

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE ERECHIM
ÁREA DE ENGENHARIAS E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

NICOLAS DA CUNHA LERMEN

**VEÍCULO DE SUPERFÍCIE NÃO TRIPULADO PARA COLETA DE RESÍDUOS
SÓLIDOS FLUTUANTES EM ÁGUA DOCE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ERECHIM - RS
2023**

NICOLAS DA CUNHA LERMEN

**VEÍCULO DE SUPERFÍCIE NÃO TRIPULADO PARA COLETA DE RESÍDUOS
SÓLIDOS FLUTUANTES EM ÁGUA DOCE**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica, Área de
Engenharias e Ciência da Computação da
Universidade Regional Integrada do Alto
Uruguai e das Missões – Câmpus de Erechim.**

Orientador: Prof. Me. Adilson Luis Stankiewicz

**ERECHIM - RS
2023**

NICOLAS DA CUNHA LERMEN

**VEÍCULO DE SUPERFÍCIE NÃO TRIPULADO PARA COLETA DE RESÍDUOS
SÓLIDOS FLUTUANTES EM ÁGUA DOCE**

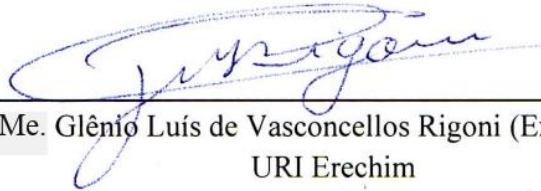
**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica, Área de
Engenharias e Ciência da Computação da
Universidade Regional Integrada do Alto
Uruguai e das Missões – Câmpus de Erechim.**

Erechim, 08 de dezembro de 2023.

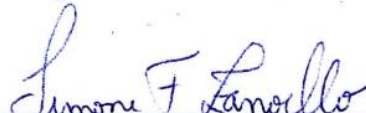
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Adilson Luis Stankiewicz (Orientador)
URI Erechim



Prof. Me. Glênio Luís de Vasconcellos Rigoni (Examinador)
URI Erechim



Prof.ª Dra. Simone Fátima Zanoello (Examinadora)
URI Erechim

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me concedido a oportunidade de viver estes momentos. A todos os meus familiares que sempre me apoiaram e incentivaram as minhas escolhas dentro e fora da graduação. Ao professor Dr. Adilson Luis Stankiewicz por ter aceitado me orientar e me auxiliado no desenvolvimento deste estudo, além dos professores avaliadores da banca que contribuíram com os apontamentos necessário. Agradeço também a todos os professores, colaboradores e colegas da URI Erechim, principalmente aos amigos da turma de 2018 que fizeram essa trajetória ser mais leve e proveitosa.

Aprender é a única coisa que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende.

(Leonardo da Vinci)

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo o estudo e fabricação de um veículo de superfície não tripulado para coleta de resíduos sólidos flutuantes em água doce, de baixo custo, visando difundir essa tecnologia e auxiliar no combate à poluição hídrica no país. A poluição dos corpos hídricos é um assunto que preocupa o planeta a décadas e vem se tornando ainda mais evidente nos tempos atuais, por isso, é necessário investir em medidas que possam mitigar tais problemas. O presente estudo se baseou em modelos de USVs (Unmanned Surface Vehicle / em português veículo de superfície não-tripulado) existentes e sensores capazes de mensurar as grandezas necessárias e ainda ter um baixo custo. Com base na bibliografia se adotou a tecnologia de comunicação LoRa que permite ao operador controlar o veículo a distância além de possuir resistência a interferências. Os sensores utilizados no protótipo são o DHT22 e o ST100, responsáveis pela leitura de temperatura, umidade e turbidez do líquido, os equipamentos são gerenciados pelo microcontrolador Heltec ESP WiFi LoRa 32 V2, também responsável pela comunicação entre os dispositivos. Após os testes individuais de bancada foi dado início a construção das placas de circuito e modelagem da estrutura 3D que posteriormente foi enviada a uma empresa especializada onde foi fabricada. Com o protótipo construído se deu início a bateria de testes finais onde foi possível validar a eficácia dos sensores e a sua faixa de precisão. De modo geral o USV se comportou satisfatoriamente, a dirigibilidade foi eficiente e os sensores apresentaram um erro relativo de no máximo 7%. Durante os testes também foram avaliadas as possibilidades de construir a estrutura do veículo utilizando o próprio material coletado durante a operação, fato que se comprovou possível e de realização rápida dependendo da utilização do operador. Ao final, mesmo com espaço para melhorias tais como sensores de maior precisão, o estudo pode comprovar a viabilidade do desenvolvimento e construção de um veículo de superfície não tripulado para coleta de resíduos sólidos flutuantes, mantendo o baixo custo e fazendo com que o produto seja acessível a uma ampla gama de consumidores.

Palavras-chave: USV. Sustentabilidade. Baixo custo. LoRa.

ABSTRACT

water bodies has been a global concern for decades and has become even more evident in recent times. Therefore, it is necessary to invest in measures that can mitigate such problems. This study is based on existing Unmanned Surface Vehicle (USV) models and sensors capable of measuring the necessary parameters while maintaining a low cost. Based on the literature, LoRa communication technology was adopted, allowing the operator to remotely control the vehicle and providing resistance to interference. The prototype uses the DHT22 and ST100 sensors to measure temperature, humidity, and liquid turbidity. These devices are managed by the Heltec ESP WiFi LoRa 32 V2 microcontroller, which is also responsible for communication between the devices. After individual bench tests, the construction of circuit boards and 3D structure modeling began. The design was then sent to a specialized company for fabrication. Once the prototype was built, a series of final tests was conducted to validate the effectiveness of the sensors and their precision range. Overall, the USV performed satisfactorily, demonstrating efficient maneuverability, and the sensors showed a maximum relative error of 7%. During the tests, the possibility of constructing the vehicle's structure using the material collected during operation was also evaluated. This was proven to be possible and quickly achievable, depending on the operator's usage. In conclusion, despite areas for improvement such as the use of more precise sensors, the study confirmed the feasibility of developing and constructing an unmanned surface vehicle for collecting floating solid waste while maintaining a low cost, making the product accessible to a wide range of consumers.

Keywords: USV. Sustainability. Low cost. LoRa.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Veículo de superfície não tripulado | 14 |
| Figura 2 - Exemplo de placa de desenvolvimento ESP32..... | 15 |
| Figura 3 - USV WasteShark em operação..... | 17 |
| Figura 4 - Placa de desenvolvimento HELTEC ESP WiFi LoRa 32 V2 | 19 |
| Figura 5 - Sensores DHT22 e ST100..... | 20 |
| Figura 6 – Modelagem 3D da estrutura do USV | 22 |
| Figura 7 – Montagem parcial e testes dos sensores..... | 24 |
| Figura 8 – Joystick e placa de circuito principal do USV | 25 |
| Figura 9 – USV durante os testes finais | 26 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Custos Joystick | 29 |
| Tabela 2 – Custo placa principal | 29 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|---|
| Dra. | Doutora |
| Me. | Mestre |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| Prof. | Professor |
| USVs | Unmanned Surface Vehicle / em português veículo de superfície não-tripulado |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 1.1 Objetivos | 11 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| 2.1 Veículos não tripulados..... | 13 |
| 2.2 Microcontroladores e placas de desenvolvimento | 14 |
| 2.3 Tecnologias de comunicação | 15 |
| 3 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS | 17 |
| 3.1 Definição de modelo | 17 |
| 3.2 Definição de sensores e microcontroladores..... | 18 |
| 3.3 Microcontrolador ESP WiFi LoRa 32 V2..... | 18 |
| 3.4 Sensores DHT22 e ST100..... | 19 |
| 3.5 Motores e relés..... | 20 |
| 3.6 Softwares de programação e modelagem 3D..... | 21 |
| 3.7 Elaboração das placas de circuito..... | 22 |
| 3.8 Fabricação do protótipo e montagem final..... | 22 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 23 |
| 4.1 Desempenho individual dos sensores e tecnologias | 23 |
| 4.2 Montagem final do protótipo e teste..... | 24 |
| 4.3 Produção da estrutura a partir de material reciclado | 27 |
| 4.4 Considerações finais do capítulo..... | 29 |
| 5 CONCLUSÃO | 31 |
| REFERÊNCIAS | 33 |

1 INTRODUÇÃO

Desde 2022 o Brasil se encontra em um ranking indesejado, localizado entre os 20 países que mais poluem os oceanos em todo o mundo. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), em uma pesquisa realizada em parceria com a rede Blue Keepers, cada brasileiro é responsável por produzir individualmente 16 quilogramas de resíduos plásticos no mar por ano (KILRYANN, 2022).

