



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - UFPA
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BARRAGEM E
GESTÃO AMBIENTAL - PEBGA

LEANDRO RAMOS MARTINS

CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE BARCO ROBÔ DE BAIXO CUSTO PARA
ANÁLISE DE QUALIDADE DE ÁGUA EM RIOS E RESERVATÓRIOS

TUCURUÍ

2020

LEANDRO RAMOS MARTINS

**CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE BARCO ROBÔ DE BAIXO CUSTO PARA
ANÁLISE DE QUALIDADE DE ÁGUA EM RIOS E RESERVATÓRIOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Barragens e Gestão Ambiental do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Segurança de Barragem e Gestão Ambiental.

Prof. Dr. Rafael Suzuki Bayma
Orientador

Tucuruí
2020

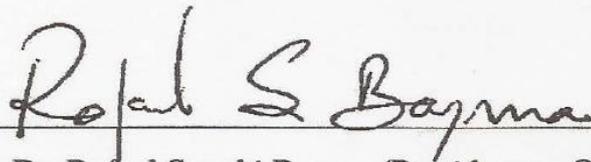
LEANDRO RAMOS MARTINS

**CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE BARCO ROBÔ DE BAIXO CUSTO PARA
ANÁLISE DE QUALIDADE DE ÁGUA EM RIOS E RESERVATÓRIOS**

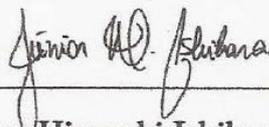
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Barragens e Gestão Ambiental do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Segurança de Barragem e Gestão Ambiental.

Prof. Dr. Rafael Suzuki Bayma
Orientador

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Rafael Suzuki Bayma (Presidente e Orientador)



Prof. Dr. Junior/Hiroiyuki Ishihara (Examinador Interno)



Prof. Dr. Antônio da Silva Silveira (Examinador Externo)

Tucuruí
2020

Aos meus pais Jesus e Vera Martins e minha
esposa Tarila e filha Vera Beatriz Martins.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, por me dar essa oportunidade de realização e de superar todas as dificuldades e me manter motivado para me conduzir a este título de mestre, me proporcionando saúde e inspiração para a conclusão deste objetivo.

Agradeço também a minha esposa Tarila, minha filha Vera Beatriz e a meus pais Jesus e Vera que mesmo distante neste último ano, me motivaram e me obrigaram a manter meu esforço para conciliar o trabalho, mudanças de cidades, e muita saudade para que pudesse chegar a este momento.

Agradeço aos irmãos Carlos Eduardo e Ana Flavia, cunhados e sobrinhos que dão o apoio indireto nos momentos que nos encontramos, nos churrascos, nas festas e comemorações, que fazem valer a pena o retorno a casa, sempre unidos e alegres.

Agradeço aos novos amigos, que neste ano de 2019 foram muitos após passar por quatro cidades diferentes conforme necessidade minha e de minha atual empresa JBS Friboi, que deram apoio na medida do possível, com auxílios, retirada de dúvidas, saudáveis discussões e liberações para viagens.

Agradeço aos professores Rafael Bayma, Fernanda Gouvêa, Junior Ishihara que apesar da distância e dificuldades acreditaram em meu trabalho e me auxiliaram para que eu alcançasse este êxito.

Agradeço aos amigos da UFPA - PEBGA Turma 2017, que juntos estivemos por dois anos, e que vários fizemos laços firmes de amizades que manteremos durante a vida, em especial aos colegas Abner Bezerra, Larissa, Rafaela, Fábria, Bruno, Pablo e todos os demais.

