

Monitoramento dos Navios em Terminais Marítimos Utilizando iMCP-HT32SX e Rede Sigfox

Gabriel Dutra * Daniel Sampaio ** Paulo Guedes ***
Thiago Cavalcanti **** João Marcelo Teixeira †

* Departamento de Eletrônica e Sistemas, Universidade Federal de Pernambuco, (e-mail: gabriel.adutra@ufpe.br).

** Departamento de Eletrônica e Sistemas, Universidade Federal de Pernambuco, (e-mail: daniel.sampaio0144@gmail.com).

*** Departamento de Eletrônica e Sistemas, Universidade Federal de Pernambuco, (e-mail: guedesopaulo@gmail.com).

**** Departamento de Eletrônica e Sistemas, Universidade Federal de Pernambuco, (e-mail: thiagovmcavalcanti@gmail.com).

† Departamento de Eletrônica e Sistemas, Universidade Federal de Pernambuco, (e-mail: joao.teixe@ufpe.br).

Abstract: In port operations, one of the activities that most demand control and monitoring is the process of loading and unloading a ship. Safety in loading and/or unloading cargo on ships is a crucial element in port activities, and for this purpose there are a series of rules and regulations that determine how these procedures must be carried out. One of the main procedures is the mooring of vessels to berths. Aiming at monitoring the berthing of ships, this work aims to implement a prototype using distance sensors attached to the pier connected to the iMCP-HT32SX, which will continuously process information regarding the distance of the ship from the pier and send alert notifications via the Sigfox network to the operating teams.

Resumo: Dentro da operação portuária, uma das atividades que mais demandam controle e acompanhamento é o processo de carga e descarga de um navio. A segurança na operação de embarque e/ou desembarque de cargas nos navios é um elemento crucial nas atividades portuárias, e para este fim existem uma série de normativas e regulamentos que determinam como esses procedimentos devem ser realizados. Um dos principais procedimentos é a amarração das embarcações aos berços de atracação. Visando o monitoramento do estado de atracação dos navios, esse trabalho tem por objetivo propor uma solução utilizando sensores de distância fixados ao cais conectados ao iMCP-HT32SX, que processará as informações continuamente referentes ao distanciamento do navio em relação ao cais e enviará notificações de alerta via rede Sigfox às equipes de operação.

Keywords: IoT; data processing; monitoring of maritime terminals; operational security in ports.

Palavras-chaves: IoT; processamento de dados; monitoramento de terminais marítimos; segurança operacional em portos.

1. INTRODUÇÃO

Durante as operações de carga e descarga, é imprescindível que o navio permaneça atracado no cais sem grandes variações de movimento. Devido a isso, é fundamental que a atracação dos navios seja bem feita. Uma atracação é feita utilizando amarras, que são cordas ou cabos de aço que prendem o navio ao cais. Essas cordas são fixadas no cais em uma estrutura chamada de cabeços, Ramos (2018).

Como essas amarrações são realizadas por colaboradores da equipe de operação dos portos, podem acontecer falhas humanas no processo e, estudo realizado no porto de Keelung em Taiwan mostrou que 60% de todas as prováveis causas de acidentes são decorrentes da falha humana, Ding

and Tseng (2012). Falhas desse tipo podem fazer com que o navio passe a oscilar muito à margem do cais, devido à ação dos ventos e da correnteza, podendo causar acidentes dentro do porto, seja se chocando com outras embarcações que estão operando em seu entorno, ou ocasionar algum acidente durante a operação de carga e descarga feitas por maquinários pesados que retiram e colocam cargas no navio.

Hoje o levantamento de que o navio continua bem amarrado ao berço de atracação é feito de maneira manual, onde um tripulante do navio atracado fica responsável pela checagem das amarras, que servem de garantia para que o navio esteja imóvel. O sistema desenvolvido nesse trabalho visa tornar esse processo automático e por assim dizer mais

seguro, de forma a se ter a garantia de que o navio se encontra em uma zona de segurança em relação ao cais, munindo a equipe de operações portuárias com informações para que possam tomar as devidas providências para prevenir acidentes.