Estimasse que, se o atual cenário comercial se mantiver e medidas mitigatórias não forem tomadas, a poluição plástica poderá dobrar até o ano de 2030. Contudo, organizações do mundo todo vem trabalhando na busca de tecnologias que evitem a contaminação dos corpos hídricos e meios de reutilizar o material coletado (PACTO GLOBAL, 2023).

Boyan Slat, holandês de 28 anos, é um dos grandes nomes quando se fala da coleta de resíduos sólidos nos oceanos. Fundador da organização The Ocean Cleanup, Boyan foi um dos responsáveis pela criação de diversos produtos voltados para coleta de detritos plásticos no mar. Um dos seus maiores projetos, premiado internacionalmente, consiste em barcos navegando paralelamente em uma velocidade determinada carregando consigo uma espécie de rede que coleta o material flutuante (FIGUEIREDO, 2022).

Equipamentos controlados remotamente, como o Wasteshark, também vêm sendo amplamente utilizados na coleta de resíduos marinhos. O USV (veículo de superfície não tripulado) produzido pela empresa holandesa RanMarine Technology promete coletar, em um dos seus modelos, até uma tonelada de material por dia, além de enviar dados sobre o local onde estiver operando (LIMA, 2023).

Apesar de efetivos, os métodos de grande escala e equipamentos importados geram custos elevados tanto de importação como de operação, além do próprio valor agregado ao produto, o que acaba inviabilizando a disseminação para consumidores comuns e dificultando a disponibilização pelas prefeituras em pequenas cidades costeiras, por exemplo.

Sendo assim, este trabalho propõe o estudo e projeto de um veículo de superfície não tripulado (USV) para coleta de resíduos sólidos flutuantes em água doce, visando analisar modelos existentes, funções e métodos de operação para construir um protótipo de baixo custo atendendo pontualmente as necessidades do mercado atual.

1.1 Objetivos

Para atingir o propósito final do projeto foram definidos os seguintes objetivos:

- Com base em modelos existentes definir funções do USV que será projetado, visando criar um produto de baixo custo e fácil operação.
- Projetar um sistema microcontrolado, para operação e obtenção de dados do USV.
- Computacionalmente modelar a estrutura 3D do equipamento e produzir um protótipo funcional.
- Avaliar o desempenho do protótipo em funcionamento.
- Analisar a viabilidade de produção da estrutura plástica do USV utilizando resíduos recicláveis coletados durante o uso.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será exposta uma revisão literária sobre veículos de superfície não tripulados, microcontroladores, placas de desenvolvimento e tecnologias de comunicação com ênfase em LoRa.

2.1 Veículos não tripulados

Os USVs não foram os primeiros equipamentos a serem projetados para minimizar a exposição de humanos a atividades perigosas. Por volta de 1917, militares alemães tomaram conhecimento de técnicas utilizadas por povos austríacos no século XIX, que utilizavam bombas amarradas em balões de ar quente para atingir inimigos a longas distancias, com isso e somado ao avanço tecnológico ocasionado pela segunda guerra mundial, muitos novos drones foram fabricados pelo exército germânico (LIMA, 2023).

Além do uso militar, não há como falar de veículos controlados remotamente e não mencionar o Lunokhod 1, o primeiro rover enviado a Lua pela União Soviética em novembro de 1970. O robô foi criado para medir a radiação e estudar um pouco da superfície. A missão que terminou em setembro de 1971, quase um ano após o seu início, é considerada um marco na história da tecnologia não só pelo seu sucesso, mas pela fabricação do primeiro astromóvel do mundo, que utilizava tecnologias extremamente sofisticadas para época (PEOPLE, 2022).

Também chamados de USVs (*Unmanned Surface Vehicle*) os veículos de superfície não tripulados são embarcações autônomas que podem ser operadas remotamente sem a necessidade de qualquer humano a bordo (WRIGHT, 2022).

Utilizados desde 1950 para as mais diversas funções, podendo observar o comportamento de peixes, coletar informações do ambiente assim como o SL40 (Figura 1), trabalhar na contenção em derramamentos de óleo, detectar minas navais, ou ser somente um brinquedo de criança, estes equipamentos vêm se difundindo cada vez mais em todo o planeta.

Conforme Wright (2022), um estudo publicado na *Frontiers in Marine Science* aponta que a aceitação dos USVs como produto no mercado foi baixa devido a alguns pontos no viés burocrático e da parte da confiabilidade dos consumidores. Por outro lado, a mesma pesquisa mostra que o baixo custo de alguns modelos além da compatibilidade do produto para executar determinadas funções aliada a baixa complexidade de uso são pontos que favorecem a disseminação entre os primeiros usuários.

Figura 1 - Veículo de superfície não tripulado



Fonte: Oceanα (2023)

2.2 Microcontroladores e placas de desenvolvimento

Sendo voadores, aquáticos ou anfíbios, todos os modelos de drones foram se beneficiando dos avanços da tecnologia e de seus componentes eletrônicos, principalmente dos microcontroladores que eram fabricados desde 1977, mas evoluíram a passos largos com o passar do tempo.

Um microcontrolador pode ser definido basicamente como um computador em um único chip, sendo que esse chip contém internamente um processador, memória, periféricos de entrada e saída etc. (Figura 2) (PENIDO; TRINDADE, 2013).

O primeiro microcontrolador foi lançado em 1978 pela empresa INTEL, líder no desenvolvimento destas tecnologias até hoje. O controlador, que recebeu a sigla 8048, evoluiu com o tempo e em 1983 acabou dando origem a família 8051 que se popularizou em todo o mundo e devido a sua aceitação começou a ser produzida por outras empresas, o que auxiliou no seu aperfeiçoamento e modernização uma vez que cada fabricante introduzia novas tecnologias no produto (ZELENOVSKY; MENDONÇA, 2023).

A tecnologia avançava dia após dia, o mercado buscava cada vez mais dispositivos eletrônicos e a internet impulsionava tudo isso, mas a utilização de microcontroladores se restringia a profissionais e alguns entusiastas que já tivessem algum conhecimento na área.

Foi então que em 2005, na Itália, cinco pesquisadores criaram uma das placas de desenvolvimento mais populares de todo o mundo e que revolucionou o mercado de

dispositivos embarcados. Com o objetivo de criar um dispositivo funcional, fácil de programar e com um preço acessível, nasceram as placas Arduino (MADEIRA, 2018).

Figura 2 - Exemplo de placa de desenvolvimento ESP32



Fonte: AutoCore Robótica (2023)

Por seguirem um conceito de hardware livre, onde qualquer pessoa pode promover modificações e melhorias, aliada à sua facilidade de utilização, as placas Arduino foram se popularizando de maneira exponencial (MADEIRA, 2018). E assim como na criação do microcontrolador 8048, a aceitação dos usuários foi tão grande que diversas empresas demonstraram interesse na produção das suas próprias placas.

