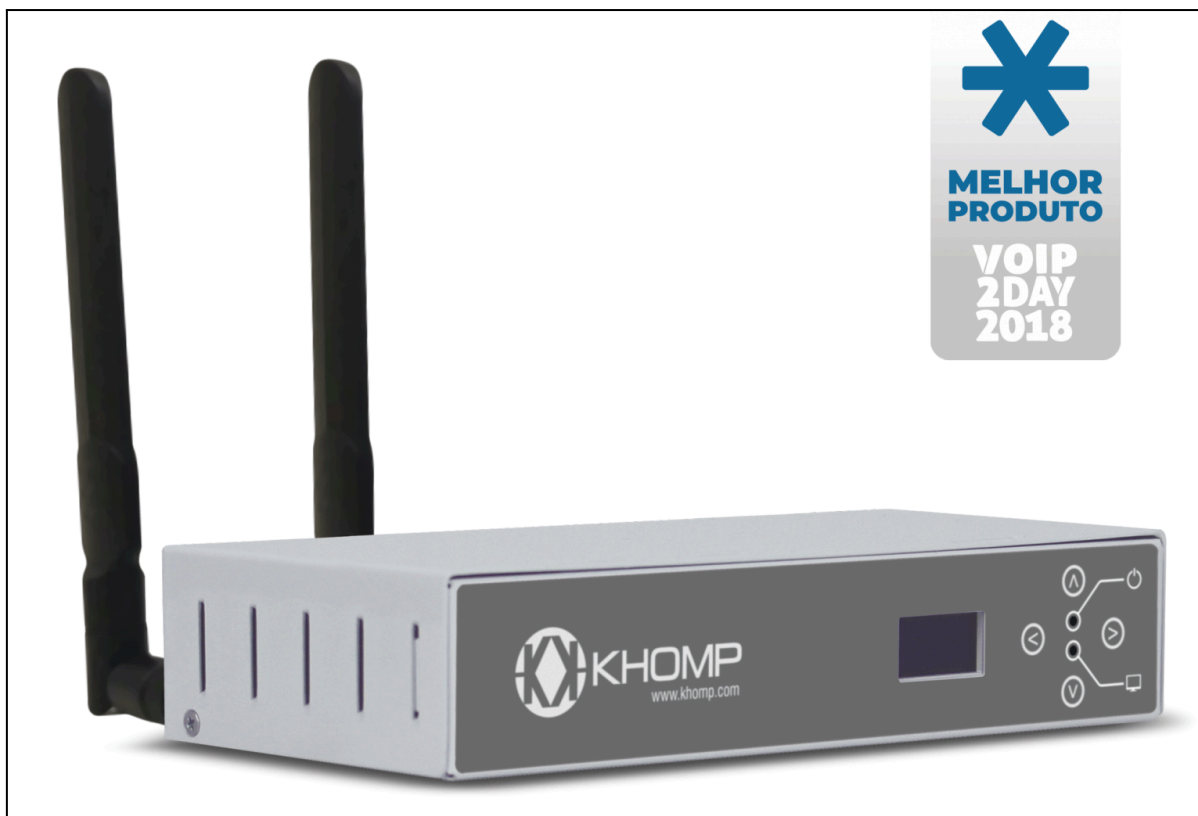


Fonte: How To Electronics (2025).

2.2.2 Gateways

Os *gateways* são os componentes da rede que estão conectados à internet. Existem modelos que são capazes de fazer essa conexão através de redes locais via Wi-Fi e *Ethernet*, e até mesmo através de redes de dados móveis via 3G e/ou 4G. Também possuem uma antena para comunicação LoRa, sendo efetivamente uma ponte entre a internet e os dispositivos finais. A Imagem 4 ilustra um GW comercial com essas características. É importante destacar que os *gateways* não são capazes de decodificar as informações do pacote de dados, apenas são capazes de interpretar o cabeçalho, e então a mensagem completa é repassada ao servidor de rede. Da mesma forma, um *gateway* pode enviar uma informação do servidor de rede ao dispositivo final através de mensagens denominadas *downlinks*, sendo geralmente utilizadas para enviar configurações.

Imagem 4 – Gateway comercial da fabricante Khomp, modelo ITG 200



Fonte: Khomp (2025).

2.2.3 Aplicações

Os dispositivos finais são cadastrados nas denominadas "aplicações", podendo então finalmente obter acesso aos dados, que são descriptografados utilizando a chave de codificação que são configuradas nas duas pontas. É nesta etapa, onde manipula-se a mensagem, através de um código que iremos denominar de decodificador ou *payload formatter*. Por exemplo, pode-se transmitir a temperatura de uma praça no centro de uma cidade, e considerando que a temperatura ambiente histórica nunca passou dos 40° e nunca esteve abaixo de 0°C, para economizar tempo de transmissão, é possível programar o dispositivo final para transmitir um valor entre 0 e 255, ocupando apenas 1 *byte*. Na etapa de decodificação, na aplicação, converte-se novamente para a faixa de valores de 0 a 40°C. Deste modo temos uma precisão de 0,15°C, o que é aceitável para o caso de medição de temperatura ambiente de um espaço público. A partir da informação

decodificada, através deste servidor de aplicação é possível encaminhar esta mensagem para aplicativos de visualização de dados.

2.3 THE THINGS NETWORK

É uma rede colaborativa global de um ecossistema de IoT, que cria conexões, dispositivos e soluções utilizando tecnologia LoRaWAN (NETWORK, 2025). Possui uma versão gratuita que permite o cadastro para utilização de *gateways*, aplicações e *end-devices* de forma limitada, porém suficiente para aplicações deste trabalho. Através desta plataforma concentrou-se a comunicação entre os equipamentos e *dashboards* apresentados neste trabalho, dispensando a necessidade de desenvolver e hospedar um servidor de aplicação.

Utilizando-se desta rede colaborativa, tem-se vantagem no contexto acadêmico pois não é necessário contratar ou hospedar uma rede privada; o pesquisador pode conectar o seu nó-sensor à uma aplicação cadastrada na TTN, tendo acesso simplificado à infraestrutura colaborativa, sem custos extras de assinatura. O Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) pode gerenciar a cobertura da rede com o GW, enquanto o provedor - neste caso a TTN - fornece os serviços de servidor de rede, limitando os investimentos e manutenção necessários para implementação (MONTAGNY, 2022).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais, que foram em sua maioria fornecidos com recursos de projetos de pesquisa promovidos pelo IFSC câmpus Itajaí, os métodos de montagem, de configuração e testes realizados para verificação do funcionamento do sistema com LoRaWAN, implementado na rádio costeira em Itajaí nos Molhes da Barra em parceria com a Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI).

Iniciando pela montagem, testes e instalação do *gateway* encapsulado para instalação fixa, que foi montado com um microcontrolador *Raspberry Pi* modelo 4B+, em conjunto com um *shield* de transceptor LoRa da fabricante *Seeed Studio* modelo WM1302 e depois encapsulado em um quadro com grau de proteção contra poeira e água. Para testes de funcionamento desse *gateway* e da comunicação LoRa em geral, foi utilizado um dispositivo comercial da fabricante Khomp, modelo NIT 21 LI, que transmite valores de temperatura e umidade, dispensando a necessidade de montar um protótipo de transceptor LoRa na etapa de montagem do *gateway*, que também foi utilizado para testar a cobertura no Molhes da Barra. Para os testes efetivos de cobertura no mar, confeccionou-se um dispositivo final com um microcontrolador ESP32 em conjunto com módulos de GPS e bateria de lítio para permitir a instalação em barcos e receber posições de latitude e longitude dessas embarcações. Também foi realizada a montagem de um encapsulamento de um *gateway* comercial da fabricante Khomp, modelo ITG 200 com alimentação autônoma por baterias para permitir a instalação em locais onde não há disponibilidade de energia elétrica, utilizando-se de rede de telefonia móvel como 3G ou 4G.

3.1 MONTAGEM DE UM PROTÓTIPO DE GATEWAY

Optou-se por confeccionar um *gateway* com uma placa de desenvolvimento, *Raspberry Pi* modelo 4B+, em conjunto com algum módulo transceptor LoRa. Escolheu-se o modelo da *Seeed Studio*, que vem montado em formato de *shield*, baseado no chip LoRa da *Semtech*, modelo SX1302, bastando encaixar na parte superior do *Raspberry Pi* para termos todas as conexões necessários através dos pinos do *General-Purpose Input/Output* (GPIO), como troca de informações e

alimentação de 3.3 V e GND. A Imagem 5 mostra um *Raspberry Pi* com um *shield* acoplado na parte superior. Na própria página do fabricante³ temos as instruções de montagem física do *shield*, antena e instalação do *software* de envio e recebimento de pacotes do transceptor LoRa no sistema operacional do *Raspberry Pi*. Para instalação do sistema operacional fez-se necessário a aquisição de um cartão micro SD de 32 GB e escolheu-se o sistema sem interface gráfica baseado em linha de comando, o *Raspberry Pi OS Bookworm* por ser mais leve e por haver baixa necessidade de acesso por um usuário.

Imagem 5 – *Raspberry Pi* com o *shield* WM1302 da Seeed Studio



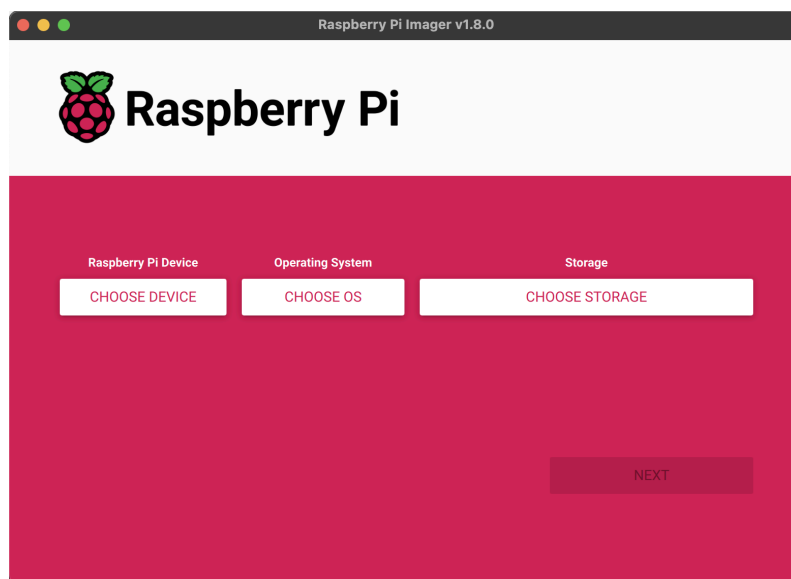
Fonte: Seeed Studio (2025).

3.1.1 Instalação do Sistema Operacional

No site oficial do *Raspberry Pi*⁴, fez-se o *download* da ferramenta *Raspberry Pi Imager*, que faz o *download* e instalação do sistema operacional no cartão SD conectado à um computador, através da seção *software* disponível no menu de navegação na parte superior do site. Após o término do *download*, abriu-se a ferramenta, sendo apresentada a tela inicial conforme Imagem 6.

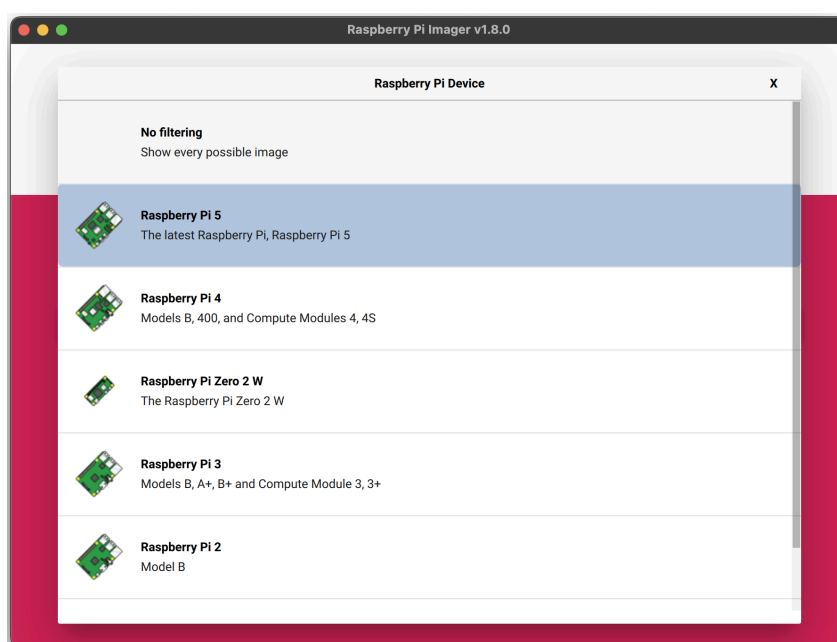
³ Disponível em: https://wiki.seeedstudio.com/pt-br/WM1302_module/

⁴ É possível acessar o site oficial do *Raspberry Pi* através do endereço: <https://www.raspberrypi.com/>

Imagem 6 – Tela inicial do software *Raspberry Pi Imager*

Fonte: *Raspberry Pi* (2025).

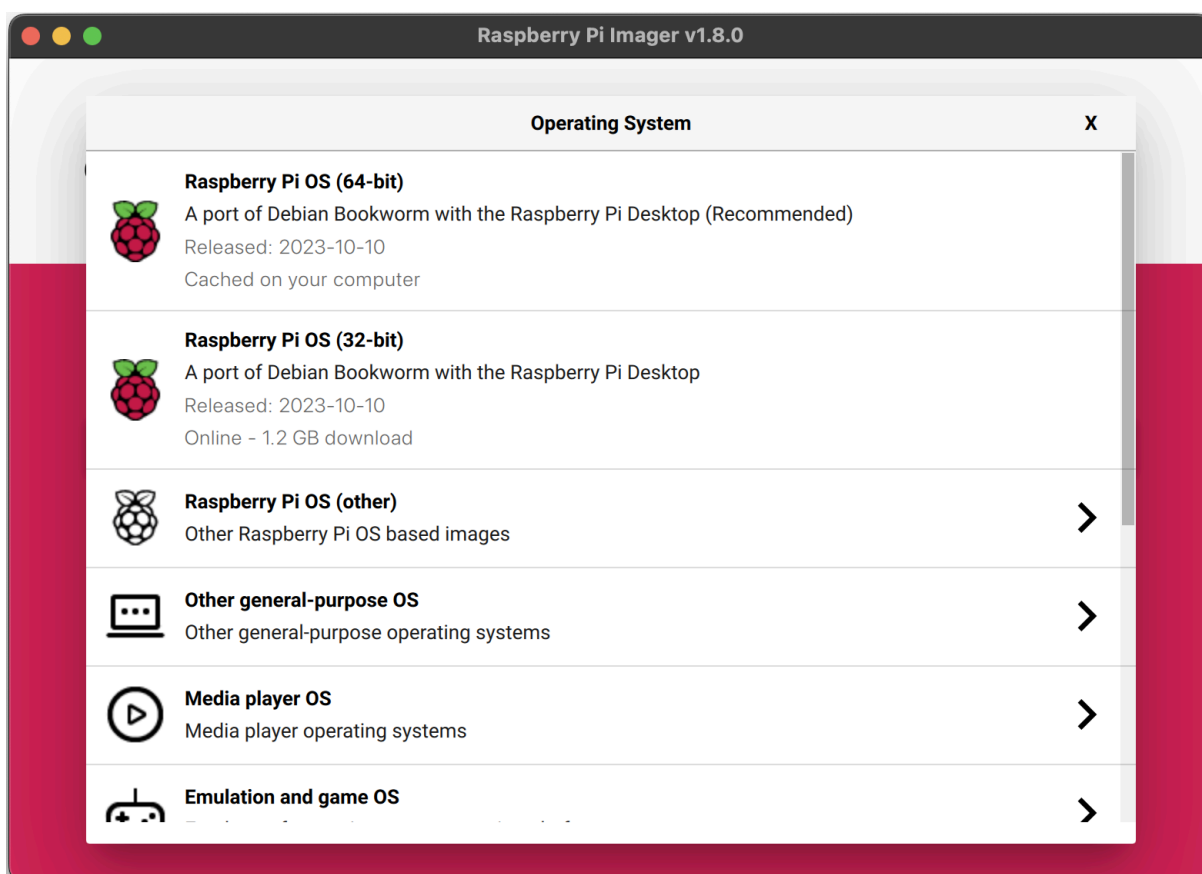
Na tela inicial, clicou-se em *Choose Device* e na nova tela, ilustrada pela Imagem 7 escolheu-se o *Raspberry Pi* modelo 4B+. Em seguida, na tela ilustrada pela Imagem 8 clicou-se em *Choose OS* e escolheu-se o sistema Debian Bookworm sem interface gráfica, por ser o mais recente e por não haver necessidade de ter a interface deste tipo para a operação.

Imagem 7 – Tela de escolha *Choose Device*

Fonte: *Raspberry Pi* (2025).

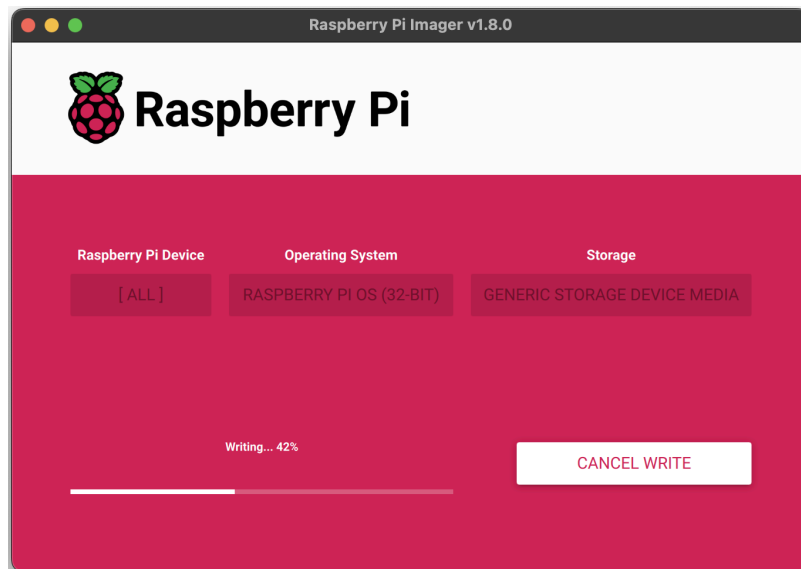
Após escolher o sistema e a placa, temos a opção de definir algumas configurações que serão utilizadas pelo sistema, como nome de usuário e senha, *hostname*, nome e senha da rede de Wi-Fi padrão. Esses dados são importantes para conexão com o *Raspberry Pi* através do terminal *Secure Shell* (SSH), que será mostrado na seção de configuração dos servidores dentro do sistema. Após esta etapa de configuração, a ferramenta fez a gravação no cartão SD. A tela de progresso durante a etapa de gravação do sistema operacional no cartão SD é exibida conforme Imagem 9.

Imagem 8 – Tela de escolha *Choose OS*



Fonte: Raspberry Pi (2025).

Imagem 9 – Tela de progresso da instalação

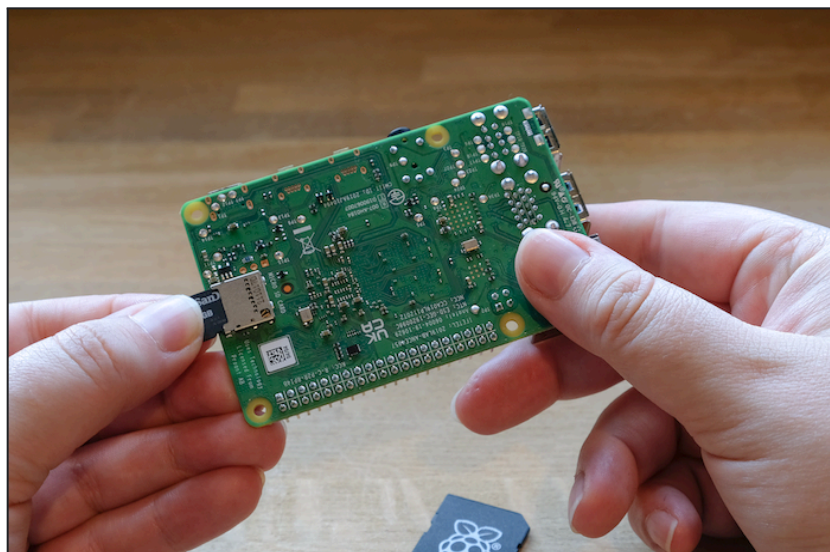


Fonte: *Raspberry Pi* (2025).

3.1.2 Instalação do *Shield* no *Raspberry Pi*

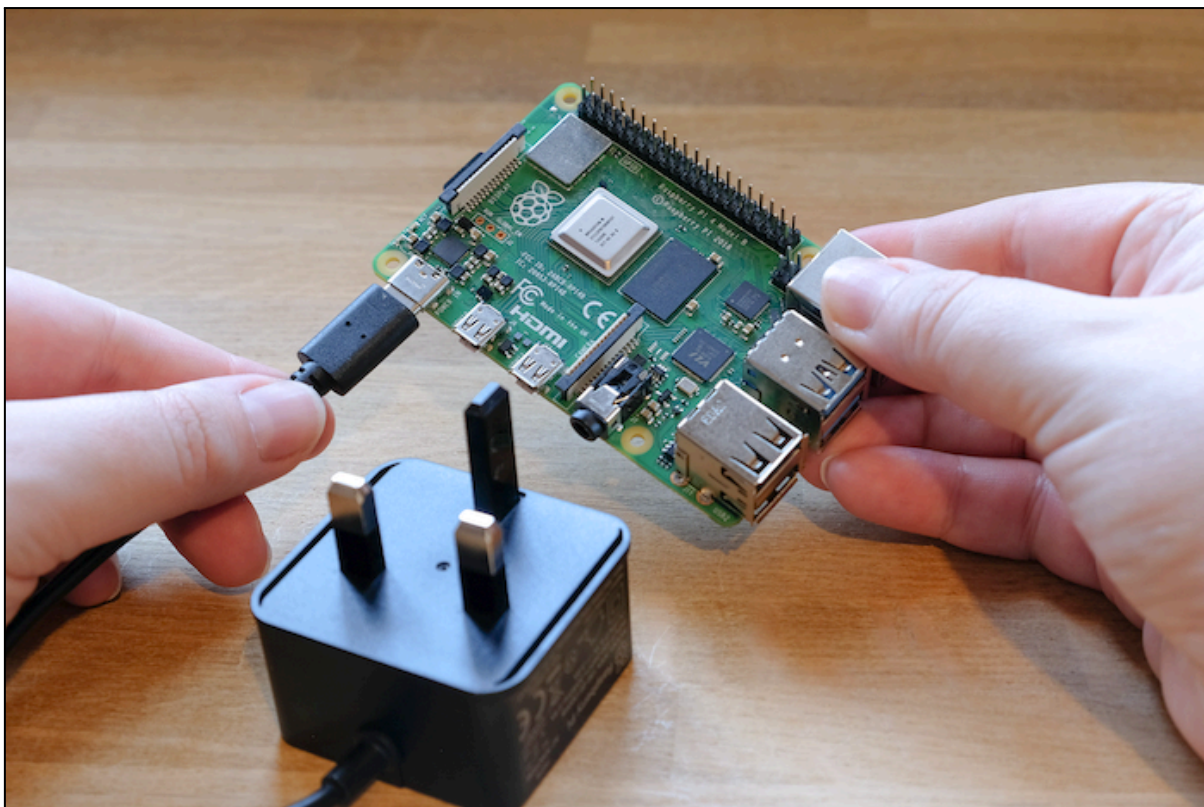
Com o *shield* acoplado na parte superior da placa, acoplou-se o cartão SD, onde se fez a instalação do sistema, na parte inferior no *slot* abaixo da placa. Por fim, energizou-se o *Raspberry Pi* com a fonte padrão oficial conectada no pino de alimentação tipo USB-C. A Imagem 10 ilustra um cartão SD sendo acoplado ao dispositivo, enquanto a Imagem 11 mostra a conexão de energia.

Imagem 10 – Local de acoplamento de cartão SD na parte inferior da placa



Fonte: *Raspberry Pi* (2025).

Imagem 11 – Adaptador de energia conectado na porta USB-C de alimentação



Fonte: *Raspberry Pi* (2025).

Com o *Raspberry Pi* conectado a energia elétrica, fez-se um teste de conexão através do terminal de comando do *Windows*⁵, em um computador conectado à mesma rede Wi-Fi que foi configurada na etapa de instalação do sistema no *software Raspberry Pi Imager*, introduzindo o seguinte comando: `ssh usuario@hostname`. Como resultado, foi solicitado e introduzido a senha de usuário, confirmando que o sistema operacional está rodando, conectado e acessível através da rede local. No Código 1 é possível ver as mensagens no terminal conectado através de SSH, onde foi utilizado o comando `cat /etc/os-release` para exibir informações do sistema.

⁵ É possível ver um tutorial de como realizar a conexão via SSH através do terminal de comando do Windows no endereço: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/terminal/tutorials/ssh>

Código 1 – Janela do terminal exibindo informações do sistema operacional

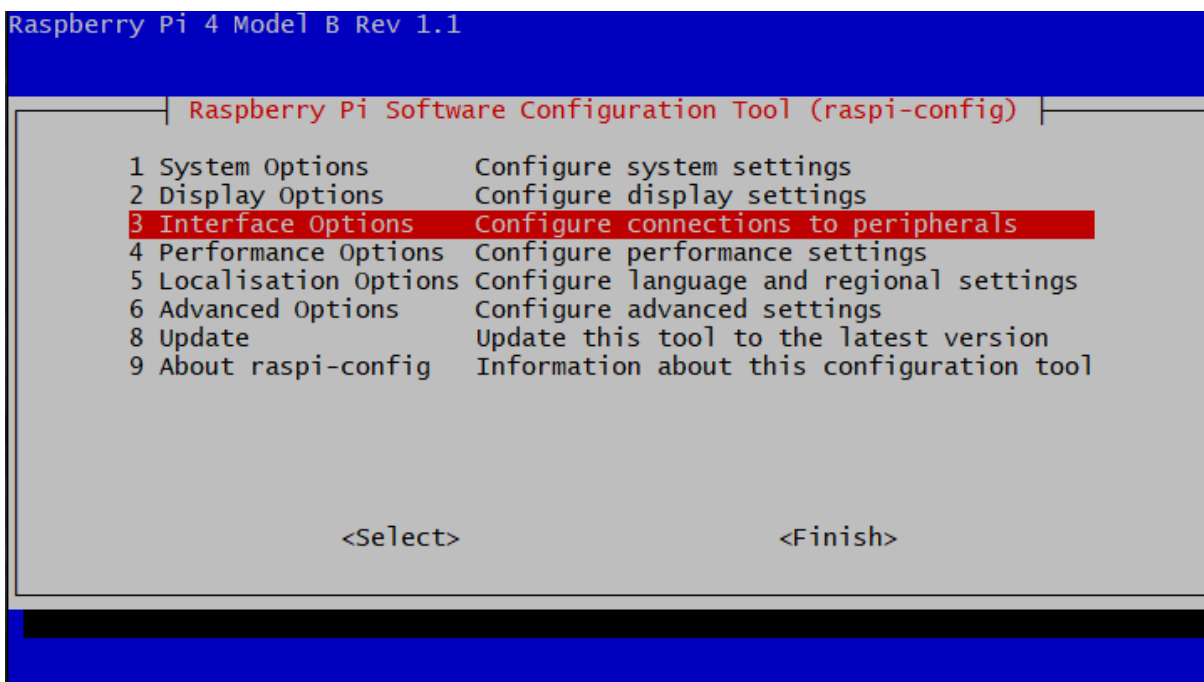
```
ifsc-lora-seeed@raspberrypi-lora:~ $ cat /etc/os-release
PRETTY_NAME="Debian GNU/Linux 12 (bookworm)"
NAME="Debian GNU/Linux"
VERSION_ID="12"
VERSION="12 (bookworm)"
VERSION_CODENAME=bookworm
ID=debian
HOME_URL="https://www.debian.org"
SUPPORT_URL="https://www.debian.org/support"
BUG_REPORT_URL="https://bugs.debian.org/"
ifsc-lora-seeed@raspberrypi-lora:~ $
```

Fonte: O Autor (2026).

