

Publicado em 25 de dezembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

SISTEMA DE TELEMETRIA BASEADO EM LORA PARA MONITORAMENTO DE EMBARCAÇÃO SUSTENTÁVEL

Mizael Alves da Silva¹; Renato Luz Cavalcante²

¹Universidade Federal do Pará, Tucuruí, Brasil
mizael.alves@tucurui.ufpa.br
renatolc@ufpa.br

RESUMO

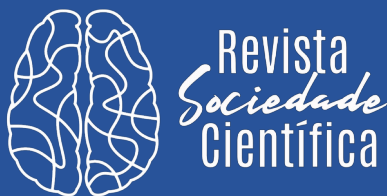
Este artigo apresenta a implementação e avaliação de um sistema de rastreamento de embarcações usando a tecnologia LoRa juntamente com Arduino e ESP-32, que permite a comunicação sem fio de longo alcance e baixo consumo de energia. O sistema foi desenvolvido para atender às necessidades de monitoramento em tempo real de uma embarcação sustentável movida a energia solar, que participou de uma competição chamada Desafio Solar Brasil.

O sistema demonstrou uma taxa de integridade de 100% em distâncias de até 100 metros, e uma taxa de 91,8% em distâncias de até 300 metros, no ambiente fluvial. A potência do sinal variou de acordo com o fator de espalhamento e a distância, apresentando uma diminuição gradual até atingir o limite de detecção. O sistema mostrou-se capaz de fornecer uma solução eficaz e confiável para o rastreamento de embarcações em cenários aquáticos, destacando o potencial da tecnologia LoRa.

Palavras-chave: Lora, Arduino, Esp-32, Embarcação (máximo de 4 palavras-chaves).

1 INTRODUÇÃO

Em 2016 professores e alunos da engenharia mecânica da UFPA do campus de Tucuruí fundaram a equipe Muiraquitã, um projeto de extensão acadêmica criado com o intuito de desenvolver uma embarcação sustentável do tipo monocasco alimentada por



energia solar. Em 2020 a equipe participou do Desafio Solar Brasil (DSB) [1] que organiza competições de barcos movido a energia solar.

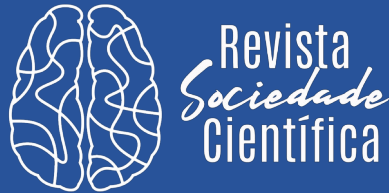
A participação no DSB despertou a necessidade de criar um sistema de telemetria em tempo real para monitorar e analisar o desempenho do barco durante a competição. Essa demanda impulsionou a pesquisa e implementação do sistema de rastreamento de embarcações baseado na tecnologia LoRa (*Long Range*) [2], objeto central deste estudo. O desenvolvimento deste sistema visa atender às exigências específicas de um ambiente marítimo e oferecer uma solução eficaz para o acompanhamento remoto e em tempo real do barco solar.

O AIS (*Automatic Identification System*) é uma tecnologia implementada no setor marítimo para aprimorar a segurança do tráfego. O VTS (*Vessel Traffic Service*) é um serviço em terra que utiliza dados transmitidos pelo sistema de identificação automática (AIS) para realizar o planejamento e orientação do tráfego marítimo. Os navios equipados com transceptores AIS transmitem suas posições regularmente por meio do GNSS (*Global Navigation Satellite System*), permitindo que embarcações vizinhas evitem colisões com base nessas informações [3].

Os sistemas AIS fornecem uma gama de informações cruciais, incluindo a identificação da embarcação, sua posição geográfica, curso e velocidade. Esses dados podem ser visualizados em monitores ou sistemas do ECDIS (*Electronic Chart Display and Information System*) [4]. As mensagens AIS são transmitidas por meio de sinais de rádio frequência, com os transceptores operando na faixa de frequência VHF (Very High Frequency), especificamente entre 156-162 MHz [5].

A escolha da faixa de frequência VHF é estratégica, pois oferece uma propagação eficiente sobre a água e facilita a detecção por parte de outras embarcações e estações terrestres. Essa característica contribui para a eficácia do sistema AIS, garantindo uma comunicação confiável e abrangente no ambiente marítimo [6].

LoRa é uma tecnologia de comunicação sem fio de longo alcance e baixo consumo de energia, projetada para conectar dispositivos de Internet das Coisas (IoT) a



redes de baixa potência. Datasheets indicam que a tecnologia LoRa pode apresentar um alcance de até 15 km, porém sem especificar as condições ambientais, parâmetros dos dispositivos, largura de banda, fator de espalhamento, taxa de codificação, frequência de transmissão, entre outros [7].

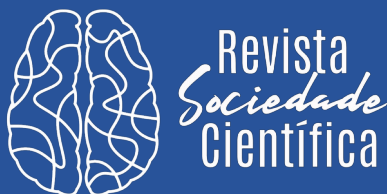
Utilizando uma modulação de espectro espalhado baseada em chirp, o LoRa é resistente a interferências e desvanecimento. Pode operar em diversas bandas de frequência, como 433 MHz, 868 MHz e 915 MHz, com uma taxa de dados adaptável variando de 0,3 kbps a 50 kbps, alcançando uma sensibilidade de recepção de até -148 dBm [8].

No trabalho de Nofandi [9] foi utilizado LoRa com a frequência de 915 Mhz em um sistema de monitoramento de segurança para embarcações de pescadores. O sistema proposto pelos autores utiliza módulos LoRa em embarcações de pesca e postos de guarda costeira para monitorar a localização, velocidade e outras informações importantes das embarcações, obtiveram um alcance de 100 metros.

Sanchez-Iborra [10] realizou a implementação bem-sucedida da tecnologia LoRa para o rastreamento de embarcações leves e pequenas, bem como para monitorar parâmetros dentro do porto. A pesquisa abrangeu a avaliação da cobertura da área portuária, alcançando níveis satisfatórios de cobertura. O estudo empregou a frequência de 433 MHz, alcançando resultados promissores com um alcance de até 4 km.

Em Alweera [11] foi implementado um sistema para monitoramento e rastreamento de embarcações utilizando LoRa na frequência de 868 Mhz. O sistema visa melhorar a comunicação e a segurança dos barcos leves, fornecendo uma solução eficaz e segura para os desafios enfrentados pelos marinheiros em situações inesperadas.