Dentre as diversas fabricantes de placas de desenvolvimento do mercado atual duas se destacam, a fundação *Raspberry PI Foundation*, responsável pelo microcomputador *Raspberry PI*, amplamente utilizado devido a sua robustez e capacidade de processamento, a *Heltec Automation*, desenvolvedora de diversos modelos de controladores, especialmente o modelo WIFI LoRa 32 (V2) que será abordado novamente nesta monografia.

2.3 Tecnologias de comunicação

Conforme a produção de produtos eletrônicos aumentava, aliada a necessidade de acompanhar as tecnologias que seguiam evoluindo, novos métodos de comunicação iam sendo desenvolvidos, tanto para utilização interna dos componentes de uma placa quanto para meios de comunicação sem fio, como o RX TX, um dos pioneiros no quesito.

Do pontapé inicial na comunicação via rádio até os sistemas *wi-fi* atuais, uma longa jornada foi trilhada, passando pela popularização da telefonia, comunicação infravermelha,

tecnologia Bluetooth, micro-ondas, até mesmo satélites foram enviados para órbita para garantir uma melhor transmissão de dados entre as pessoas.

Com isso, por volta de 2014 a empresa americana Semtech Corporation desenvolveu a tecnologia de comunicação sem fio nomeada de LoRa, com a intenção de padronizar as LPWAN proporcionando um alcance de até 5 Km em áreas urbanas e 15 em áreas rurais (BRAGA, 2021).

Podemos definir a comunicação LoRa como uma tecnologia de radiofrequência que permite comunicações a longa distância, de onde vem o seu nome ‘Long Range’. Tendo como benefícios o baixo consumo de energia, imunidade a interferências, entre outros, a rede LoRa vem sendo muito utilizada em projetos de IoT em todo o mundo (BERTOLETI, 2019).

Segundo Braga (2021), além de eficiente, a comunicação LoRa é segura, e conta com o padrão de criptografia AES-128 e ID único. Além disso, outros pontos de destaque são a alta capacidade de transmissão de dados, *software open source*, localização sem a utilização de GPS, e ainda a possibilidade de utilização da rede LoRaWAN.

3 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

Este estudo é classificado como uma pesquisa aplicada, focada tanto no desenvolvimento prático como teórico. Sendo assim, este capítulo delineará os métodos utilizados durante a elaboração do projeto e execução da montagem do protótipo. Aqui serão apresentadas as tecnologias de comunicação escolhidas para a operação do USV, os softwares utilizados para a modelagem da estrutura e programação dos dispositivos, bem como os modelos existentes em que o protótipo teve inspiração. Além disso, será apresentada a execução da montagem física do equipamento e seus componentes.

3.1 Definição de modelo

Se tem como objetivo futuro desenvolver um protótipo de USV de baixo custo e fácil operação, com isso em mente, equipamentos de grande porte como o SAM 3, desenvolvido pela empresa Saab Automobile foram diretamente descartados (SAAB, 2020).

Passando para os modelos de menor escala, foi observado que o produto da empresa holandesa RanMarine Technology, foi desenvolvido para os mesmos fins que se pretende empregar o protótipo dirigido por esse estudo. O modelo WasteShark (Figura 3) apresenta funções interessantes que poderiam ser adaptadas conforme a necessidade do usuário com soluções de menor custo, este equipamento se tornou o objeto de comparação deste trabalho.

Equipado com rede 4G, comunicação via rádio com alcance de até 5km, duração de bateria de 6 horas em modo autônomo entre diversas outras funções, o WasteShark foi projetado pensando no benefício do usuário e do meio ambiente. Capaz de recolher mais de 500Kg de detritos por dia, o produto é livre de emissão de carbono além de ser discreto e transportável (RANMARINE, 2023).

Figura 3 - USV WasteShark em operação



Fonte: RanMarine (2023)

3.2 Definição de sensores e microcontroladores

Com base no levantamento dos sensores utilizados no WasteShark e em outros modelos, se definiu que, no primeiro momento, o protótipo será capaz de realizar as seguintes funções: movimentação, leitura de temperatura, umidade, turbidez da água e tempo de operação.

Os sensores foram definidos de modo que sejam eficientes na sua proposta de medição, mas também atrativos com relação ao seu custo, além de serem compatíveis com o microcontrolador escolhido. Os mesmos serão abordados nos parágrafos a seguir apresentando suas características individuais e como irão atender a função desejada.

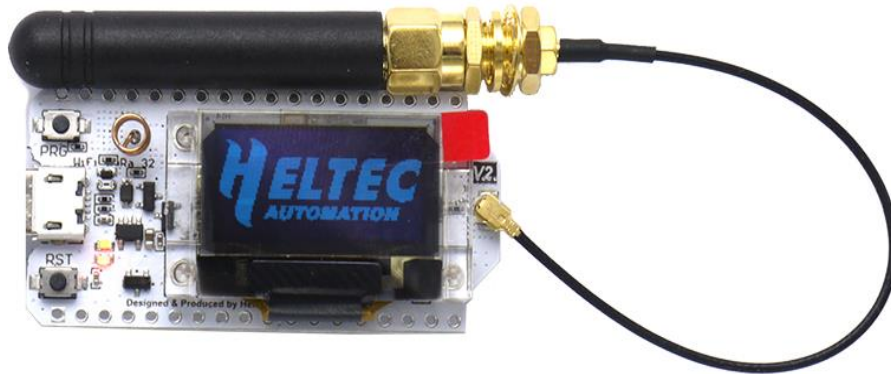
3.3 Microcontrolador ESP WiFi LoRa 32 V2

A união entre a tecnologia de comunicação LoRa e o ESP32 resultou em uma placa de desenvolvimento muito eficiente, com processamento rápido, display OLED integrado, que possibilita ao usuário a leitura de informações diretamente no dispositivo e as comunicações Wi-Fi, Bluetooth e o próprio LoRa, popularizaram muito o produto no meio da prototipagem (OLIVEIRA, 2019).

Este mesmo tipo de placa pode ser encontrado em diversas versões, variando seus fabricantes e alguns componentes. Para este estudo, utilizaremos a versão da fabricante HELTEC Automation, mais especificamente o modelo ESP WiFi LoRa 32 V2 (Figura 4). Esta versão é uma das mais populares do mercado e mantém um preço competitivo, podendo ser adquirido por R\$ 169,90 a unidade, em maio de 2023.

A comunicação LoRa é o ponto fundamental para a escolha desta família de microcontroladores, sabendo que o USV será operado em áreas remotas que muitas vezes não contam com uma cobertura de rede Wi-Fi, o LoRa permitirá que o usuário controle o equipamento em qualquer ambiente. O dispositivo oferece também entradas digitais e analógicas suficientes para a quantidade de sensores que serão utilizados no protótipo e tem um baixo consumo de energia, o que possibilita a alimentação do mesmo com baterias pequenas e portáteis.