Conforme guia de instalação do *shield*⁶, disponível no manual de instalação do fabricante, fez-se necessária a ativação do *Serial Peripheral Interface* (SPI) do *Raspberry Pi*, que habilita a comunicação entre o *shield* e a placa de desenvolvimento. Para isto, acessou-se as configurações do sistema utilizando o comando `sudo raspi-config` no terminal. Na tela que foi exibida, ilustrada pela Imagem 12, navegou-se até a opção três denominada *Interface Options*, ativou-se SPI e I2C, e para a opção de *Serial Port* desativou-se o terminal por serial e ativou-se a comunicação serial com os periféricos. Por fim, reiniciou-se o sistema com o comando `sudo reboot` no terminal para aplicar as configurações.

Com o *hardware* preparado para a utilização do transceptor LoRa, instalou-se o *software Packet Forwarder* que é responsável por repassar os pacotes recebidos por radiofrequência (*uplinks*) pelo GW, para um servidor na internet e também repassa os pacotes de configuração (*downlinks*) para transmissão para os dispositivos finais. O processo de instalação fez-se por linha de comando no terminal SSH seguindo as instruções providenciadas pelo fabricante do módulo WM1302. O Código 2 contempla a sequência de comandos utilizados para realizar a instalação.

⁶ É possível acessar o manual contendo as informações, instruções de configuração e montagem através do endereço: https://wiki.seeedstudio.com/WM1302_module/

Imagem 12 – Tela de configurações do sistema operacional do *Raspberry Pi*

Fonte: O Autor (2026).

Código 2 – Instruções no terminal para instalar o *software packet forwarder*

```
sudo apt update
sudo apt install -y git
cd ~
git clone https://github.com/Lora-net/sx1302_hal
cd ~/sx1302_hal
make
```

Fonte: O Autor (2026).

Para ser possível reiniciar de forma correta *shield* pelo *software*, é necessário utilizar o método *libgpiod* pois a opção de acesso as GPIOs do *Raspberry Pi* por *sysfs*, que é método que vem por padrão no arquivo de configuração de pinos do *packet-forwarder*, não está presente no sistema *Debian Bookworm*⁷. Para isto é necessário atualizar o arquivo *reset_lgw.sh* com o pinos de reset conforme Código 3. É importante reiniciar o módulo transceptor de LoRa para ressincronizar o *clock* do

⁷ É possível verificar informações sobre isto no fórum oficial do *Raspberry Pi* através do endereço: <https://forums.raspberrypi.com/viewtopic.php?t=343514>

barramento SPI entre o *shield* e o *Raspberry Pi*. Neste processo desliga-se o rádio LoRa, e após a sincronização, liga-se novamente com uma auto-calibração⁸. O código de *reset* completo encontra-se no Apêndice B.

Código 3 – Trechos que tiveram que ser atualizado para garantir o funcionamento do reset dos pinos GPIO

```
1      # No topo do Arquivo
2      SX1302_RESET_PIN=17 # SX1302 reset
3      SX1302_POWER_EN_PIN=18 # SX1302 power enable
4      SX1261_RESET_PIN=5 # SX1261 reset (LBT / Spectral Scan)
5
6      # Na função reset()
7      gpioset gpiochip0 $SX1302_POWER_EN_PIN=1; WAIT_GPIO
8      gpioset gpiochip0 $SX1302_RESET_PIN=1; WAIT_GPIO
9      gpioset gpiochip0 $SX1302_RESET_PIN=0; WAIT_GPIO
10     gpioset gpiochip0 $SX1261_RESET_PIN=0; WAIT_GPIO
11     gpioset gpiochip0 $SX1261_RESET_PIN=1; WAIT_GPIO
```

Fonte: O Autor (2026).

Para iniciar o *packet-forwarder* com o sistema do Raspberry, foram adicionadas as linhas conforme Código 4 no arquivo */etc/rc.local*. Após um simples reboot do sistema, confirmou-se que o *software* inicia juntamente ao sistema, prontamente conectando-se à TTN.

⁸ Essas informações encontram-se na biblioteca do transceptor SX1302 no código-fonte do *packet-forwarder* disponível em: https://github.com/Lora-net/sx1302_hal/blob/master/libloragw/src/loragw_sx1302.c

Código 4 – Linhas incluídas no arquivo *rc.local*

```
1  # Vai para a pasta onde está instalado o programa de Packet Forwarder
2  cd /home/ifsc-lora-seed/sx1302_hal/packet_forwarder
3
4  # Executa o programa que faz o RESET na placa LoRa WM1302, através
   dos pinos GPIO do raspberry. A versão atual do Raspberry PI OS
   alterou o modo de utilização dos pinos, portanto é necessário
   utilizar outro método para fazer o reset. Sem esse RESET, o software
   não consegue executar o concentrador.
5  sudo sh reset_pw_new.sh
6
7  # Executa o programa de packet forwarder em segundo plano e coloca a
   saída para o arquivo nohup.out, para registrar os logs do software.
8  nohup ./lora_pkt_fwd &
```

Fonte: O Autor (2026).

3.1.3 Configurando *gateway* na TTN e testes do *Packet Forwarder*

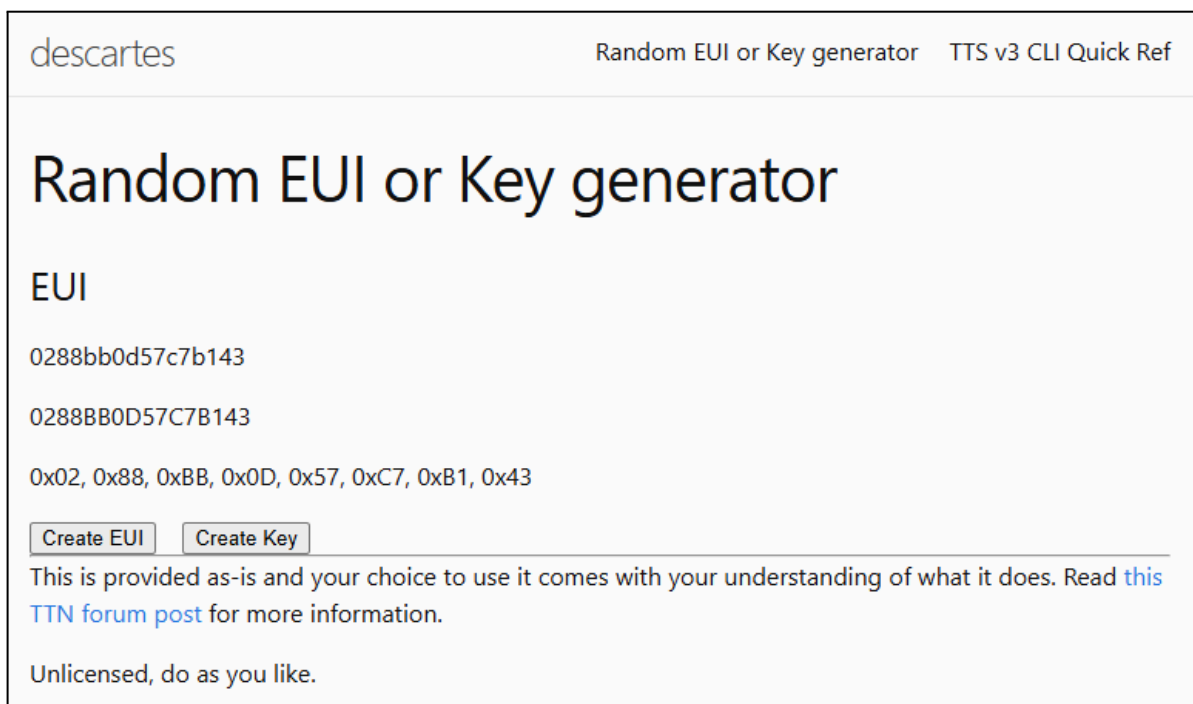
Antes de iniciar os testes, foi necessário cadastrar o GW na TTN, sendo necessário para isto um código de identificador único denominado *Extended Unique Identifier* (EUI). Em modelos comerciais, essa informação é disponibilizada pelo fabricante, geralmente em uma etiqueta colada no equipamento, e deve ser utilizada na etapa de cadastro da TTN. Como foi utilizado um protótipo feito com *Raspberry Pi*, fez-se necessária a geração de um identificador aleatório, gerado através de uma ferramenta *online*⁹. A Imagem 13 ilustra a tela com valores de EUI gerados aleatoriamente em formato hexadecimal.

Com esse identificador, registrou-se no console da TTN através do botão “Adicionar novo *gateway*”, ilustrado na Imagem 14. Na página de cadastro, ilustrado pela Imagem 15, foi inserido o valor de EUI gerado no campo correspondente. Fez-se importante selecionar nessa janela de cadastro a frequência de operação 915 MHz e também as opções de compartilhar o status e localização do GW na

⁹ Disponível em: <https://descartes.co.uk/CreateEUIKey.html>

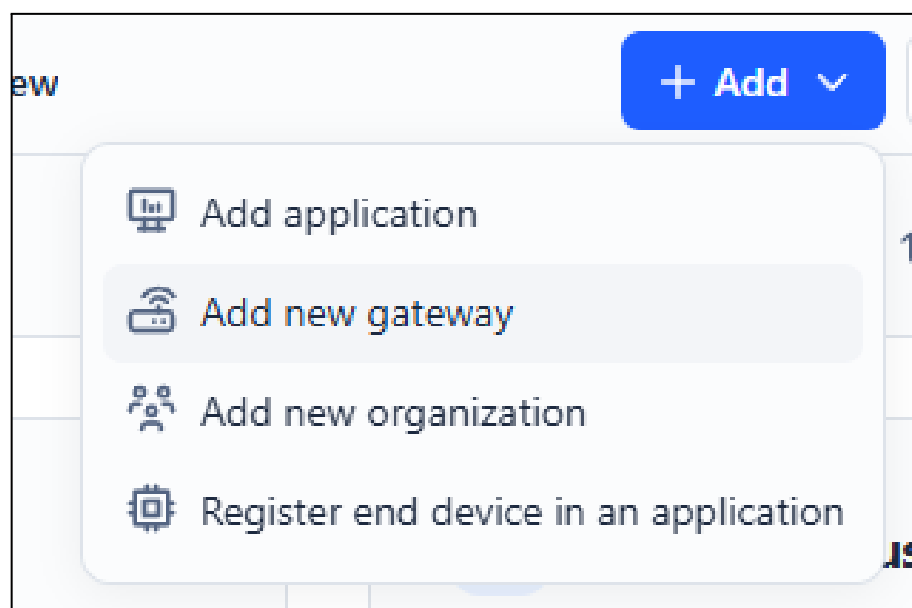
rede, deste modo sendo possível verificar através da página de mapa público¹⁰ da TTN.

Imagem 13 – Tela de configurações do sistema operacional do *Raspberry Pi*



Fonte: O Autor (2026).

Imagem 14 – Botão no console da TTN que inicia o formulário de cadastro de GW



Fonte: O Autor (2026).

¹⁰ Disponível em: <https://ttnmapper.org/heatmap/>

Imagem 15 – Tela inicial de cadastro de *gateway* na TTN

Gateway EUI ?

BE 88 ED A9 FE C9 B6 DC **Reset**

Gateway ID ? *

eui-ifsc-seeed-raspi

Gateway name ?

Gateway IFSC - Molhes da Barra

Frequency plan ? *

Australia 915-928 MHz, FSB 2 (used by TTN) | v

+ Add frequency plan

Note: most gateways use a single frequency plan. Some 16 and 64 channel gateways however allow setting multiple within the same band.

☐ **Require authenticated connection** ?

Choose this option eg. if your gateway is powered by [LoRa Basic Station](#)

Share gateway information

Select which information can be seen by other network participants, including [Packet Broker](#)

☒ **Share status within network** ?

☒ **Share location within network** ?

Fonte: O Autor (2026).

Após as configurações de endereço de servidor, portas e EUI no *packet forwarder* conforme Código 5, iniciou-se o programa encaminhador de pacotes no sistema do *Raspberry Pi* através do terminal de comando, onde foi possível verificar através no console de administrador do GW na TTN o estado como *online* e recebimento de *status* a cada 30 segundos com informações da quantidade de pacotes enviados e recebidos e também a temperatura do *gateway*. A tela onde é vista estas informações é mostrada na Imagem 16.

Código 5 – Configuração de servidor no arquivo de configuração do *packet forwarder*

```

1  "gateway_conf": {
2      "gateway_ID": "BE88EDA9FEC9B6DC",
3      /* IP e porta conforme informações do gateway na TTN */
4      "server_address": "nam1.cloud.thethings.network",
5      "serv_port_up": 1700,
6      "serv_port_down": 1700,

```

Fonte: O Autor (2026).

Imagem 16 – Tela padrão contendo os últimos status do GW recebidos pela TTN

The screenshot shows the 'Gateway IFSC - Molhes da Barra' page in the The Things Stack Sandbox. The page displays the gateway's ID as 'eui-ifsc-seeed-raspi' and shows its last activity 16 seconds ago with 258 up and 0 down messages. Below this, there is a table of recent gateway status updates. The table has columns for 'TIME', 'TYPE', and 'Metrics'. The metrics include txok, temp, rxin, rxok, rxfw, ackr, and txin. The status is consistently 'Receive gateway status'.

TIME	TYPE	Metrics
07:37:01	Receive gateway status	Metrics: { txok: 0, temp: 46.8, rxin: 0, rxok: 0, rxfw: 0, ackr: 0, txin: 0 }
07:36:31	Receive gateway status	Metrics: { txok: 0, temp: 46.8, rxin: 0, rxok: 0, rxfw: 0, ackr: 0, txin: 0 }
07:36:01	Receive gateway status	Metrics: { rxin: 0, rxok: 0, rxfw: 0, ackr: 0, txin: 0, txok: 0, temp: 46.9 }
07:35:31	Receive gateway status	Metrics: { rxfw: 0, ackr: 0, txin: 0, txok: 0, temp: 46, rxin: 0, rxok: 0 }
07:35:01	Receive gateway status	Metrics: { rxin: 0, rxok: 0, rxfw: 0, ackr: 0, txin: 0, txok: 0, temp: 47.1 }
07:34:31	Receive gateway status	Metrics: { txin: 0, txok: 0, temp: 47.2, rxin: 0, rxok: 0, rxfw: 0, ackr: 0 }
07:34:01	Receive gateway status	Metrics: { rxok: 0, rxfw: 0, ackr: 0, txin: 0, txok: 0, temp: 47.2, rxin: 1 }

Fonte: O Autor (2026).

3.1.4 Encapsulamento do Protótipo do Gateway

Para permitir a instalação em um local externo, definiu-se a necessidade de encapsular o protótipo em um pequeno quadro de PVC capaz de providenciar proteção a intempéries, como poeira e chuva, capaz de abrigar o *Raspberry Pi* com *shield*, fonte de alimentação e conexão com a antena. Para isto, adquiriu-se um painel de montagem em PVC de aproximadamente 30 cm de altura por 15 cm de largura, um par de conectores RJ-45, 10 metros de cabo de rede *ethernet* CAT5e, 10 cm de trilho DIN TS35, suporte de trilho DIN para *Raspberry Pi*, plugue ABNT 2P+T

fêmea e 10 metros de cabo PP 2x2,5mm², configurando na montagem conforme Imagem 17.

Imagem 17 – Encapsulamento do *Raspberry Pi*, fonte de alimentação e antena.



Fonte: O Autor (2026).

Adicionalmente, a antena de meia onda com conector tipo SMA foi instalada na parte externa da caixa com o auxílio do cabo de extensão SMA para painel. Ambos estes componentes vieram juntamente com o *shield* WM1302 da *Seeed Studio*, conforme ilustrado na Imagem 18.

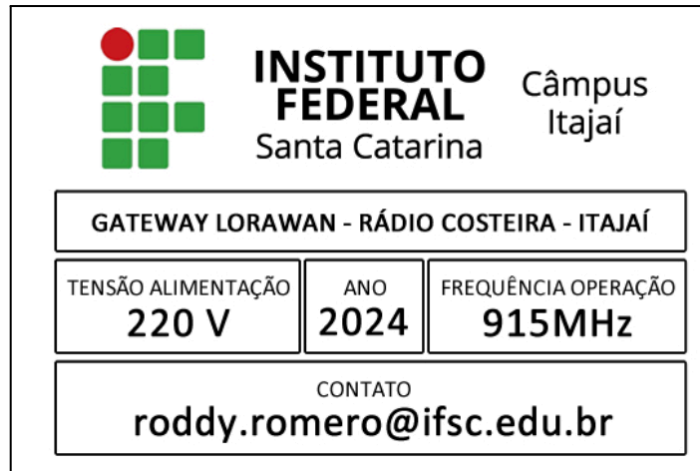
Imagem 18 – Encapsulamento do Raspberry Pi, com antena externa



Fonte: O Autor (2026).

Para identificação do painel, caso ele venha a ser acessado fisicamente por uma pessoa desconhecida, confeccionou-se uma etiqueta de identificação com informações do equipamento e contato do professor do IFSC responsável pelo projeto, conforme ilustrado nas Imagens 19 e 20.

Imagem 19 – Encapsulamento do Raspberry Pi, com antena externa



Fonte: O Autor (2026).

Imagem 20 – Etiqueta de identificação colada na parte externa do encapsulamento do gateway



Fonte: O Autor (2026).

3.1.5 Nó-sensor Comercial, TTN e TagoIO

Para testes de recepção do *gateway*, utilizou-se um dispositivo comercial da fabricante Khomp modelo ITG 200, ilustrado na Imagem 21. O modelo opera com duas pilhas AA e transmite informações internas do dispositivo que são temperatura e umidade através de sensores integrados no circuito interno, sendo possível acrescentar sensores externos, porém estes não foram utilizados. De acordo com a ficha técnica do equipamento¹¹ é possível operar com intervalo de transmissões a cada cinco minutos por até 390 dias. Além da transmissão automática, há um botão no centro do dispositivo que ao pressionar força uma transmissão completa, contendo todos os dados de sensores e nível de bateria.

Imagem 21 – Nó-sensor (*end-device*) comercial Khomp NIT 21 LI



Fonte: Khomp (2025).

Primeiro criou-se uma aplicação na TTN e cadastrou-se o dispositivo utilizando-se do código de dispositivo DevEUI, código de aplicação JoinEUI e chave de criptografia AppKey. A Imagem 22 ilustra a tela inicial de cadastro de nó-sensor em uma aplicação na TTN. Estas informações foram adquiridas da etiqueta que está colada na parte traseira do dispositivo. Para permitir a interpretação dos dados, foi incluído na aba de *payload formatter* o código em *JavaScript* (JS) fornecido no repositório¹² do fabricante. Os dados brutos do pacote de dados, que são uma

¹¹ Disponível em: <https://app.khomp.com/iot/pt/produto/endpoint-lora-nit-sensor-transmissor/>

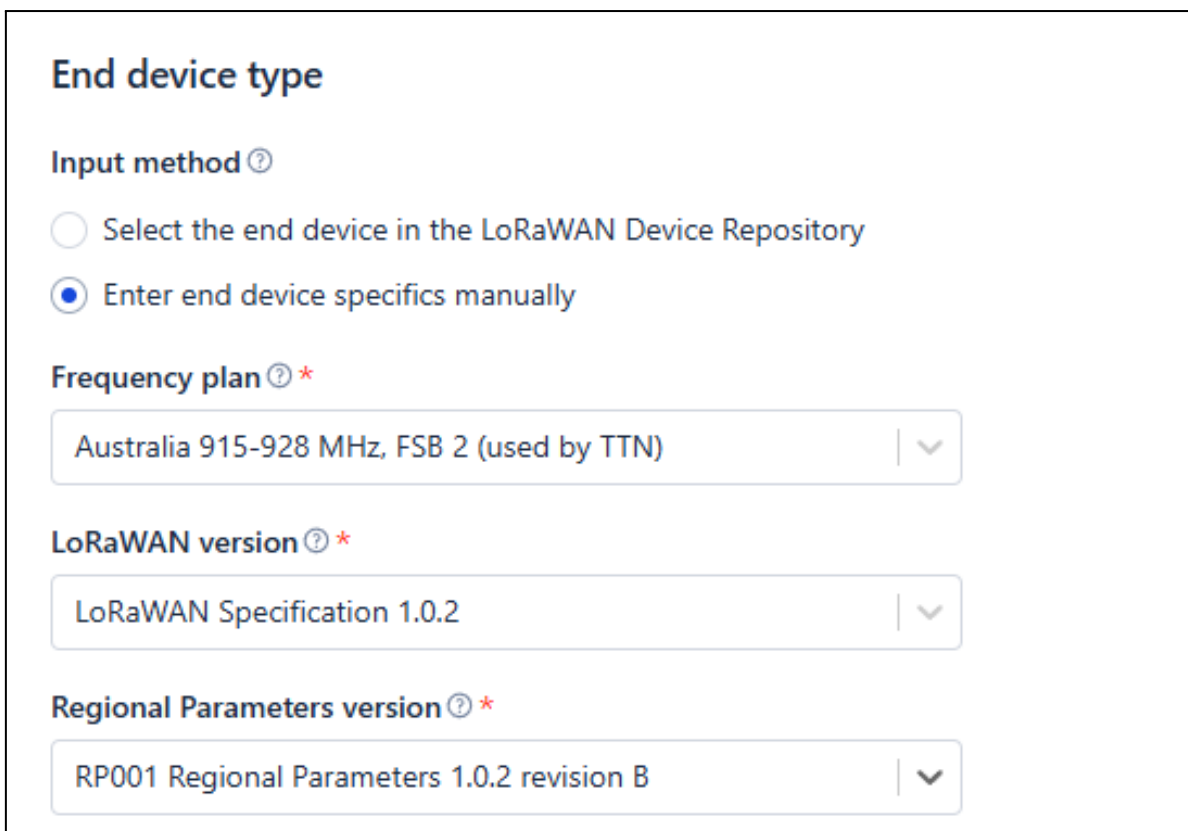
¹² Disponível em: <https://github.com/support-khomp/khomp-lorawan-devices/blob/main/vendor/khomp/nit2xli.js>

sequência de bytes pré-estabelecidas, são então processados e formatados em um arquivo de dados tipo *JavaScript Object Notation* (JSON), podendo esses dados serem utilizados por uma plataforma de visualização de dados que será apresentada posteriormente, e até mesmo para visualização humana. O Código 06 representa um trecho de JSON gerado após a decodificação de uma mensagem na aplicação da TTN.

Código 6 – JSON gerado após processar os dados brutos de um *payload* recebido do dispositivo Khomp NIT 21 LI

```
1  {
2    "device": [
3      {
4        "n": "model",
5        "v": "NIT 21LI"
6      },
7      {
8        "powertype": "battery"
9      }
10   ],
11   "drys": [],
12   "internal_humidity": 56.1,
13   "internal_sensors": [],
14   "internal_temperature": 28.65,
15   "lorawan": [],
16   "modules": [],
17   "probe_temperature": 23.25,
18   "probes": [
19     {
20       "n": "temperature_28f250ee90045",
21       "u": "C",
22       "v": 23.25
23     }
24   ]
25 }
```


Imagem 22 – Encapsulamento do Raspberry Pi, com antena externa



End device type

Input method ?

☐ Select the end device in the LoRaWAN Device Repository

☒ Enter end device specifics manually

Frequency plan ? *

Australia 915-928 MHz, FSB 2 (used by TTN) | v

LoRaWAN version ? *

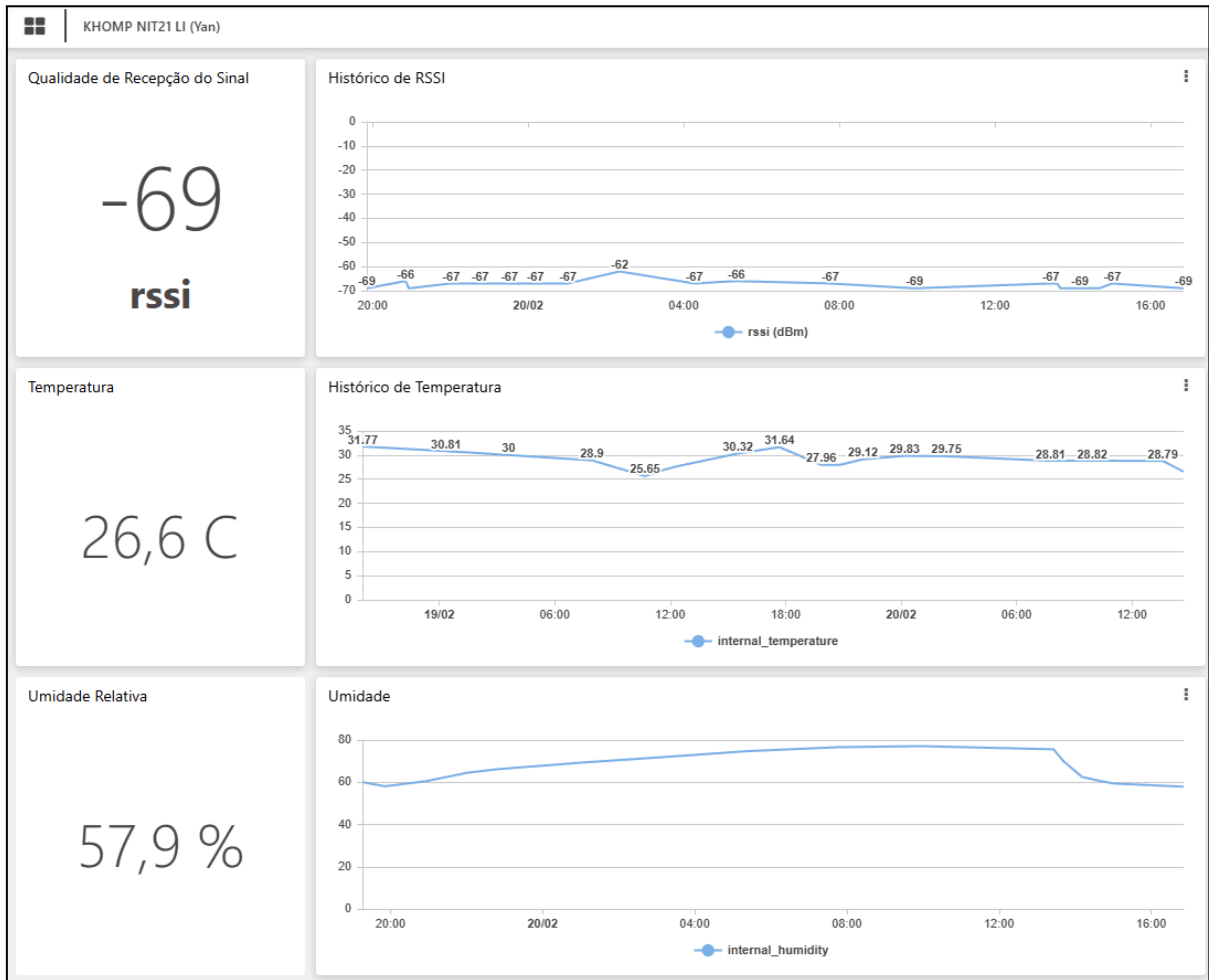
LoRaWAN Specification 1.0.2 | v

Regional Parameters version ? *

RP001 Regional Parameters 1.0.2 revision B | v

Fonte: O Autor (2026).