A escolha da tecnologia LoRa para o sistema de rastreamento de embarcações é fundamentada em sua capacidade de proporcionar comunicação de longo alcance com baixo consumo de energia de apenas 13-15 mA [12]. Por utilizar a tecnologia de modulação de espectro espalhado [13], possibilita uma cobertura estendida em ambientes desafiadores, como o mar.



A utilização eficiente de energia, como evidenciada por Ochoa [14], destaca uma abordagem fundamental para a sustentabilidade nesse tipo de embarcação. Além disso, o potencial desenvolvimento de barcos movidos a energia solar intensifica essa trajetória sustentável, sendo influenciado principalmente por imperativos ambientais e sociais [15].

A combinação de alcance estendido, eficiência energética e capacidade de penetração em obstáculos faz do LoRa uma escolha viável para as demandas específicas de comunicação em ambientes marítimos e por isso se mostra melhor que outras tecnologias de transmissão sem fio como Bluetooth e ZigBee [16].

Esta pesquisa teve como foco o estudo e implementação de um sistema de monitoramento remoto em tempo real de uma embarcação usando o LoRa sx1278 com o Arduino nano, ESP-32 e GPS UBlox Neo-6M. Também foi integrado um servidor baseado no sistema IAS utilizando Node.js e MySQL, para visualizar e armazenar as informações.

2 METODOLOGIA

Nesta seção, é apresentado detalhadamente a metodologia adotada para a pesquisa, incluindo a seleção e configuração dos dispositivos LoRa, procedimentos de coleta de dados e a análise subsequente. Além disso, faz uma arguição ferente a escolha dessa metodologia.

2.1 PROJETO GERAL DO SISTEMA

O projeto do sistema aborda uma composição de três elementos centrais: o transmissor (LoRa-Tx), o receptor (LoRa-Rx) e o servidor. Conforme ilustrado na figura 1, o transmissor instalado na embarcação, e equipado com sensores para coleta de dados relevantes como: localização corrente, tensão etc. O LoRa opera em frequência de rádio de 433 MHz. A transmissão dessas informações é direcionada ao receptor localizado em terra, conectado a um computador por meio de um cabo USB.

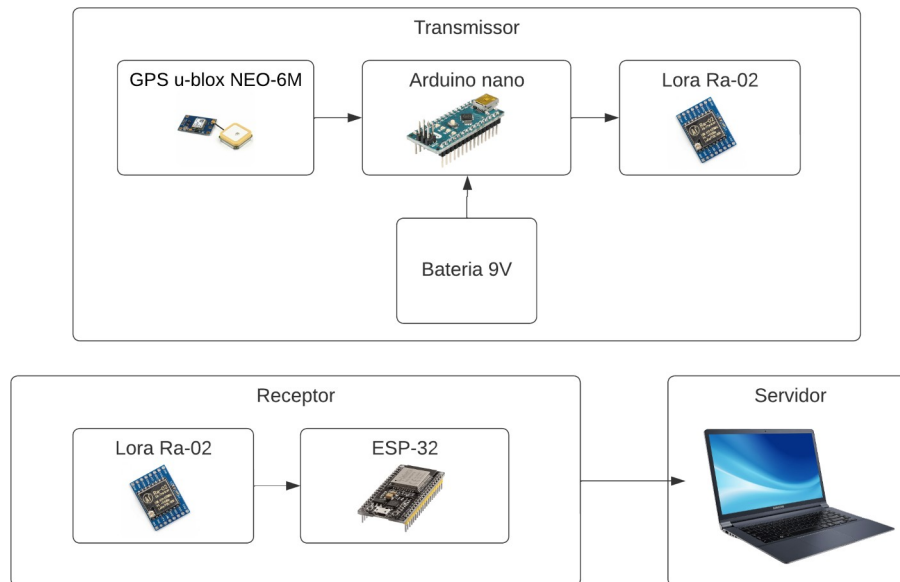


Figura 1 - Transmissor (GPS neo-6m, Arduino nano, LoRa Ra-02 e bateria de 9V), receptor (LoRa Ra-02 e ESP-32) e servidor.

A necessidade de monitoramento em tempo real, imposta pela competição do Desafio Solar Brasil (DSB), evidenciou a importância de utilizar um servidor local não conectado à internet. Essa abordagem visa minimizar o atraso de resposta e garantir a recepção instantânea das informações transmitidas pelo barco via LoRa. Dessa forma, a equipe pode obter dados em tempo hábil para análise e tomada de decisões durante a competição.

O servidor local, desenvolvido com o framework Node.js [18], desempenha um papel essencial nesse sistema. Por meio de uma conexão serial estabelecida via cabo USB, o servidor tem a responsabilidade de capturar e armazenar as informações provenientes do receptor. Os dados capturados são então registrados em um banco de dados construído com SQLite [18]. Adicionalmente, o servidor envia esses dados em tempo real usando Socket.io por meio de uma *dashboard*.

2.2 TRANSMISSOR E RECEPTOR

O sistema de hardware abrange tanto um transmissor (figura 2) quanto um receptor (figura 3). O transmissor, posicionado na embarcação, desempenha uma função central, sendo responsável pela transmissão dos dados. Este dispositivo transmissor é composto por uma bateria de 9V para alimentação, um Arduino Nano, um módulo de GPS u-blox NEO-6M, e o módulo LoRa Ra-02 operando a uma frequência de 433 MHz, além de uma antena. O receptor, por sua vez, é constituído por um ESP-32, um módulo LoRa Ra-02 de 433 MHz e uma antena.

O diagrama do transmissor é mostrado na Figura 4 onde tem a conexão entre a bateria de 9V, que alimenta o Arduino Nano, que desempenha a função de processar as informações do módulo GPS u-blox NEO-6M. Este último é encarregado de receber dados de localização por meio do método de triangulação de satélites, fornecendo as coordenadas de latitude e longitude, juntamente com a velocidade do dispositivo transmissor. Após receber os dados do GPS u-blox NEO-6M, o Arduino Nano realiza o processamento dessas informações e as transmite através do módulo LoRa Ra-02 por meio da comunicação serial Rx/Tx.