Figura 4 - Placa de desenvolvimento HELTEC ESP WiFi LoRa 32 V2



Fonte: HELTEC Automation (2023)

3.4 Sensores DHT22 e ST100

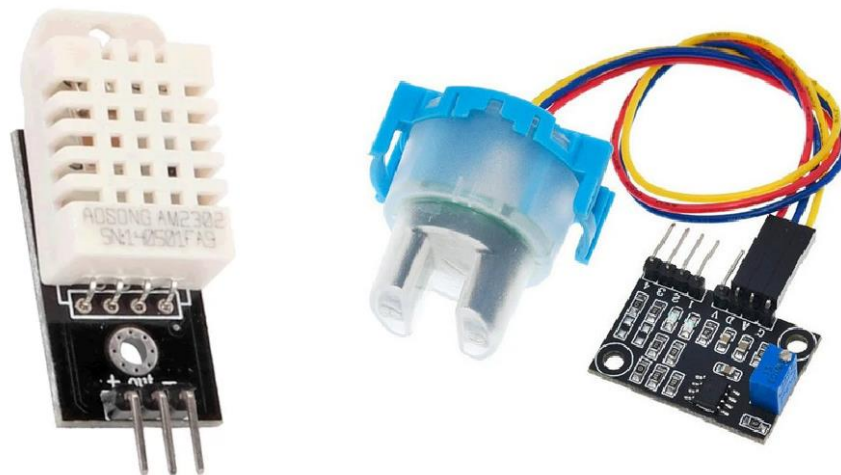
As grandezas que o USV será capaz de mensurar serão temperatura, umidade e turbidez da água, sendo lidas através dos sensores DHT22 e ST100, respectivamente. A escolha pelo sensor DHT22 se deu devido a praticidade que o mesmo apresenta, conseguindo realizar a medição de 2 variáveis em um único dispositivo, já o ST100 é o candidato com o melhor custo-benefício que se encontra no mercado atual.

O DHT22 (Figura 5) é um sensor de temperatura e umidade que conta com somente um pino de saída digital. Utilizando um sensor de umidade capacitivo e um termistor para medir o ar circundante, o produto é capaz de trabalhar entre faixas de temperatura de -40 a 80°C e de 0 a 100% de umidade, com uma precisão satisfatória, além de operar com uma frequência de obtenção de amostras com atualizações a cada 2 segundos (ELETROGATE, 2023).

Diferente dos sensores comuns de temperatura e umidade, que mantêm seus valores na casa dos R\$ 30,00 a grande maioria dos sensores de turbidez disponíveis no mercado atual possuem um alto custo, alcançando valores superiores a R\$ 3.000,00, porém, o equipamento escolhido para o protótipo, o ST100 (Figura 5), pode ser adquirido por aproximadamente R\$ 130,00 e ainda apresenta eficiência na sua operação.

Hoje, os equipamentos disponíveis para venda se dividem basicamente pelo valor e nível de precisão desejado, apresentando sensores robustos e de alto desempenho que conseqüentemente tem um preço muito maior, e modelos voltados para prototipagem como o ST100, que possui resolução suficiente para atender os objetivos deste estudo além de exigir um menor investimento.

Figura 5 - Sensores DHT22 e ST100



Fonte: Adaptada Eletrogate (2023) e Marino Store (2023)

O sensor ST100 funciona utilizando um sistema ótico, associado ao efeito Tyndall, que descreve a dispersão da luz projetada em um líquido. Em operação, um LED fará o trabalho de emitir um feixe de luz enquanto um fototransistor será responsável pela captação. Sendo assim, em águas claras a quantidade de luz emitida pelo LED será praticamente a mesma que chegará ao receptor, e à medida que a turbidez da água aumenta, menor será essa captação (STRAUB, 2020).

Todas as tecnologias aqui citadas já haviam sido definidas e apresentadas no referencial teórico, portanto, para a presente etapa do trabalho os sensores foram adquiridos, configurados e testados. Os resultados obtidos serão apresentados na seção resultados e discussões.

3.5 Motores e relés

O método de movimentação escolhido para o USV consiste no acionamento dos motores com o conceito de ponte H, onde os relés se chaveiam possibilitando os motores a operarem em sentido horário e anti-horário. Para tal uso, foram adquiridas 2 unidades de módulos relés modelo SRD-05VDC-SL-C, 5V, 2 canais, que podem ser acionados pelas entradas digitais do microcontrolador e compartilham da mesma tensão de operação.

Os motores mais indicados para operação em ambientes úmidos ou até mesmo submersos são os modelos *brushless* pelo seu modelo construtivo ser favorável a operação nestas condições, por outro lado, o custo destes produtos acaba sendo muito maior do que o de um motor DC comum, além de precisar de módulos eletrônicos para garantir o seu funcionamento.

Sendo assim, para evitar o aumento do custo final do protótipo foram adquiridos 2 motores DC modelo 1030541/3J2152-06, 12V, com uma rotação com carga de 3000Rpm, suficiente para garantir a dirigibilidade do USV.

A isolação dos motores contra os respingos d'água do ambiente foi assegurada na confecção da estrutura do protótipo, garantindo que os mesmos fiquem sempre acima do nível d'água e não entrem em contato com o líquido.

3.6 Softwares de programação e modelagem 3D

Para a programação do microcontrolados foi utilizada a plataforma Arduino IDE. A escolha se deu pela simplicidade de utilização, além da disponibilidade de diversas bibliotecas prontas e rico ambiente de testes.

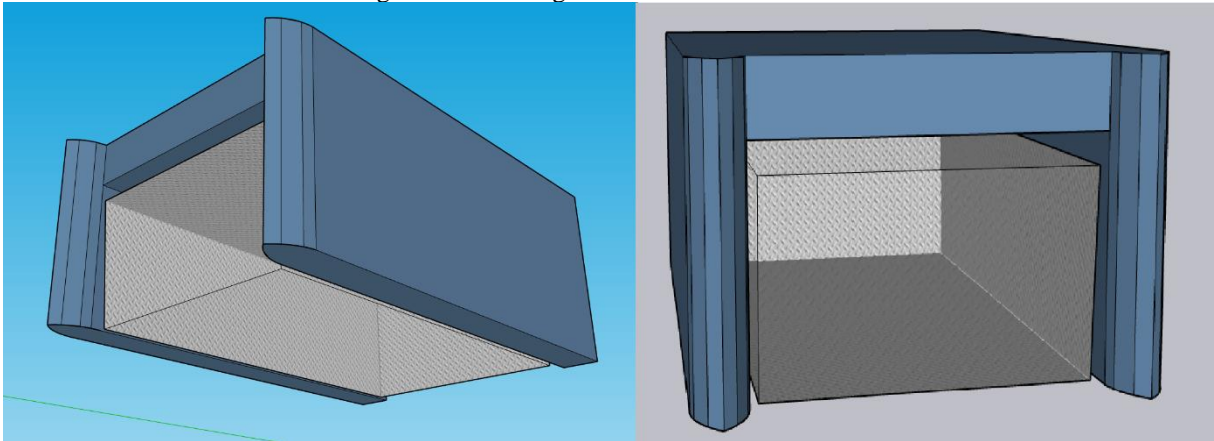
Os códigos dos sensores apresentados no referencial teórico foram adaptados para operar paralelamente, a comunicação LoRa teve seu alcance reduzido de 1,5km para aproximadamente 700m, através da adaptação do código, a fim de garantir uma maior qualidade de comunicação na faixa de operação do USV, além de permitir um aumento na frequência de obtenção de resultados e amostragem de dados.

O modelo 3D da estrutura (Figura 6) foi feito através do software SketchUp, desenvolvido especificamente para este tipo de modelagem, o programa pode ser executado através do navegador, é intuitivo e gratuito, além de atender os requisitos necessários para este trabalho.

A estrutura foi projetada se baseando no modelo de USV WasteShark da empresa holandesa RanMarine Technology, observando que o tipo de construção da carcaça, dentre os modelos mais populares do mercado, é o que apresenta uma maior simplicidade de montagem e uma compatibilidade com o método de dirigibilidade escolhida para o protótipo.

As medidas adotadas para a estrutura do USV foram feitas levando em consideração o tamanho dos sensores, motores, placas de circuito e a instalação dos equipamentos dentro do produto final.

Figura 6 – Modelagem 3D da estrutura do USV



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

3.7 Elaboração das placas de circuito

Conhecendo as possibilidades da produção das placas através de fresadora CNC, corrosão em percloroeto e outros métodos populares, foi definida a utilização de placas de fenolite. O método foi escolhido por apresentar custo baixo, não exigir máquinas avançadas ou um conhecimento específico na área.