Uma amarração incorreta pode resultar em um afastamento excessivo ou em uma aproximação excessiva do navio em relação ao cais, devido a fatores naturais como ventos, ondas e correntes marítimas. Por exemplo, caso um navio se afaste muito do cais durante a operação de carga e descarga, podem ocorrer rompimentos de amarras, que podem chicotear estruturas ou pessoas próximas à embarcação.

O rompimento de amarras também traz prejuízos à estabilidade do navio, fazendo com que este possa adernar caso haja algum desequilíbrio de cargas sobre a embarcação. Em um caso como esse, o navio pode ser conduzido de encontro a outras embarcações que estão em seu entorno, ocasionando acidentes, que podem gerar sérios danos às estruturas de um porto e até risco à vida dos operadores.

Já a aproximação excessiva do navio em relação à estrutura física do terminal marítimo deteriora mais rapidamente as anteparas de colisão chamadas de defensas, que servem como um dissipador de energia, fazendo com que o berço de atracação não sofra tanto com colisões diretas do navio.

Como visto, o estado de atracação dos navios é algo importante, tanto para segurança de operações, como para conservação do porto e dos navios. Então, esse trabalho propõe uma solução usando o iMCP-HT32SX, um Circuito Integrado Multicomponentes (MCO), junto de sensores de distância conectados neles e fixados ao cais. A intenção é de medir a distância do navio em relação ao cais, processar e enviar alertas via rede Sigfox para as equipes de operação.

O restante deste artigo está estruturado como segue. A primeira seção contém a fundamentação teórica com detalhes de conceitos utilizados para o entendimento e composição do projeto. A segunda seção apresenta uma descrição das ferramentas e programas utilizados para a execução deste artigo. A terceira seção descreve os processos implementados para a realização desse projeto, com foco na arquitetura da solução proposta e fluxo do processamento de dados. A quarta seção descreve a análise dos resultados obtidos a partir do sistema desenvolvido, mostrando um teste realizado em escala. Por fim a quinta seção expõe as considerações finais referentes ao artigo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sistemas Embarcados

Um Sistema Embarcado é um sistema microprocessado no qual o computador é completamente encapsulado ou dedicado ao dispositivo ou sistema que ele controla Barr (2003). Diferentemente de computadores de propósito geral, como o computador pessoal, um sistema embarcado realiza um conjunto de tarefas predefinidas, geralmente com requisitos específicos (Ganssle, 2012).

Os sistemas embarcados são utilizados nos mais diversos campos de atuação, um dos que mais vem avançando é o de *Internet of Things* (IoT). A IoT descreve a rede

de “objetos físicos” incorporados a sensores, *softwares* e outras tecnologias com o objetivo de se conectar e trocar dados entre dispositivos e sistemas através da internet, dispositivos estes que podem variar de objetos domésticos comuns a ferramentas industriais sofisticadas, Santos et al. (2016).

Os sistemas de IoT, muitas vezes, utilizam de Microcontroladores como os dispositivos de controle e monitoramento. Um microcontrolador é um pequeno computador, *System on a Chip* (SOC), num único Circuito integrado (CI) o qual contém um núcleo de processador, memória e periféricos programáveis de entrada e saída.

A vantagem de utilizar esses dispositivos é que, por serem muito pequenos, consumo de energia desses dispositivos é muito reduzido, na casa dos miliwatts, o que permite que eles sejam alimentados por baterias possibilitando a sua utilização em qualquer ambiente.

2.2 Comunicação Serial

Quando configurado corretamente, o UART pode trabalhar com tipos diferentes de protocolos seriais que envolvem a transmissão e recepção de dados seriais. Na comunicação serial, os dados são transferidos bit a bit usando uma única linha ou fio. Na comunicação bidirecional, usamos dois fios para transferir dados seriais com sucesso. Dependendo da aplicação e dos requisitos do sistema, a comunicação serial precisa de menos circuitos e fios, o que reduz o custo de implementação (Peña and Legaspi, 2020).