Para permitir uma melhor visualização e manter registro dos dados, optou-se por utilizar uma plataforma em nuvem denominada TagoIO, onde é possível cadastrar os dispositivos através de integração com a TTN, criando um *dashboard* personalizado, que é um painel de controle onde podemos adicionar *widgets* que são os quadros para visualização dos dados, onde também é possível compartilhar com outras pessoas através de uma página na internet. Para poucos dados e dispositivos, é possível utilizar o serviço de forma gratuita, servindo perfeitamente para os testes realizados neste trabalho. A Imagem 23 ilustra um painel de controle criado para visualizar os dados de *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), temperatura e umidade de um dispositivo comercial da Khomp, modelo NIT 21 LI. Na coluna da esquerda temos uma visualização do último valor recebido, e na coluna da direita um gráfico com as últimas 20 medições.

Imagem 23 – Tela de exemplo de *dashboard* na TagoIO

Fonte: O Autor (2025).

Durante os testes com a integração, verificou-se que os dados recebidos pela TagoIO via TTN, não eram interpretados de forma correta. Isto foi devido ao formato da estrutura de dados JSON do *payload formatter*. Portanto, essa estrutura foi modificada para atender à expectativa e garantir a interpretação correta. O Código 7 demonstra um trecho de exemplo em JSON com o formatador original, enquanto o Código 8 demonstra um trecho para os mesmos dados, de temperatura e umidade, na forma adaptada. É importante destacar, que as unidades de medidas foram omitidas pois elas são selecionadas de forma manual ao utilizar a informação em um *widget* em um painel de controle.

Código 7 – Exemplo de estrutura padrão gerado pelo decodificador da Khomp

```

1  "internal_sensors": [
2      {
3          "n": "temperature",
4          "v": 24.91,
5          "u": "C"
6      },
7      {
8          "n": "humidity",
9          "v": 74.17,
10         "u": "%"
11     },
12 ]
13 }
```

Fonte: O Autor (2026).

Código 8 – Exemplo de estrutura adaptada ao TagIO do JSON da Khomp

```

1  {
2      "internal_temperature": 24.91,
3      "internal_humidity": 74.17
4  }
```

Fonte: O Autor (2026).

Após configurar a integração com a TTN, garantir a obtenção de dados pelo método padronizado, o painel de controle configurado com os quadros de informações desejadas, pode então ser compartilhado para ser acessado via internet através de um endereço na web, podendo ser protegido ou não por usuário e senha.

3.1.6 Instalação Provisória do Gateway

Para permitir a verificação de funcionamento no local previsto de instalação, como fornecimento de energia e conexão com a internet, instalou-se o protótipo do GW encapsulado na parte externa da Rádio Costeira, próximo a janela, sendo este um local de fácil acesso, sendo possível notar na Imagem 24 ao lado da janela central. Este local não é o ideal para a instalação permanente, pois tem como obstáculo o próprio prédio, porém existe visão desobstruída para algumas partes do Molhes da Barra. Conectou-se na energia e na rede de internet da Rádio Costeira e verificou-se o funcionamento do *gateway*.

Imagem 24 – Local de instalação provisória do gateway, próximo a janela



Fonte: O Autor (2025).

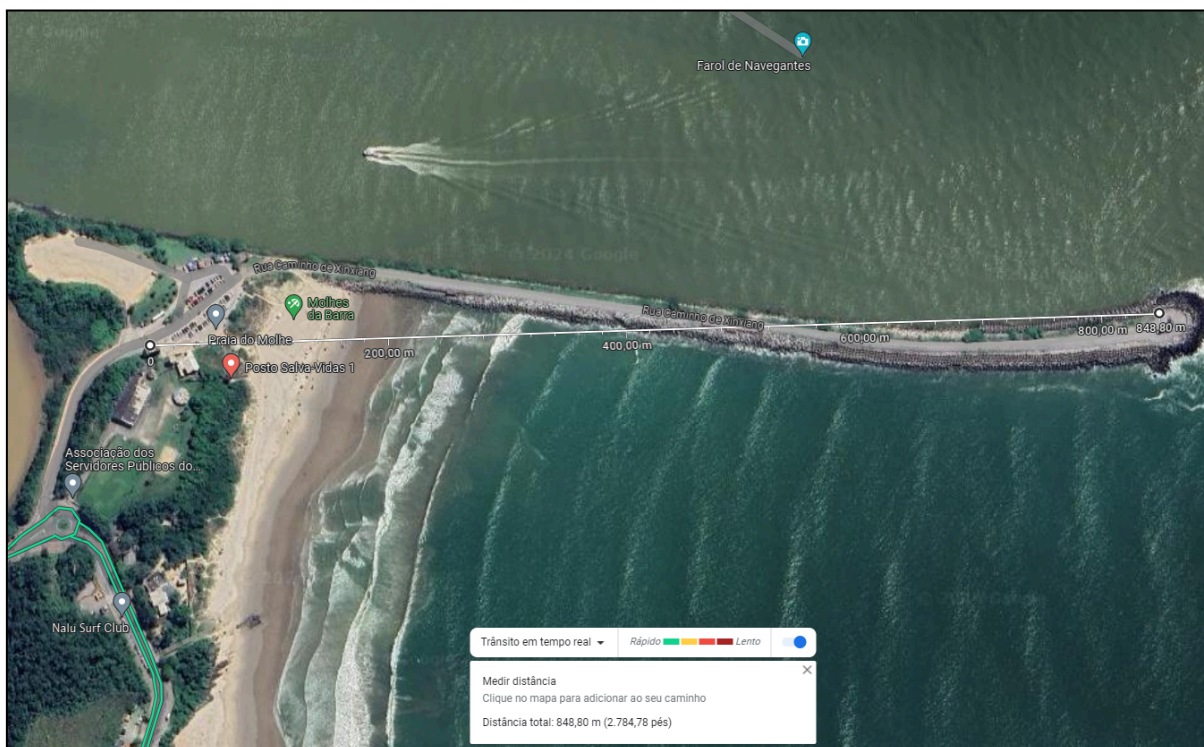
Com o dispositivo comercial da Khomp em mãos, caminhou-se desde a Rádio Costeira até o final do molhe, realizando uma transmissão a cada aproximadamente 150 metros, finalizando no local mostrado na Imagem 25. Os resultados das medições estão demonstrados Tabela 1, valores estes coletados na tela de *live-data* na TTN a cada medição. A linha de visão entre os pontos do GW e do dispositivo está ilustrada na Imagem 26.

Imagem 25 – Último teste realizado no molhe com o dispositivo comercial da Khomp



Fonte: O Autor (2025).

Imagem 26 – Linha de visada entre posição provisória do gateway e última medição com o nó-sensor da Khomp



Fonte: O Autor (2026).

Tabela 1 – Valores de RSSI e SNR obtidos durante os testes iniciais

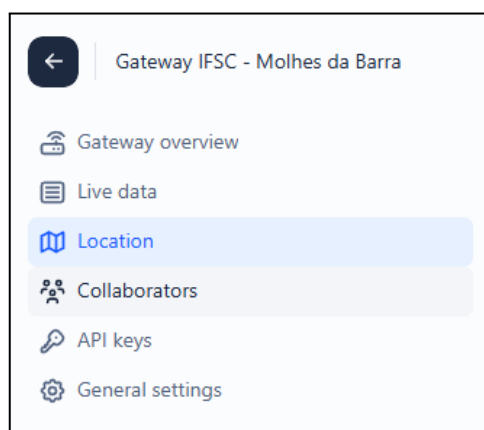
Nº da Medição	RSSI (dBm)	SNR
1	-50	7.4
2	-51	6.1
3	-46	6.0
4	-52	5.5
5	-47	5.7
6	-48	5.3
7	-53	4.1

Fonte: O Autor (2026).

Após a realização dos testes iniciais na posição provisória, configurou-se a localização geográfica manualmente do GW na página de configuração da TTN. Esta página é acessada clicando no botão no console, destacado na Imagem 27. Na tela que abriu-se, ilustrada na Imagem 28, marcou-se as opções: "Compartilhar localização na rede", fonte da localização "manual", posicionamento "Outdoor",

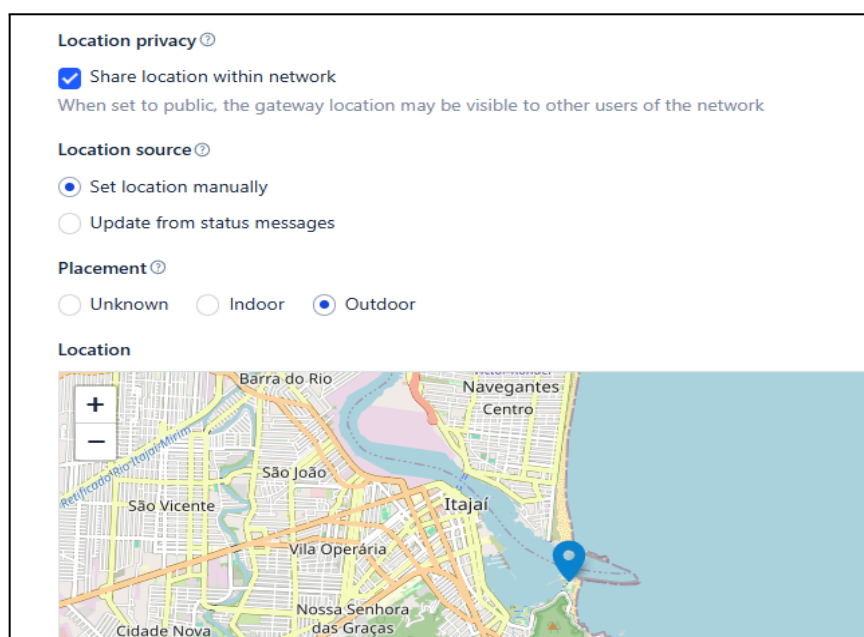
clicou-se no mapa para definir a posição manualmente, e por último definiu-se a altitude como 6 metros, considerando nível do mar mais a altura da Rádio Costeira. A partir de agora é possível visualizar informações de *status* do GW através do mapa público da TTN¹³. No mapa, é possível clicar no ícone do GW para visualizar as informações compartilhadas. A imagem 28 mostra esta interação com a ferramenta.

Imagem 27 – Menu de opções do GW no console da TTN



Fonte: O Autor (2026).

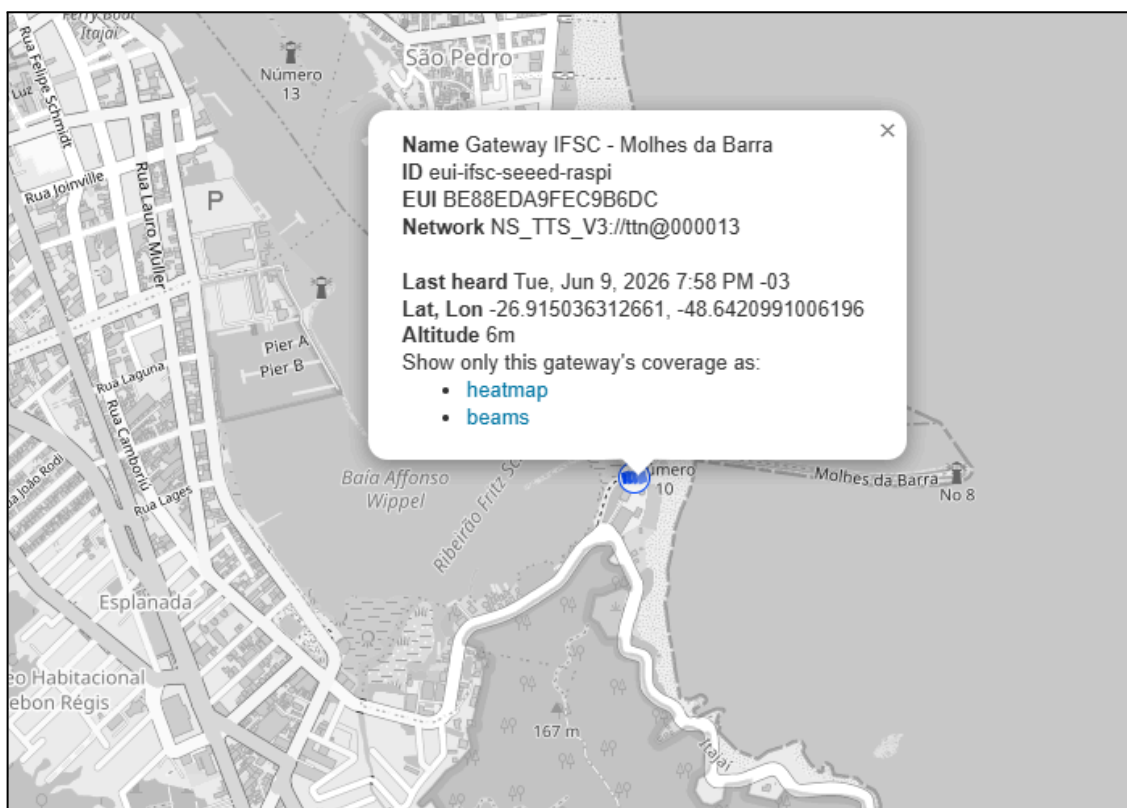
Imagem 28 – Informações exibidas sobre o GW do Molhes da Barra no mapa público da TTN



Fonte: O Autor (2026).

¹³ Disponível em: <https://ttnmapper.org/heatmap/>

Imagem 29 – Informações exibidas sobre o GW do Molhes da Barra no mapa público da TTN

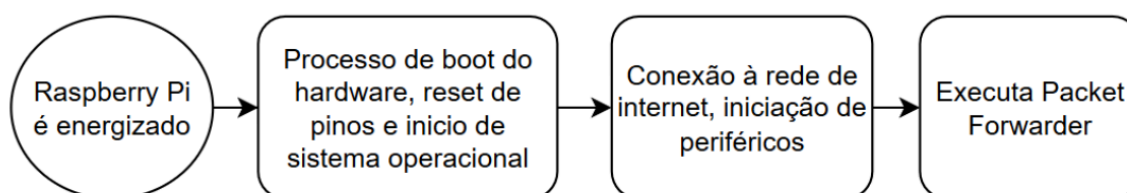


Fonte: O Autor (2026).

3.1.7 Configurações Avançadas do Gateway

Para garantir o funcionamento do servidor de retransmissão de pacotes LoRa, foram necessários realizar alguns ajustes no sistema operacional do *Raspberry Pi*, pois notou-se que após uma queda de energia, o servidor não retornava a se comunicar com a TTN. O fluxograma de início do servidor de pacotes se mostrou como na Imagem 30.

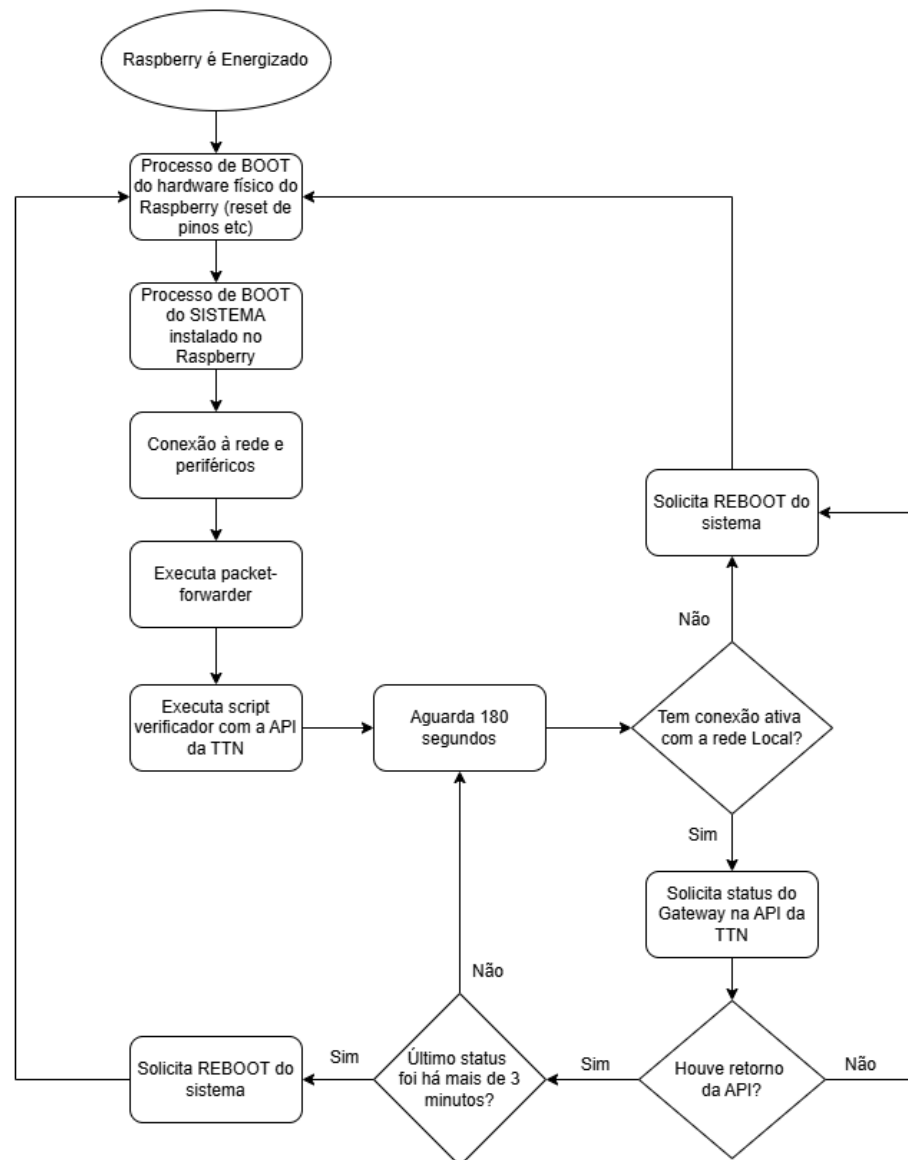
Imagem 30 – Fluxograma de operação do gateway



Fonte: O Autor (2026).

Para resolver este problema, desenvolveu-se um programa em *JavaScript* rodando em ambiente *NodeJS* para verificar se há conexão ativa do *Raspberry Pi* com a rede de internet, e caso haja, é disparada uma solicitação para a API de status da TTN para verificar a data do último *status* recebido do *gateway*. Para isso, foi necessário cadastrar uma chave de acesso à API para ter permissão de acesso aos dados. O fluxograma de operação então foi atualizado, conforme Imagem 31 para ter uma realimentação na abertura do servidor, caso tenha conexão ativa com a rede local, verifica com a API se o último status foi recebido a mais de 180 segundos, caso positivo, força um reboot do *Raspberry Pi*.

Imagem 31 – Fluxograma de operação do *gateway* melhorado com realimentação



3.1.8 Instalação Definitiva do Gateway

Para acesso remoto, instalou-se no sistema operacional do GW a ferramenta *Raspberry Pi Connect*¹⁴, que permite o acesso ao terminal de comando via internet, pelo navegador, bastando cadastrar uma conta e conectá-la ao dispositivo. Esta ferramenta foi imprescindível para permitir o controle remoto do *Raspberry Pi*, e consequentemente do *software* do GW, através da internet, sem que seja necessária visita à Rádio Costeira para acesso via rede local. O processo foi feito pelo terminal de comando com a sequência de comandos do Código 9.

Código 9 – Sequência de comandos para instalação e configuração do *Raspberry Pi Connect*

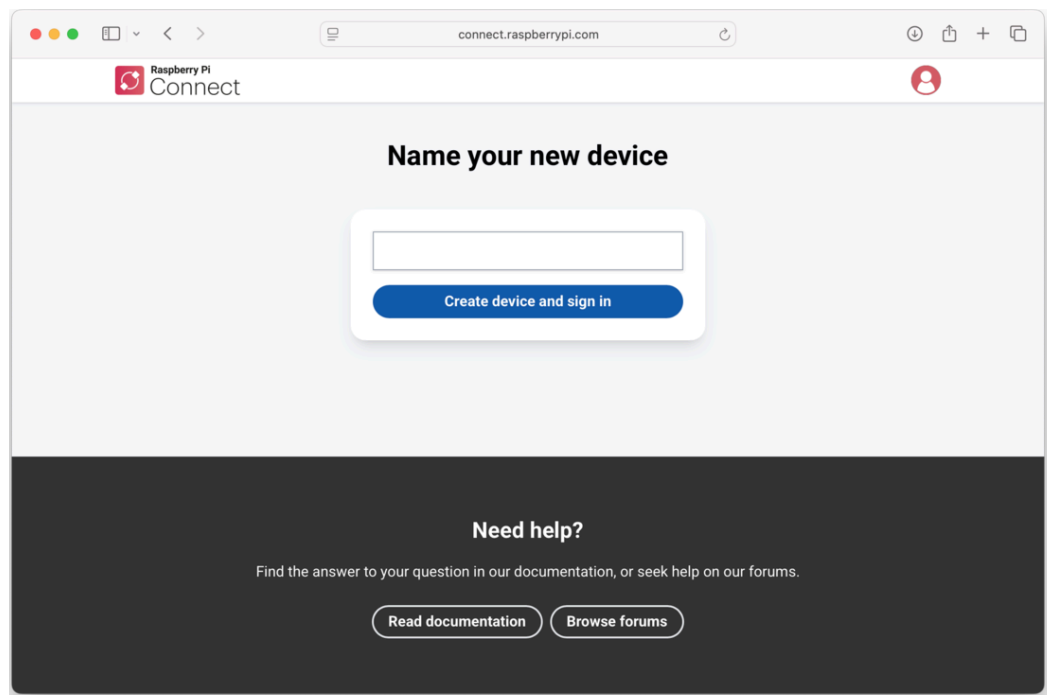
```
1  # Instala o aplicativo
2  $ sudo apt install rpi-connect-lite
3  # Inicia o aplicativo
4  $ rpi-connect on
5  # Conecta a conta
6  $ rpi-connect signin
7
8  Complete sign in by visiting
   https://connect.raspberrypi.com/verify/XXXX-XXXX
```

Fonte: O Autor (2026).

Ao visitar a página de verificação através do link disponibilizado no terminal, pelo navegador em um computador, bastou adicionar um nome ao dispositivo e fazer registro para uma conta de usuário na plataforma, que então passou a estar disponível para acesso remoto via página *web* do *Raspberry Pi Connect*. A Imagem 32 mostra a tela de cadastro de dispositivo, enquanto a Imagem 33 mostra a lista de dispositivos *Raspberry Pi* vinculados a conta.

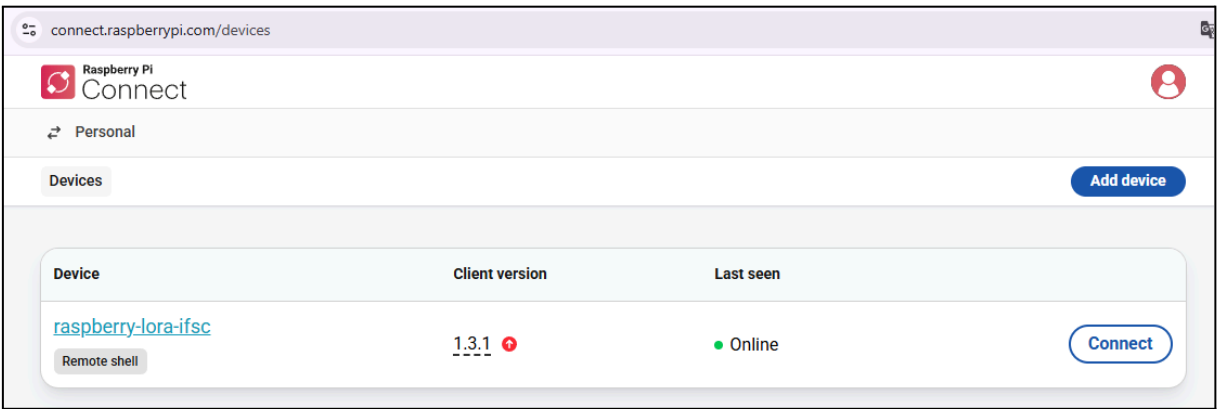
¹⁴ Documentação completa disponível em: <https://www.raspberrypi.com/documentation/services/connect.html>

Imagem 32 – Janela que se abre ao acessar o *link* de verificação de conta



Fonte: Raspberry Pi (2025).

Imagem 33 – Lista de dispositivos *Raspberry* vinculados a conta



Fonte: O Autor (2026).

Após os testes realizados com o GW, fez-se necessário a instalação em um local definitivo, no topo do telhado do prédio da rádio costeira. Os serviços foram realizados com auxílio de caminhão *munck* com operador e eletricista habilitados, cortesia da empresa FOCO Instaladora, contemplando a fixação do painel no telhado e passagem dos cabos de energia e rede para dentro da sala da Rádio Costeira. As Imagens 34 e 35 mostram as etapas de instalação pela equipe, enquanto as Imagens 36 e 37 mostram o GW instalado definitivamente. Após o término da instalação, verificou-se que o GW ficou *online* no painel de operações da

TTN, e com um simples teste com um dispositivo comercial, confirmou-se o recebimento de pacotes LoRa.

Imagem 34 – Caminhão munck posicionado para iniciar o trabalho de instalação do *gateway* no telhado



Fonte: O Autor (2026).

Imagem 35 – Trabalho de instalação do Gateway no telhado finalizado



Fonte: O Autor (2026).

Imagem 36 – *Gateway* instalado no telhado da Rádio Costeira



Fonte: O Autor (2026).

Imagem 37 – Gateway situação atual

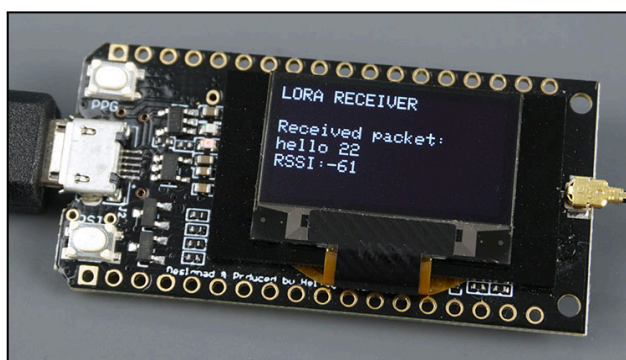


Fonte: O Autor (2026).