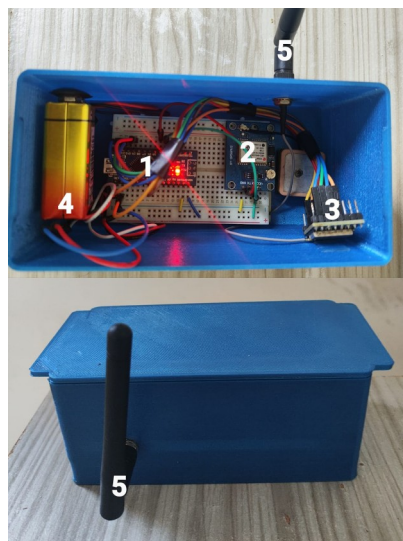


Figura 2 - Transmissor: Arduino nano (1), GPS u-blox NEO-6M (2), LoRa Ra-02 (3), bateria 9V (4) e antena (5).



Figura 3 - Receptor: ESP32 (1), LoRa Ra-02 (2) e antena (3).

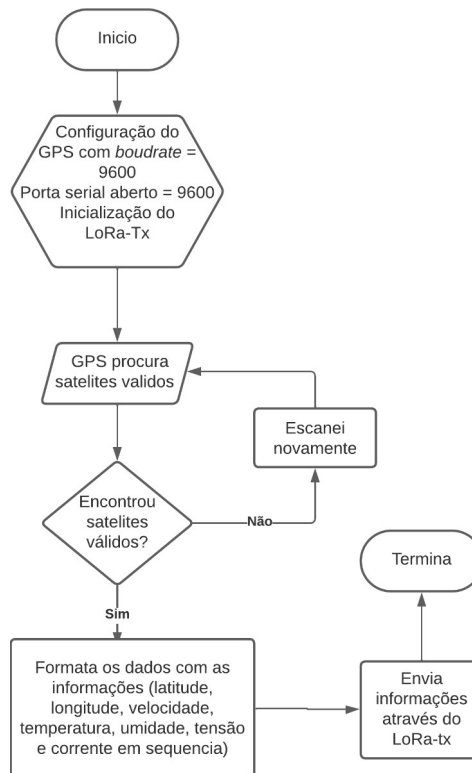


Figura 4 - Fluxograma do transmissor.

O sistema receptor é composto por um Arduino Nano, conectado ao computador por meio de um cabo USB, o qual alimenta tanto o Arduino Nano quanto o módulo LoRa Ra-02. O módulo LoRa Ra-02 desempenha a função de receber as informações provenientes do transmissor através da conexão serial Rx/Tx, codificá-las e, em seguida, transmiti-las para o computador por meio da conexão serial estabelecida pelo cabo USB.

As conexões de pinos entre os componentes, tanto no transmissor quanto no receptor, podem ser detalhadas por meio de um diagrama de fiação na figura 5 e figura 6 respectivamente, proporcionando uma visão mais aprofundada no plano de projeto do sistema.

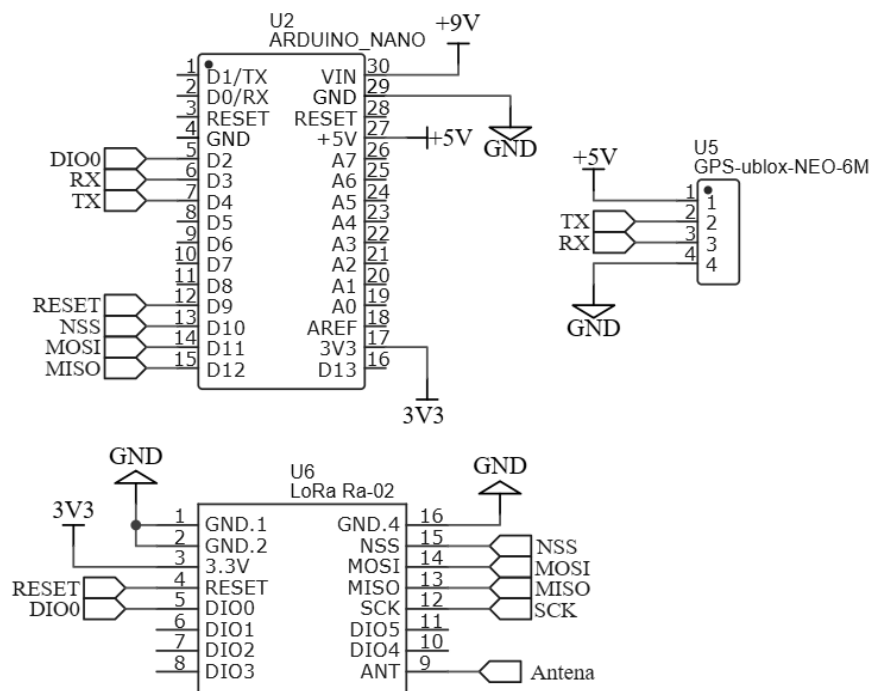


Figura 5 - Configuração do circuito do transmissor.

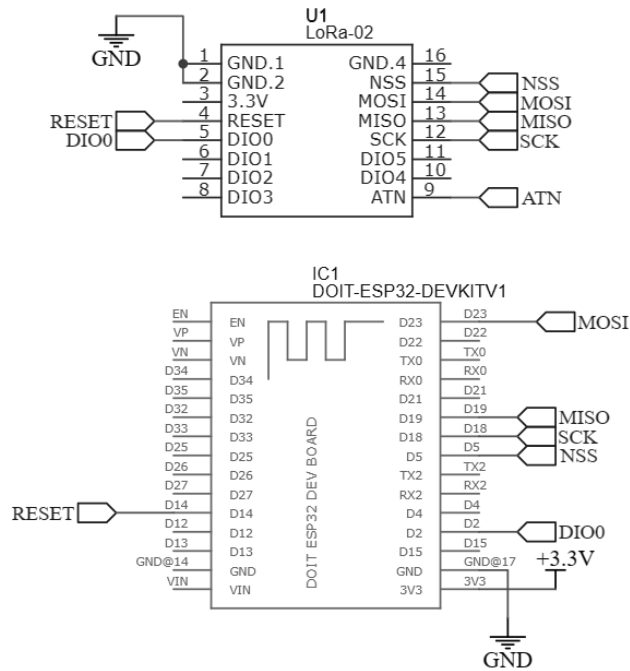


Figura 6 - Configuração do circuito do receptor.