A comunicação serial é usada em toda comunicação de longo alcance e na maioria das redes de computadores, onde o custo de cabos e as dificuldades de sincronização tornam a comunicação paralela impraticável. Para curtas distâncias, barramentos em série estão se tornando cada vez mais comuns devido ao ponto em que as desvantagens dos barramentos paralelos, densidade de interconexão, superam as suas vantagens de simplicidade.

2.3 Comunicação I²C

O *Inter-Integrated Circuit* (I²C), foi criado em 1982 como um simples sistema de barramento interno para a construção de controles eletrônicos em vários chips Philips. O I²C é um dos protocolos de comunicação serial síncronos mais usado no mundo. É muito adequado para comunicações entre periféricos integrados para transferência de dados de baixa e média velocidade. Este módulo é extensamente utilizado em vários controladores, sensores e alguns outros circuitos integrados. Ele é um barramento serial multi-mestre, ou seja, é capaz de possuir múltiplos mestres e é usado principalmente para conectar periféricos de baixa velocidade utilizando apenas duas linhas de transmissão, uma SDA (*Serial Data Line*) responsável pela transmissão de dados bidirecionalmente e uma SCL (*Serial Clock Line*) com o *clock* gerado pelo mestre. Além disso, é importante ressaltar que o mesmo trabalha com tensões entre +5 V e +3,3 V (do Nascimento et al., 2021).

2.4 Rádio Frequência

Comunicação via Rádio Frequência (RF) é um recurso tecnológico das telecomunicações utilizado para propiciar comunicação por intermédio da transcepção de informações

previamente codificadas em sinal eletromagnético que se propaga através do espaço. Para que a comunicação aconteça entre dois pontos são necessários 3 elementos básicos da comunicação: O transmissor, o meio de transmissão e o receptor. O transmissor converte sinais sonoros, analógicos ou digitais em ondas eletromagnéticas, enviando-os para o espaço através de uma antena transmissora, para serem recebidos por um receptor. O receptor é responsável pela decodificação dos sinais eletromagnéticos recebidos do espaço, captados pela antena, transformando-os em ondas sonoras, sinais digitais e/ou analógicos. Basicamente existem três modos de transmissão: Simplex, quando a comunicação é unidirecional no meio da transmissão, Semi-Duplex, quando a transmissão é bidirecional, porém é executada alternadamente em cada sentido, ou Duplex, quando a comunicação é bidirecional e simultânea. Acerca dos modos de transmissão fundamentalmente existem dois: O Direcional, que privilegia um destinatário em detrimento dos outros e o Omnidirecional, que distribui o sinal para o maior número de usuários (Manoel Alexandre Vieira, 2010).

3. FERRAMENTAS E TECNOLOGIAS UTILIZADAS

3.1 Microcontroladores

Neste projeto foram utilizados dois microcontroladores diferentes como solução, o iMCP-HT32SX da empresa HT Micron, figura 1, para fazer a captação dos dados dos sensores e enviá-los via Sigfox, e uma ESP32 da empresa Espressif para criar uma interface web de configuração de alguns parâmetros do sistema.

O iMCP-HT32SX é um *System in Package* (SiP) projetado e fabricado no Brasil, o chip combina um MCU ARM Cortex M0+ 32 bits, um *transceiver* de baixa potência STM S2-LP e um amplificador de potência, agregando todas as vantagens, integração e conveniência da mais avançada tecnologia de encapsulamento de semicondutores em um único chip. Este dispositivo utiliza o Sigfox Monarch, o que permite a comunicação em todos os países e mudança automática de região.