3.2 PROTÓTIPO DE *END-DEVICE* GPS

Para prosseguir com testes de cobertura, optou-se por desenvolver um protótipo em ESP32 de um nó-sensor para comunicação por rede LoRa, utilizando como base uma placa de desenvolvimento TTGO LoRa 32, ilustrada na 38 que possui além do chip ESP32, um transceptor LoRa e uma tela de LED integrados.

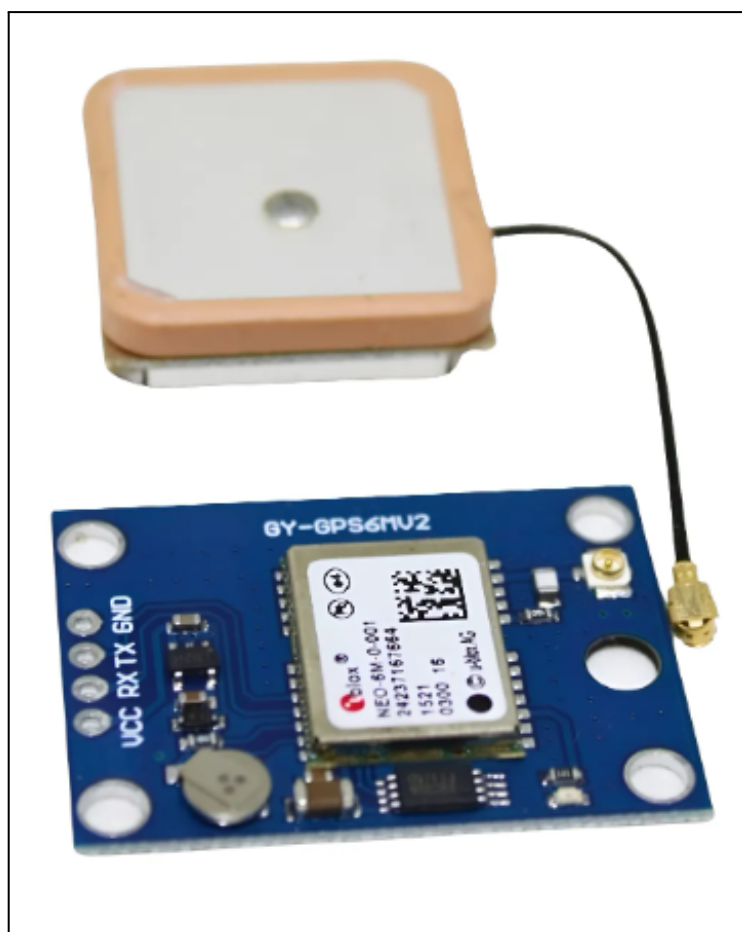
Imagem 38 – Placa de desenvolvimento com base em ESP32 TTGO LoRa V1.3



Fonte: Random Nerd Tutorials (2025).

Adicionou-se um módulo de GPS modelo Neo-6M, ilustrado na Imagem 39, que é capaz de receber informação de latitude e longitude dos satélites através de uma antena, sendo então dos dados enviados à placa de desenvolvido através de comunicação serial.

Imagem 39 – Módulo de GPS Neo-6M



Fonte: Mercado Livre (2025).

Com a premissa de ser alimentado por baterias recarregáveis, inicialmente utilizou-se quatro pilhas AA que posteriormente foram substituídas por um módulo de carregador e uma bateria tipo lítio de tensão nominal 4,2 V e capacidade de 9800 mAh, que possuem um tamanho levemente superior à de uma pilha AA, ilustrada na Imagem 40, para facilitar a recarga, que é realizada através de um carregador USB de 5 V.

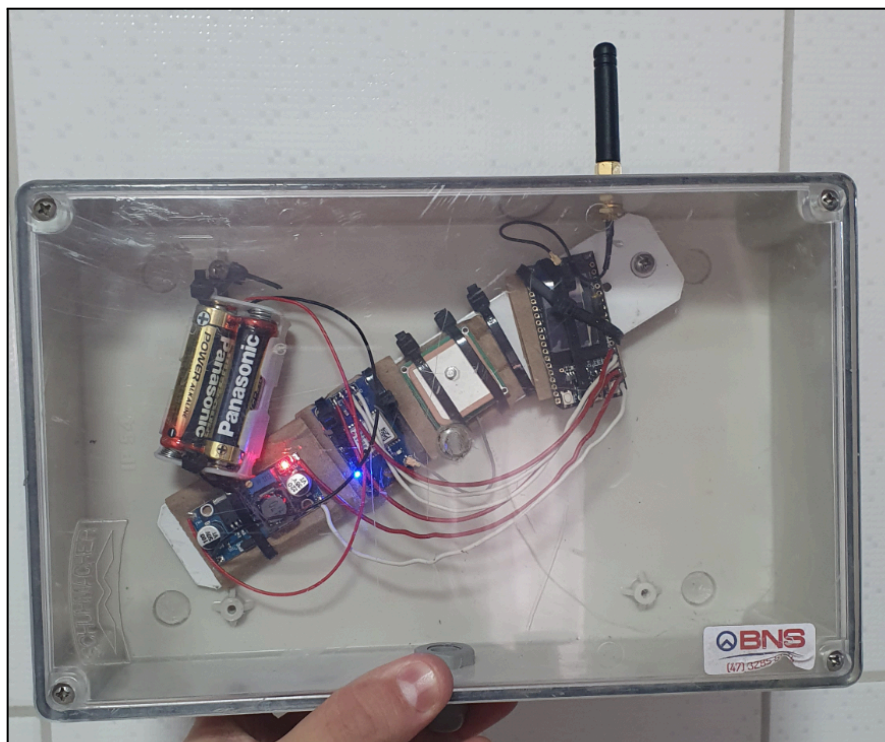
Imagem 40 – Baterias de Lí-Ion 4,2 V e 9800 mAh.



Fonte: Mercado Livre (2025).

Os dispositivos então foram encapsulados em um painel IP65, reaproveitado de uma antiga luminária de emergência conforme ilustrado na Imagem 41. Por último, através de um *pigtail* do tipo SMA, posicionou-se a antena na parte externa da caixa.

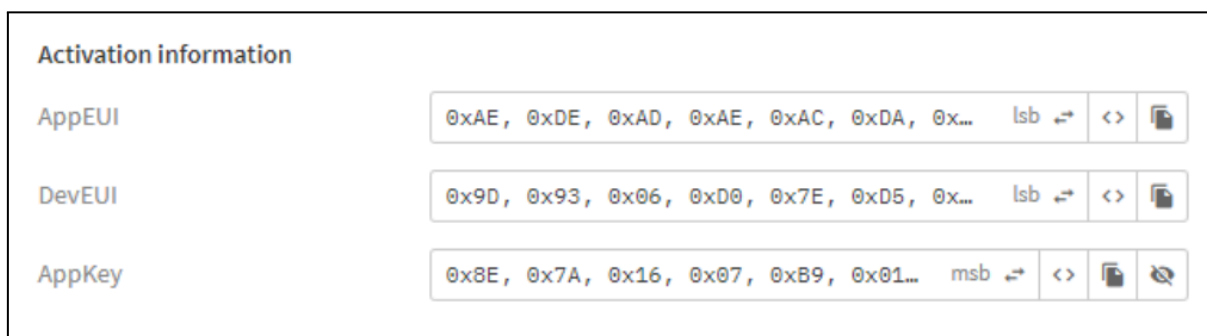
Imagem 41 – Primeira versão do encapsulamento do protótipo de dispositivo LoRa



Fonte: O Autor (2026).

Quanto ao ambiente de programação, utilizou-se a biblioteca *LMIC-node*¹⁵ que possui suporte para *Over-The-Air Activation* (OTAA) e integração facilitada com a TTN. Para um teste inicial, cadastrou-se o dispositivo na TTN com um EUI aleatório gerado do mesmo modo que foi feito com o protótipo de *gateway*, compilou-se o código apenas removendo o comentário do código da placa *ttgo_lora32_v1* e de região *-D CFG_aeu915=1* e adicionando as chaves de segurança que foram geradas automaticamente pela TTN no arquivo *lora_keys.h* da biblioteca. A Imagem 42 mostra a tela da TTN que exibe a chave *AppKey* criada para o dispositivo, no formato *Most Significant Bit* (MSB) que foi colocada no arquivo de chaves.

Imagem 42 – Chaves geradas automaticamente pela TTN



Fonte: O Autor (2026).

Após fazer upload do programa para placa via cabo USB, e energizando o protótipo, foi possível perceber no *live-data* da TTN o recebimento de um contador, que é o dado enviado por padrão pela biblioteca *LMIC-node*. Nesta etapa de testes, o *gateway* instalado no IFSC Câmpus Itajaí foi de suma importância para evitar deslocamentos ao Molhes da Barra.

3.2.1 Sensor de GPS

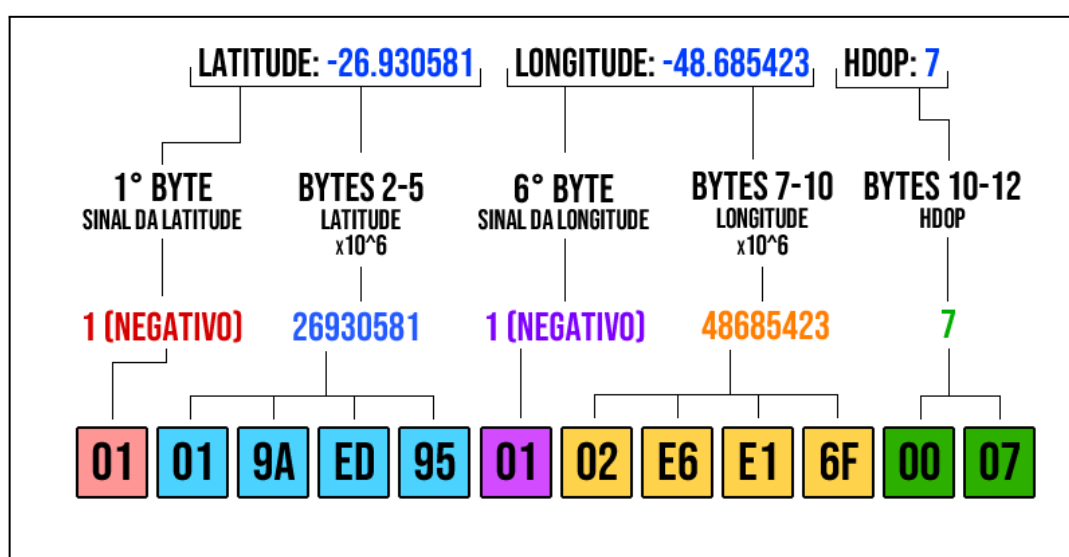
O código padrão da biblioteca *LMIC-node* foi atualizado para incluir a leitura do sensor GPS modelo *NEO-6M*, utilizando-se os dados de longitude, latitude e *Horizontal Dilution of Precision* (HDOP)¹⁶. Definiu-se o valor de porta *fPort* como 9

¹⁵ Disponível em: <https://github.com/lnlp/LMIC-node>

¹⁶ Métrica que avalia a qualidade da geometria dos satélites GNSS/GPS para determinar a precisão do posicionamento horizontal (latitude/longitude) obtidos para envio na mensagem.

para uma transmissão que possui somente estes valores. Verificando através da ficha técnica¹⁷ que são fornecidas seis casas decimais, como premissa, definiu-se que na mensagem, o primeiro *byte* é responsável pelo sinal da latitude, enquanto os próximos quatro bytes representam o valor da latitude, o sexto *byte* é o sinal da longitude, os próximos quatro *bytes* representam o valor da longitude, e os últimos 2 *bytes* o valor de HDOP. A Imagem 43 ilustra como deve funcionar a mensagem. Como o objetivo deste trabalho é verificar medições que ocorram à nível do mar, iremos considerar altitude como 1 metro por padrão, economizando *bytes* na transmissão. Conectou-se o módulo de GPS com a tensão de VCC e GND da placa de desenvolvimento, e interligou-se os terminais RX e TX em TX e RX respectivamente.

Imagem 43 – Codificação da mensagem para envio, com informações de latitude, longitude e HDOP



Fonte: O Autor (2026).

3.2.2 Nível de Bateria

Para envio de bateria, montou-se um divisor de tensão com dois resistores de 10 k Ω entre os terminais de Vin, GND e entrada analógica A0. De acordo com a Lei das Malhas de Kirchhoff, sendo dois resistores de mesma resistência em série

¹⁷ Disponível em:

https://content.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf

conectados aos terminais da fonte, a tensão da fonte fica igualmente dividida entre eles (ALEXANDER; SADIKU, 2013). A tensão de saída em um divisor de tensão, onde no circuito está presente em A0 e será a tensão lida pela controlador, é definida pela Equação (1).

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

Onde:

- V_{out} é a tensão de saída (medida no resistor R_2);
- V_{in} é a tensão da fonte;
- R_1 é a resistência do primeiro resistor em série;
- R_2 é a resistência do segundo resistor.

Tomando como referência uma bateria de lítio, com tensão de carga máxima de 4.2 V, a tensão vista no terminal de entrada digital no controlador, aplicando a Equação (1) é:

$$V_{out} = 4,2 \cdot \frac{10000}{10000 + 10000} \quad (2)$$

$$V_{out} = 4,2 \cdot \frac{1}{2} \quad (3)$$

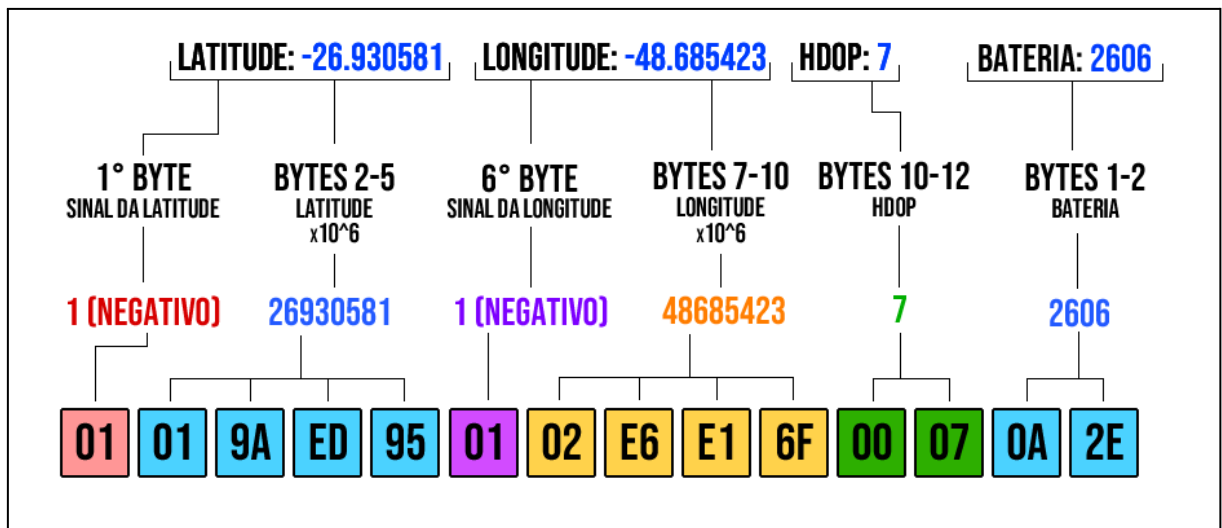
$$V_{out} = 2,1 \quad (4)$$

De acordo com o manual do fabricante, o conversor analógico de ESP32 possui uma resolução de 12 bits (ESPRESSIF SYSTEMS, 2024), logo o valor de leitura deve ser 4095 para 3,3 V, e 0 para 0 V. Deste modo, pode-se verificar que cada unidade do número inteiro representa teoricamente 0,8 mV. No exemplo da bateria cheia, 2,1 V representa, aproximadamente:

$$Leitura = 2,1 \cdot \frac{4095}{3,3} = 2606 \quad (5)$$

Precisamos de 2 *bytes* para transmitir o valor de bateria no pacote, sendo realizado a conversão da seguinte maneira: no protótipo, transmitiu-se o valor que indica nível de bateria junto com os valores de latitude e longitude no GPS a cada dez mensagens, e quando isto acontecer iremos indicar o valor de *fPort* como 11. A Imagem 44 ilustra uma mensagem completa com informações de GPS e de bateria, e como ela é codificada para a transmissão.

Imagem 44 – Codificação de mensagem com latitude, longitude, HDOP e nível de bateria



Fonte: O Autor (2026).

Caso haja algum problema com a medição dos valores de GPS, onde não seja possível obter os valores de latitude, longitude e HDOP, seja devido ao tempo de iniciação do sensor ou algum outro problema, iremos enviar somente o nível de bateria, indicando *fPort* como 10.

3.2.3 Payload Formatter

Conforme definiu-se os dados que podem ser transmitidos pela montagem do protótipo e programação no código, faz-se necessário escrever um decodificador para a sequência de *bytes* recebidas em uma aplicação LoRa, para obtermos um

arquivo em formato JSON de fácil leitura e que possa ser utilizado com integração ao TagIO de forma automática. Portanto, o decodificador deve produzir um arquivo JSON de acordo com o Código 10, seguindo as seguintes premissas

- Identificar valor de *fPort*, podendo ser 9, 10 ou 11;
- Decodificar latitude, longitude e HDOP;
- Decodificar nível de bateria, convertendo para tensão;
- Formatar um arquivo JSON preparado para o TagIO.

Código 10 – Formato de arquivo JSON gerado após a decodificação da mensagem

```
1  {
2      "latitude": -23.55052,
3      "longitude": -46.633308,
4      "hdop": 0.8,
5      "altitude": 1,
6      "battery": 4.2
7  }
```

Fonte: O Autor (2026).

No objeto *input*, que é repassado pela TTN ao código de *payload formatter*, temos duas propriedades que são importantes para decodificar a mensagem: *fPort* e *data*. Na etapa de codificação, definiu-se os valores de *fPort* para identificar qual a estrutura de mensagem esperada em *data*, sendo 9 para somente dados de GPS, 10 para somente valores de bateria e 11 para todas as informações.

3.2.3.1 Nível de Bateria

Para decodificar a bateria, retornamos os *bytes* correspondentes de hexadecimal para decimal, por exemplo, *0A 2E* torna-se 2606. O algoritmo considera o *byte* da esquerda como o mais significativo, portanto, basta adicionar uma propriedade *battery* no objeto final *data*, sendo o valor da propriedade a soma do primeiro *byte* com o segundo, respeitando a significância de cada *byte*, utilizando deslocamento de *bits* à esquerda. O próximo passo é converter o valor para nível de

tensão elétrica, sabendo que cada inteiro representa 0,8 mV, e que representa metade da tensão da fonte por conta do divisor, multiplicamos também por 2. O Código 11 representa um trecho do decodificador que faz a conversão da mensagem para um valor de leitura em Volts.

Código 11 – Trecho do decodificador que converte o nível de bateria da mensagem para Volts

```
1 // Exemplo de soma com deslocamento de bits.
2
3 var data.input = [0x0A, 0x2E]; // [10, 46]
4
5 var byte1 = data.input[0] << 8; // 2560
6 var byte2 = data.input[1]; // 46
7
8 // Conversão do inteiro para nível em "volts"
9 data.battery = (byte1 + byte2) * (3.3/4095) * 2; // 4,2
```

Fonte: O Autor (2026).

Notou-se que o valor de medição com um multímetro digital, com as pontas de prova em paralelo com a fonte, ficou cerca de 10% acima do valor calculado pelo algoritmo, em Volts, por isso adicionou-se também um fator multiplicador de 1,1 no código final.

3.2.3.2 Valores de GPS

Fez-se o mesmo processo para decodificar a latitude e longitude, multiplica-se pelo sinal e divide-se por um fator de 1000000 para retornar as casas decimais. O Código 12 demonstra um trecho do decodificador responsável por recuperar os valores de latitude. O mesmo processo é repetido para os valores de longitude e HDOP. O código completo do decodificador está disponível no Apêndice C.

Código 12 – Trecho do decodificador que converte as informações de latitude

```

1  // Mensagem recebida
2  var data.input =
    [0x01, 0x01, 0x9A, 0xED, 0x95, 0x01, 0x02, 0xE6, 0xE1, 0x6F, 0x00, 0x07];
3
4  // Sinal da latitude
5  var latitude_sinal = data.input[0] > 0 ? -1 : 1;
6
7  // Aplicando bit shift para aplicar a significância
8  var latitude_byte1 = data.input[1] << (8*3);
9  var latitude_byte2 = data.input[2] << (8*2);
10 var latitude_byte3 = data.input[3] << (8*1);
11 var latitude_byte4 = data.input[4];
12
13 // Transforma em um inteiro decimal
14 var latitude = (latitude_byte1 + latitude_byte2 + latitude_byte3 +
    latitude_byte2);
15 // Aplica o sinal positivo ou negativo
16 latitude *= latitude_sinal;
17 // Divisão para ter as 6 casas decimais.
18 latitude /= 1000000;

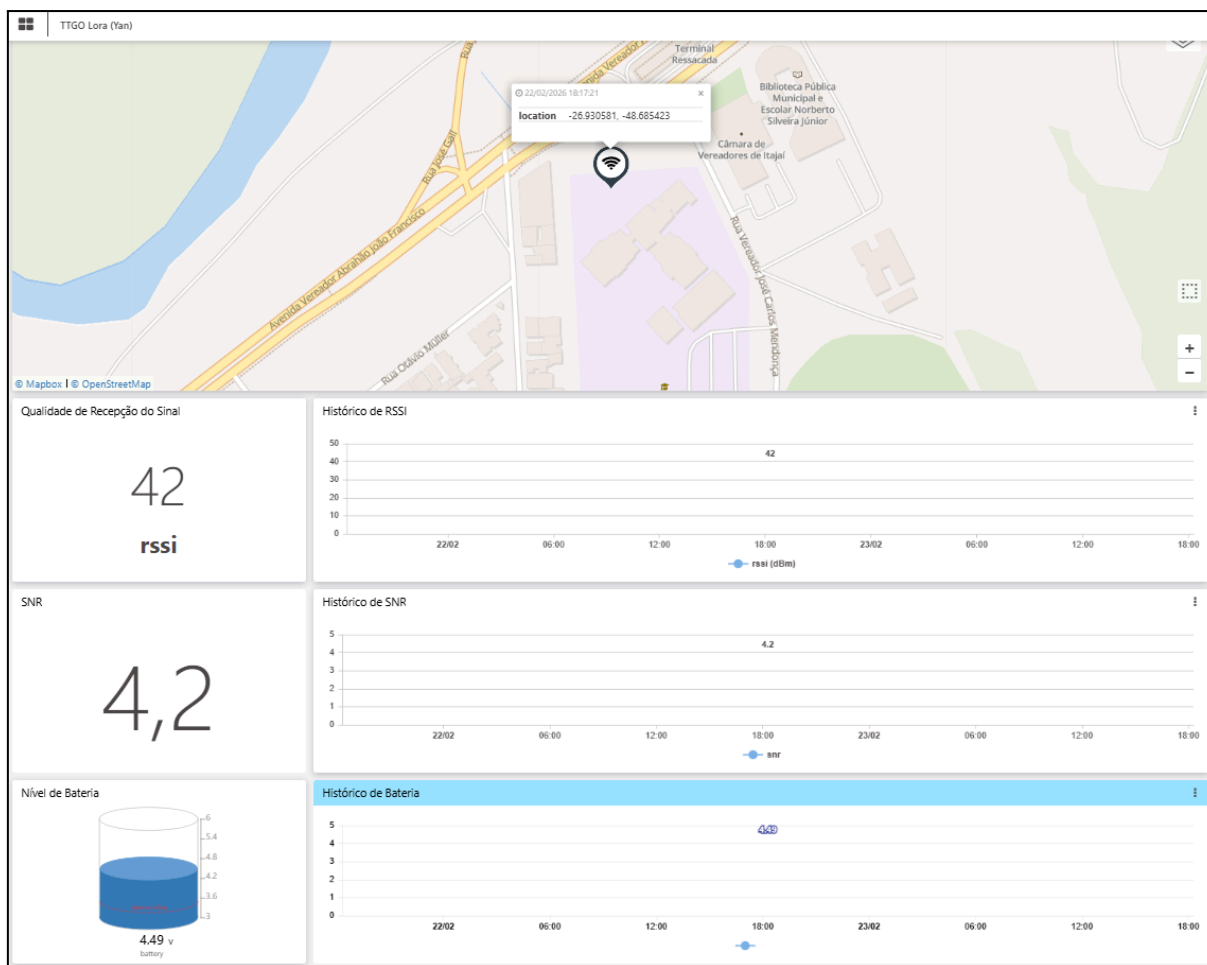
```

Fonte: O Autor (2026).

3.2.4 Dashboard na TagolO

Para visualização dos dados, criou-se um painel de controle na TagolO contendo elementos para exibir os últimos valores de RSSI e *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), estes valores são repassados pela TTN, e estão presentes no cabeçalho da mensagem, e um gráfico com os valores das 20 mensagens mais recentes, um mapa interativo para localização de GPS, e um gráfico para nível de bateria, ficando ilustrado na Imagem 45.

Imagem 45 – Trecho do decodificador que converte as informações de latitude



Fonte: O Autor (2026).

3.2.5 GPS *tracker* comercial

Durante os testes de cobertura, foi utilizado em conjunto com o protótipo de GPS com ESP32, um dispositivo final da fabricante Dragino modelo TrackerD-LS, que é alimentado por baterias de íon de lítio e recarregado por um pequeno painel solar na parte externa do encapsulamento. Este aparelho envia informações de GPS através de LoRa, ativado por sensor de movimento para garantir mais autonomia. Mais informações sobre o dispositivo podem ser acessadas na página do fabricante¹⁸. A Imagem 46 ilustra como é este *end-device*.

¹⁸ Disponível em: <https://www.dragino.com/products/tracker/item/316-trackerd-ls.html>

Imagem 46 – Trecho do decodificador que converte as informações de latitude



Fonte: EXP Tech (2025).