RESUMO

A Agência Nacional de Águas por meio de seu Programa Nacional de Avaliação da Qualidade da Água opera uma rede monitoramento com 1874 pontos de registro de dados em todo o território nacional em conjunto com os estados, onde é realizada a análise de quatro parâmetros básicos. Segundo a Agência Nacional das Águas a quantidade de pontos se mostra insuficiente para que o monitoramento da qualidade das águas dos lagos e rio possam ser avaliados durante todo o seu percurso, o que promove a falta de dados e informações gerando lacunas no monitoramento que não se pode reverter. Uma opção que está em fase de desenvolvimento para a solução deste problema que não é exclusivo do Brasil, é a utilização de barcos robôs, que tem se mostrado uma tecnologia promissora. Este trabalho propõe a construção de um protótipo de barco robô para análise de qualidade de água de baixo custo, e promove a análise da utilização das embarcações robóticas com o objetivo de auxiliar as atividades de coleta e análise da qualidade da água com o intuito de facilitar e agilizar o monitoramento. O protótipo desenvolvido contemplou a utilização de tecnologias de baixo custo em seu projeto e montagem mecânica, elétrica e eletrônica além da interface homem máquina. O barco robô foi testado em bancada e em campo, obtendo resultados satisfatórios para as medições de ph, temperatura e coleta, refrigeração e transporte de amostras de água, função esta, não observada em outros projetos de barcos robôs.

Palavras-chave: barco robô, qualidade de água, monitoramento.

ABSTRACT

The National Water Agency, through its National Water Quality Assessment Program, operates a monitoring network with 1874 data recording points throughout the national territory together with the states, where the analysis of four basic parameters is carried out. According to the National Water Agency, the number of points is insufficient for the monitoring of the quality of the water in the lakes and river to be assessed throughout their course, which promotes the lack of data and information, generating gaps in the monitoring that are not can reverse. One option that is under development to solve this problem that is not exclusive to Brazil, is the use of robot boats, which has shown to be a promising technology. This work proposes the construction of a robot boat prototype for low-cost water quality analysis, and promotes the analysis of the use of robotic vessels in order to assist the activities of collecting and analyzing water quality in order to facilitate and streamline monitoring. The prototype developed included the use of low-cost technologies in its design and mechanical, electrical and electronic assembly in addition to the human machine interface. The robot boat was tested on bench and in the field, obtaining satisfactory results for the measurements of ph, temperature and collection, refrigeration and transport of water samples, a function not observed in other robot boat projects.

Keywords: robot boat. water quality. monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Situação da Rede Estadual de Monitoramento de Qualidade de Água.....	14
Figura 2 – Rede de Qualidade de Água em Operação em 2020.....	15
Figura 3 – Protótipo do Barco Robô.....	22
Figura 4 - Arquitetura do Hardware do Controle do Barco Robô.....	30
Figura 5 - Posição do Motor Elétrico no Barco Robô.....	32
Figura 6 - Chave seletora de velocidade do motor elétrico.....	33
Figura 7 - Detalhe de controle de leme por alavanca.....	34
Figura 8 - Croqui do sistema de guincho para sensores.....	35
Figura 9 - Diagrama Hidráulico do Sistema de Coleta de Água.....	36
Figura 10 - Barco Robótico Desenvolvido para Monitoramento de Qualidade de Água.....	38
Figura 11 - Barco Robô proposto para construção.....	39
Figura 12 - Projeto Barco Robô - Chassi e Flutuadores.....	40
Figura 13 - Chassi do Barco Robô - Vista Frontal.....	41
Figura 14 - Chassi do Barco Robô - Vista Lateral.....	41
Figura 15 - Chassi do Barco Robô - Vista Superior.....	42
Figura 16 - Chassi com Flutuadores do Barco Robô - Vista Frontal.....	43
Figura 17 - Chassi com Flutuadores do Barco Robô - Vista Perspectiva.....	45
Figura 18 - Diagrama Esquemático de um Sistema Fotovoltaico Isolado.....	46
Figura 19 - Layout da Montagem dos Módulos Fotovoltaicos sobre o Barco Robô.....	47
Figura 20 - Locação das Estações.....	48
Figura 21 – Protótipo do Barco Robô no Rio Tocantins.....	53
Figura 22 – Detalhe do Suporte de Sensores / Guincho.....	54
Figura 23 – Detalhe do Controlador / Mecanismo Leme.....	55
Figura 24 – Detalhe do Sistema de Válvulas Solenoide.....	56
Figura 25 – Vista Inferior do Suporte de Sensores.....	56
Figura 26 – Detalhe do Suporte de Sensores.....	57
Figura 27 – Detalhe do suporte de Sensores abaixado.....	58
Figura 28 – Detalhe do Refrigerador de Amostras.....	58
Figura 29 – Inversor 12V/127V e Fonte 500W.....	59
Figura 30 – Interligações Eletroeletrônicas.....	59
Figura 31 – Interface Homem Máquina.....	60
Figura 32 – Localização da Área de Teste do Barco Robô.....	61