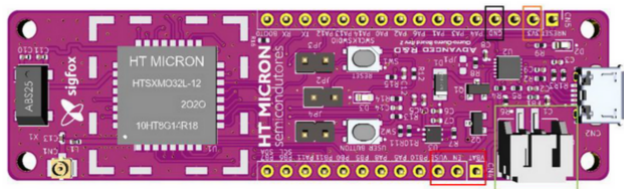


Figura 1. HT Micron iMCP-HT32SX.

Já o ESP32, que contém um MCU Xtensa Dual Core 32bits, um módulo WiFi (HT40) integrado, contando com um baixíssimo consumo de energia. O ESP32 permite criar variadas aplicações para projetos de IoT como acesso remoto, webservers, dataloggers, entre outros. Na placa utilizada tem-se o chip ESP32 com antena embutida, uma interface usb-serial e um regulador de tensão para 3,3V (Espressif Systems, 2016).

3.2 Sensores

Para esse projeto, foram utilizados 2 sensores diferentes para medir distância, sendo eles o JSN-SR04T e o VL5310.

O JSN-SR04T foi desenvolvido para aperfeiçoar projetos de robótica e microeletrônica, mostrando-se ideal para calcular a distância com precisão de objetos entre 20 centímetros a 6 metros. Seu principal diferencial é sua ampla e eficiente resistência à umidade, sendo encontrado constantemente em sistemas localizados em ambientes com umidade elevada. O funcionamento de sensor é simples, ele emite sinais ultrassônicos que refletem no objeto a ser atingido e retornam ao sensor, precisando a distância do alvo, tomando o tempo de trânsito do sinal.

O VL5310 possui comunicação I^2C e pode reportar distâncias de até 2 metros, com resolução de 1 mm, mas seu alcance efetivo e precisão dependem muito das condições do ambiente e das características do alvo, como refletância e tamanho. O seu princípio de funcionamento calcula quanto tempo leva para que os pulsos de luz infravermelha emitidos por um laser alcancem o objeto mais próximo e sejam refletidos de volta para o seu detector.

3.3 Rede Sigfox

A SigFox é uma tecnologia de banda ultra estreita criada por uma empresa francesa. Ela usa um método de transmissão de rádio padrão denominado BPSK, que utiliza a alteração da fase da onda de rádio para codificar os dados. Por ser uma tecnologia de banda muito estreita (Ultra Narrow Band, em inglês) os dispositivos SigFox fazem um uso ótimo da potência disponível, o que permite, em condições ideais, uma comunicação por longas distâncias de forma confiável entre eles, mesmo em canais com interferências e ruídos (Macnica DHW, 2019).

3.4 TagoIO

TagoIO é uma plataforma web 100% na cloud e de alto nível para monitoramento de ambientes via dispositivos IoT conectados à sua rede. A Tago hoje possui dois diferenciais: a velocidade com a qual pode ser implementada uma solução de IoT no mercado, e também o fato de ser uma ferramenta poderosa que oferece diversas funcionalidades necessárias para tal implementação. Por meio da plataforma, o usuário pode observar os dados coletados em um *dashboard* prático para construir suas aplicações. Tendo um painel simples e dinâmico, é possível compartilhar e rastrear o uso da aplicação, além de criar níveis de acesso para diversos usuários, definindo o que cada um poderá visualizar e editar. A plataforma é indicada para quem precisa de uma solução rápida, de configurações simples e pronta para começar seu sistema de monitoramento (Raquel Cruz Xavier, 2019).

4. IMPLEMENTAÇÃO

4.1 Aquisição de dados

Para facilitar a visualização do posicionamento do navio em um terminal marítimo, a figura 2 ilustra a posição da embarcação em relação à defesa e em relação ao

cais, deixando claro as distâncias que serão medidas pelo protótipo.