A Figura 5 destaca as interconexões precisas entre os componentes do transmissor (LoRa-Tx), incluindo o módulo LoRa Ra-02, o GPS e a bateria de 9V. Da mesma forma, na Figura 6, são apresentadas as conexões do receptor (LoRa-Rx), revelando a disposição dos componentes, como o Arduino Nano e o módulo LoRa Ra-02.

2.3 DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO

O software chamado de servidor foi desenvolvido utilizando o framework JavaScript Node.js que é um ambiente de tempo de execução de JavaScript de código aberto, orientado a eventos e multiplataforma que permite a execução de código JavaScript fora de um navegador da web. Amplamente empregado na construção de aplicativos de rede escaláveis, como servidores da web, o Node.js é construído sobre o

motor JavaScript V8 do Google Chrome e é assíncrono orientado a eventos, conferindo-lhe eficiência e escalabilidade [19].

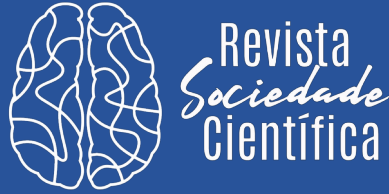
Os dados são enviados pelo ESP-32 por meio da porta serial USB a uma taxa de 9600 bps. Eles são formatados como uma sequência que abrange diversas informações, separadas por vírgulas. Essas informações são, em ordem: latitude, longitude, velocidade, nível da bateria, corrente (motor, bateria, placa solar 1, placa solar 2) e tensão (motor, bateria, placa solar 1, placa solar 2).

O servidor é iniciado pelo terminal com o comando “*yarn start*”, ao iniciar é mostrado no terminal a sequência de registro da sequência interna do servidor (figura 7), primeiro criando o servidor na porta local 5001, depois conectando a porta do ESP-32 se tiver conectado e por fim conectado o Dashboard ao servidor que será abordado melhor adiante.

```
> yarn start
yarn run v1.22.19
$ nodemon --watch ./src
[nodemon] 2.0.22
[nodemon] to restart at any time, enter `rs`
[nodemon] watching path(s): src\**\*
[nodemon] watching extensions: js,mjs,json
[nodemon] starting `node index.js`
Servidor iniciado na port: http://localhost:5001
Porta serial COM4 encontrada!
Conexão serial aberta
Dashboard conectado
```

Figura 7 - É mostrado a sequência de registro do servidor.

Na figura 8 é mostrado um fluxograma da conexão entre o ESP-32 e o servidor, também é mostrado o fluxo interno do servidor. Quando o servidor é iniciado, é verificado se o ESP-32 está conectado. Após feita a conexão entre transmissor e receptor, o próximo passo é estabelecer uma conexão com o socket da página de dashboard. Essa operação é realizada por meio da biblioteca Socket.IO, uma biblioteca JavaScript que viabiliza a comunicação bidirecional e baseada em eventos entre um



cliente e um servidor. Essa biblioteca é orientada a eventos e fundamentada no conceito de *EventEmitter* (Emissor de Eventos), o que implica que todas as operações no Socket.IO são conduzidas por eventos.

Ao estabelecer uma nova conexão com o servidor Socket.IO, um evento é acionado, e é possível emitir um evento para enviar dados ao cliente. Embora a API do servidor Socket.IO apresente diferenças em relação à API do cliente Socket.IO, ambos operam com base em eventos para facilitar a transferência de dados entre o cliente e o servidor em ambas as direções [20].

É iniciado, um loop no qual o servidor procura por dispositivos conectados à porta USB, identificando-os por meio de seus identificadores únicos. Quando um dispositivo compatível com o receptor é identificado, o servidor aguarda a recepção de informações pela conexão serial.

Ao receber qualquer informação pela conexão serial, os dados são armazenados no banco de dados. No entanto, caso os dados não correspondam à sequência correta definida pelo padrão *Regex* (*Regular Expression*), podem ocorrer erros durante a recepção das informações no LoRa. Esses erros podem ser explicados por referências específicas que abordam possíveis problemas ao receber dados no LoRa.

Após o armazenamento no banco de dados, é realizada a conversão da sequência para o formato JSON (JavaScript Object Notation), conforme ilustrado na figura 9. A partir desse ponto, a dashboard recebe a informação, transforma o JSON em objeto e exibe as informações no próprio dashboard (figura 10) para proporcionar uma visualização clara e intuitiva dos dados coletados.

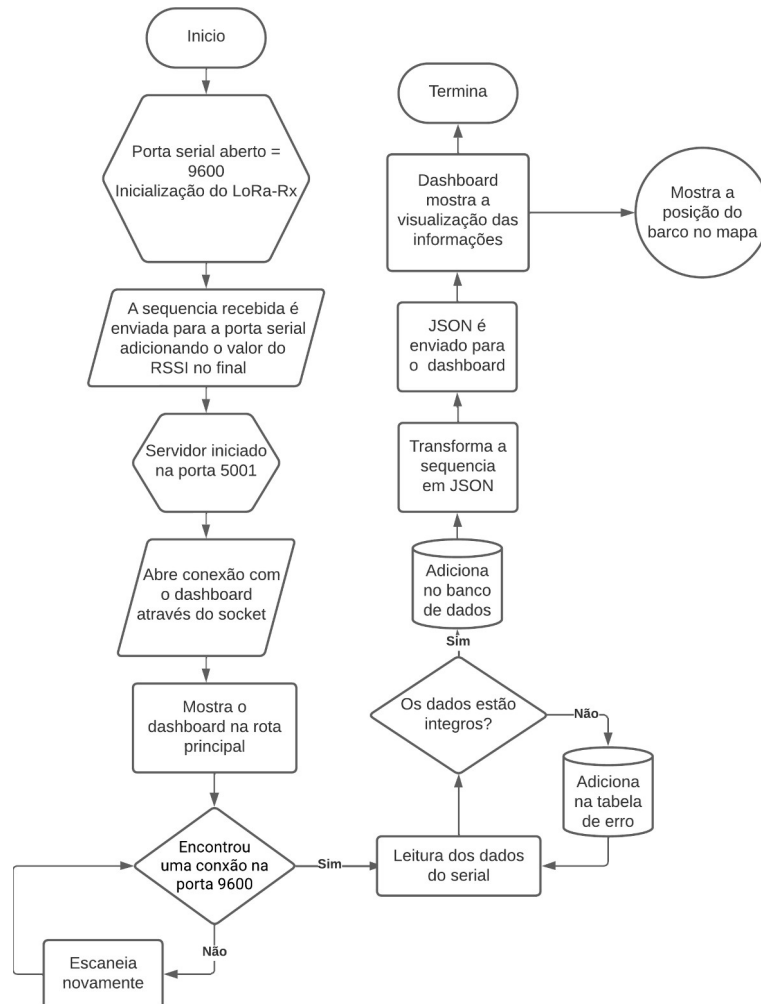


Figura 8 - Fluxograma da conexão entre o receptor e o servidor.