Figura 33 – Barco Robô em Teste62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Módulo WIFI - Quadro de Dados	69
Quadro 2 - Motor Elétrico - Quadro de Dados	70
Quadro 3 - Relé Eletromecânico - Quadro de Dados	70
Quadro 4 - Controlador de posição - Quadro de Dados	71
Quadro 5 - Moto Redutor - Quadro de Dados	72
Quadro 6 - Bomba Elétrica - Quadro de Dados.....	72
Quadro 7 - Refrigerador Lorben - Quadro de Dados.....	73
Quadro 8 - Sensor PH - Quadro de Dados	73
Quadro 9 - Sensor Temperatura - Quadro de Dados	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista dos Barcos Robô (ASV's) Internacionais	23
Tabela 2 - Recomendações para Coleta e Preservação de Amostras	26
Tabela 3 - Irradiação Solar de Marabá no Plano Horizontal	47
Tabela 4 – Cálculo de Energia Solar Disponibilizada para o Sistema Elétrico.....	48
Tabela 5 - Comparativo entre Modelos de Baterias Comercias	49
Tabela 6 - Planilha com Custos de Componentes	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Problema de pesquisa.....	13
1.2 Justificativa	13
1.3 Objetivo geral.....	17
1.4 Objetivo específicos	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1 Sistemas de monitoramento de água.....	18
2.1.1 Sistema de monitoramento convencional	19
2.1.2 Sistema de monitoramento por sondas e equipamentos de medição.....	20
2.1.3 Sistemas de monitoramento em tempo real.....	21
2.2 Barcos robôs autônomos ou ASV's	21
2.3 Protocolo de coleta de amostras de água	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 Etapas do método de pesquisa.....	29
3.2 Especificação da proposta.....	30
3.2.1 Arquitetura de hardware	30
3.2.2 Controlador central	31
3.2.3 Módulo de comunicação.....	31
3.2.4 Nódulo atuadores	31
3.2.4.1 Motor Propulsão	32
3.2.4.2 Motor Leme	33
3.2.4.3 Guincho de Sensores e Bomba	34
3.2.4.4 Bomba de Coleta	35
3.2.4.5 Refrigerador de Amostras.....	36
3.2.5 Módulo de sensores	36
3.2.5.1 Sensor ph	37
3.2.5.2 Sensor de Temperatura	37
3.3 Arquitetura de software do sistema	37
3.4 Estrutura mecânica e flutuadores	38
3.4.1 Estrutura mecânica	40
3.4.2 Flutuadores	43
3.5 Sistema de alimentação	45

3.5.1 Modulo fotovoltaico	46
3.5.2 Baterias	49
3.5.3 Controlador de carga	50
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	51
4.1 Custos.....	51
4.2 Protótipo físico	52
4.3 Coletar, transportar e analisar amostras de água	60
5 CONCLUSÕES.....	63
5.1 Sugestões para trabalhos futuros	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
APÊNDICE A – ESPECIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS COMPONENTES PARA O SISTEMA ELETRO ELETRÔNICO DO BARCO ROBÔ	69

1 INTRODUÇÃO

A construção de Barragens e Reservatórios é uma necessidade para o desenvolvimento humano que visa atender demandas residenciais, industriais ou para geração de energia elétrica.