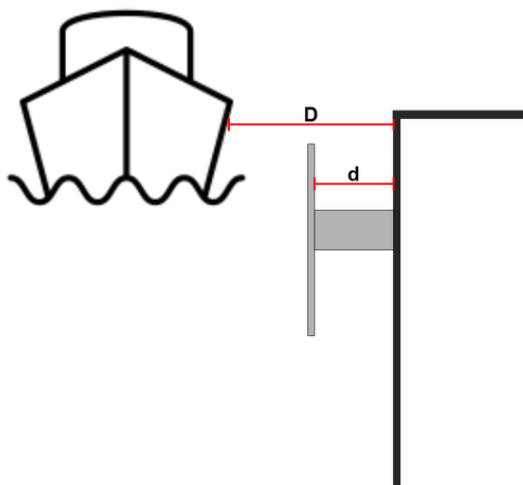


Figura 2. Ilustração da embarcação atracada no cais.

Utilizou-se o sensor ultrassônico e o sensor a laser para medir as distâncias D e d , respectivamente. O sensor ultrassônico mede a distância D devido ao fato que esse sensor é capaz de medir distâncias de até 6 metros, o que é mais que suficiente para detectar se o navio está se afastando demais do cais. Já o sensor laser é utilizado para medir a distância d pois a sua resolução é na ordem de milímetros. Sabe-se que a defesa é utilizada como uma mola para frear o movimento do navio caso este se dirija na direção do cais, e essas defensas variam muito pouco a sua distância em relação ao cais, visto que a deformação é muito pequena mesmo com um choque muito grande. O fato do sensor laser possuir uma resolução na ordem de milímetros faz com que essa pequena variação de compressão possa ser reconhecida pelo sensor. O fato do sensor laser medir distâncias de no máximo 2 metros não é um problema, tendo em vista que o anteparo da defesa localiza-se a uma distância fixa de menos de 2 metros em relação ao cais. Dessa forma, através desse sistema fixado às margens do cais, é possível identificar o quanto a defesa está sendo comprimida ou o quanto o navio está se afastando do cais, e a partir dessa informação enviar um alerta às autoridades portuárias competentes para tomar as medidas cabíveis de segurança. Na figura 3, é possível visualizar um esquemático de toda a arquitetura do protótipo.

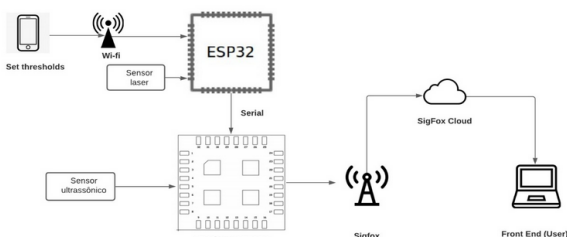


Figura 3. Arquitetura do sistema.

Nesse diagrama o sensor laser é utilizado na ESP32, ao passo que o sensor ultrassônico é conectado ao iMCP-HT32SX. Isso acontece devido a uma dificuldade que foi enfrentada ao tentar realizar a comunicação I^2C do sensor laser com a placa da HT Micron. Dada essa dificuldade, resolveu-se utilizar o sensor laser com a ESP32 pela facilidade de implementação do protocolo I^2C com essa placa, e aproveitou-se o uso da ESP32 para utilizá-la no modo AP (Access Point), de maneira que os valores de limiares fossem passados através de uma conexão com um smartphone. A distância medida pelo sensor laser e lida pela ESP32 é enviada para o iMCP-HT32SX via comunicação serial, e essa placa fica responsável por fazer o processamento dos dados e verificar se os valores encontram-se dentro dos intervalos de limiares definidos pelo usuário, como mostrado anteriormente no fluxograma da figura 4.

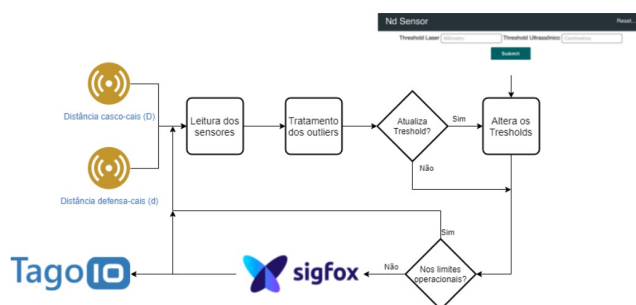


Figura 4. Fluxograma do projeto.