Este processo de conversão para JSON não só facilita a manipulação e interpretação dos dados armazenados [21], mas também facilita a integração eficiente com dashboards onde a informação é processada e apresentada de forma dinâmica. Conforme mostrado na Figura 10, o dashboard desempenha um papel importante na visualização dos dados coletados, fornecendo representação gráfica e visual das variáveis monitoradas.

```
{  
  "id": 1,  
  "latitude": -3.83026,  
  "longitude": -49.8162,  
  "velocidade": 105,  
  "temperatura": 0,  
  "umidade": 0,  
  "corrente1": 0,  
  "corrente2": 0,  
  "corrente3": 0,  
  "corrente4": 0,  
  "tensao1": 0,  
  "tensao2": 0,  
  "tensao3": 0,  
  "tensao4": 0,  
  "nivel_bateria": 0,  
  "potenciaPlaca1": 0,  
  "potenciaPlaca2": 0,  
  "potenciaBateria": 0,  
  "potenciaMotor": 0,  
  "dBi": -57,  
  "created_at": "2023-04-28T20:40:19.538Z"  
}
```

Figura 9 - JSON com os dados de latitude, longitude, velocidade, temperatura, umidade, corrente, tensão e potência do barco.

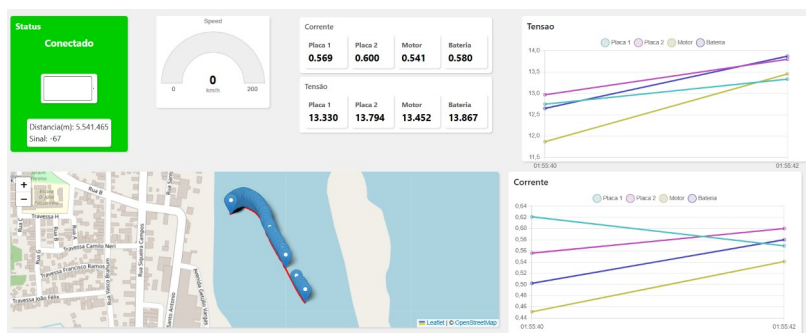
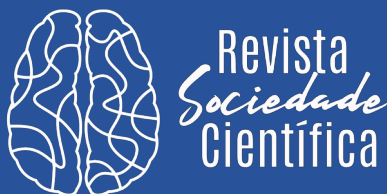


Figura 10 - Dashboard exibindo informações de distância, potência do sinal, velocidade, corrente e tensão com indicadores e gráficos e o mapa mostrando a localização e percurso do barco.

2.4 DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO

Nesta seção, adota-se uma abordagem de teste experimental, utilizando métodos que envolvem a condução de uma série de experimentos planejados para alcançar resultados específicos. Os testes foram conduzidos em diferentes fases e ambientes para verificar o funcionamento do sistema. Inicialmente, foram realizados testes em um ambiente de laboratório controlado, visando validar o funcionamento e a interação entre os componentes do sistema.



Em uma etapa subsequente, os testes foram estendidos para o campus da universidade, permitindo uma avaliação mais abrangente em um ambiente mais amplo e diversificado. O referido teste visou verificar o desempenho do sistema em condições mais próximas às reais, considerando possíveis interferências e variações no ambiente.

Posteriormente, a implementação final ocorreu no contexto real do barco, proporcionando um cenário prático e efetivo para avaliar o desempenho do sistema em um ambiente marítimo. Essa fase de implementação permitiu testar a robustez e a confiabilidade do sistema em condições reais de operação, considerando os desafios e variáveis específicos desse ambiente, como movimento da embarcação, exposição aos elementos naturais e variações de sinais de comunicação.

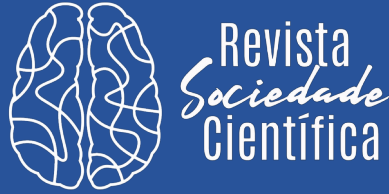
Ao realizar testes progressivos em diferentes ambientes, desde um laboratório controlado até o contexto real de utilização na embarcação, é possível abordar e validar diferentes aspectos do sistema em várias condições, garantindo uma avaliação abrangente e eficaz de seu funcionamento.

Durante a fase de implementação, a abordagem adotada envolveu testes no ambiente fluvial. Este método de teste foi projetado para avaliar o desempenho da ferramenta em seu ambiente operacional real. Nesse cenário, a unidade de transmissão LoRa-Tx foi posicionada na embarcação, enquanto a unidade de recepção LoRa-Rx estava no porto conectado ao servidor. A embarcação se afastou do gateway, cobrindo uma distância de 300 m, e os parâmetros de confiabilidade LoRa, como o RSSI (*Received signal strength indicator*) foram avaliados a cada 30 metros.

3 DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO

Durante a fase de teste em laboratório, realizou-se a transmissão de dados entre os componentes do sistema, visando validar a comunicação entre o transmissor (LoRa-Tx), o receptor (LoRa-Rx) e o servidor.