Os reservatórios artificiais e os rios de uma bacia hidrográfica passam por um processo de reequilíbrio de fauna e flora após o barramento ou enchimento de um reservatório, fazendo necessário o monitoramento de vários dados para aferir a qualidade deste ambiente após o impacto sofrido (CNRH, 2006). Para o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), “o impacto ambiental em reservatórios, o monitoramento dos indicadores de qualidade da água é obrigatório devendo ser realizado de forma sistemática e consistente”.

Atualmente, o monitoramento da qualidade da água no Brasil e em específico no estado do Pará, na região Norte, é dispersa, de conteúdo limitado, incongruentes e não sistematizadas (CNRH, 2006), pois, a maior parte é realizada de forma manual, através de pessoas que se deslocam com automóveis ou embarcações até as estações para realizarem esta coleta. “Deve-se ter sempre presente que o tempo e os custos envolvidos se elevam sensivelmente, à medida que se exigem informações mais detalhadas que possam implicar no aumento do número de parâmetros de avaliação, número de amostras, frequência de amostragem ou utilização de tecnologia mais avançada” (ANA, 2011).

Segundo Chavez *et al* (2017), o veículo autônomo de superfície, *Autonomous Surface Vehicle* (ASV) ou Barco Robô, apesar de possuir um custo aparentemente de implantação/aquisição mais elevado que o processo manual de monitoramento possui baixos custos operacionais equiparados aos processos via boia, mas se destaca principalmente por possuir mobilidade e por poder ser deslocados para pontos diferentes dos habituais e locais de difícil acesso para embarcações convencionais. Outro fator que vem se destacando no decorrer dos anos, é a disponibilização de componentes eletrônicos de confiabilidade razoável e custos mais baixos, o que faz com que as possibilidades da construção destes veículos sejam exploradas mais intensamente.

Este projeto é um estudo de um protótipo de um barco robô (ASV) equipado com sistemas para o monitoramento da qualidade da água de forma automática, com interfaces de sensores (ph e temperatura) e atuadores que permite a comunicação, navegação e coleta de amostras de água a fim de promover o monitoramento de forma eficaz, contínuo e de baixo custo.

1.1 Problema de pesquisa

O problema em questão é o projeto e construção de um barco catamarã em escala real com capacidade de navegação, coleta, transporte e análise de amostras de água (ph e temperatura) para o monitoramento da qualidade de água de rios e reservatórios.

1.2 Justificativa

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2013), por meio do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade da Água (PNQA) é operado uma rede básica de qualidade de água que possui 1.874 pontos de registros de dados em todo o país em conjunto com os Estados, onde são feitas análises de quatro parâmetros básicos (ph, oxigênio dissolvido, condutividade e temperatura).

Nem todos os Estados brasileiros possuem condições de monitorar a qualidade de suas águas, tanto pelos elevados custos da logística envolvida, quanto pela ausência de pessoal capacitado para a tarefa, o que resulta em vazios no monitoramento (ANA, 2013).

Segundo ANA (2013), em algumas situações, também devido à escassez de recursos financeiros, as campanhas de monitoramento são interrompidas, retornando somente após longo período, deixando uma lacuna no monitoramento que não se consegue reverter. Assim, segundo ANA (2013) e Selborne (2011), para ampliar o conhecimento da qualidade das águas no Brasil é fundamental eliminar as lacunas geográficas e temporais no seu monitoramento, além de maior possibilidade de prevenção de desastres ambientais, como secas ou enchente.

Figura 1 – Situação da Rede Estadual de Monitoramento de Qualidade de Água



Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Águas (2019)

Fundamentando-se nas informações da Agência Nacional de Águas, é possível verificar que a Região Norte do Brasil ainda é deficiente na manutenção das informações pertinentes a qualidade de seus rios e lagos, incluindo o estado do Pará, que mantém um programa que reponde por menos de 15% dos pontos previstos para o monitoramento de seus rios e lagos apesar de possuir um planejamento em recursos hídricos anteriores a sua regulamentação ocorrida no ano de 2001, conforme a publicação da lei 6.381, que dispõe sobre a política estadual dos recursos hídricos (PERH) e instituiu o Sistema de Gerenciamento de Recursos hídricos no estado (PARÁ, 2001). Segundo ANA (2009), o monitoramento de forma pontual acontece em poucos locais onde a iniciativa público/privada tem interesse como em áreas de influência de hidrelétricas, pontos de captação de água e de lançamento de efluentes ou de áreas de interesse, mas não é expressivo e não fornece dados para uma análise

completa de toda cadeia hidrológica (Tundisi 2007, Couceiro 2011), na Figura 2, é apresentado a rede de qualidade de água em operação tanto pela Agencia Nacional das Águas (ANA) como por outras instituições.