3.3 GATEWAY PORTÁTIL

Para permitir testes de recepção, a fim de determinar a viabilidade de instalação de um GW permanente em ponto escolhido, para no futuro ampliar a rede de cobertura de uma sistema de monitoramento LoRa, fez-se necessária a montagem de um encapsulamento portátil para um *gateway* comercial fabricante Khomp modelo ITG200 tipo *indoor*, que pudesse ter conexão com a internet através de dados móveis de telefonia, alimentação autônoma por baterias e proteção contra água e poeira. Este equipamento foi escolhido pois já era utilizado internamente no câmpus para testes de rede LoRa. Para isso, testou-se a alimentação do aparelho em uma bateria de 12 V com capacidade de 4 Ah conectada à um inversor de frequência para 220 Vca, e constatou-se autonomia de aproximadamente 3 horas, sendo o esquema de ligação conforme Imagem 47. A necessidade do conversor foi

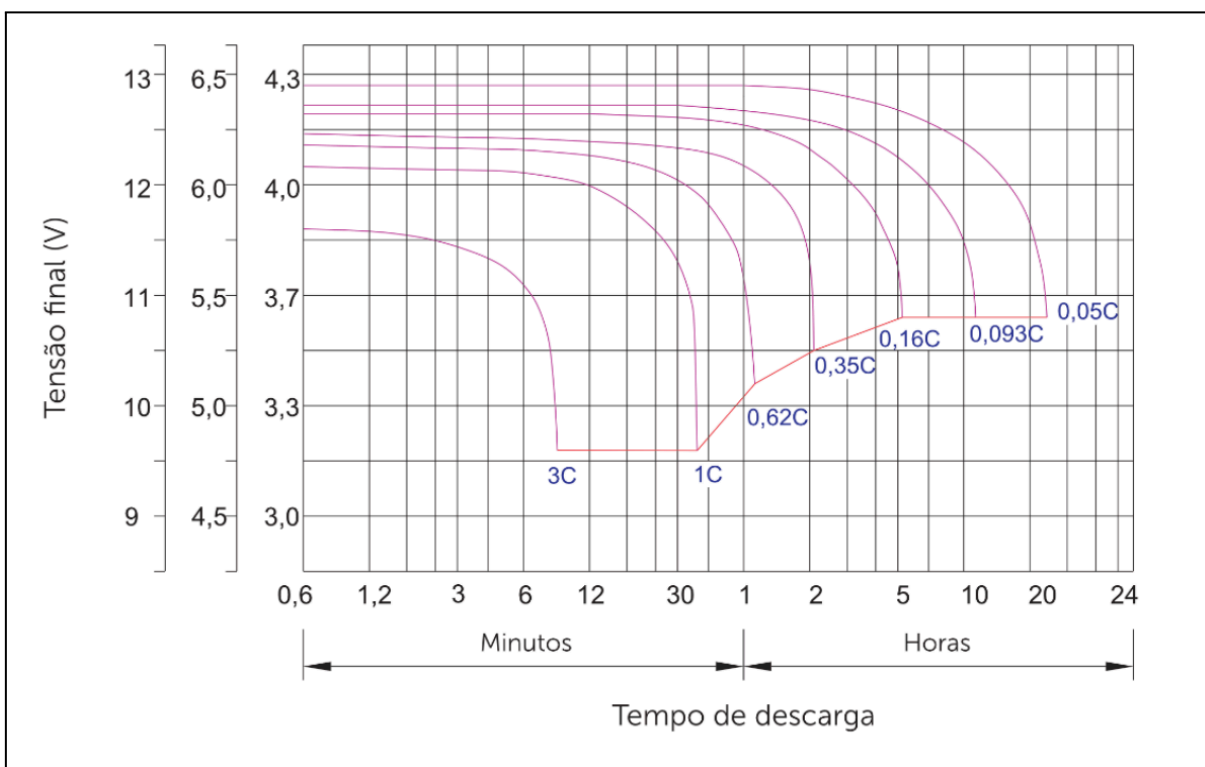
devida a constatação da flutuação de tensão das baterias, que é devida a curva de descarga conforme gráfico da Imagem 48.

Imagem 47 – Ligação para teste inicial de duração da bateria



Fonte: O Autor (2026).

Imagem 48 – Curva de descarga bateria Intelbras XB1270

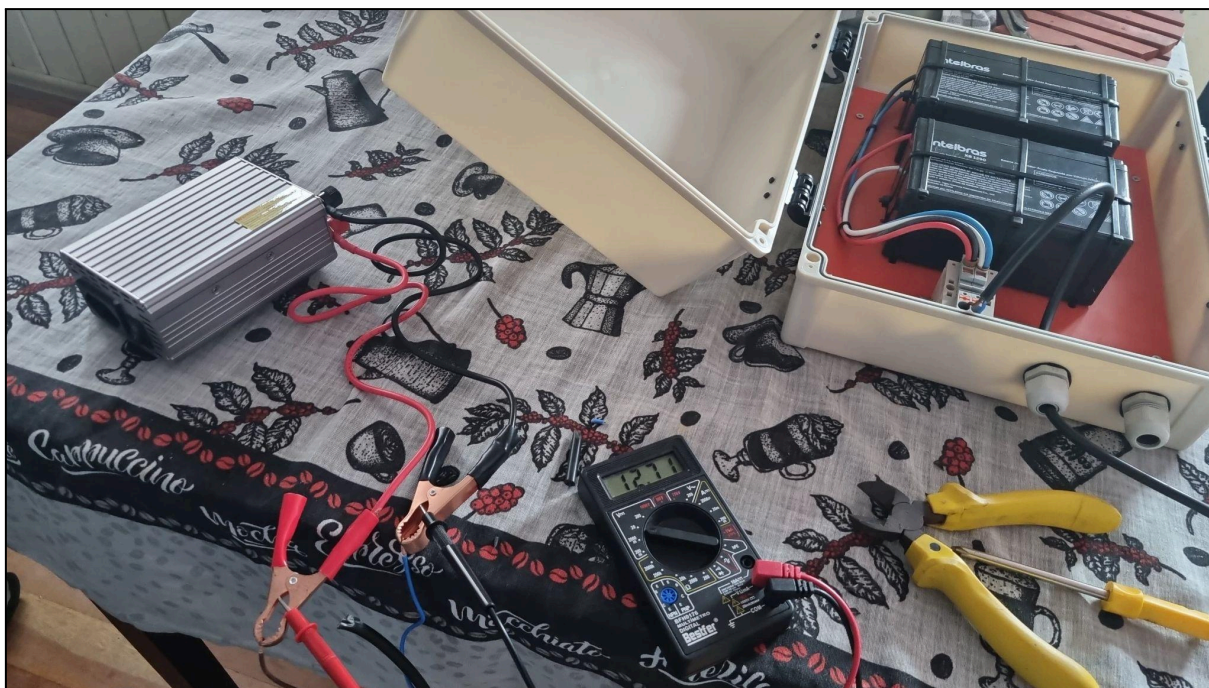


Fonte: O Autor (2026).

Para uma autonomia maior decidiu-se utilizar duas baterias de 12 V em paralelo, com capacidade nominal de 7 Ah cada, modelo Intelbras XB1270, o que deveria permitir 10 horas de operação ininterrupta. A recarga das baterias é feita conectando-as em uma fonte de bancada calibrada para 13,6 V de saída em

corrente contínua, conforme especificações da ficha técnica¹⁹ do fabricante. A Imagem 49 demonstra como foram montadas as baterias do encapsulamento, a ligação em paralelo e a medição da tensão de saída com um multímetro digital.

Imagem 49 – Montagem de baterias no painel e verificação da tensão após ligação em paralelo



Fonte: O Autor (2026).

Devido à complexidade do espaço de montagem e baixa eficiência do sistema de potência, optou-se em substituir o inversor por um conversor CC-CC capaz de manter a tensão em 12 V mesmo com a flutuação das baterias, tornando-se desnecessária a utilização da fonte de alimentação original do *gateway*. O novo esquema de ligação ficou conforme a Imagem 50. Após nova rodadas de testes, constatou-se autonomia de até 24 horas.

Para encapsular o protótipo, escolheu-se um painel de PVC com grau de proteção IP54 e *pigtails* para permitir a instalação das antenas LoRa de 4G para fora do painel, sendo a montagem realizada conforme Imagens 51 e 52.

¹⁹ Disponível em: <https://backend.intelbras.com/sites/default/files/2020-02/Datasheet-XB-1270-01.20.pdf>

Imagem 50 – Esquema de ligação somente com conversor CC-CC e duas baterias



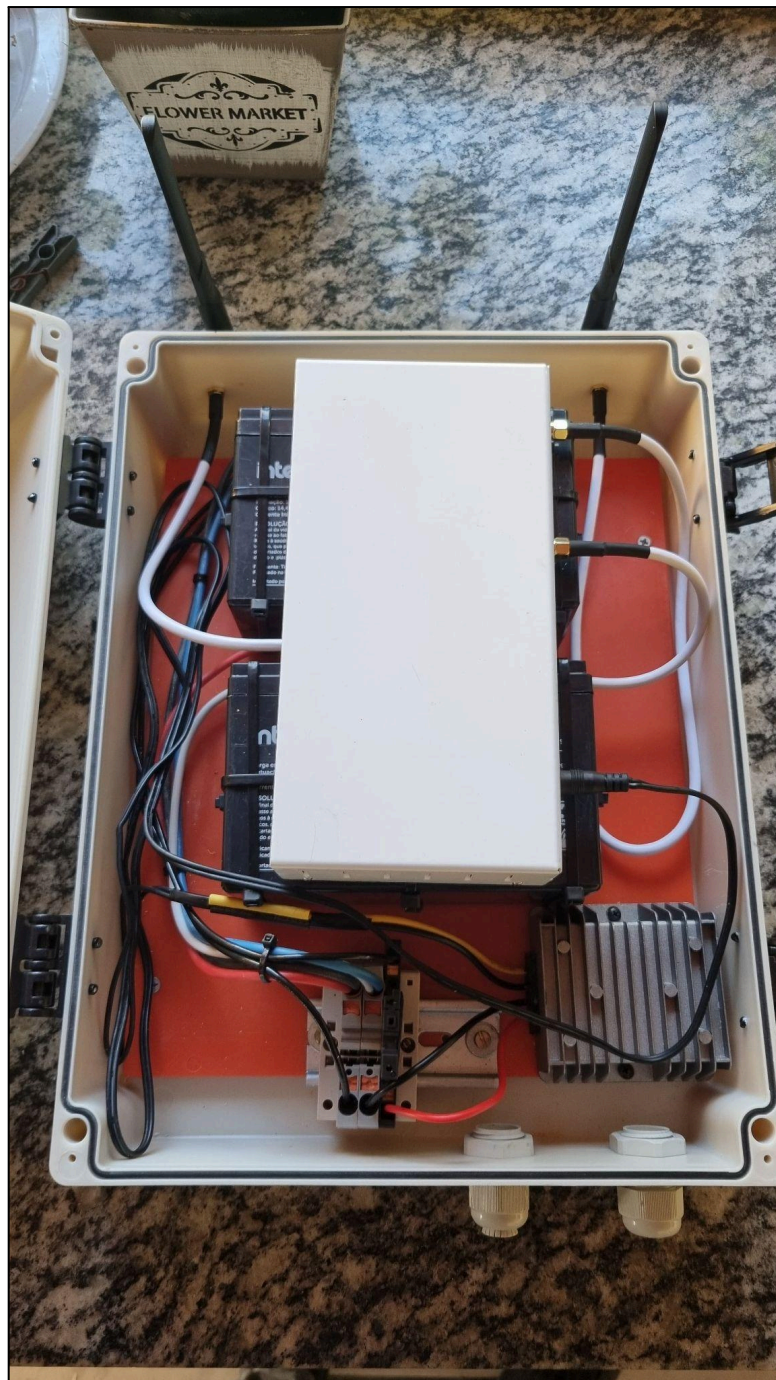
Fonte: O Autor (2026).

Imagem 51 – Montagem do painel com baterias, gateway, conversor e antenas



Fonte: O Autor (2026).

Imagem 52 – Montagem do painel com baterias, *gateway*, conversor e antenas



Fonte: O Autor (2026).

3.4 TESTES DE RECEPÇÃO DOS GATEWAYS

Para comparar a recepção de um *uplink* através de mais de um *gateway* foi necessário escrever um código em *JavaScript* para rodar em ambiente de *NodeJS*, para receber informações da TTN através de protocolo *Message Queuing Telemetry*

Transport (MQTT), criando um evento de inscrição para mudanças de *uplink*, ou seja, cada *uplink* recebido por um dispositivo na aplicação é alertado no cliente de MQTT conforme abaixo. O código completo desta integração encontra-se no Apêndice D. O programa então pode ser executado durante os testes, rodando em ambiente local em computador pessoal para registro desses eventos. A Imagem 53 demonstra um exemplo de uma mensagem que foi recebida, indicando data, dispositivo e quais GWs repassaram a mensagem para a aplicação.

Imagem 53 – Janela do console demonstrando as mensagens que foram recebidas por múltiplos GWs

```
Conectado ao MQTT da TTN!
Inscrito no topico: v3/ifsc-lora-end-devices@ttn/devices/+/up
-----
Dispositivo: eui-f80332010002369a
Hora do uplink: 2025-10-12T16:39:07.338844999Z
Gateways que receberam:
- gw1-outdoor-campus-itajai-ifsc (RSSI: -109, SNR: 4)
- eui-0000f8033201cf2b (RSSI: -60, SNR: 12)
```

Fonte: O Autor (2026).

Após os testes iniciais, verificou-se diferença significativa entre os valores de RSSI do *gateway* comercial portátil e o protótipo de *gateway* com *Raspberry Pi* instalado na Rádio Costeira. Essa divergência foi verificada em trabalho concomitante de Marcelino (2026). Para solucionar esse problema, alterou-se na configuração do *packet forwarder* o valor de offset de RSSI de -166 para -215.4, valor este verificado no arquivo de configuração padrão do chip SX1302. Após o ajuste, os valores passaram a estar mais alinhados com os estudos para cenários costeiros (MARCELINO, 2026). O Código 13 demonstra o trecho alterado para aplicar a correção e código completo de configuração do *gateway* com as frequências e *offset* encontra-se no Apêndice E.

Código 13 – Trecho alterado na configuração do *packet forwarder*

```

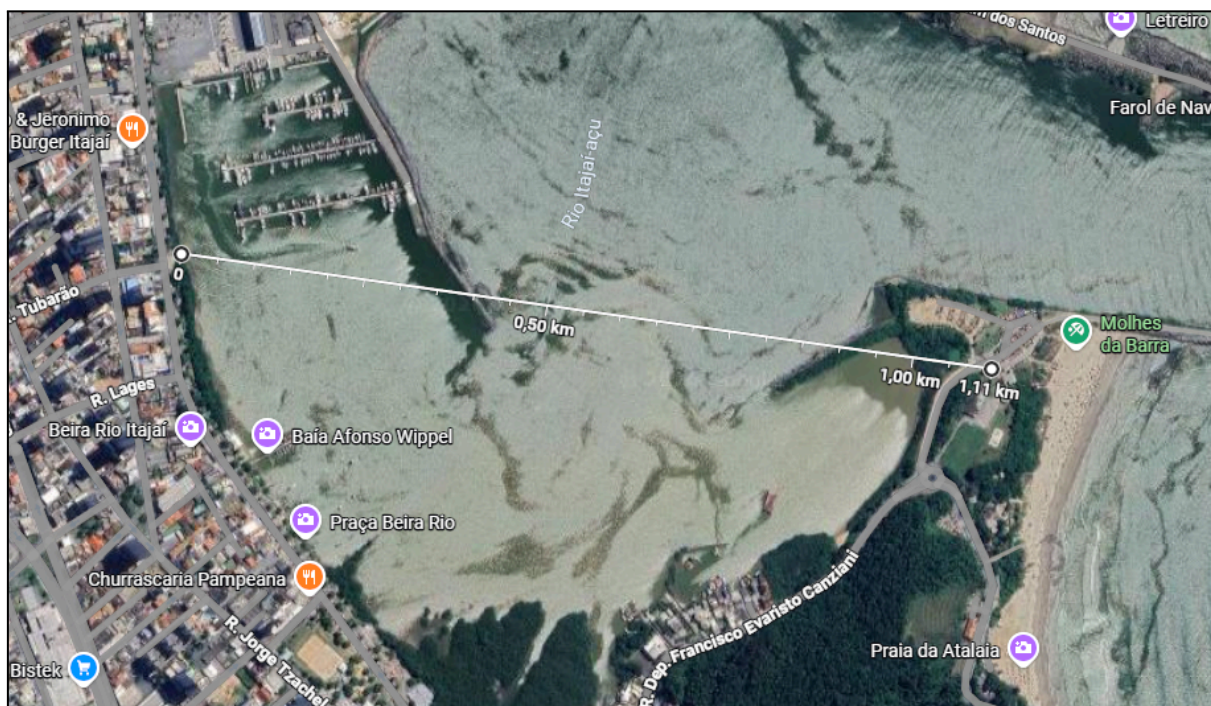
1 // Valor de OFFSET antigo em "radio_0"
2 "rssi_offset": -166,
3 // Novo Valor de OFFSET configurado
4 "rssi_offset": -215.4,
5 // Diferença de 49,4 dBm

```

Fonte: O Autor (2026).

Para confirmar se o arquivo de configuração foi atualizado com sucesso, realizou-se um teste antes e depois em local selecionado na Av. Ministro Victor Konder, conhecida como Beira Rio, na altura do número 622. A Imagem 54 demonstra no mapa o trajeto de visada entre o nó-sensor e o *gateway*, enquanto a Imagem 55 demonstra o nó-sensor utilizado para enviar os *uplinks*. Na Tabela 2 temos os valores registrados antes da configuração e na Tabela 3 temos os valores registrados após a atualização de offset de RSSI.

Imagem 54 – Direção de visada para testar ajuste de *offset* de RSSI



Fonte: O Autor (2026).

Imagem 55 – Posição do nó-sensor na baía, em direção ao Molhes da Barra



Fonte: O Autor (2026).

Tabela 2 – Valores de RSSI e SNR registrados antes da configuração de *offset*

Medição	Data e Hora	RSSI (dBm)	SNR (dB)
1	18/11/2028 - 21:31:01	-37	7,8
2	18/11/2028 - 21:33:04	-38	11,0
3	18/11/2028 - 21:33:15	-38	11,2
4	18/11/2028 - 21:33:27	-33	13,2
5	18/11/2028 - 21:33:38	-36	12,5
6	18/11/2028 - 21:33:51	-44	10,5
7	18/11/2028 - 21:34:09	-36	9,0
8	18/11/2028 - 21:34:21	-41	11,5
9	18/11/2028 - 21:34:33	-38	12,5
10	18/11/2028 - 21:34:44	-36	11,8

Fonte: O Autor (2026).

Tabela 3 – Valores de RSSI e SNR registrados após a configuração de *offset*

Medição	Data e Hora	RSSI (dBm)	SNR (dB)
1	19/11/2028 - 16:16:08	-87	9
2	19/11/2028 - 16:16:26	-88	11,0
3	19/11/2028 - 16:16:38	-86	11,8
4	19/11/2028 - 16:16:57	-82	13,0
5	19/11/2028 - 16:17:02	-83	13,8
6	19/11/2028 - 16:17:11	-85	11,8
7	19/11/2028 - 16:17:23	-85	12,5
8	19/11/2028 - 16:17:48	-87	10,8
9	19/11/2028 - 16:17:56	-87	12,0
10	19/11/2028 - 16:18:08	-87	8,8

Fonte: O Autor (2026).

Na Tabela 2 tem-se uma média de -37,7 dBm de RSSI, enquanto na Tabela 3 tem-se uma média de -85,7 dBm, atingindo uma diferença média de 48 dBm. Pode-se observar que a diferença de *offset* de RSSI de 49,4 dBm ajustada nos arquivos de configuração, confirmou-se com as medidas realizadas em campo. O valor que foi utilizado na configuração, foi levado em consideração nas medidas realizadas na etapa de resultados, ajustando os valores de RSSI.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o ambiente preparado para realização de testes em mar, buscou-se apoio para instalação do protótipo de GPS no barco escola do IFSC Câmpus Itajaí, em barco a vela do Prof. Alfen Ferreira e em barco da Associação Náutica de Itajaí (ANI). Também realizou-se testes com o *gateway* portátil instalado na Secretaria de Pesca de Bombinhas-SC e no Parque do Atalaia em Itajaí-SC. Neste capítulo, serão apresentadas as fotografias dos nós sensores nas embarcações, os mapas com os pontos de onde foram recebidos os sinais de *uplinks* e tabelas com os valores de RSSI corrigidos após a configuração de *offset* dos *gateways*.

4.1 TESTES DE COBERTURA DO GATEWAY MOLHES DA BARRA

4.1.1 Saída em 22 de fevereiro de 2025

Os dados da Tabela 4 foram coletados em saída com barco pelo Prof. Roddy Romero no dia 22 de fevereiro de 2025, contribuindo para os testes de cobertura do *gateway* fixo instalado no Molhes da Barra neste trabalho, utilizando-se de um nó sensor do tipo GPS *tracker* de modelo comercial da Dragino. Na Imagem 56 é possível visualizar o ponto de instalação do dispositivo no barco, enquanto na figura 57 os pontos registrados pelo GPS estão em azul; o local de instalação do *gateway* está com o pino azul claro, sendo este o ponto central dos círculos em verde na imagem; os dois primeiros raios em verde representam 0,5 km cada, e os raios subsequentes estão a cada 1 km.

Imagem 56 – Dispositivo final comercial de GPS no barco



Fonte: Prof. Roddy Romero (2026).

Tabela 4 – Medições coletadas na saída de barco no dia 22 de fevereiro de 2025

(continua)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
1	09:36:12	-26.915974, -48.652080	-100	4,2
2	09:40:07	-26.915844, -48.651524	-98	7,0
3	09:45:49	-26.915796, -48.651564	-107	-8,2
4	09:53:56	-26.915780, -48.651500	-100	-5,8
5	09:57:44	-26.915822, -48.651548	-100	4,8
6	10:10:17	-26.915830, -48.651424	-89	10,2
7	10:21:45	-26.911792, -48.652964	-97	7,8
8	10:26:44	-26.911678, -48.653072	-106	-5,0
9	10:30:53	-26.912376, -48.652880	-104	-2,5
10	10:34:51	-26.914448, -48.649920	-100	4,2
11	10:39:26	-26.913570, -48.648040	-96	8,0

Tabela 4 – Medições coletadas na saída de barco no dia 22 de fevereiro de 2025

(continuação)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
12	10:47:24	-26.910800, -48.645716	-100	4,5
13	10:56:26	-26.914318, -48.644720	-86	12,0
14	11:00:42	-26.914388, -48.644732	-97	6,8
15	11:05:29	-26.914334, -48.644996	-93	9,8
16	11:10:04	-26.914386, -48.645124	-91	4,5
17	11:16:02	-26.914268, -48.645044	-91	10,5
18	11:19:49	-26.913630, -48.642608	-89	9,8
19	11:26:27	-26.913608, -48.633648	-102	2,5
20	11:30:21	-26.916358, -48.629636	-100	4,8
21	11:33:56	-26.917524, -48.628824	-104	-1,0
22	11:45:38	-26.925426, -48.624092	-96	6,0
23	11:50:15	-26.923398, -48.621500	-100	-6,5
24	11:58:36	-26.928966, -48.620156	-100	-5,8
25	12:09:06	-26.925222, -48.620248	-98	4,0
26	12:16:33	-26.927086, -48.626540	-92	-6,0
27	12:21:44	-26.928092, -48.626708	-102	3,8
28	12:27:31	-26.928264, -48.626752	-100	3,5
29	12:50:39	-26.928166, -48.626772	-97	-8,8
30	13:17:38	-26.928134, -48.626708	-97	2,8
31	13:48:04	-26.928254, -48.626772	-99	3,5
32	13:53:47	-26.928108, -48.626604	-102	2,0
33	13:57:46	-26.925744, -48.627748	-93	5,8
34	14:23:27	-26.913158, -48.641908	-75	13,0
35	14:28:07	-26.914232, -48.646600	-91	9,5
36	14:33:30	-26.915490, -48.651424	-84	13,5

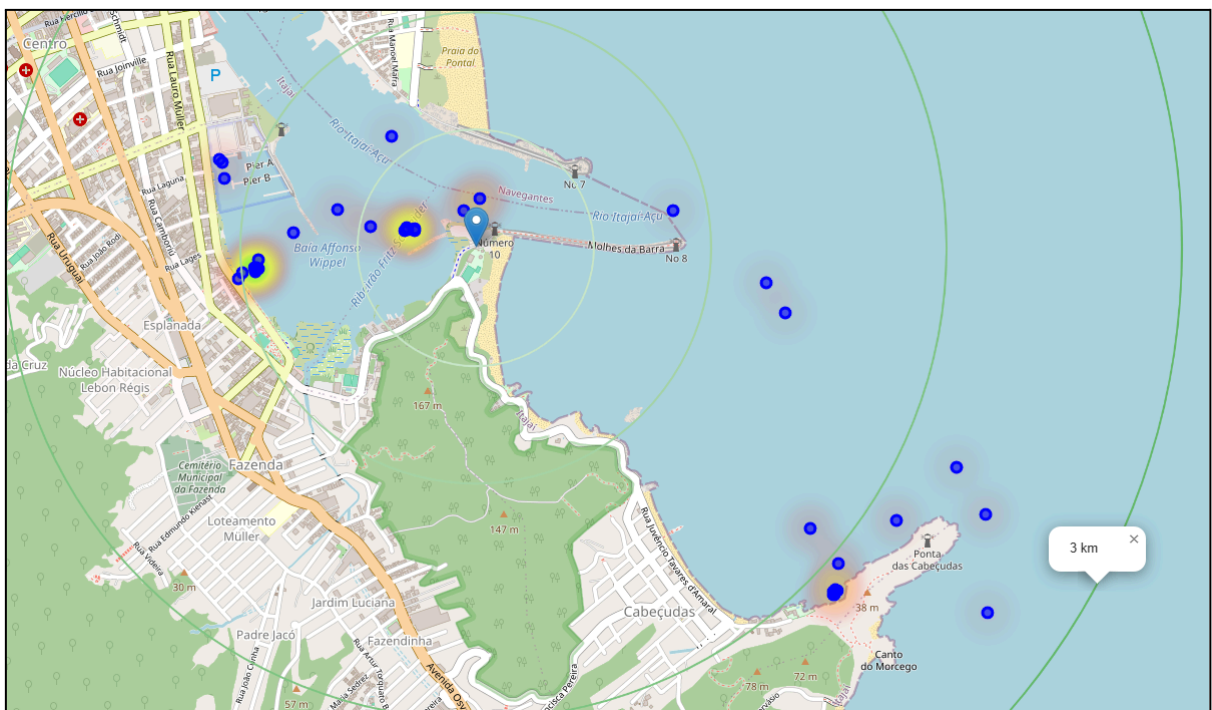
Tabela 4 – Medições coletadas na saída de barco no dia 22 de fevereiro de 2025

(conclusão)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
37	14:38:59	-26.915874, -48.651508	-89	11,8
38	14:42:52	-26.915948, -48.651556	-85	10,2
39	14:46:54	-26.916198, -48.652260	-95	9,0

Fonte: O Autor (2026).

Imagem 57 – Visualização dos pontos de medição da saída do dia 22 de fevereiro de 2025



Fonte: O Autor (2026).

4.1.2 Saída em 17 de março de 2025

Realizou-se uma saída com o barco escola do IFSC no dia 17 de março de 2025, com retorno no dia seguinte. Posicionou-se o dispositivo comercial de GPS da fabricante Dragino no barco conforme Imagem 58. Iniciou-se o trajeto de ida na Baía Afonso Wippel em Itajaí-SC com destino à Bombinhas-SC, por volta das 14 horas, e as medições coletadas estão apresentadas na Tabela 5. Os dados de latitude e longitude estão representados por pontos azuis-escuro na Imagem 59, enquanto o pino azul-claro representa a localização do GW do Molhes da Barra, centralizado

nos anéis verdes, sendo que os dois primeiros representam um incremento de 500 metros de distância, enquanto os anéis posteriores, incremento de 1 quilômetro de distância. Os dados do trajeto de retorno no dia seguinte estão representados na Tabela 6 e no mapa da Imagem 60.