A figura 11 apresenta parte dos resultados do monitoramento da comunicação sem fio entre o transmissor e o receptor durante os testes em laboratório, com as



Publicado em 25 de dezembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

informações de latitude, longitude, velocidade, temperatura e umidade, informações de tensão e corrente dos componentes da embarcação.

```
0.000000,0.000000,0.00,0.00,0.00,0.806,0.821,0.816,0.799,19.751,20.093,19.897,19.458,-71
Dados inseridos com sucesso! ID: 26013
0.000000,0.000000,0.00,0.00,0.00,0.808,0.823,0.817,0.800,19.775,20.117,19.922,19.507,-73
Dados inseridos com sucesso! ID: 26014
0.000000,0.000000,0.00,0.00,0.00,0.808,0.823,0.816,0.799,19.751,20.117,19.922,19.507,-67
Dados inseridos com sucesso! ID: 26015
0.000000,0.000000,0.00,0.00,0.00,0.810,0.824,0.817,0.799,19.775,20.117,19.922,19.507,-77
Dados inseridos com sucesso! ID: 26016
0.000000,0.000000,0.00,0.00,0.00,0.805,0.820,0.814,0.797,19.727,20.068,19.897,19.482,-61
Dados inseridos com sucesso! ID: 26017
0.000000,0.000000,0.00,0.00,0.00,0.806,0.820,0.814,0.798,19.727,20.068,19.897,19.507,-61
Dados inseridos com sucesso! ID: 26018
0.000000,0.000000,0.00,0.00,0.00,0.806,0.821,0.815,0.798,19.727,20.068,19.897,19.507,-61
Dados inseridos com sucesso! ID: 26019
0.000000,0.000000,0.00,0.00,0.00,0.804,0.818,0.812,0.796,19.702,20.020,19.849,19.458,-62
Dados inseridos com sucesso! ID: 26020
```

Figura 11. Registro de informações que chegaram ao receptor.

O monitoramento contínuo da comunicação serial revelou que, mesmo em distâncias próximas, o sistema demonstrou consistência na transmissão de informações essenciais.

É relevante salientar que a integridade de 100% foi alcançada mediante ajustes iterativos durante os testes em laboratório. Essas iterações envolveram otimizações nas configurações de transmissão, modulação e recepção, contribuindo para o aprimoramento contínuo do sistema. Esses resultados positivos forneceram uma base sólida para a próxima etapa de teste em campo, onde o sistema foi submetido a condições mais desafiadoras.

4 DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO

Os testes realizados no campus universitário ofereceram uma visão aprofundada do desempenho do sistema em um ambiente mais desafiador e dinâmico. A transmissão de dados entre o transmissor (LoRa-Tx) e o receptor (LoRa-Rx) foi monitorada em diferentes pontos estratégicos do campus, visando simular condições variadas de recepção e exposição a interferências.

A Figura 12 exibe a trajetória percorrida no campus em duas distâncias distintas: 100 metros. Durante esta fase, foram registradas métricas cruciais, como a taxa de entrega de pacotes e a intensidade do sinal (RSSI). Para a distância de 100 metros,

foram coletadas 180 amostras, e todas as mensagens transmitidas alcançaram o receptor de forma íntegra, resultando em uma taxa de integridade de 100% (figura 13).

Ao analisar os dados por meio do gráfico apresentado na Figura 14, que mostra a relação entre a distância e a intensidade do sinal (RSSI), destaca-se uma expressiva diminuição nos primeiros 10 metros, indo de -59 dBm para -90 dBm. Posteriormente, observou-se uma recuperação gradual, atingindo valores aproximados de -110 dBm e -114 dBm na distância máxima de 100 metros.



Figura 12. Trajetória percorrida no campus universitário visto pelo mapa.

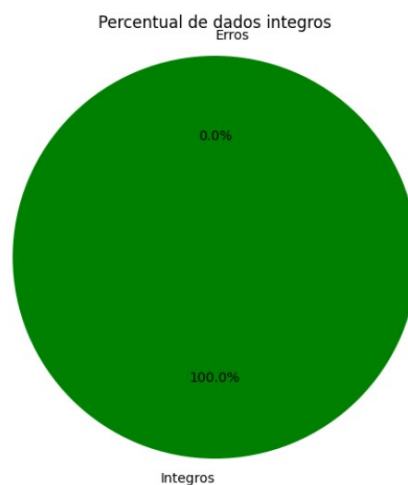


Figura 13. Percentual de integridade das informações recebidas pelo receptor.

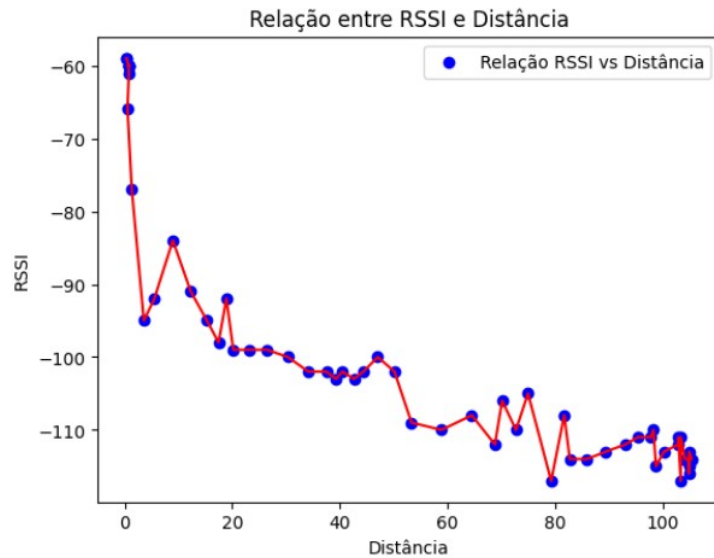


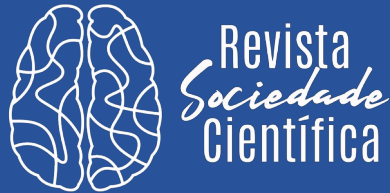
Figura 14. Gráfico com a relação entre distância e potência do sinal (RSSI) com o teste de 100 metros no campus.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os experimentos conduzidos durante os testes no rio Tocantins (Figura 15) proporcionaram uma avaliação abrangente do desempenho do sistema em um ambiente marítimo, oferecendo desafios específicos e variabilidade nas condições operacionais. A transmissão de dados entre o transmissor (LoRa-Tx) e o receptor (LoRa-Rx) foi monitorada enquanto a embarcação percorria o rio Tocantins.



Figura 15. Embarcação movido a energia solar.