Figura 2 – Rede de Qualidade de Água em Operação em 2020



Fonte: Adaptado de ANA (2020)

Esta deficiência de monitoramento de qualidade da água, e da implementação de redes de monitoramento, se deve principalmente ao fato de que esta região, Norte do Brasil, possui grande abundância do recurso água, baixa densidade populacional, grandes extensões dos rios e lagos e a dificuldade de acesso aos diversos locais onde estes rios e lagos estão situados, sejam em áreas de florestas densas, áreas de reservas indígenas, áreas alagadas e pantanosas sem infraestrutura de apoio próxima (ANA, 2005, CNRH 2006).

Outro fator a ser considerado que influencia na deficiência do monitoramento da qualidade de água dos rios e reservatórios é a classificação dos corpos d'água segundo CONAMA, que caso não ocorra um enquadramento dos corpos d'água por meio de dados reais a partir de análises de amostras dos locais, a lei ampara o enquadramento automático destes corpos d'água como classe 2 conforme resolução 357 de 17 de março do ano de 2005. Este fato faz com que as exigências sobre a manutenção da qualidade de água destes corpos d'água sejam subjugadas e favorecem o não interesse no enquadramento real a partir de

análises de amostras dos locais. Na Amazônia, apesar da existência de muitos ambientes aquáticos degradados nas áreas urbanizadas, a população não depende destes ambientes para o abastecimento (doméstico ou industrial) (Silva, 2016). Souza *et al.* (2013), constatou que as bacias hidrográficas brasileiras estão sendo degradadas sobretudo por agentes econômicos, que ignoram a necessidade de compatibilizar as práticas produtivas com as preservacionistas, no entanto, não há como prever as perdas ou danos que o progresso econômico causará sem um gerenciamento hídrico sobre o valioso patrimônio ambiental (Silva, 2016)

Segundo Chavez *et al.* (2017), cientistas e engenheiros se concentraram nas últimas décadas no desenvolvimento de plataformas robóticas (barcos robôs) de pequeno porte e baixo custo para o monitoramento da qualidade e dados específicos da água com o objetivo de aumentar a taxa de amostragem no espaço e tempo.

A partir destas premissas analisadas em conjunto, é possível sugerir o projeto de um protótipo de barco robô ou ASV, pois este consegue atender a estas necessidades expostas (aumento da taxa de amostragem no espaço e no tempo), além disso, é possível listar a seguir outros benefícios oferecidos por este modelo de solução conforme discutido por Hitz *et. al* (2012) e Ferreira *et. al* (2016):

- Evita-se o transporte de colaboradores em barcos e carros, diminuindo sua exposição aos riscos de acidentes, afogamento, exposição a intempéries e riscos ergométricos;
- Os parâmetros de qualidade serão analisados *on-board* e enviados para o operador na central, onde há velocidade de informações compartilhadas, padronização e segurança;
- Os pontos de análises serão ampliados, podendo atender demandas pontuais como, locais inacessíveis á embarcações convencionais, análise de área para criação de peixes, locais onde ocorreram derramamento de produtos tóxicos, etc.;
- Não haverá limitações de coleta de dados em fim de semanas, feriados, datas festivas e etc.;
- O colaborador que realizava as análises/coletas poderá ser treinado para operar e dar manutenção aos barcos robôs, promovendo seu desenvolvimento pessoal e profissional;
- Os barcos podem sofrer atualizações e alterações para se adaptar a necessidade, como realizar batimetria do fundo do reservatório, acompanhamento de peixes com sonares, acompanhamento de precipitação de chuvas e etc.;
- Os barcos utilizam energias sustentáveis como a energia solar.