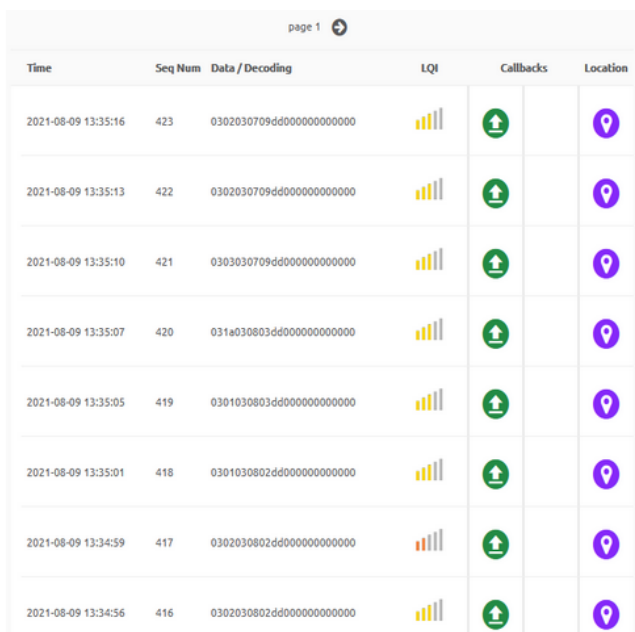
4.2 Processamento de dados

O processamento dos dados na placa da HT Micron é realizado de maneira bastante simples. Após receber os valores da ESP32 que foram lidos pelo sensor laser e receber também as medidas obtidas pelo sensor ultrassônico, o iMCP-HT32SX faz uma média de todas as distâncias medidas em certo intervalo de tempo, por cada sensor, no intuito de amenizar possíveis erros de leitura que fogem completamente da realidade, o que é chamado de eliminação de *outliers*. Essas médias ficam sendo calculadas a medida que esses valores são recebidos, e esses valores são comparados com os valores de intervalo de limiar definido pelo usuário. Caso a média das distâncias medidas por cada sensor não pertença a esse intervalo, é sinal que o navio está se aproximando ou se afastando demais do cais, o que faz com que uma mensagem de notificação seja enviada às autoridades via Sigfox, e dessa maneira seja recebida na nuvem e mostrada em um *dashboard* no browser através da plataforma do TagoIO.

4.3 Visualização de dados

Os dados enviados podem ser visualizados diretamente no sistema de *back-end* da rede Sigfox. Como a placa da HT Micron já possui o protocolo da rede Sigfox, é necessário apenas criar um login no site e depois utilizar o número de referência da placa para estabelecer a comunicação. Dessa maneira a rede sabe exatamente de qual dispositivo os dados estão sendo enviados, e assim é possível começar a receber e visualizar os dados no sistema. O *back-end* Sigfox pode ser acessado através do

endereço <https://backend.sigfox.com/auth/login>. No *back-end* Sigfox, os dados são recebidos exatamente como são enviados, em uma mensagem de 12 bytes com valores em hexadecimal. Do ponto de vista prático isso é um problema, pois o usuário final não tem discernimento para saber o que aquela mensagem tem a dizer. Por isso é necessário integrar o TagoIO ao sistema do *back-end* Sigfox para que dessa maneira os 12 bytes possam ser tratados e apresentados em formato de *dashboards*. Abaixo, as figuras 5 e 6 ilustram os dados recebidos no *back-end* Sigfox e apresentados no TagoIO, respectivamente.