A tabela mostra a média da potência em dBm a cada 10 metros chegando à máxima de 300 metros, em testes usando o parâmetro Fator de Espalhamento (SF) 10 e 7. Esses resultados proporcionam uma visão da variação da potência do sinal em diferentes distâncias, considerando a influência do Fator de Espalhamento nos testes.

Tabela 1 – Resultado da medição do RSSI com a variação de distância do barco.

SF	dBm									
	0m	30m	60m	90m	120m	150m	180m	210m	270m	300m
7	-66	-68	-93	-99	-103	-114	-113	-114	-114	-115
10	-67	-89	-104	-107	-110	-110	-114	-112	-119	-117

É possível ver que o valor do dBm diminui à medida que a distância do barco se afasta, nota-se que na configuração SF 7 o se manteve acima de -100 dBm antes dos 100 metros, já com a configuração SF 10 o nos primeiros 60 metros já diminui a potência do sinal, chegando à média de -104 dBm. Quando a distância chega próximo a 300 metros o a configuração SF 10 perde bastante força em comparado ao SF 7, estando em -119 dBm e -114 dBm respectivamente aos 270 metros.

A trajetória da embarcação durante os testes é apresentada na figura 16. Durante essa fase, métricas essenciais, como taxa de entrega de pacotes e intensidade do sinal (RSSI), foram registradas. Foram coletadas 122 amostras, demonstrando uma taxa de integridade de 91,8%, onde a maioria das mensagens transmitidas foi recebida de forma completa, como evidenciado na figura 17.

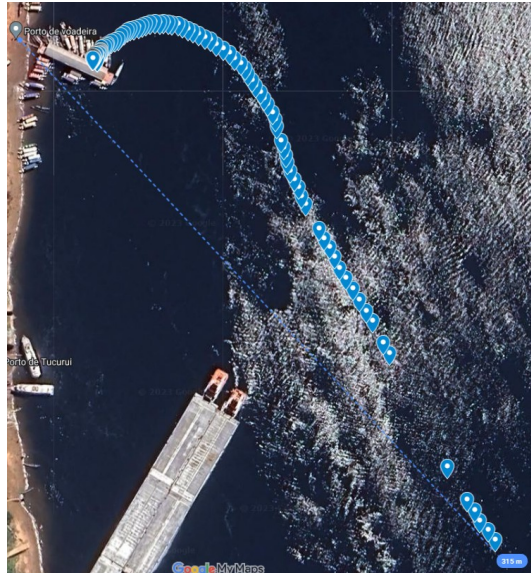


Figura 16 - Trajetória percorrida pelo barco no rio Tocantins visto pelo mapa.

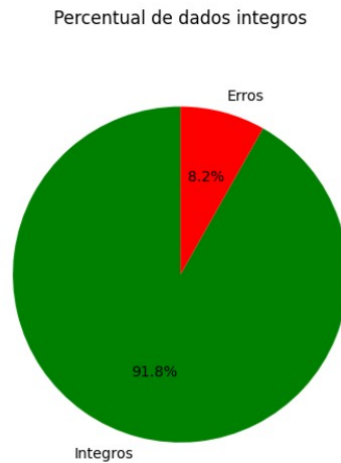


Figura 17 - Percentual de integridade de 91%.

Na análise da relação entre distância e a intensidade do sinal (RSSI) (Figura 18) nos primeiros metros, houve uma notável diminuição, indo de -59 dBm para -100 dBm até chegar nos 50 metros, seguida por uma recuperação gradual. Ao chegar na distância de 100 metros o sinal ficou estável chegando a -112 dBm. A partir dos 150 metros o sinal se mostrou estável ficando na média de -114 dBm, após 200m o sinal experimeta

perda significativa, mas ainda é detectável, não chegando a os dados ou chegando com erros. Ao atingir a distância máxima de 312 metros, o sinal parou de chegar.

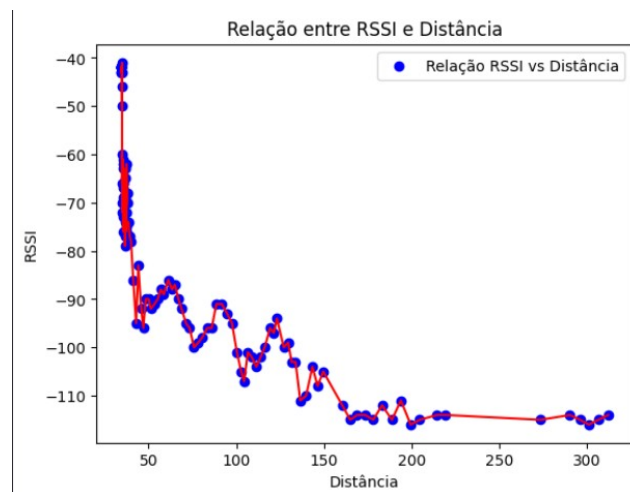
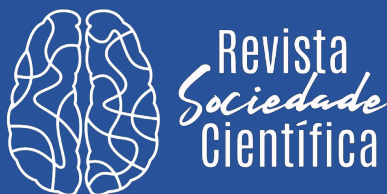


Figura 18 - Gráfico com a relação entre distância e potência do sinal (RSSI) com o teste de 300 metros no Rio Tocantís.

Na Figura 18 e Figura 16, é evidente a ocorrência de perda de dados entre as distâncias de 230 metros e 280 metros, resultando em uma variação na eficiência da transmissão. Essas falhas e erros nos dados sinalizam uma diminuição na confiabilidade do sistema, tornando-se mais pronunciada a partir dos 200 metros.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fase inicial de avaliação do sistema de rastreamento de embarcações abrangeu testes em ambiente laboratorial, oferecendo um cenário controlado para analisar a confiabilidade e integridade do sistema. Os resultados desses testes validaram o funcionamento dos dispositivos, suas interações e a robustez das comunicações LoRa. A comunicação serial contínua evidenciou a constância na recepção dos dados entre o receptor e o transmissor, o servidor se mostrou capaz de receber os dados e armazená-los de forma eficiente.



Publicado em 25 de dezembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

A etapa subsequente, realizada no campus universitário, proporcionou uma visão mais desafiadora e dinâmica do desempenho do sistema. A transmissão de dados foi monitorada em diversos pontos, simulando condições variadas. Os resultados mostraram uma taxa de integridade de 100% para distâncias de 100 metros.