Imagem 58 – Nó-sensor Dragino posicionado no barco na saída do dia 17 de março de 2025 e posteriormente no retorno no dia seguinte



Fonte: Prof. Roddy Romero (2026).

Tabela 5 – Medições coletadas na saída de barco no dia 17 de março de 2025

(continua)

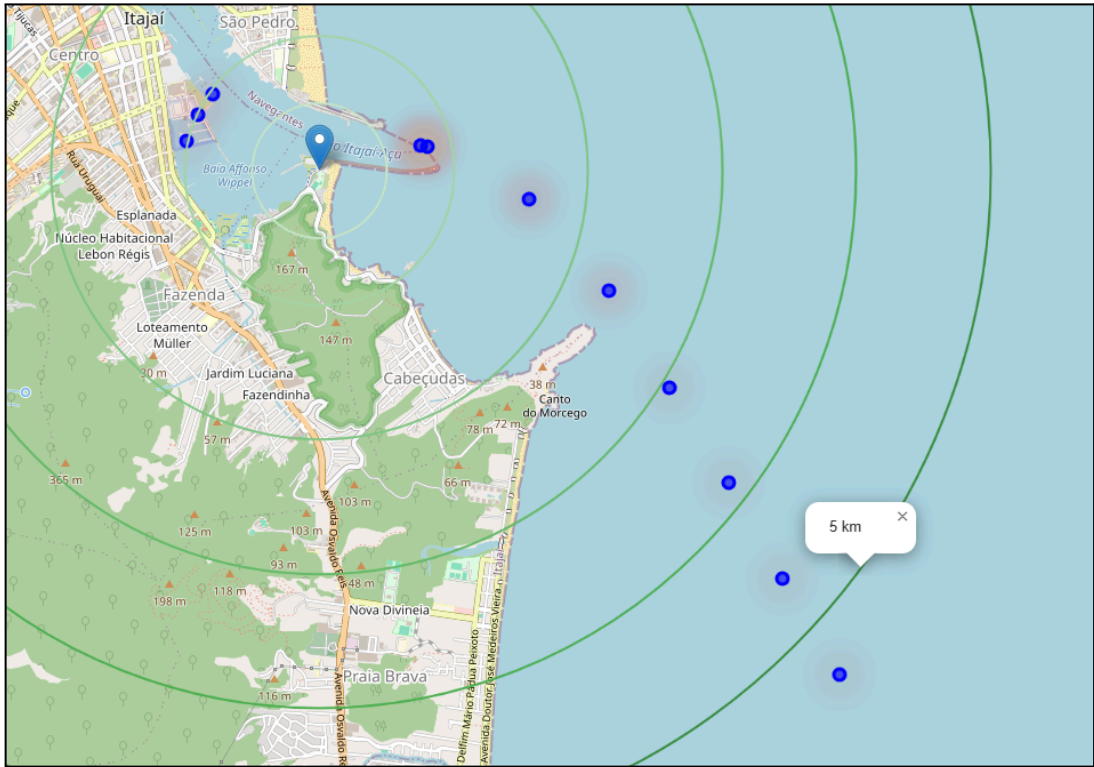
Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
1	14:19:36	-26.909876, -48.650156	-94	-4,2
2	14:23:19	-26.911256, -48.651212	-97	6,0
3	14:27:42	-26.913076, -48.652120	-102	2,2
4	14:37:31	-26.913324, -48.634492	-75	13,2
5	14:37:46	-26.913410, -48.633948	-74	13,2
6	14:41:26	-26.916954, -48.626344	-78	10,5
7	14:45:18	-26.923070, -48.620332	-84	9,2

Tabela 5 – Medições coletadas na saída de barco no dia 17 de março de 2025
(conclusão)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
8	14:49:04	-26.929536, -48.615808	-89	7
9	14:52:53	-26.935894, -48.611340	-102	4
10	14:56:27	-26.942372, -48.607256	-101	-7
11	15:00:07	-26.948788, -48.603024	-103	-2

Fonte: O Autor (2026).

Imagem 59 – Pontos coletados na saída do dia 17 de março de 2025



Fonte: O Autor (2026).

Tabela 6 – Medições coletadas no retorno do barco no dia 18 de março de 2025
(continua)

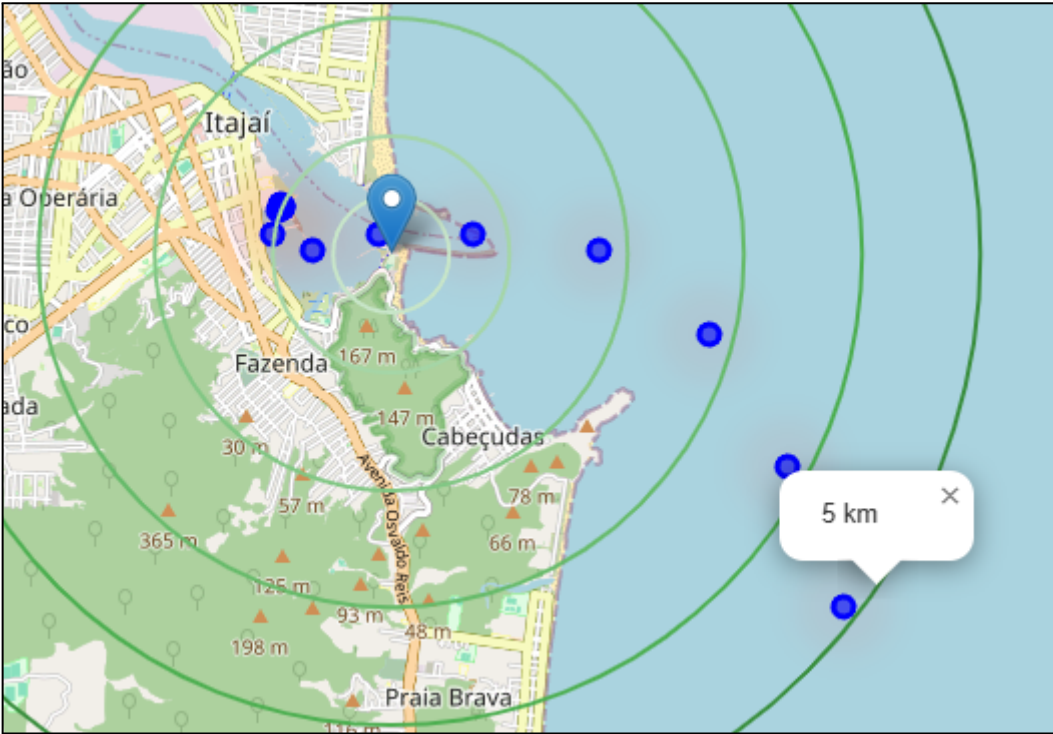
Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
1	09:20:31	-26.941958, -48.60334	-102	-3,2
2	09:25:40	-26.93125, -48.608124	-93	6,5
3	09:31:05	-26.921112, -48.614824	-91	10,2

Tabela 6 – Medições coletadas no retorno do barco no dia 18 de março de 2025
(conclusão)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
4	09:36:31	-26.914688, -48.624280	-94	8,2
5	09:41:56	-26.913476, -48.635168	-78	13,5
6	09:47:04	-26.913470, -48.643136	-84	9,5
7	09:52:29	-26.914794, -48.648888	-71	13,2
8	09:55:51	-26.913500, -48.652320	-78	13,0
9	10:00:58	-26.911646, -48.651804	-85	11,0
10	10:06:24	-26.911324, -48.651360	-95	8,0
11	10:11:49	-26.911246, -48.651548	-94	9,0
12	10:13:02	-26.911354, -48.651488	-97	8,0
13	10:16:54	-26.911458, -48.651352	-93	10,5

Fonte: O Autor (2026).

Imagem 60 – Mapa retorno dia 18 de março de 2025



Fonte: O Autor (2026).

4.1.3 Saída em 04 de julho de 2025

Realizou-se uma saída com o barco escola do IFSC no dia 04 de julho de 2025. Posicionou-se os dispositivos comercial e protótipo de GPS no barco conforme Imagem 61. Iniciou-se o trajeto no Rio Itajaí-Açu, próximo ao Mercado do Peixe em Itajaí-SC, por volta das 14 horas, com destino a Baía Afonso Wippel. Logo após passagem pela baía, o barco retornou pelo rio sentido Blumenau-SC, e por fim retornou para a localidade do Mercado do Peixe. As medições coletadas pelos dispositivos estão apresentadas na Tabela 7 e Imagem 63 para o ESP32 e na Tabela 8 e Imagem 62 para o Dragino. Os dados de latitude e longitude estão representados por pontos azuis-escuro, enquanto o pino azul-claro representa a localização do GW do Molhes da Barra, centralizado nos anéis verdes, sendo que os dois primeiros representam um incremento de 500 metros de distância, enquanto os anéis posteriores, incremento de 1 quilômetro de distância.

Nesta saída, o baixo desempenho do dispositivo de protótipo constatado pela baixa quantidade de medições em comparação ao Dragino, foi devido à um problema com a conexão da antena de GPS do módulo. Esse problema foi corrigido para as saídas que foram realizadas posteriormente.

Imagem 61 – Nó-sensor comercial Dragino posicionado com o protótipo de GPS feito com ESP32 deste trabalho



Fonte: O Autor (2026).

Tabela 7 – Medições coletadas na saída do dia 04 de julho de 2025 com protótipo ESP32

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
1	13:45:12	-26.906452,-48.652956	-106	-9,2
2	13:50:12	-26.906406,-48.652924	-104	-15,2
3	14:00:12	-26.906426,-48.652940	-106	-10,5
4	14:10:12	-26.906394,-48.652964	-107	-12,2
5	14:25:12	-26.906396,-48.652964	-107	-16,5
6	14:30:12	-26.906396,-48.652964	-104	-4,8
7	14:40:12	-26.906396,-48.652964	-105	-9,8
8	16:10:12	-26.906446,-48.652944	-106	-12,5

Fonte: O Autor (2026).

Tabela 8 – Medições coletadas na saída do dia 04 de julho de 2025 com Dragino (continua)

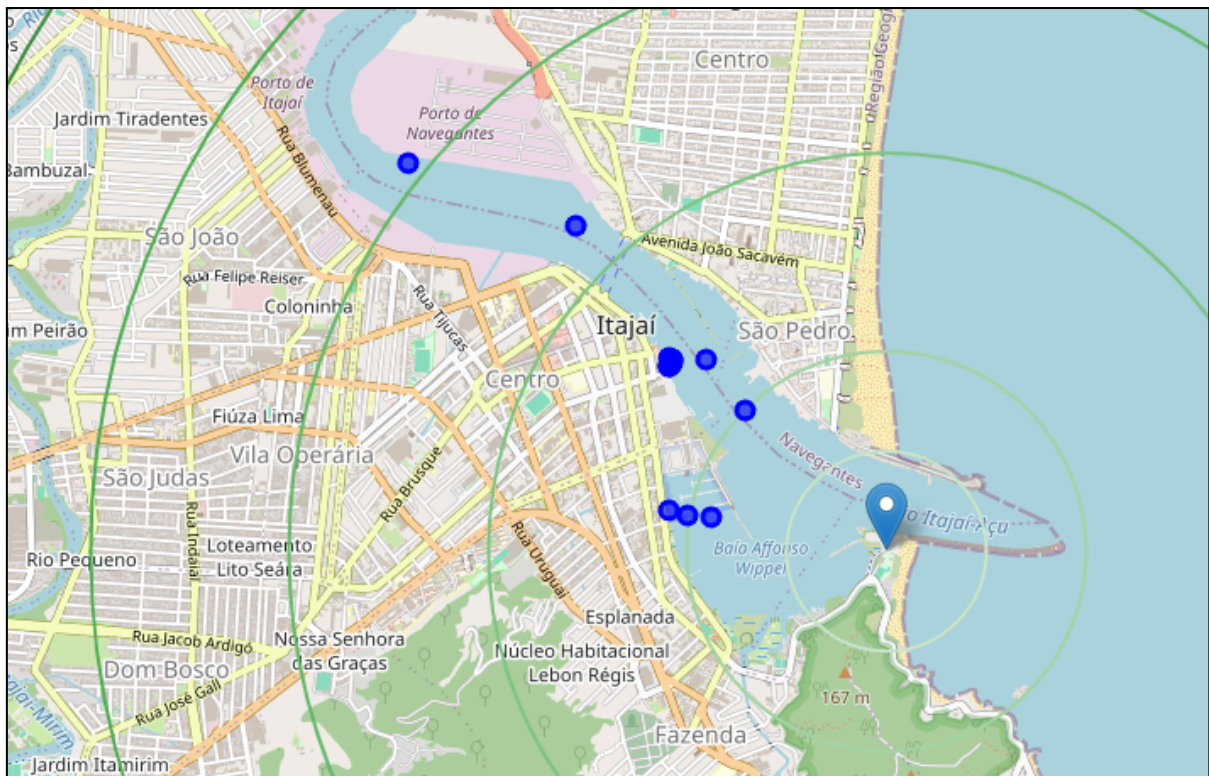
Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
1	13:35:34	-26.906414,-48.652980	-100	9,5
2	13:40:36	-26.906508,-48.652996	-98	7,8
3	13:50:46	-26.906386,-48.653008	-97	7,5
4	13:51:12	26.906634,-48.653048	-97	4,8
5	13:56:23	-26.906634,-48.653028	-92	9,0
6	14:01:58	-26.906682,-48.653096	-92	10,5
7	14:08:46	-26.906718,-48.653108	-95	9,0
8	14:13:49	-26.906580,-48.653084	-93	9,0
9	14:25:16	-26.913394,-48.652164	-87	12,5
10	14:30:31	-26.913206,-48.653088	-93	10,8
11	14:32:57	-26.913498,-48.650956	-97	2,5
12	14:38:05	-26.908698,-48.649256	-87	12,2
13	14:39:38	-26.906410,-48.651228	-95	8,8

Tabela 8 – Medições coletadas na saída do dia 04 de julho de 2025 com Dragino
(conclusão)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
14	14:44:45	-26.900306,-48.657876	-100	-8,0
15	14:55:27	-26.897504,-48.666364	-103	-0,8
16	16:07:27	-26.906286,-48.653156	-97	2,5
17	16:18:05	-26.906394,-48.652984	-102	1,2

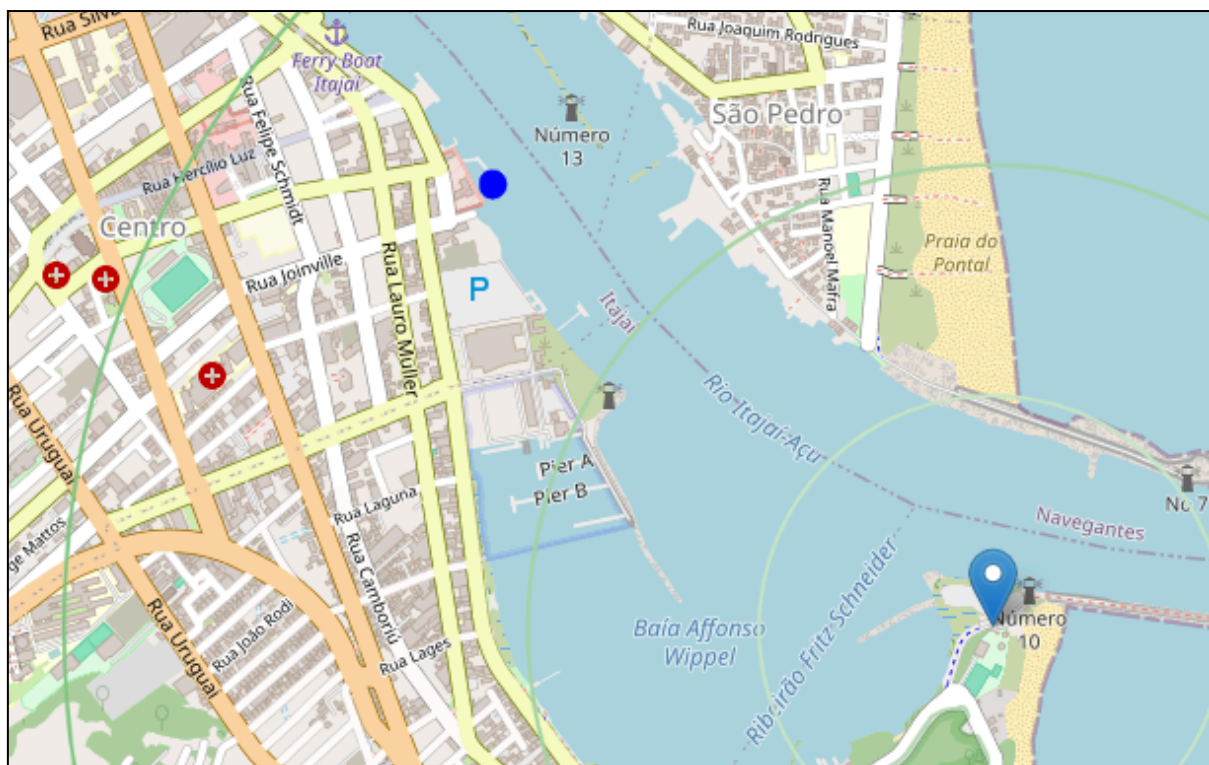
Fonte: O Autor (2026).

Imagem 62 – Mapa com os pontos coletados pelo nó-sensor Dragino



Fonte: O Autor (2026).

Imagem 63 – Mapa com os pontos coletados pelo protótipo ESP32



Fonte: O Autor (2026).

4.1.4 Saída em 12 de julho de 2025

Realizou-se uma saída com o barco do Prof. Alfen no dia 12 de julho de 2025. Posicionou-se os dispositivos comercial e protótipo de GPS no barco conforme Imagem 64. Nesta saída, posicionou-se o GW portátil no Parque do Atalaia, no mirante, conforme Imagem 65. Iniciou-se o trajeto na Baía Afonso Wippel, próximo à ANI, por volta das 10 horas, com destino a Praia Central de Navegantes-SC. Logo após passagem pelos molhes de Itajaí e Navegantes, o barco precisou retornar ao ponto de partida devido às condições climáticas. As medições coletadas pelos dispositivos estão apresentadas na Tabela 9 e Imagem 66 para o ESP32 e na Tabela 10 e Imagem 67 para o Dragino. Os dados de latitude e longitude estão representados por pontos azuis-escuro, enquanto o pino azul-claro representa a localização do GW do Molhes da Barra, centralizado nos anéis verdes, cada um representando incremento de 1 quilômetro de distância. Todos os pontos coletados nesta saída pelos dispositivos foram agrupados e estão representados no mapa da Imagem 68.

Imagem 64 – Nós-sensores posicionados no barco para a saída do dia 12 de julho de 2025



Fonte: O Autor (2026).

Imagem 65 – GW portátil posicionado para medições da saída do dia 12 de julho de 2025



Fonte: O Autor (2026).

Tabela 9 – Medições coletadas na saída do dia 12 de julho de 2025 com ESP32
(GW Molhes da Barra)

(continua)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
1	09:37:17	-26.915840,-48.651512	-104	0,2
2	09:40:37	-26.915844,-48.651516	-104	-0,2
3	09:43:57	-26.915846,-48.651516	-103	-2,8
4	09:50:37	-26.915844,-48.651520	-106	-6,0
5	09:53:57	-26.915838,-48.651512	-106	-2,5
6	09:57:17	-26.915848,-48.651516	-104	0,2
7	10:00:37	-26.915846,-48.651504	-105	-0,8
8	10:03:57	-26.915840,-48.651508	-106	-7,2
9	10:07:17	-26.915842,-48.651504	-101	5,2
10	10:10:44	-26.915328,-48.651192	-104	0,8
11	10:13:57	-26.914242,-48.650140	-101	3,2
12	10:17:17	-26.914284,-48.648272	-102	2,8
13	10:20:37	-26.914084,-48.647656	-101	3,5
14	10:23:57	-26.914366,-48.647916	-100	4,8
15	10:27:17	-26.912556,-48.648008	-104	-1,5
16	10:30:37	-26.910654,-48.646660	-102	4,5
17	10:33:57	-26.911340,-48.645188	-95	9,0
18	10:37:17	-26.912564,-48.644296	-100	6,8
19	10:40:37	-26.912468,-48.641804	-85	11,2
20	10:43:57	-26.913364,-48.639700	-84	12,8
21	10:47:17	-26.912684,-48.63665	-97	-2,0
22	10:50:37	-26.910272,-48.634512	-109	-7,5
23	10:53:57	-26.910966,-48.633512	-101	3,5
24	10:57:17	-26.912090,-48.633408	-103	1,5
25	11:00:37	-26.913174,-48.636076	-93	10,8

Tabela 9 – Medições coletadas na saída do dia 12 de julho de 2025 com ESP32
(GW Molhes da Barra)

(conclusão)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
26	11:03:57	-26.913430,-48.638760	-86	9,2
27	11:07:17	-26.913452,-48.640860	-92	10,2
28	11:10:37	-26.913566,-48.641748	-87	12,2
29	11:13:57	-26.913614,-48.642500	-91	11,5
30	11:17:17	-26.912232,-48.642400	-91	11,2
31	11:20:37	-26.912044,-48.642924	-87	-5,2
32	11:27:17	-26.915064,-48.645688	-103	0,5
33	11:30:37	-26.914494,-48.644972	-102	3,5
34	11:33:57	-26.914460,-48.644924	-103	0,5
35	11:37:17	-26.914414,-48.645028	-98	5,5
36	11:40:37	-26.914450,-48.645036	-101	3,8
37	11:43:57	-26.914456,-48.645048	-103	0,8
38	11:47:17	-26.914454,-48.645052	-102	3,5
39	11:50:37	-26.914412,-48.645052	-91	3,0
40	11:53:57	-26.914420,-48.645056	-100	4,0
41	12:00:37	-26.914444,-48.645060	-99	5,0
42	12:03:57	-26.914422,-48.645052	-103	-0,2
43	12:07:17	-26.914422,-48.645060	-95	9,5
44	12:10:37	-26.914448,-48.645056	-97	3,5
45	12:13:57	-26.914456,-48.645060	-99	6,2
46	12:17:17	-26.914720,-48.646896	-104	0,8
47	12:20:37	26.914500,-48.650064	-100	1,8
48	12:23:57	-26.915230,-48.650132	-106	-6,5
49	12:27:17	-26.915726,-48.651548	-101	-6,5

Fonte: O Autor (2026).

Tabela 10 – Medições coletadas na saída do dia 12 de julho de 2025 com Dragino
(GW Molhes da Barra)

(continuação)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
12	10:24:10	-26.914390,-48.647976	-91	9,5
13	10:27:30	-26.912406,-48.647960	-97	5,0
14	10:30:40	-26.910330,-48.646520	-93	9,8
15	10:33:57	-26.911340,-48.645156	-82	13,0
16	10:37:06	-26.912756,-48.644460	-82	12,5
17	10:40:28	-26.912488,-48.641892	-73	13,5
18	10:43:37	-26.913426,-48.640020	-73	13,8
19	10:46:46	-26.912932,-48.637300	-84	12,0
20	10:49:56	-26.910238,-48.634664	-49	12,5
21	10:52:57	-26.910632,-48.634132	-82	13,0
22	10:56:29	-26.911946,-48.632628	-89	10,2
23	10:59:48	-26.912970,-48.635372	-77	10,5
24	11:03:06	-26.913410,-48.638172	-74	13,2
25	11:06:16	-26.913670,-48.640352	-72	13,2
26	11:09:27	-26.913620,-48.641380	-76	10,8
27	11:12:46	-26.913628,-48.642324	-79	11,2
28	11:16:08	-26.912818,-48.642420	-79	13,2
29	11:19:22	-26.911532,-48.642452	-90	11,5
30	11:22:40	-26.913062,-48.643884	-91	8,2
31	11:26:13	-26.914680,-48.645212	-94	6,2
32	11:29:31	-26.914624,-48.645328	-90	11
33	11:30:14	-26.914524,-48.645048	-96	4,2
34	11:34:02	-26.914444,-48.644900	-92	10
35	11:37:12	-26.914510,-48.645084	-94	6,8
36	11:40:21	-26.914442,-48.644976	-86	11,5

Tabela 10 – Medições coletadas na saída do dia 12 de julho de 2025 com Dragino
(GW Molhes da Barra)

(continuação)

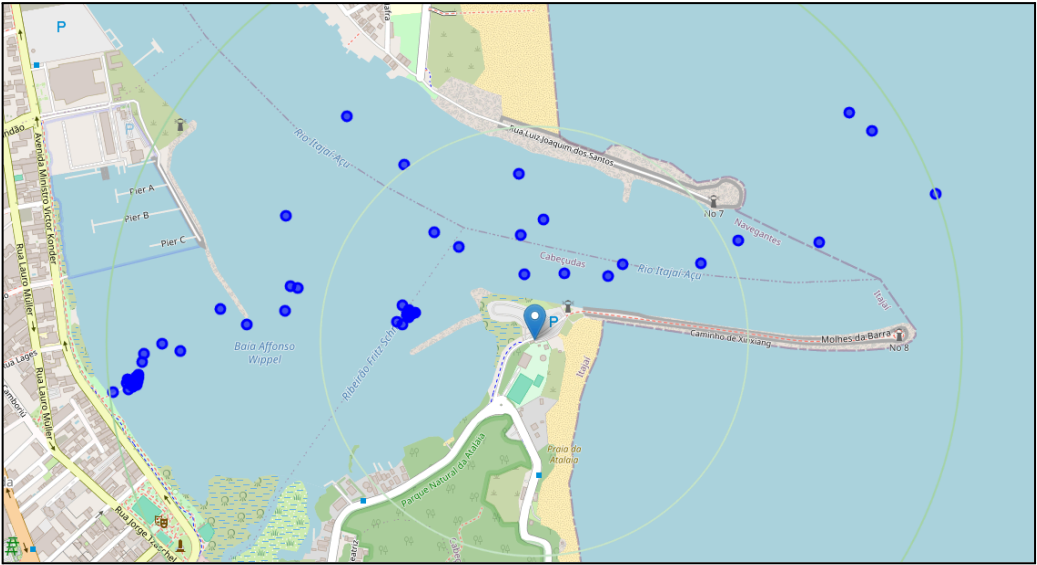
Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
37	11:43:32	-26.914426,-48.645044	-87	11,5
38	11:46:42	-26.914426,-48.645044	-87	9,5
39	11:49:52	-26.914450,-48.644968	-89	11,2
40	11:53:02	-26.914454,-48.645048	-84	10,8
41	11:56:11	-26.914464,-48.645088	-87	10,5
42	11:59:21	-26.914434,-48.645000	-88	12,0
43	12:02:30	-26.914280,-48.645216	-90	10,2
44	12:05:40	-26.914416,-48.645052	-91	11,5
45	12:08:50	-26.914474,-48.645096	-94	9,2
46	12:12:00	-26.914372,-48.645052	-94	9,8
47	12:13:11	-26.914510,-48.645068	-89	12,0
48	12:20:01	-26.914362,-48.649492	-96	8,0
49	12:23:10	-26.915242,-48.650436	-94	7,8
50	12:25:50	-26.915298,-48.651304	-96	6,5
51	12:29:26	-26.915870,-48.651452	-100	3,5
52	12:30:10	-26.915900,-48.651480	-98	4,5
53	12:33:45	-26.916042,-48.651660	-96	8,2
54	12:36:55	-26.915864,-48.651552	-93	9,8
55	12:37:42	-26.915924,-48.651624	-97	0,5
56	12:44:29	-26.915792,-48.651424	-93	1,2
57	12:47:40	26.915860,-48.651612	-91	7,8
58	12:50:50	26.915844,-48.651640	-91	10,5
59	12:52:07	-26.915900,-48.651704	-94	7,0
60	12:55:40	-26.916108,-48.652028	-91	9,8
61	12:58:51	-26.915826,-48.651680	-89	-0,5

Tabela 10 – Medições coletadas na saída do dia 12 de julho de 2025 com Dragino (GW Molhes da Barra)

(conclusão)				
Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
62	13:02:18	-26.915800,-48.651504	-97	6,5

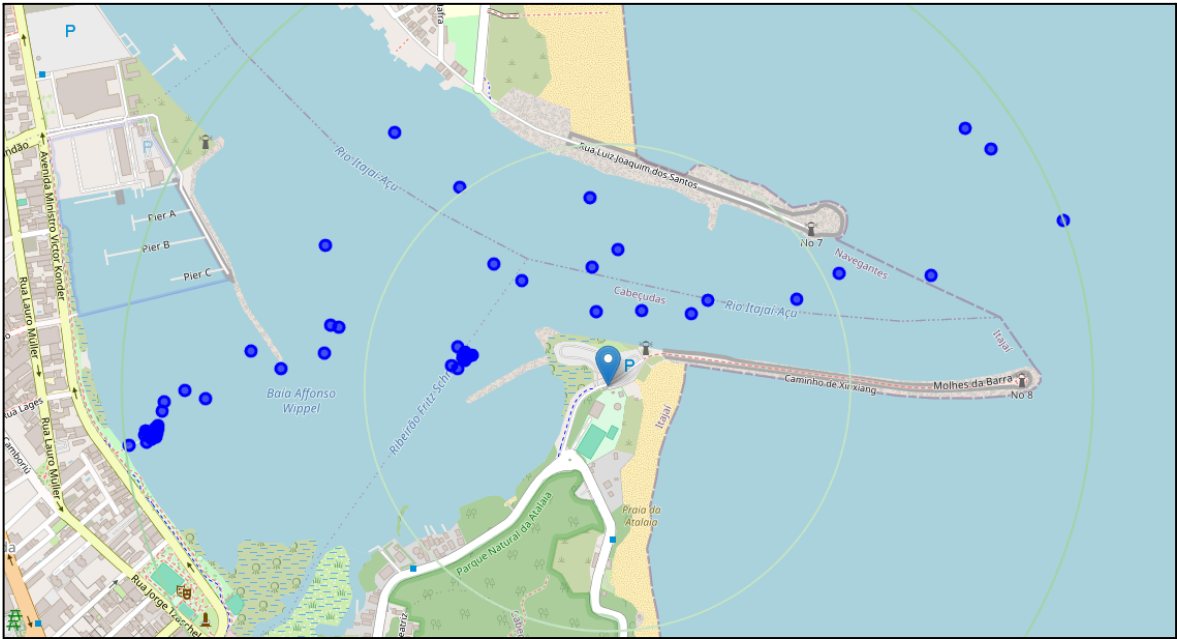
Fonte: O Autor (2026).