Os primeiros testes e calibrações foram realizados com os circuitos de sensores, microcontrolador e relés montados em placas de ensaio do tipo protoboard. Para a montagem final, os componentes foram passados para a placa de fenolite e soldados.

3.8 Fabricação do protótipo e montagem final

Após a conclusão da modelagem 3D da estrutura do USV, os arquivos foram enviados a uma empresa especializada em montagens em policarbonato. O material foi escolhido por apresentar boa resistência, leveza e não necessitar de moldes ou gabaritos como em trabalhos de plástico injetado. O policarbonato, por outro lado, acaba sendo um material mais caro, o que o inviabiliza no caso de uma futura implementação do USV como produto.

No decorrer deste estudo será apresentada uma possível solução para a substituição do policarbonato como material da montagem da carcaça, sendo utilizado plástico reciclado, coletado durante a própria operação do dispositivo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após expor a condução das atividades, este capítulo irá discorrer sobre os resultados dos testes realizados nos sensores em sua montagem final. Além disso, serão destacados os resultados obtidos durante a operação do USV. Por último, serão abordados aspectos relacionados a melhorias e aprimoramentos visando alcançar resultados mais satisfatórios em uma potencial implementação do protótipo como produto.

4.1 Desempenho individual dos sensores e tecnologias

Assim como explanado no referencial teórico, alguns sensores já haviam sido simulados computacionalmente, e para este estudo todos foram adquiridos e analisados individualmente.

O único sensor que já havia sido testado anteriormente foi o ST100, responsável pela leitura da turbidez da água. Neste caso, foram feitos apenas novos testes mantendo a sua configuração anterior apenas para comprovar o seu funcionamento, que se manteve com resultados satisfatórios.

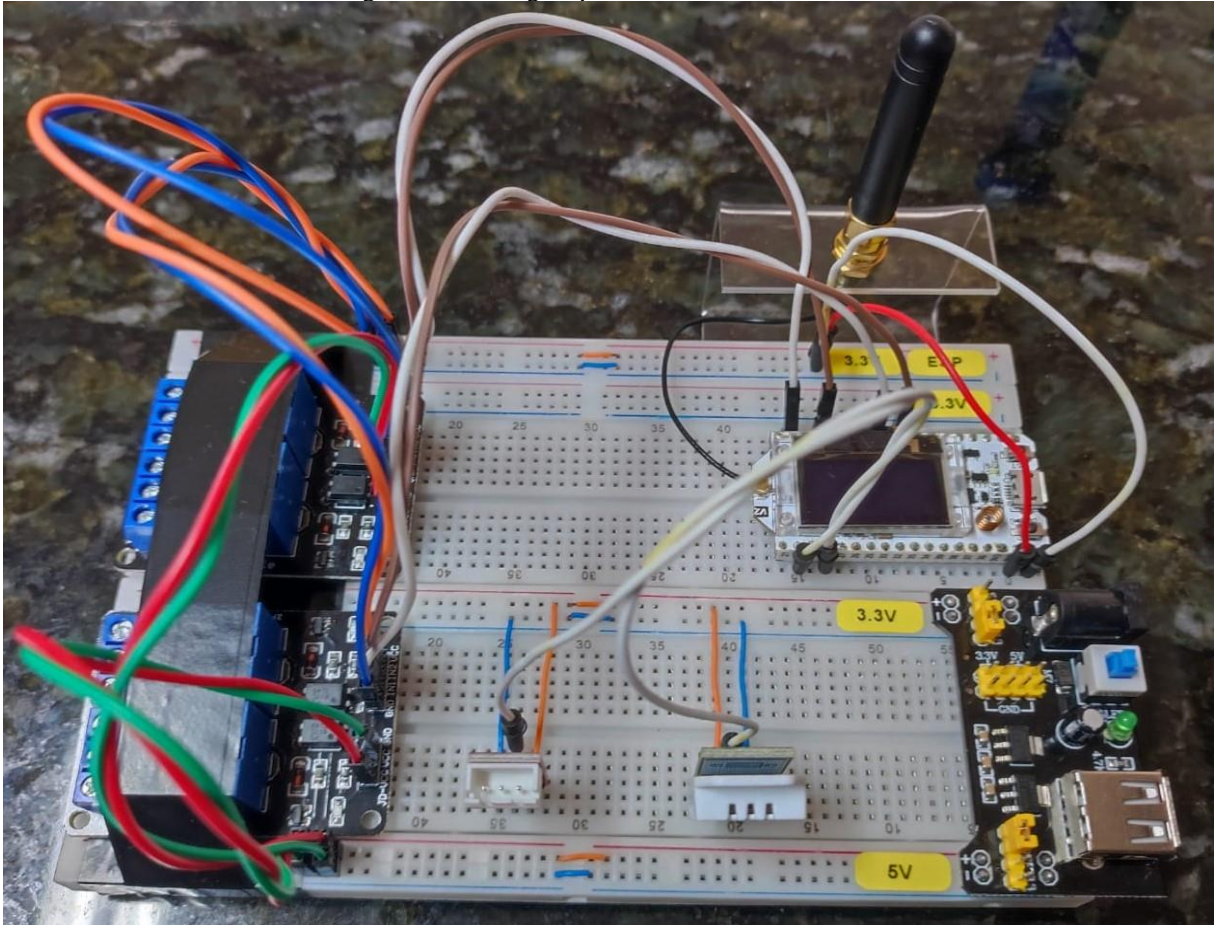
Já para o sensor DHT22, foi necessária a simulação em bancada (Figura 7), para comparar os resultados do dispositivo com os valores apresentados na simulação via software. Para o ensaio foram comparadas temperatura e umidade obtidas através do site weather.com, com os valores apresentados pelo DHT22. O site informou os valores de 25 graus e umidade em 45%, comparados aos valores de 24 graus e 43% de umidade lidos pelo sensor. Os resultados podem ser considerados eficientes para o propósito que estão empregados pois apresentaram um erro de aproximadamente 4% e 5% para temperatura e umidade, respectivamente.

Com a comunicação LoRa testada e comprovada na primeira etapa deste estudo, passamos para a etapa de testes do acionamento de motores através da ponte H, o que possibilita a dirigibilidade do USV.

Para este teste, os módulos reles foram montados na placa de fenolite que recebeu todos os outros componentes do USV, de maneira que o microcontrolador possa acionar as entradas digitais do rele através de pulsos enviados pelo controle do USV. A alimentação dos motores foi feita através de uma bateria FFB-018 de 11.1V e taxa de descarga de 20C, muito utilizada em aerodelismo, a escolha deste modelo se deu pela sua capacidade de carga aliada a comodidade do seu tamanho e peso que não impactam na flutuabilidade e estabilidade do USV.

Após a ligação elétrica entre os relés e os motores os testes procederam utilizando um sinal enviado pelo controle, atuando como emissor, que acionam 4 portas do receptor instalado na placa principal do USV. Estas portas são responsáveis por acionar os relés que chaveiam permitindo a operação dos motores no sentido horário e anti-horário. Com isso foi possível validar a utilização do método de ponte H para a dirigibilidade do protótipo.