Time	Seq Num	Data / Decoding	LQI	Callbacks	Location
2021-08-09 13:35:16	423	0302030709dd000000000000	45	↑	📍
2021-08-09 13:35:13	422	0302030709dd000000000000	45	↑	📍
2021-08-09 13:35:10	421	0303030709dd000000000000	45	↑	📍
2021-08-09 13:35:07	420	031a030803dd000000000000	45	↑	📍
2021-08-09 13:35:05	419	0301030803dd000000000000	45	↑	📍
2021-08-09 13:35:01	418	0301030802dd000000000000	45	↑	📍
2021-08-09 13:34:59	417	0302030802dd000000000000	45	↑	📍
2021-08-09 13:34:56	416	0302030802dd000000000000	45	↑	📍

Figura 5. Mensagens recebidas no *Back-end* Sigfox.

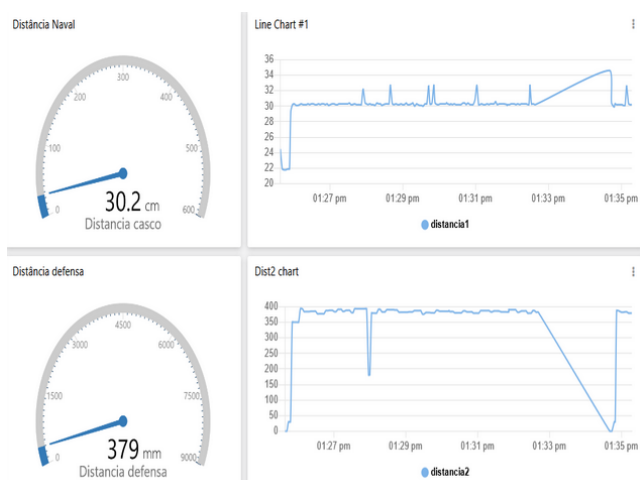


Figura 6. Mensagens recebidas no *front-end* do tago.io

5. RESULTADOS

Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios. Conseguiu-se montar o protótipo implementando todo o *hardware* em uma placa padrão, para que fosse possível realizar os testes.

Os testes foram realizados em escala, utilizando uma piscina e um navio controlado por rádio. Fixou-se o protótipo na borda da piscina e aproximou-se o navio até verificar-se que a distância da embarcação estava muito próxima da borda da piscina, simulando dessa forma uma compressão excessiva da defesa.

Depois disso, afastou-se o navio da borda da piscina, simulando um afastamento excessivo do navio em relação ao cais. Em ambos os casos, de aproximação excessiva e afastamento excessivo, as notificações foram enviadas via rede Sigfox e os dados foram recebidos no TagoIO, como foi ilustrado pelas figuras 5 e 6.

Nas figuras 7, 8 e 9 é possível verificar o protótipo implementado, a maneira com a qual ele foi posicionado às margens da piscina, e a imagem do navio em escala reduzida utilizado para os testes. O vídeo do teste realizado pode ser acessado nesse link: <https://bit.ly/3rRJYMI>

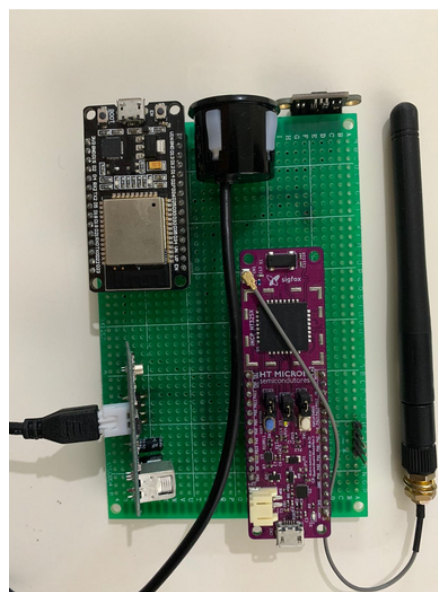


Figura 7. Protótipo do sistema.



Figura 8. Posicionamento do protótipo às margens da piscina.