Imagem 67 – Pontos coletados pelo Dragino na saída do dia 12 de julho de 2025



Fonte: O Autor (2026).

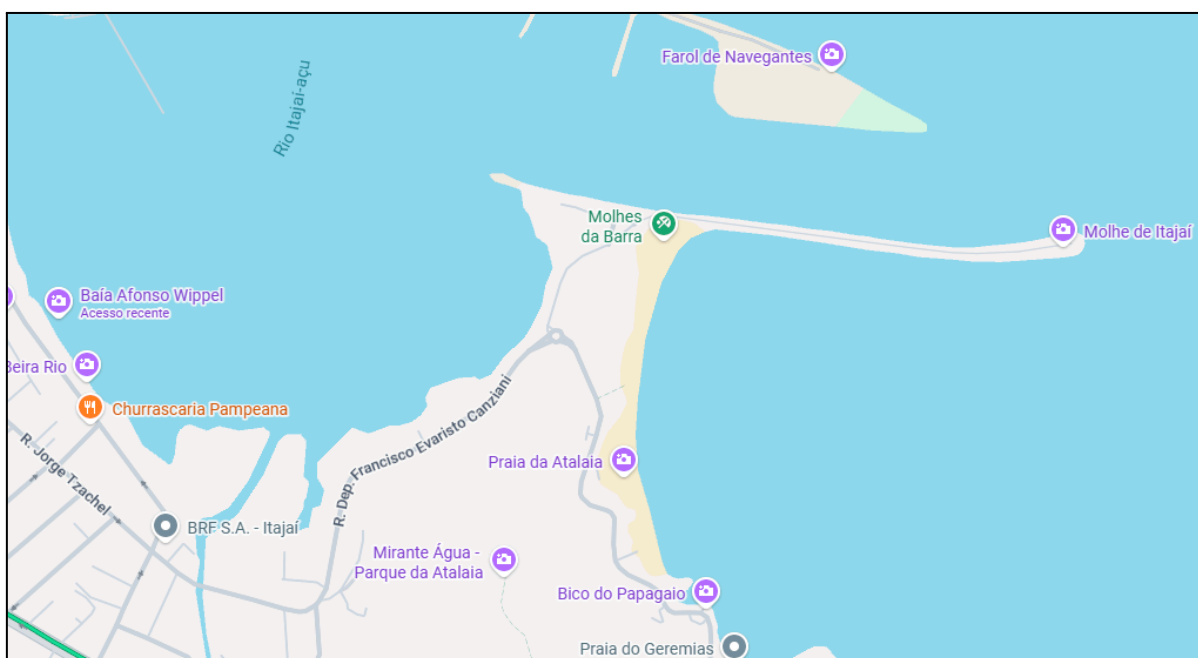
Imagem 68 – Todos os pontos coletados na saída do dia 12 de julho de 2025



Fonte: O Autor (2026).

Quanto aos pontos medidos pelo dispositivo da fabricante Dragino que chegaram em ambos os GW, do Molhes da Barra e o portátil no Parque do Atalaia, estão apresentados na Tabela 11. A Imagem 69 mostra a localização do Parque do Atalaia em relação aos Molhes da Barra. Comparando com a Tabela 10 nota-se que há RSSI e SNR inferiores aos medidos pelo GW do Molhes da Barra, sendo isto esperado, pois há uma distância superior e mais obstáculos, como vegetação, da localização do barco que estava aos arredores do molhe até ao GW no Parque do Atalaia.

Imagem 69 – Localização do Parque do Atalaia em relação ao Molhes da Barra



Fonte: O Autor (2026).

Tabela 11 – Medições coletadas com dispositivo Dragino pelo GW do Parque do Atalaia

(continua)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
7	10:10:11	-26.915476,-48.651352	-101	8,2
9	10:16:07	-26.914678,-48.648880	-92	6,8
10	10:19:24	-26.913886,-48.647852	-111	0,2
12	10:24:10	-26.914390,-48.647976	-101	7,0

Tabela 11 – Medições coletadas com dispositivo Dragino pelo GW do Parque do Atalaia

(conclusão)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
14	10:30:40	-26.910330,-48.646520	-103	7,8
15	10:33:57	-26.911340,-48.645156	-100	7,5
16	10:37:06	-26.912756,-48.644460	-101	7,2
19	10:46:46	-26.912932,-48.637300	-106	-4,0
20	10:49:56	-26.910238,-48.634664	-99	7,5

Fonte: O Autor (2026).

4.1.5 Saída em 11 de novembro de 2025

Neste dia, posicionou-se o GW portátil no segundo andar da Secretaria de Pesca do município de Bombinhas-SC, ilustrado pela Imagem 71, permitindo fazer um mapeamento do mar da praia de Zimbros. Os dispositivos finais foram posicionados no barco conforme Imagem 70, sendo colocado o Dragino dentro do encapsulamento do protótipo. A Tabela 12 e Imagem 72 apresenta os dados coletados pelo ESP32, enquanto a Tabela 13 e Imagem 73 apresenta os dados coletados pelo Dragino.

Imagem 70 – ESP32 posicionado no barco



Fonte: Prof. Roddy Romero (2026).

Imagem 71 – GW portátil posicionado no telhado da Secretaria de Pesca de Bombinhas



Fonte: O Autor (2026).

Tabela 12 – Medições coletadas na saída do dia 10 de novembro de 2025 com ESP32

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
1	09:48:14	-27.180036,-48.525088	-84	7,8
2	09:51:34	-27.180138,-48.525280	-88	9,2
3	09:54:54	-27.180234,-48.525040	-92	8,8
4	09:58:14	-27.180490,-48.524916	-81	9,2
5	10:04:54	-27.184680,-48.526116	-108	1,0
6	15:04:54	-27.185368,-48.527284	-113	-5,2

Fonte: O Autor (2026).

Tabela 13 – Medições coletadas na saída do dia 10 de novembro de 2025 com Dragino

(continua)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
1	09:49:36	-27.179982,-48.525128	-67	9,8
2	09:53:10	-27.180136,-48.525264	-66	9,2
3	09:54:06	-27.180322,-48.525072	-75	10,5
4	09:57:40	-27.180290,-48.524872	-70	9,5
5	09:58:10	-27.180442,-48.524856	-75	10,2
6	10:01:58	-27.183920,-48.526084	-111	-0,8
7	10:02:56	-27.184730,-48.526024	-108	4,2
8	10:06:46	-27.184432,-48.526116	-96	6,5
9	10:07:11	-27.184410,-48.526152	-95	7,5
10	10:10:51	-27.186640,-48.525744	-109	-0,5
11	10:11:29	-27.187622,-48.525608	-111	0,5
12	15:05:03	-27.185300,-48.527392	-103	3,2
13	15:08:29	-27.184818,-48.529468	-108	2,8
14	15:11:41	-27.184146,-48.527800	-95	6,2
15	15:14:51	-27.181292,-48.525384	-85	9,8
16	15:16:09	-27.180660,-48.525212	-60	10
17	15:19:56	-27.180530,-48.524740	-73	9,8
18	15:23:25	-27.180636,-48.524728	-59	9,2
19	15:26:53	-27.180624,-48.525012	-59	9,0
20	15:30:12	-27.180358,-48.525000	-59	8,8
21	15:33:32	-27.180246,-48.524904	-75	9,8
22	15:36:56	-27.180196,-48.524956	-77	9,2
23	15:40:19	-27.180080,-48.525120	-71	9,5
24	15:42:15	-27.180044,-48.525028	-69	9,8
25	15:45:48	-27.180220,-48.525296	-60	9,5

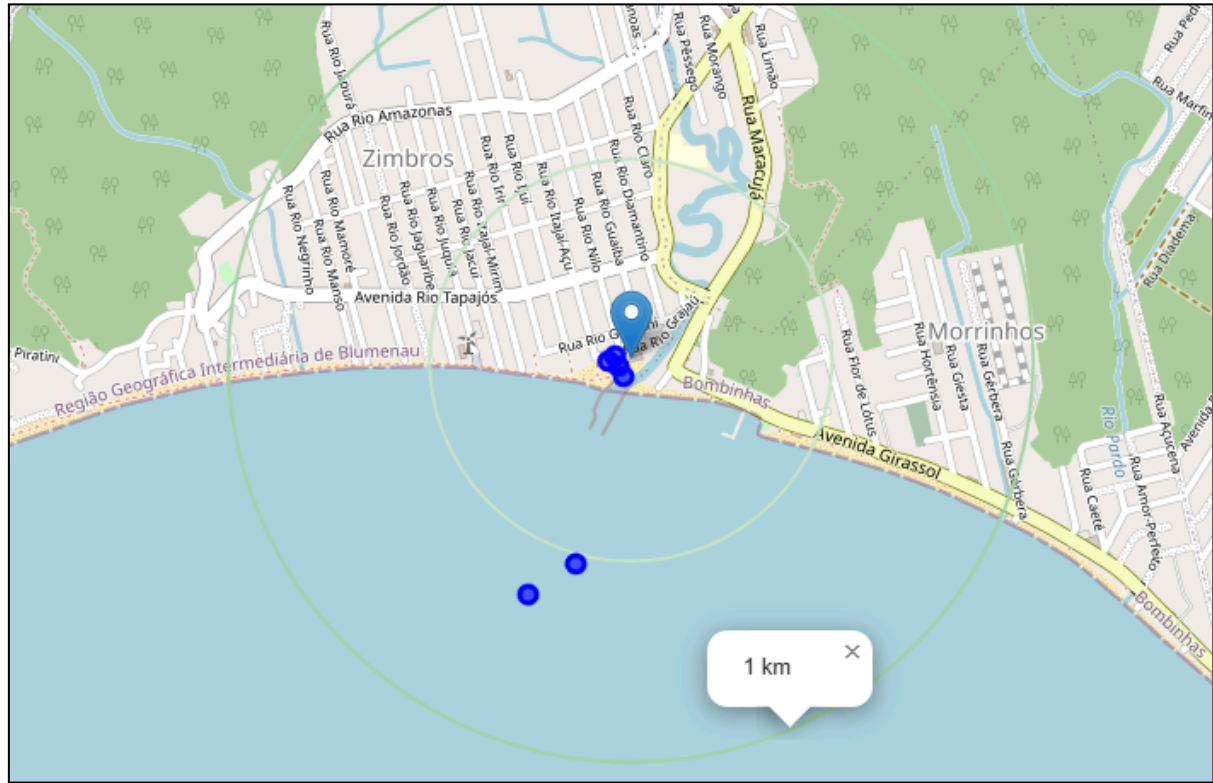
Tabela 13 – Medições coletadas na saída do dia 10 de novembro de 2025 com Dragino

(conclusão)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
26	15:46:43	-27.180164,-48.525124	-65	7,0
27	15:50:17	-27.180126,-48.525052	-55	9,5
28	15:53:27	-27.180316,-48.525436	-54	9,5
29	15:56:40	-27.180120,-48.525320	-55	10,8
30	15:59:50	-27.180426,-48.525596	-61	9,2

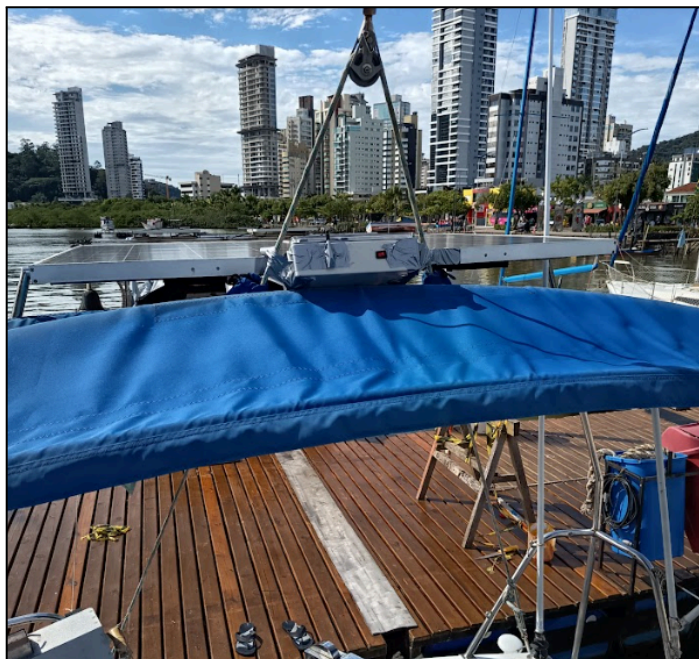
Fonte: O Autor (2026).

Imagem 72 – Mapa ESP32 saída 10 de novembro de 2025



Fonte: O Autor (2026).

Imagem 74 – Nós-sensores instalados no barco na saída do dia 27 de dezembro de 2025



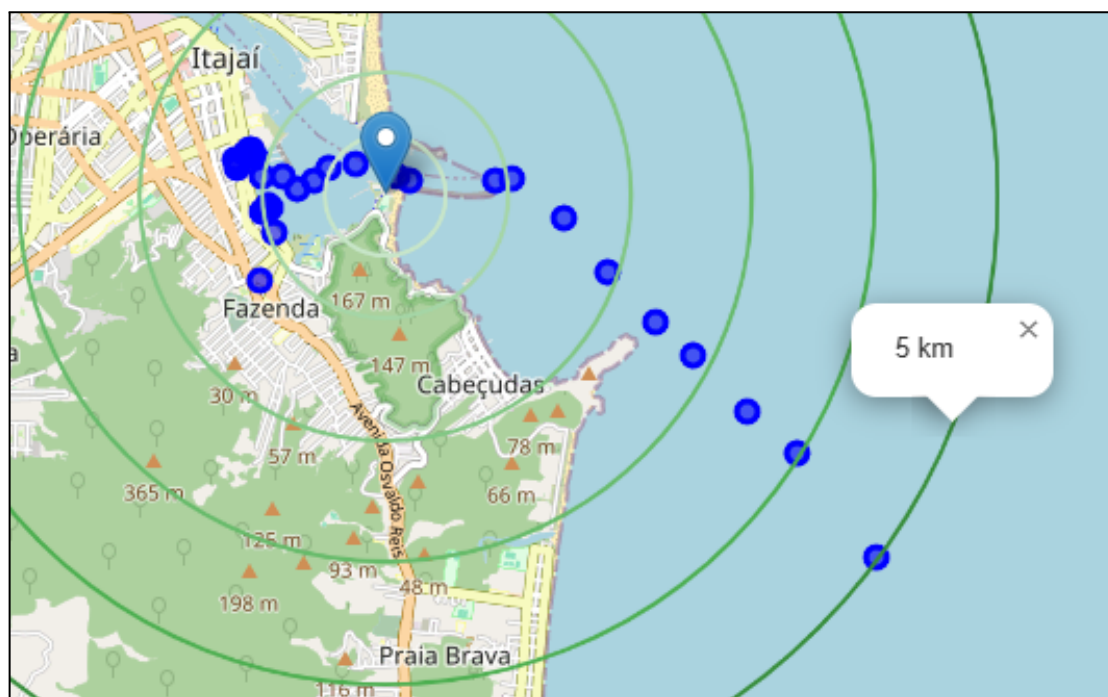
Fonte: Prof. Roddy Romero (2026).

Imagem 75 – Posição do GW portátil no Morro do Atalaia



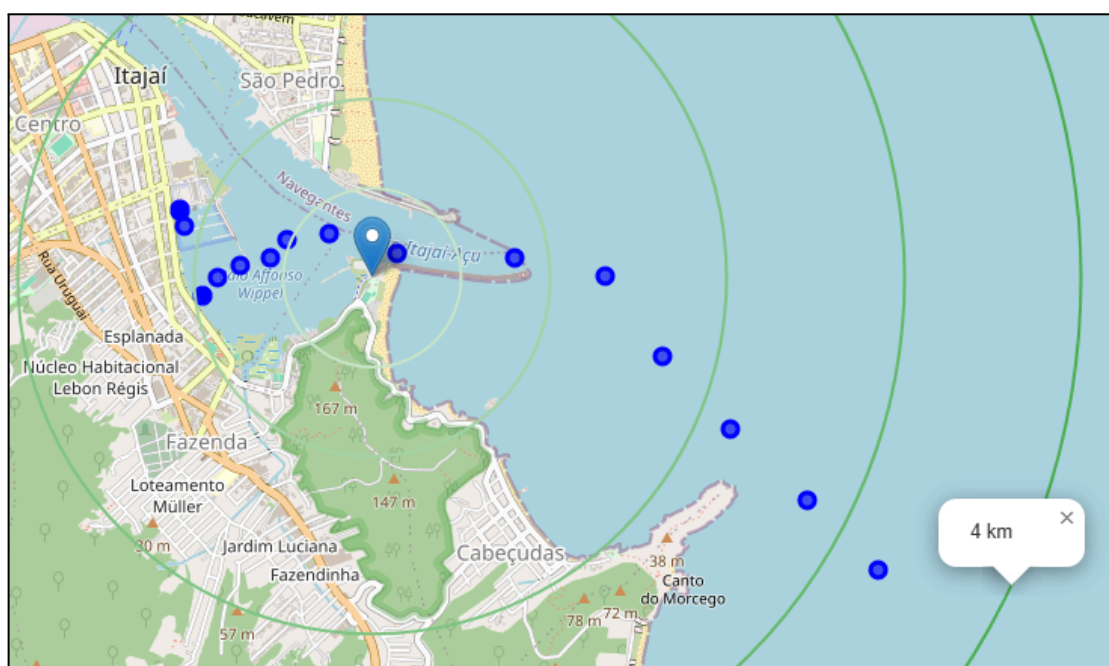
Fonte: O Autor (2026).

Imagem 76 – Mapa com os pontos coletados com o Dragino no dia 27 de dezembro de 2025



Fonte: O Autor (2026).

Imagem 77 – Mapa com os pontos coletados com o ESP32 no dia 27 de dezembro de 2025



Fonte: O Autor (2026).

Tabela 14 – Medições coletadas na saída do dia 27 de dezembro de 2025 com ESP32 (GW Molhes da Barra)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
1	08:50:30	-26.915954,-48.651772	-104	2,8
2	08:57:10	-26.915946,-48.651780	-109	-2,8
3	09:03:50	-26.915942,-48.651764	-104	-9,2
4	09:10:30	-26.915954,-48.651752	-108	-1,2
5	09:17:10	-26.915938,-48.651776	-108	-2,5
6	09:23:50	-26.915048,-48.650912	-103	-5,0
7	09:33:50	-26.911618,-48.653016	-105	-11,0
8	09:37:10	-26.911622,-48.653040	-105	-6,5
9	09:40:31	-26.911616,-48.653024	-106	-7,5
10	09:47:11	-26.911634,-48.653020	-112	-4,5
11	09:50:32	-26.911624,-48.653036	-110	-6,8
12	09:57:18	-26.911624,-48.653024	-104	-14,2
13	10:00:38	-26.912406,-48.652744	-110	-10,5
14	10:04:05	-26.914428,-48.649596	-100	4,5
15	10:07:11	-26.914002,-48.647916	-102	4,5
16	10:10:31	-26.913128,-48.646932	-105	3,2
17	10:13:50	-26.912776,-48.644572	-104	3,8
18	10:17:10	-26.913804,-48.640692	-93	12,8
19	10:20:30	-26.914000,-48.634008	-102	4,0
20	10:23:50	-26.914930,-48.628820	-105	6,5
21	10:27:10	-26.918986,-48.625532	-101	2
22	10:30:30	-26.922690,-48.621700	-108	-3,2
23	10:33:57	-26.926248,-48.617328	-105	-7,0
24	10:37:10	-26.929832,-48.613296	-109	-8,5

Fonte: O Autor (2026).

Tabela 15 – Medições coletadas na saída do dia 27 de dezembro de 2025 com Dragino (GW Molhes da Barra)

(continua)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
1	08:26:37	-26.921258,-48.652408	-97	8,5
2	08:27:00	-26.917712,-48.651152	-98	8,0
3	08:30:50	-26.916234,-48.652168	-96	9,5
4	08:31:31	-26.916200,-48.652220	-92	11,2
5	08:35:16	-26.915938,-48.651640	-106	1,2
6	08:36:06	-26.915952,-48.651720	-105	1,0
7	08:40:10	-26.915892,-48.651844	-95	10,2
8	08:40:24	-26.915844,-48.651720	-95	7,5
9	08:44:06	26.915932,-48.651836	-95	11
10	08:47:22	-26.915900,-48.651736	-97	7,2
11	08:50:54	-26.915974,-48.651792	-91	10
12	08:54:24	-26.915998,-48.651720	-96	8,5
13	08:55:41	-26.915764,-48.651708	-95	10,5
14	08:59:48	-26.915908,-48.651768	-93	11
15	09:02:59	-26.915922,-48.651832	-92	9,2
16	09:06:24	-26.915938,-48.651664	-96	7,2
17	09:09:54	-26.915924,-48.651772	-92	12,0
18	09:13:03	-26.916028,-48.651712	-100	1,2
19	09:16:13	-26.915958,-48.651736	-94	11,5
20	09:18:00	-26.916058,-48.651768	-94	10,2
21	09:21:42	-26.916154,-48.651768	-92	11,8
22	09:25:20	-26.913706,-48.650508	-92	9,0
23	09:26:39	-26.913644,-48.652272	-91	12,0
24	09:30:11	-26.912314,-48.652868	-111	-2,0
25	09:33:38	-26.912010,-48.653560	-99	3,8

Tabela 15 – Medições coletadas na saída do dia 27 de dezembro de 2025 com Dragino (GW Molhes da Barra)

(conclusão)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
26	09:37:13	-26.912420,-48.654416	-100	3,8
27	09:40:39	-26.912692,-48.654276	-104	-2,2
28	09:43:58	-26.913046,-48.654356	-102	7,2
29	09:47:31	-26.911672,-48.653292	-105	0,5
30	09:50:48	-26.911596,-48.653180	-95	10,8
31	09:54:13	-26.911914,-48.653188	-99	8,2
32	10:04:13	-26.914576,-48.649344	-86	12,8
33	10:07:23	-26.914016,-48.647904	-91	9,8
34	10:10:41	-26.913104,-48.646848	-91	12
35	10:13:50	-26.912806,-48.644620	-83	13,2
36	10:16:59	-26.913720,-48.641128	-76	13,2
37	10:17:32	-26.913936,-48.640140	-72	13,8
38	10:21:05	-26.913912,-48.632956	-88	12,2
39	10:21:50	-26.913806,-48.631748	-91	11,8
40	10:25:28	-26.916780,-48.627316	-93	10
41	10:28:44	-26.920674,-48.623832	-96	9,5
42	10:32:11	-26.924408,-48.619844	-103	3,0
43	10:34:24	-26.926836,-48.616724	-103	4,0
44	10:38:05	-26.930892,-48.612320	-106	-0,8
45	10:41:23	-26.934078,-48.608152	-105	1,8
46	10:48:02	-26.941602,-48.601664	-106	-8,2

Fonte: O Autor (2026).

Neste dia, houve problemas de cobertura com a rede de telefonia móvel, e apenas uma medida, que atingiu ambos os *gateways* com o ESP32, e uma com o Dragino puderam ser registradas. Essas medidas estão demonstradas nas Tabelas 16 e 17 para o ESP32, e nas Tabelas 18 e 19 para o Dragino.

Tabela 16 – Medições ESP32 Ambos os GWs (Molhes da Barra)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
1	10:23:50	-26.914930,-48.628820	-105	6,5

Fonte: O Autor (2026).