Figura 7 – Montagem parcial e testes dos sensores



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

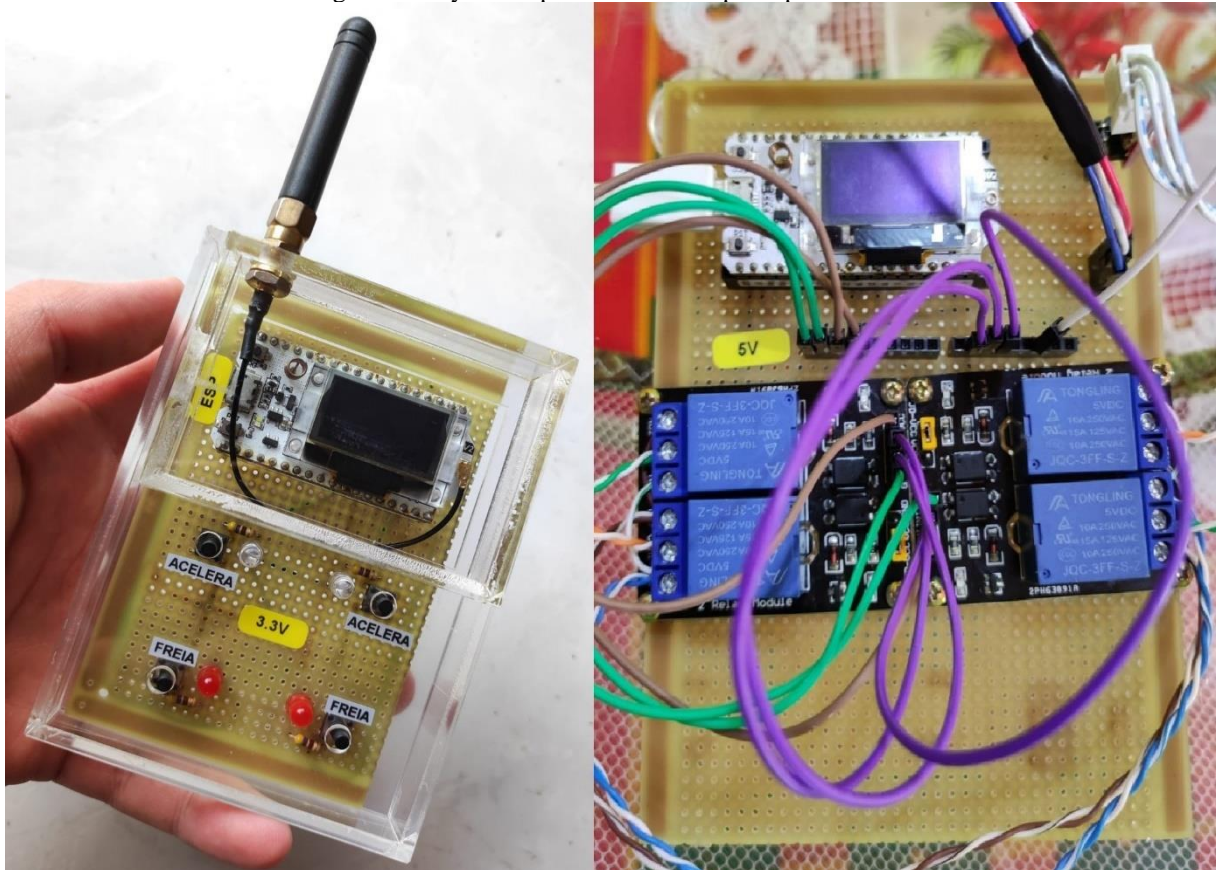
Com os sensores apresentando resultados satisfatórios nos seus testes individuais e a tecnologia de comunicação LoRa se mostrando eficiente, foi possível avançar para a etapa de montagem final do protótipo na sua estrutura definitiva.

4.2 Montagem final do protótipo e teste

A montagem final do protótipo teve início após os testes individuais dos sensores, nesta etapa foram iniciadas as instalações dos equipamentos na estrutura do USV e os testes operacionais finais.

No primeiro momento foi realizada a montagem dos circuitos em placas de fenolite. Após finalizadas, a placa do emissor que atua como joystick do USV recebeu uma moldura produzida em policarbonato (Figura 8), já a placa principal foi apenas acomodada no interior da estrutura do veículo, produzida no mesmo material.

Figura 8 – Joystick e placa de circuito principal do USV



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Os testes finais foram realizados em uma piscina e tiveram como objetivo analisar a eficácia da dirigibilidade do USV, além de comparar os valores que os sensores informaram com valores simulados.

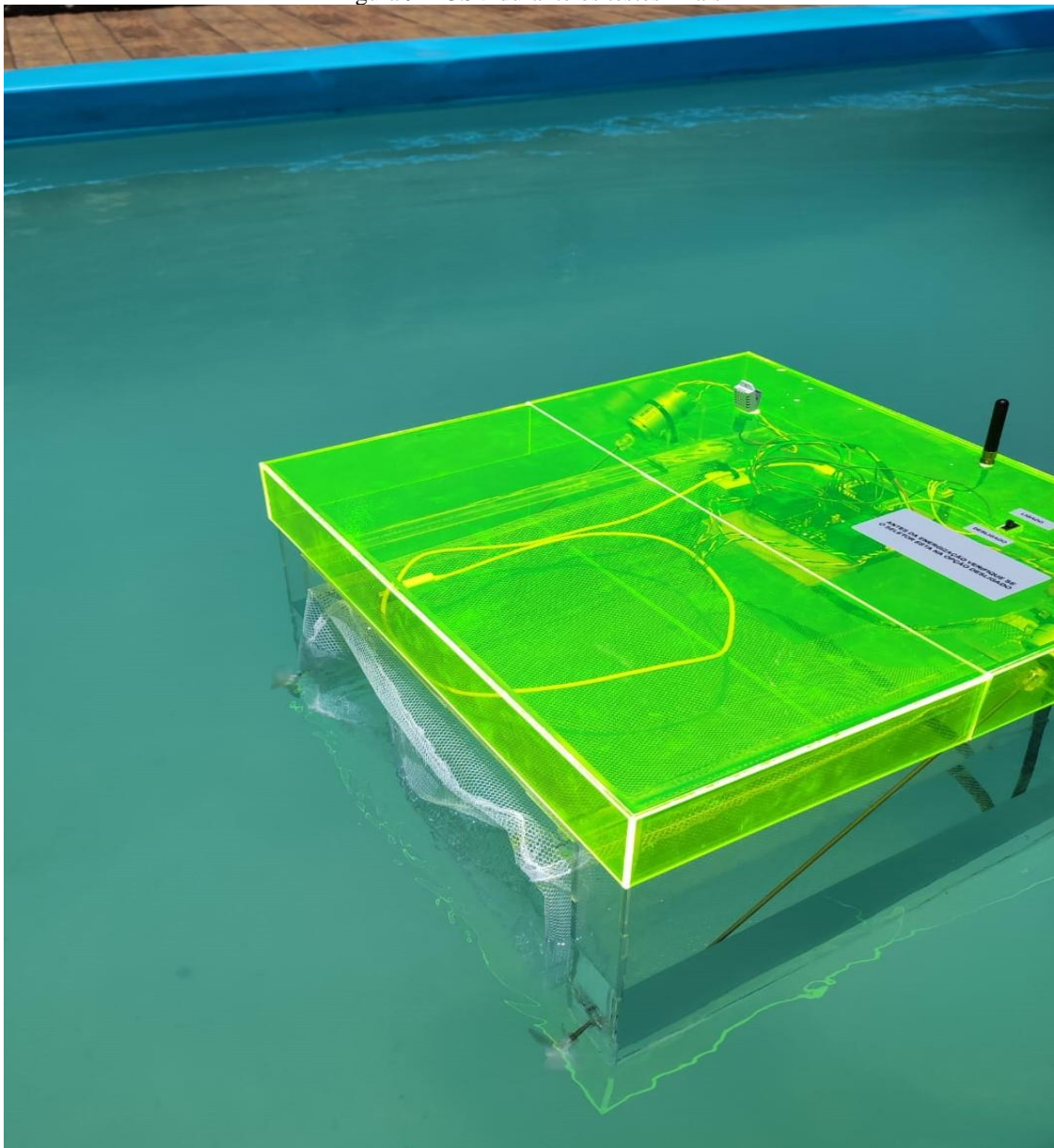
O desempenho do protótipo foi satisfatório de maneira geral, os sensores que haviam sido testados individualmente anteriormente se mantiveram funcionando com a mesma precisão, exceto na aferição da umidade do sensor DHT22, que teve seu erro relativo acrescido de 5% para aproximadamente 7%.