Os testes no rio Tocantins, representando um ambiente marítimo, proporcionaram uma avaliação abrangente do sistema. Os dados da tabela indicam a média da potência em dBm a cada 30 metros, alcançando a distância máxima de 300 metros para diferentes parâmetros de Fator de Espalhamento (SF).

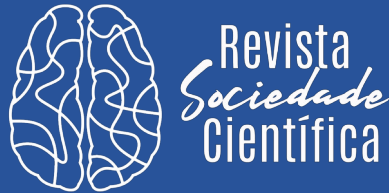
A análise da intensidade do sinal (RSSI) revelou padrões significativos, com uma diminuição notável nos primeiros metros, seguida por uma recuperação gradual. A estabilidade do sinal em distâncias superiores a 100 metros destaca a eficácia do sistema. É notável a diminuição da integridade da transmissão de dados a partir de 230 metros afetando o entendimento do que está acontecendo com o barco a partir dessa distância. Apesar das perdas e erros a transmissão das informações se mostrou confiável com 91,8% chegando a uma distância máxima de 312 metros.

7 INDICAÇÃO DE TRABALHOS FUTUROS

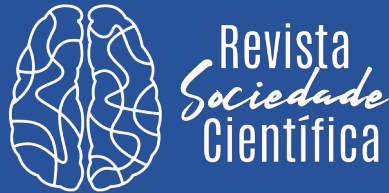
Para futuros trabalhos, recomenda-se explorar melhorias no sistema de rastreamento de embarcações. Uma abordagem interessante seria otimizar a configuração do LoRa para aumentar a distância máxima de transmissão sem comprometer significativamente a integridade dos dados explorando SF diferentes. Além disso, considerar a implementação de antenas direcionais que poderiam contribuir para aprimorar a qualidade e alcance da comunicação.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Desafio Solar Brasil. **Desafio Solar Brasil - DSB**. Desafio Solar Brasil. Disponível em: <<https://desafiosolar.com.br/>>. Acesso em: 16 dez. 2023.
- [2] Lora Alliance. **LoRa Alliance**. Disponível em: <<https://lora-alliance.org/>>.



- Acesso em: 16 dez. 2023.
- [3] Ikhsanov, Shamil; diakonov, Oleksii; khudov, Hennadii. **Investigation of Failures in the Operation of AIS Technology**. 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). IEEE, p. 515-518, November 2022.
 - [4] Weintrit, Adam. **The electronic chart display and information system (ECDIS): an operational handbook**. CRC Press, 2009.
 - [5] Foged, L. J., Giacomini, A., Saccardi, F., Tancioni, L. M., Schirosi, V., Di Cintio, A., ... & Baracco, J. M. **Miniaturized array antenna using artificial magnetic materials for satellite-based AIS system**. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 63(4), p. 1276-1287, 2015.
 - [6] Ho, T. D., Hagaseth, M., Rialland, A., Rødseth, Ø. J., Criado, R. G., & Ziaragkas, G. **Internet of Things at sea: Using AIS and VHF over satellite in remote areas**. Pro. 7th Transp. Res. Arena TRA, p. 1-11, 2018.
 - [7] Ugarte, L. F., Garcia, M. C., Rocheti, E. O., Lacusta, E., Pereira, L. S., & de Almeida, M. C. **LoRa communication as a solution for real-time monitoring of IoT devices at UNICAMP**. In 2019 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST). IEEE, p. 1-6, 2019.
 - [8] Devalal, S., & Karthikeyan, A. **LoRa technology-an overview**. In 2018 second international conference on electronics, communication and aerospace technology. IEEE, p. 284-290, 2018.
 - [9] Nofandi, faris; mahendra, r.; purwanti, Endang Pudji. **Vessel Safety Monitoring System (VSMS) Based on LoRA for the Safety of Indonesian Traditional Fishers**. Indonesian Journal of Engineering Research, v. 3, n. 1, p. 11-17, 2022.
 - [10] Sanchez-Iborra, Ramon et al. **Tracking and monitoring system based on LoRa technology for lightweight boats**. Electronics, v. 8, n. 1, p. 15, 2018.
 - [11] Alweera, a. M. H. M. Et al. **Location Tracking, Messaging, and Monitoring System for Lightweight Boats Using LoRa Technology ‘Safe Ride’**. International Journal of Engineering and Management Research, v. 12, n. 6, p. 62-68, 2022.
 - [12] Apriani, yosi; oktaviani, wiwin a.; sofian, ian mochamad. **Vessel Tracking System Based LoRa SX1278**. J. Ilm. Tek. Elektro Komput. dan Inform, v. 9, n.



- 3, p. 693-707, 2023.
- [13] JING, Liu; WEI, Yao. **Intelligent agriculture system based on LoRa and Qt technology**. 2019 Chinese Control And Decision Conference (CCDC). IEEE, p. 4755-4760, 2019.
- [14] Ochoa, Moises Nunez et al. **Evaluating LoRa energy efficiency for adaptive networks: From star to mesh topologies**. 2017 IEEE 13th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob). IEEE, p. 1-8, 2017.
- [15] Minak, Giangiacomo. **Solar Energy-Powered Boats: State of the Art and Perspectives**. Journal of Marine Science and Engineering, v. 11, n. 8, p. 1519, 2023.
- [16] Noreen, Umber; Bounceur, Ahcène; Clavier, Laurent. **A study of LoRa low power and wide area network technology**. 2017 International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP). IEEE, p. 1-6, 2017.
- [17] Node.js. **Node.js**. Disponível em: <<https://nodejs.org/en>>. Acesso em: 17 dez. 2023.
- [18] SQLite. **SQLite** Home Page. Disponível em: <<https://www.sqlite.org/index.html>>. Acesso em: 17 dez. 2023.
- [19] Hoque, Shama. **Full-Stack React Projects: Learn MERN stack development by building modern web apps using MongoDB, Express, React, and Node.js**. Packt Publishing Ltd, ISBN: 978-1839215414, 2020.
- [20] Wilson, Eddy. **MERN Quick Start Guide: Build Web Applications with MongoDB, Express.js, React, and Node**. Packt Publishing Ltd, ISBN: 978-1787281080, 2018.
- [21] Koirala, Dhiraj. **Web application for professional union using React and Node.js**. 2020.