Tabela 17 – Medições ESP32 Ambos os GWs (Parque do Atalaia)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
1	10:23:50	-26.914930,-48.628820	-107	-1,5

Fonte: O Autor (2026).

Tabela 18 – Medições Dragino Ambos os GWs (Molhes da Barra)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
1	10:38:05	-26.930892,-48.612320	-106	-0,8

Fonte: O Autor (2026).

Tabela 19 – Medições Dragino Ambos os GWs (Parque do Atalaia)

Medição	Horário	Latitude, Longitude	RSSI (dBm)	SNR
1	10:38:05	-26.930892,-48.612320	-114	-5,2

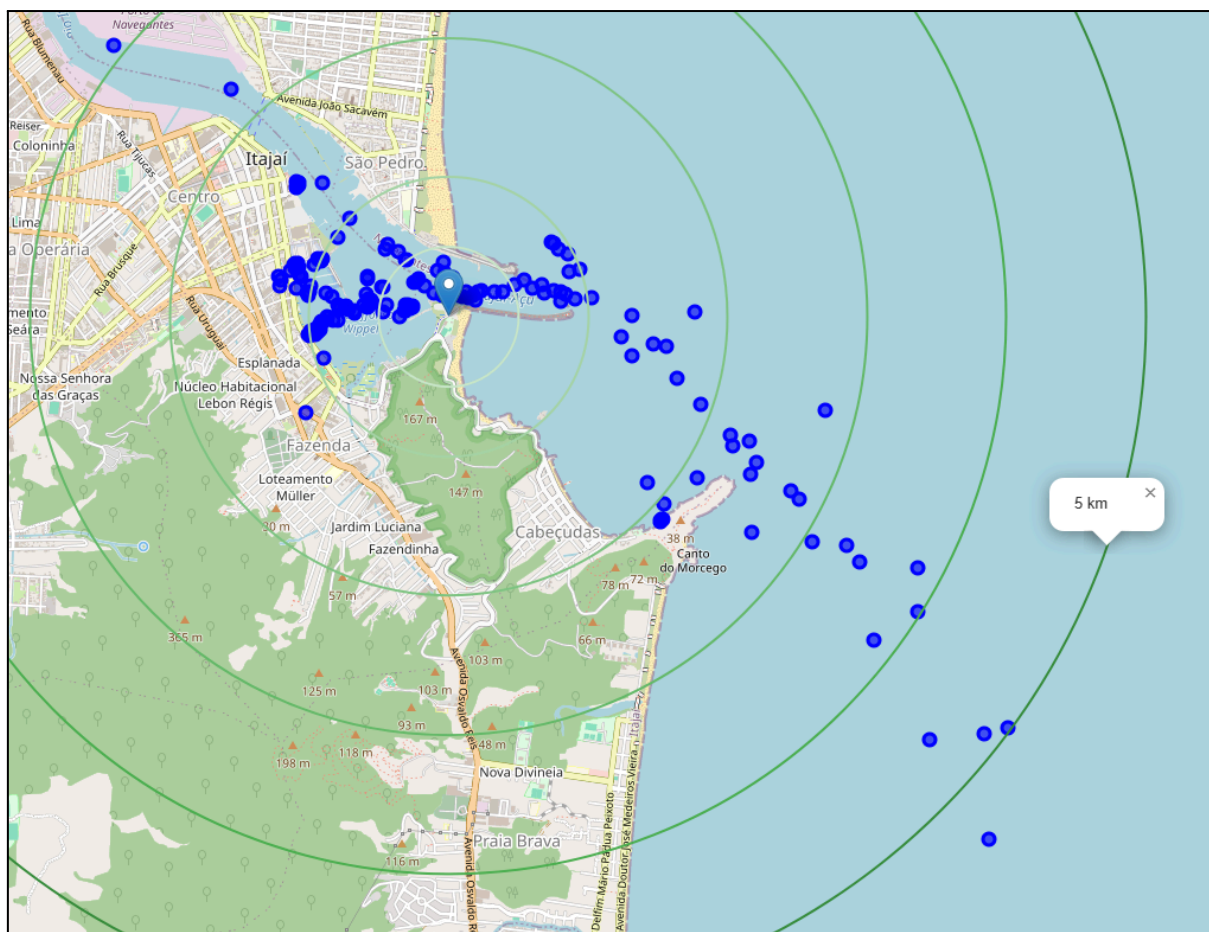
Fonte: O Autor (2026).

4.2 MAPA DA COBERTURA DO GW *MOLHES DA BARRA*

Utilizando-se de todos os pontos de latitude e longitude coletados dos *uplinks* dos nós sensores Dragino e ESP32, pelas saídas de barcos apresentadas, resultaram no mapa de cobertura da Imagem 78.

Mostrou-se viabilidade de cobertura na Baía Afonso Wippel, canal do rio Itajaí-Açu (entre os molhes de Itajaí e Navegantes), nas águas da praia de Cabeçudas. Após passagem pela Ponta de Cabeçudas, a partir da região do Canto do Morcego, não foram mais recebidos sinais de *uplinks* do *gateway*.

Imagem 78 – Mapa de cobertura GW Molhes da Barra



Fonte: O Autor (2026).

5 CONCLUSÃO

A principal contribuição deste trabalho consiste na disponibilização de uma infraestrutura LoRaWAN funcional para suporte a pesquisas em ambientes costeiros, acompanhada de sua validação experimental por meio de campanhas de campo. A infraestrutura consistiu em um *gateway* fixo, localizado no Molhes da Barra em Itajaí-SC, e um outro portátil, para permitir testes em diversas regiões. Este último, foi alimentado por baterias e rede de telefonia móvel 3G, como foi feito em Bombinhas-SC e no Parque do Atalaia. A documentação técnica disponibilizada pelos fabricantes dos dispositivos e *shield* de LoRa foram da suma importância para auxiliar na montagem dos equipamentos, além do apoio das entidades, como o IFSC e Rádio Costeira no fornecimento de equipamentos e local de implementação.

Com base na metodologia proposta por Antayhua (2024), os testes iniciais de cobertura foram realizados em oito campanhas. Mesmo com a quantidade de saídas de barco limitadas, e que dependiam também de condições climáticas, apresentaram cobertura satisfatória na foz do Rio Itajaí-Açu, viabilizando a utilização de dispositivos finais em LoRaWAN nesta região. Registrou-se medições com distâncias superiores a 5 km, mesmo com obstáculos, como foi o caso da saída do dia 17 de março de 2025, confirmando dados do fabricante Dragino, que diz que o dispositivo pode transmitir nesta distância e condições geográficas. O mapa da figura 78 mostra os locais onde foram transmitidos os sinais pelos dispositivos finais instalados nas embarcações que foram recepcionados com sucesso pelo GW do Molhes da Barra. Em trabalhos futuros, considerando novos trajetos, como por exemplo em direção à Praia Central de Navegantes-SC, ou até mesmo para mar mais aberto para o leste, acredita-se que seja possível recepcionar pacotes transmitidos a distâncias superiores, pois o fabricante dos dispositivos indicam distância de até 15 km com boas condições de visada, o que também tem sido reportado em estudos anteriores na literatura.

Com a implementação de um protótipo de dispositivo final através de placa de desenvolvimento microcontrolada ESP32, foi possível demonstrar o funcionamento para transmissão de dados. Entretanto, demonstrou-se desempenho e confiabilidade inferior em relação a dispositivos comerciais em quesito de RSSI, SNR e autonomia, verificando que nem todas as mensagens puderam ser recebidas, seja por desempenho ou alcance. Apesar disto, diversas mensagens puderam ser

recuperadas, mesmo com baixos valores de qualidade de recepção, como a medida 22 da Tabela 9, que apresentou -109 de RSSI e -7,5 de SNR.

No momento da produção deste trabalho acadêmico, o GW do Molhes da Barra estava em operação a mais de um ano, sem que houvesse necessidade de realizar manutenção no dispositivo físico, ou manutenções no sistema operacional. Houve alguns períodos em que ficou *offline* devido a quedas de energia ou de internet na Rádio Costeira. Os códigos que verificam essas condições e reiniciam o GW para que ele possa estar com comunicação ativa com a TTN demonstraram eficiência.

O GW portátil alimentado por baterias apresentou autonomia compatível com a aplicação proposta após as melhorias apresentadas em relação à proposta inicial, e capacidade de recepção de LoRa e envio ao servidor de rede por telefonia móvel, podendo ser melhorado no futuro com a implementação de interruptor liga/desliga, conexões para rede através de RJ-45 e permitir a recarga por fonte de bancada de forma simplificada e mais amigável ao usuário, sem que haja necessidade de abrir o encapsulamento. Quanto às medidas comparativas, não foi possível obter dados suficientes para comparar a posição do GW do Molhes da Barra, pois as poucas oportunidades que tiveram, não foram bem aproveitadas devido às condições climáticas que não permitiram acesso ao parque, ou falhas da rede telefonia móvel. Além disto, as campanhas que foram testadas com ambos os GW portátil e fixo instalado nos Molhes da Barra, favoreceram este último, que possuía melhor condição de distância e visada no momento das transmissões.

Conclui-se que a infraestrutura LoRaWAN implementada demonstrou viabilidade técnica para aplicações de monitoramento em ambientes marinhos e costeiros, constituindo uma plataforma capaz de apoiar futuras pesquisas científicas e o desenvolvimento de novas aplicações baseadas em *Internet of Things* (IoT). Como proposição para trabalhos futuros, pode-se realizar comparações com Sigfox e NB-IoT.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew N. O. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

ANTAYHUA, Roddy Alexander Romero. **Estudo de cobertura LoRaWAN em região costeira (AMFRI)**. Website docente do IFSC, 2024. Disponível em: <https://sites.google.com/ifsc.edu.br/roddy-romero/pesquisa/instrumentacao-e-medidas-para-monitoramento-ambiental/estudo-de-cobertura-lorawan-em-regiao-costeira-amfri>. Acesso em: 24 fev. 2025.

ANTAYHUA, Roddy Alexander Romero; MACHADO, Leonardo Francisco. Metodologia para implementação de uma rede sem fio LoRa como suporte em pesquisas em regiões costeiras. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 8., 2024, Brasil, 2024. p. 1872-1873.

BRICIU-BURGHINA, Ciprian *et al.* Sensors for Coastal and Ocean Monitoring. **Annual Review of Analytical Chemistry**, v. 16, n. 1, p. 451-469, 2023.

CAMPAGNARO, Filippo *et al.* A network infrastructure for monitoring coastal environments and study climate changes in marine systems. *In*: OCEANS 2022, Hampton Roads, 2022. p. 1-8.

DAVCEV, Danco *et al.* IoT agriculture system based on LoRaWAN. *In*: **IEEE 14TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON FACTORY COMMUNICATION SYSTEMS**, 2018. p. 1-4.

DURANTE, Gabriel. **Desenvolvimento de uma rede de sensores sem fio para processamento de sinais acústicos marinhos**. 2018. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2018.

EPAGRI. **Epagri e UFSC usam alta tecnologia para estudar resíduos da criação de ostras e mexilhões em SC**. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 1 jul. 2025. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/epagri-e-ufsc-usam-alta-tecnologia-para-estudar-residuos-da-criacao-de-ostras-e-mexilhoes-em-sc/>. Acesso em: 20 maio 2026.

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32 Technical Reference Manual**: Version v5.2. Shanghai, China: Espressif Systems (Shanghai) Co., Ltd., 2024. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf. Acesso em: 21 dez. 2025.

FARIA, Thiago Rodrigues *et al.* **Monitoramento Remoto da Temperatura em Ninhos de Tartarugas Marinhas com IoT e LoRaWAN: Um Estudo de Caso na Reserva Caruara**. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, v. 19, n. 2, p. 253-269, 2025.

JOVALEKIC, Nikola *et al.* **Experimental study of LoRa transmission over seawater**. Sensors MDPI, v. 18, n. 9, p. 2853, 2018.

MARCELINO, Rafael Nascimento. **Análise da viabilidade da comunicação LoRaWAN em região costeira: medições em campo e comparação com modelos teóricos na Baía Afonso Wippel, Itajaí/SC**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Santa Catarina, Itajaí, 2026.

MONTAGNY, Silvain. **LoRa - LoRaWAN and Internet of Things for beginners**. 1. ed. France: Université Savoie Mont Blanc, 2022.

PINELO, João *et al.* **Unveiling LoRa's oceanic reach: Assessing the coverage of the azores lorawan network from an island**. Sensors MDPI, v. 23, n. 17, p. 7394, 2023.

POZZEBON, Alessandro *et al.* LoRaWAN transmissions in salt water for superficial marine sensor networking: Laboratory and field tests. **Sensors**, v. 23, n. 10, p. 4726, 2023.

ROSE, Karen; ELDRIDGE, Scott; CHAPIN, Lyman. **The Internet of Things: An Overview** - Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World. 1. ed. USA: Internet Society, 2015.

SUPLICY, Felipe Matarazzo. Um manifesto do mar. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 35, n. 2, p. 8-10, 2022.

THE THINGS NETWORK. **Regional Parameters**. 2025. Disponível em:

<https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/regional-parameters/>. Acesso em: 11 set. 2025.

APÊNDICE A – CÓDIGO VERIFICADOR DE STATUS DO PROTÓTIPO DE GATEWAY COM A TTN

```
1  /*
2      Premissas:
3
4      1. Deve iniciar junto com o sistema "node ttn_checker.js"
5      2. Verifica periodicamente se está ativa a conexão, através da
6      API da TTN usando FETCH.
7      3. Se não estiver ativo, reinicia o raspberry.
8  */
9
10 // Definições de chave de API, servidor, cabeçalhos e intervalo
11 // entre checagens
12
13 const TTN_API_KEY = "CHAVE_DE_API_DA_TTN";
14 const url =
15     'https://nam1.cloud.thethings.network/api/v3/gs/gateways/eui-ifsc-se
16     eed-raspi/connection/stats';
17
18 const headers = {'Accept': 'application/json', 'Authorization':
19     'Bearer ' + TTN_API_KEY};
20
21 const intervalo = 1000 * 180; // 3 minutos
22
23 console.log("Checando em 3 minutos...");
24
25 // Realizar a checagem
26 setInterval(function() {
27
28     console.log("Checando...");
29
30     // Solicita dados com a API da TTN
31     fetch(url, {
32         method: 'GET',
33         headers: headers,
```

```

27     })
28     .then((response) => response.json())
29     .then((data) => {
30         console.log(data.last_status_received_at);
31
32         //
33         let desde_ultima_mensagem = (Date.now() -
Date.parse(data.last_status_received_at))/1000;
34
35         if(isNaN(desde_ultima_mensagem))
36         {
37             console.log("Não foi possível obter o tempo");
38         }
39         else if(desde_ultima_mensagem > 300)
40         {
41             console.log(desde_ultima_mensagem);
42             console.log("SUDO REBOOT!");
43             restart();
44         }
45         else
46         {
47             console.log(desde_ultima_mensagem);
48             console.log("Uptime OK!");
49         }
50
51     })
52     .catch(function(e){
53         console.log(e);
54     });
55 }, intervalo);
56
57 var exec = require('child_process').exec;
58
59 function execute(command, callback) {

```

```
60     var cmd = exec(command, function(error, stdout, stderr) {
61         console.log("error: " + error);
62         callback(stdout);
63     });
64 }
65
66 function reStart() {
67     try {
68         console.log("Reboot");
69         execute('sudo reboot', function(callback) {
70             });
71     }
72     catch (err) {
73         console.log(err);
74     }
75 }
```

Fonte: O Autor (2026).

APÊNDICE B – ARQUIVO *RESET_LGW.SH* ATUALIZADO PARA ATENDER AO SISTEMA *DEBIAN BOOKWORM*

```
1  SX1302_RESET_PIN=17      # SX1302 reset
2  SX1302_POWER_EN_PIN=18   # SX1302 power enable
3  SX1261_RESET_PIN=5       # SX1261 reset (LBT / Spectral Scan)
4
5  WAIT_GPIO() {
6      sleep 0.1
7  }
8
9  reset() {
10     echo "CoreCell reset through GPIO$SX1302_RESET_PIN..."
11     echo "SX1261 reset through GPIO$SX1261_RESET_PIN..."
12     echo "CoreCell power enable through GPIO$SX1302_POWER_EN_PIN..."
13
14     # write output for SX1302 CoreCell power_enable and reset
15     gpioset gpiochip0 $SX1302_POWER_EN_PIN=1; WAIT_GPIO
16
17     gpioset gpiochip0 $SX1302_RESET_PIN=1; WAIT_GPIO
18     gpioset gpiochip0 $SX1302_RESET_PIN=0; WAIT_GPIO
19
20     gpioset gpiochip0 $SX1261_RESET_PIN=0; WAIT_GPIO
21     gpioset gpiochip0 $SX1261_RESET_PIN=1; WAIT_GPIO
22 }
23
24 case "$1" in
25     start)
26     reset
27     ;;
28     stop)
29     reset
30     ;;
31     *)
```

```
32     echo "Usage: $0 {start|stop}"
33     exit 1
34     ;;
35 esac
36
37 exit 0
```

Fonte: O Autor (2026).

APÊNDICE C – CÓDIGO *PAYLOAD FORMATTER* COMPLETO DO PROTÓTIPO DE GPS

```

1  function decodeUplink(input) {
2
3      var data = {};
4      var warnings = [];
5
6      if (input.fPort === 10)
7      {
8          // Somente Bateria
9          data.batteryRaw = (input.bytes[0] << 8) + input.bytes[1];
10         data.battery = data.batteryRaw / 4095 * 2 * 3.3 * 1.1;
11         data.battery = data.battery.toFixed(2);
12     }
13     else if(input.fPort === 9 || input.fPort === 11)
14     {
15         // Somente Valores de Latitude e Longitude
16         // Byte 0 sinal da latitude, bytes 1 a 4 valor de latitude,
17         byte 5 sinal da longitude, bytes 6 a 9 valor de longitude
18         data.latitude = (input.bytes[0] ? -1 : 1) * ((input.bytes[1]<<8)
+ (input.bytes[2]<<16) + (input.bytes[3]<<8) + (input.bytes[4]));
19         data.longitude = (input.bytes[5] ? -1 : 1) *
20         ((input.bytes[6]<<24) + (input.bytes[7]<<16) + (input.bytes[8]<<8) +
21         (input.bytes[9]));
22
23         // Transforma novamente em valor com 6 casas decimais
24         data.latitude /= 1000000;
25         data.longitude /= 1000000;
26
27         // Altitude padrão
28         data.altitude = 1;
29
30         // Bytes 10 e 11 valor de hdop

```

```

28     data.hdop = (input.bytes[10] << 8) + input.bytes[11];
29
30     // Descarta os valores de GPS caso HDOP seja 0
31     if(data.hdop === 0 && data.longitude === 0 && data.latitude
    === 0)
32     {
33         delete data.hdop;
34         delete data.longitude;
35         delete data.latitude;
36         delete data.altitude;
37     }
38
39     if(input.fPort == 11)
40     {
41         // Também contém valor de bateria
42         data.batteryRaw = (input.bytes[12] << 8) + input.bytes[13];
43         data.battery = data.batteryRaw / 4095 * 2 * 3.3 * 1.069;
44         data.battery = data.battery.toFixed(2);
45     }
46 }
47 else {
48     warnings.push("Unsupported fPort");
49 }
50 return {
51     data: data,
52     warnings: warnings
53 };
54 }

```

Fonte: O Autor (2026).

APÊNDICE D – CÓDIGO DE COMUNICAÇÃO VIA MQTT COM A TTN PARA VERIFICAR QUAIS GATEWAYS RECEBERAM O MESMO UPLINK DE UM DISPOSITIVO

```

1  const mqtt = require('mqtt');
2
3  // Identificador da aplicação e chave de acesso
4  const APP_ID = 'ifsc-lora-end-devices@ttn';
5  const ACCESS_KEY = 'XXXXX.XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.XXXXXXXXXXXXXXXXXX';
6
7  // Conecta no broker MQTT da TTN
8  let client = mqtt.connect('mqtt://nam1.cloud.thethings.network:8883',
9    username: APP_ID,
10   password: ACCESS_KEY,
11  });
12
13  client.on('connect', () => {
14    console.log('Conectado ao MQTT da TTN!');
15
16    // Tópico para todos os uplinks da aplicação
17    const topic = `v3/${APP_ID}/devices/+/up`;
18    client.subscribe(topic, (err) => {
19      if (err) console.error('Erro ao se inscrever no tópico:', err);
20      else console.log(`Inscrito no tópico: ${topic}`);
21    });
22  });
23
24  client.on('message', (topic, message) => {
25    try {
26      const payload = JSON.parse(message.toString());
27
28      const deviceId = payload.end_device_ids.device_id;
29      const uplinkTime = payload.uplink_message.received_at;
30
31      const gatewaysInfo = payload.uplink_message.rx_metadata.map((g) =>

```

```
32     const gwId = g.gateway_ids.gateway_id;
33     const rssi = g.rssi;
34     const snr = g.snr;
35     return `${gwId} (RSSI: ${rssi}, SNR: ${snr})`;
36 });
37
38 console.log('-----');
39 console.log(`Dispositivo: ${deviceId}`);
40 console.log(`Hora do uplink: ${uplinkTime}`);
41 console.log(`Gateways que receberam:`);
42 gatewaysInfo.forEach(info => console.log(` - ${info}`));
43
44 } catch (err) {
45     console.error('Erro ao processar mensagem:', err);
46 }
47 });
```

Fonte: O Autor (2026).

APÊNDICE E – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO PARA O GW

GLOBAL_CONF.JSON

```

1  {
2    "SX130x_conf": {
3      "com_type": "SPI",
4      "com_path": "/dev/spidev0.0",
5      "lorawan_public": true,
6      "clksrc": 0,
7      "antenna_gain": 5,
8      "full_duplex": false,
9
10     /* ----- SX1261: usado para LBT (Listen Before Talk) e spectral
scan ----- */
11     "sx1261_conf": {
12       "spi_path": "/dev/spidev0.1",
13       "rssi_offset": 0,
14       "spectral_scan": {
15         "enable": false,
16         "freq_start": 915200000,
17         "nb_chan": 8,
18         "nb_scan": 2000,
19         "pace_s": 10
20       },
21       "lbt": { "enable": false }
22     },
23
24     /* ----- Radios principais ----- */
25     "radio_0": {
26       "enable": true,
27       "type": "SX1250",
28       "freq": 916900000,          /* Radio A center freq = 916.9 MHz */
29       "rssi_offset": -215.4,
30       "tx_enable": true,
31       "tx_freq_min": 923000000,

```

```

32     "tx_freq_max": 928000000,
33     "tx_gain_lut": [
34         {"rf_power": 12, "pa_gain": 0, "pwr_idx": 15},
35         {"rf_power": 13, "pa_gain": 0, "pwr_idx": 16},
36         {"rf_power": 14, "pa_gain": 0, "pwr_idx": 17},
37         {"rf_power": 15, "pa_gain": 0, "pwr_idx": 19},
38         {"rf_power": 16, "pa_gain": 0, "pwr_idx": 20},
39         {"rf_power": 17, "pa_gain": 0, "pwr_idx": 22},
40         {"rf_power": 18, "pa_gain": 1, "pwr_idx": 1},
41         {"rf_power": 19, "pa_gain": 1, "pwr_idx": 2},
42         {"rf_power": 20, "pa_gain": 1, "pwr_idx": 3},
43         {"rf_power": 21, "pa_gain": 1, "pwr_idx": 4},
44         {"rf_power": 22, "pa_gain": 1, "pwr_idx": 5},
45         {"rf_power": 23, "pa_gain": 1, "pwr_idx": 6},
46         {"rf_power": 24, "pa_gain": 1, "pwr_idx": 7},
47         {"rf_power": 25, "pa_gain": 1, "pwr_idx": 9},
48         {"rf_power": 26, "pa_gain": 1, "pwr_idx": 11},
49         {"rf_power": 27, "pa_gain": 1, "pwr_idx": 14}
50     ]
51 },
52
53     "radio_1": {
54         "enable": true,
55         "type": "SX1250",
56         "freq": 917700000, /* Radio B center freq = 917.7 MHz */
57         "rssi_offset": -215.4,
58         "tx_enable": false
59     },
60
61     /* ----- 8 canais LoRa multi-SF (FSB2: 916.8-918.2 MHz) -----
62     */
63     "chan_multiSF_All": {"spreading_factor_enable": [7,8,9,10,11,12]},
64     "chan_multiSF_0": {"enable": true, "radio": 0, "if": -100000}, /*

```

```

916.8 MHz */
65     "chan_multiSF_1": {"enable": true, "radio": 0, "if": 100000}, /*
917.0 MHz */
66     "chan_multiSF_2": {"enable": true, "radio": 0, "if": 300000}, /*
917.2 MHz */
67     "chan_multiSF_3": {"enable": true, "radio": 0, "if": 500000}, /*
917.4 MHz */
68
69     "chan_multiSF_4": {"enable": true, "radio": 1, "if": -500000}, /*
917.2 MHz (redundante overlap) */
70     "chan_multiSF_5": {"enable": true, "radio": 1, "if": -300000}, /*
917.4 MHz */
71     "chan_multiSF_6": {"enable": true, "radio": 1, "if": -100000}, /*
917.6 MHz */
72     "chan_multiSF_7": {"enable": true, "radio": 1, "if": 100000}, /*
917.8 MHz */
73
74     /* ----- Canal LoRa "standard" 500 kHz (uplink high-speed ou
downlink) ----- */
75     "chan_Lora_std": {
76         "enable": true,
77         "radio": 1,
78         "if": 1100000,                /* 917.7 + 1.1 MHz = 918.8 MHz */
79         "bandwidth": 500000,
80         "spread_factor": 8
81     },
82
83     /* ----- Canal FSK (geralmente desativado) ----- */
84     "chan_FSK": {
85         "enable": false,
86         "radio": 1,
87         "if": 200000,
88         "bandwidth": 12500,
89         "datarate": 50000

```



```

90     }
91 },
92
93  /* ----- Gateway Network Configuration ----- */
94  "gateway_conf": {
95      "gateway_ID": "BE88EDA9FEC9B6DC",
96      "server_address": "nam1.cloud.thethings.network",
97      "serv_port_up": 1700,
98      "serv_port_down": 1700,
99      "keepalive_interval": 10,
100     "stat_interval": 30,
101     "push_timeout_ms": 100,
102     "forward_crc_valid": true,
103     "forward_crc_error": false,
104     "forward_crc_disabled": false,
105
106     /* GPS */
107     "gps_tty_path": "/dev/ttyS0",
108     "ref_latitude": 0.0,
109     "ref_longitude": 0.0,
110     "ref_altitude": 0,
111
112     /* Beacons (classe B) */
113     "beacon_period": 0,
114     "beacon_freq_hz": 869525000,
115     "beacon_datarate": 9,
116     "beacon_bw_hz": 125000,
117     "beacon_power": 14,
118     "beacon_infodesc": 0
119 },
120
121  /* ----- Logs e debug ----- */
122  "debug_conf": {
123      "ref_payload": [

```

```
124     {"id": "0xCAFE1234"},  
125     {"id": "0xCAFE2345"}  
126 ],  
127 "log_file": "loragw_hal.log"  
128 }  
129 }
```

Fonte: O Autor (2026).