A estrutura do protótipo (Figura 9) se mostrou sólida e teve uma excelente dirigibilidade, que possibilitou a fácil operação do USV mesmo para crianças. Essa

manobrabilidade possibilitou a coleta rápida de resíduos evidenciando um ponto positivo da montagem.

As dimensões do protótipo foram calculadas com base nos sensores e em uma escala de redução do modelo WasteShark, porém, em locais onde há um acúmulo muito grande de resíduos o compartimento de coleta do USV pode encher rapidamente, fazendo com que seja necessária a frequente limpeza pela parte do usuário.

Figura 9 – USV durante os testes finais



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O teste em local controlado também possibilitou o estudo de viabilidade da produção da estrutura do equipamento utilizando material reciclado, uma vez que foi possível simular a

quantidade aproximada de material coletado pelo USV. Durante os testes o protótipo foi capaz de coletar, em média, 180 gramas de resíduos antes de necessitar que o operador esvaziasse o compartimento de coleta.

4.3 Produção da estrutura a partir de material reciclado

Durante os testes foram utilizados materiais comumente encontrados em leitos de riachos e córregos atingidos pela poluição, com o intuito de simular a utilização do protótipo no local onde ele foi desenvolvido para operar.

Para analisar a viabilidade da produção da estrutura do USV utilizando estes materiais foram observadas algumas condições como:

- A distância com que o operador dirige o veículo da sua posição até o aglomerado de resíduos pode variar, o que altera a quantidade coletada em um determinado período;
- Dependendo do local de operação, os resíduos podem ser majoritariamente orgânicos ou irre recuperáveis, diminuindo a quantidade útil coletada para o fim que se objetiva;
- A reciclagem de materiais poliméricos é um processo dividido em diversas etapas, que podem ser mais eficientes de uma empresa para outra, o que pode variar a quantidade de matéria prima consumida para se obter o produto final.

Com isso, os testes procederam com a coleta de materiais totalmente recicláveis onde, da carga total coletada somente 60% seria considerada, a fim de assimilar a uma situação real. O operador esteve a uma distância de 5 metros dos resíduos e foram analisadas 5 trajetórias completas de coleta, considerando operação até o local poluído, coleta, volta até o operador, descarga de resíduos e volta a operação.

Após a bateria de testes foi contabilizada um total de aproximadamente 850g de plástico coletado, sendo que somente 60% seria considerado, totalizando cerca de 510g de material após 5 percursos completos de operação.

Considerando que uma empresa de reciclagem tenha uma eficiência de 70% com relação a matéria prima que entra e o produto final, podemos estabelecer que dos 510g de material coletado suscetível ao processo de reciclagem somente 360g voltariam a ser plástico novamente.

Na confecção da estrutura do protótipo foram utilizadas aproximadamente 1,6m² de policarbonato, logo, seria necessária uma quantidade próxima a esta de plástico para a fabricação do USV, utilizando este material.

Para calcular a quantidade aproximada de polímero reciclável será utilizado o tipo PET, um dos materiais mais comuns achados nos leitos dos rios, e para o cálculo podemos considerar a espessura da chapa de 2 milímetros, assim como utilizada no protótipo real. Com isso podemos calcular o volume necessário em centímetros cúbicos usando a fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= \text{Área} \times \text{espessura} \\ \text{Volume} &= 2\text{m}^2 \times 10^4\text{cm}^2/\text{m}^2 \times 0,2\text{cm} \\ \text{Volume} &= 4000\text{cm}^3 \end{aligned}$$

Multiplicando esse volume pela densidade média do PET, obtemos a quantidade aproximada de plástico necessário:

$$\begin{aligned} \text{Massa de PET} &= \text{Volume} \times \text{Densidade} \\ \text{Massa de PET} &= 4000\text{cm}^3 \times 1,38\text{g}/\text{cm}^3 \\ \text{Massa de PET} &= 5520\text{g} \end{aligned}$$

Portanto, aproximadamente 5520 gramas (ou 5,52 kg) de plástico PET podem ser necessários para produzir uma chapa de 2 metros quadrados com uma espessura de 2 mm. As dimensões ligeiramente maiores definidas no cálculo do material PET levam em conta possíveis reforços na estrutura por conta da maior fragilidade do material escolhido, perdas no processo de reciclagem e afins.

Com estes resultados se pode afirmar que seriam necessários aproximadamente 77 percursos de operação e coleta de resíduos conforme as condições simuladas. Os cálculos apresentados têm caráter comparativo e utilizam valores aproximados, porém, pode se afirmar que em um regime de operação do USV tido como normal, um operador pode retirar dos corpos hídricos material reciclável suficiente para construir a estrutura do próprio equipamento em poucos dias, destinando o material coletado para o local correto, beneficiando o meio ambiente e reduzindo o custo de produção.

4.4 Considerações finais do capítulo

Os custos para a produção do protótipo final foram divididos em duas tabelas que apresentam os valores do controlador e da placa principal. O valor total final do USV foi de R\$ 1.515,02

Tabela 1 – Custos Joystick

| Custos para a fabricação do controle do USV (Joystick) | | | |
|---|-------------------|--------------------------|------------------|
| Item | Quantidade | Preço por unidade | Total |
| Placa de fenoliteilhada 10x20cm | 1 | R\$12,00 | R\$12,00 |
| Placa HELTEC ESP WiFi LoRa 32 V2 | 1 | R\$170,00 | R\$170,00 |
| Barra de 10 pinos fêmea Arduino | 5 | R\$1,79 | R\$8,95 |
| Power bank 10000 Mah | 1 | R\$39,00 | R\$39,00 |
| Diodo emissor de luz LED 5mm | 4 | R\$2,49 | R\$9,96 |
| Resistores 470 Ohms | 4 | R\$0,10 | R\$0,40 |
| Push button 4 pinos | 4 | R\$3,00 | R\$12,00 |
| Estrutura do controle em policarbonato | 1 | R\$0,00 | R\$0,00 |
| CUSTO TOTAL | | | R\$252,31 |

* Custo da estrutura do controle em policarbonato considerado juntamente a estrutura principal.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 2 – Custo placa principal

| Custos para a fabricação do USV (placa e embarcação) | | | |
|---|-------------------|--------------------------|--------------------|
| Item | Quantidade | Preço por unidade | Total |
| Placa de fenoliteilhada 10x20cm | 1 | R\$12,00 | R\$12,00 |
| Placa HELTEC ESP WiFi LoRa 32 V2 | 1 | R\$170,00 | R\$170,00 |
| Módulo relé 2 canais 5V | 2 | R\$21,90 | R\$43,80 |
| Barra de 10 pinos fêmea Arduino | 5 | R\$1,79 | R\$8,95 |
| Motor DC 12V 3000RPM | 2 | R\$11,15 | R\$22,30 |
| Helice náutica 36mm | 2 | R\$12,50 | R\$25,00 |
| Sensor de turbidez ST100 | 1 | R\$130,00 | R\$130,00 |
| Sensor de temperatura DHT22 | 1 | R\$22,00 | R\$22,00 |
| Jumper elétrico macho x fêmea Arduino | 12 | R\$0,40 | R\$4,80 |
| Power bank 10000 Mah | 1 | R\$39,00 | R\$39,00 |
| Bateria 12V 20c | 1 | R\$239,00 | R\$239,00 |
| Estrutura do USV em policarbonato | 1 | R\$544,86 | R\$544,86 |
| Eixo para motor | 2 | R\$0,50 | R\$1,00 |
| CUSTO TOTAL | | | R\$1.262,71 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Com um custo total de R\$ 1.515,02 o protótipo apresenta um valor muito menor em comparação a modelos disponíveis no mercado que atingem a casa dos US \$ 17.000 podendo ultrapassar US \$ 23.000 em modelos com funções mais específicas.

5 CONCLUSÃO

Este estudo teve como propósito estudar e desenvolver um veículo de superfície não tripulado para coleta de resíduos sólidos flutuantes em água doce, analisando modelos existentes e mantendo um custo baixo, o que possibilita a adesão do produto por diversas faixas de público.

A revisão bibliográfica e o estudo de mercado possibilitaram o entendimento de métodos de comunicação e sensoriamento utilizados em modelos existentes de USV, assim como um valor aproximado dos seus custos. Com estas informações foi possível decidir quais grandezas seriam mensuradas além dos sensores utilizados.

Durante a configuração, modelagem e montagem do protótipo os sensores e tecnologias escolhidas puderam ser validados, apresentando resultados satisfatórios como um alcance de comunicação via LoRa na casa dos quilômetros e valores de erro de medições de 7%, que não comprometem o funcionamento do produto. Ao final da montagem havia sido construído um protótipo capaz de aferir temperatura, umidade e turbidez do líquido de maneira eficaz além de possuir uma manobrabilidade fácil e intuitiva.

Na bateria de testes final foram realizadas simulações de coletas de resíduo para ser reciclado, e com isso analisada a possibilidade da construção da estrutura do USV utilizando o próprio material recuperado. O levantamento utilizou valores aproximados que podem variar dependendo da utilização do produto final, mesmo assim foi possível concluir que em poucos dias de operação é possível retirar dos corpos hídricos material suficiente para produzir a estrutura do USV, dando destino a parte do material coletado.

Ao final do estudo foi realizado o somatório de custos da fabricação do protótipo considerando equipamentos e a montagem terceirizada. O valor total foi de R\$ 1.515,02, que consegue se manter consideravelmente atrativo quando equiparado ao WasteShark, ou a modelos disponíveis no mercado que chegam a custar US\$ 24.000.

Mesmo tendo sucesso nos objetivos que o estudo propunha, ainda existem margem para melhoria visando a fabricação de um produto comercializável, tal como a utilização de sensores mais precisos para diminuir o percentual de erro.

Assim, conclui-se que é possível desenvolver um veículo de superfície não tripulado para coleta de resíduos sólidos flutuantes capazes de atender algumas das necessidades primordiais do usuário que busca tal equipamento, apresentando um custo inferior comparado

as opções do mercado e sendo eficiente no que se propõe, dando margem para que este tipo de equipamento seja acessível a uma ampla gama de consumidores.

REFERÊNCIAS

AUTOCORE ROBÓTICA. **Home**. Disponível em: <https://www.autocorerobotica.com.br/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

BERTOLETI, Pedro. **Projetos com ESP32 e LoRa**. 1 ed. São Paulo: Instituto Newton C. Braga, 2019.

BRAGA, Newton C. **O que você precisa saber sobre LoRa e LoRaWan Ver 1 (TEL271)**. Instituto Newton C. Braga, 01 de agosto de 2021. Disponível em: <https://www.newtonbraga.com.br/index.php/iot/18459-o-que-voce-precisa-saber-sobre-lora-e-lorawan-rev-1-tel271.html#:~:text=LoRa%20foi%20criada%20pela%20Semtech,podem%20durar%20at%203%20anos>. Acesso em: 20 abr. 2023.

ELETROGATE. **Sensor de umidade e temperatura DHT22/Am2302**. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/sensor-de-umidade-e-temperatura-dht22-am2302>. Acesso em: 20 abr. 2023.

FIGUEIREDO, P. **Quem é o jovem holandês que promete ser capaz de limpar 80% do lixo do oceano até 2030**. 01 de julho de 2022. G1 – Meio Ambiente. Disponível em: <https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2022/07/01/quem-e-o-jovem-holandese-que-promete-ser-capaz-de-limpar-80percent-do-lixo-do-oceano-ate-2030.ghtml>. Acesso em: 28 mai. 2023.

HELTEC AUTOMATION. **Home**. Disponível em: <https://heltec.org/>. Acesso em: 28 mai. 2023.

KILRYANN, A. **O Brasil está entre os 20 países que mais contribuem para a poluição nos oceanos**. 03 de agosto de 2022. Jornal USP. Disponível em: <https://jornal.usp.br/atualidades/o-brasil-esta-entre-os-20-paises-que-mais-contribuem-para-a-poluicao-nos-oceanos/>. Acesso em: 28 mai. 2023.

LIMA, A. **Afinal, quem criou o primeiro drone? Quando a tecnologia surgiu?** 02 de janeiro de 2023. Concursos no Brasil. Disponível em: <https://concursosnobrasil.com/afinal-quem-criou-o-primeiro-drone-quando-a-tecnologia-surgiu/>. Acesso em: 10 jun. 2023.

MARINO STORE. **Home**. Disponível em: <https://www.marinostore.com/>. Acesso em: 17 mai. 2023.

MEDEIRA, D. **Como as placas de desenvolvimento estão revolucionando o mundo tecnológico?**. 09 de fevereiro de 2018. Vida de Silício. Disponível em: <https://portal.vidadesilicio.com.br/revolucao-das-placas-de-desenvolvimento/>. Acesso em: 16 abr. 2023.

OCEANα. **Home**. Disponível em: <https://www.oceanalpha.com/>. Acesso em: 17 mai. 2023.

OLIVEIRA, E. **Conhecendo a Placa WiFi LoRa ESP32 (433MHz/868MHz/915MHz)**. Blog Master Walker Electronic Shop. 2019. Disponível em:

<https://blogmasterwalkershop.com.br/embarcados/esp32/conhecendo-a-placa-wifi-lora-esp32-433mhz-868mhz-915mhz>. Acesso em: 03 mai. 2023.

PACTO GLOBAL. **Blue Keepers**. UM Global Compact – Pacto Global Rede Brasil. Disponível em: <https://pactoglobal.org.br/pg/blue-keepers>. Acesso em: 20 abr. 2023.

PENIDO, É. de C. C.; TRINDADE, R. S. **Microcontroladores**. Ouro Preto: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, 2013.

PEOPLE. **Conheça 6 robôs que foram para o espaço**. 18 de abril de 2022. Disponível em: <https://www.people.com.br/noticias/robotica/conheca-6-robos-que-foram-para-o-espaco#:~:text=Lunokhod%20foi%20um%20rover,um%20pouco%20de%20sua%20superf%C3%ADcie>. Acesso em: 06 jun. 2023.

RANMARINE. **WasteShark advantages**. Disponível em: <https://www.ranmarine.io/products/wasteshark-advantages/>. Acesso em: 08 jun. 2023.

SAAB. **Veículos não-tribulados: alta tecnologia na superfície do mar**. 13 abril de 2020. SAAB. Disponível em: <https://www.saab.com/pt-br/markets/brasil/historias/2020/veiculos-nao-tribulados-alta-tecnologia-na-superficie-do-mar>. Acesso em: 27 mai. 2023.

STRAUB, M. G. **Sensor de turbidez – projeto de leitura da qualidade da água**. 12 de fevereiro de 2020. Usina Info – Eletrônica e Robótica. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/blog/sensor-de-turbidez-projeto-de-leitura-da-qualidade-da-agua/>. Acesso em: 14 mai. 2023.

ZELENOVSKY, R.; MENDONÇA, A. **Arquitetura de Microcontroladores Modernos**. Disponível em: http://www.mzeditora.com.br/artigos/mic_modernos.htm. Acesso em: 14 mai. 2023.

WRIGHT, C. **A complete guide to unmanned surface vehicles (USV)**. 28 de julho de 2022. AZO Robotics – editorial feature. Disponível em: <https://www.azorobotics.com/Article.aspx?ArticleID=540>. Acesso em: 06 jun. 2023.