Segundo Souza (2017) e Farinaccio (2017) esta tecnologia está de acordo com a tendência atual mundial de utilização de veículos autônomos. Já existem diversos modelos disponíveis, mas que se diferem por capacidade de autonomia, diversidade de análises disponível, capacidade de carga, alcance e diversos fatores muitas vezes particulares à sua região de abrangência.

Outro fator é o desenvolvimento do sistema de coleta, transporte e refrigeração de amostras de água proposto para este protótipo, que não foi observado em outros projetos durante as pesquisas bibliográficas, o que traz um grande avanço ao garantir que o operador não necessitará se deslocar para frente de trabalho em nenhum momento, melhorando questões de saúde e segurança do trabalho além das otimizações dos custos logísticos envolvidos em toda a atividade.

1.3 Objetivo geral

Este projeto tem como objetivo geral projetar e construir um protótipo de Barco Robô de baixo custo que realize a coleta e monitoramento de amostras de qualidade de água em rios e reservatórios de água.

1.4 Objetivo específicos

- Identificar tecnologias de baixo custo para atender a coleta e análise de água em um barco robô.
- Montagem mecânica, elétrica e eletrônica do barco robô em tamanho real e integração a fim de operacionalizar o veículo.
- Analisar o desempenho do barco robô na coleta, transporte e análise de amostras de água.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A política nacional de recursos hídricos Brasileiros, sob a lei nº 9.433 de janeiro de 1997, estabelece como um de seus objetivos a prevenção e defesa da água, em qualidade e quantidade adequada aos respectivos usos para as gerações atuais e futuras contra eventos hidrológicos de origem natural ou em decorrência do uso inadequado dos recursos.

É fundamental o estabelecimento de um programa de monitoramento hídrico quali-quantitativo que forneça subsídios para o diagnóstico e avaliação das condições dos ecossistemas aquáticos (ANA, 2017). A afirmação da Agência Nacional de Águas tem objetivo de promover o equilíbrio sustentável entre a disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade, e o desenvolvimento social e econômico da sociedade.

Segundo ANA (2013), com o objetivo de suprir a necessidade de monitoramento da qualidade da água, a Agência Nacional das Águas lançou em 2010 o PNQA - Programa Nacional de Avaliação de Qualidade das Águas que surgiu a partir de necessidades relacionadas ao monitoramento para a gestão dos recursos hídricos e solução de conflitos.

De acordo com Chaves *et al.* (2017), o Wave Gliders, um modelo de ASV, provou ser uma plataforma robusta, e seu pacote de sensores integrado forneceu conjuntos de dados de qualidade que se comparam favoravelmente aos sistemas tradicionais de boia e sistemas embarcados tradicionais. O menor custo da operação do Wave Glider permite uma maior cobertura espaço-temporal e demonstra seu potencial para reforçar os esforços de observação dos ecossistemas aquáticos existentes em todo o mundo.

Silva *et al.* (2014) concluíram que o resultado da análise da relação custo/benefício de seu projeto protótipo resultou na utilização de técnicas perfeitamente apropriadas e equipamentos eficazes na análise, nos ensaios, construção e aperfeiçoamento do protótipo.

2.1 Sistemas de monitoramento de água

Para Tundisi e Tundisi (2008), o monitoramento da qualidade da água é uma importante ferramenta na avaliação de ecossistemas aquáticos, águas costeiras ou oceânicas, e, além disso, auxilia na detecção de problemas ambientais (contaminação ou alterações biológicas) dando suporte às pesquisas nesse ambiente. O monitoramento é um dos fatores determinantes no processo de gestão ambiental, uma vez que propicia uma percepção sistemática e integrada da realidade ambiental (RAMOS *et al.*, 2006; CARVALHO *et al.*, 2007).

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) por meio do portal HidroWeb, na bacia Amazônica existem 419 estações pluviométricas, e 413 estações fluviométricas em operação no ano de 2020. No estado do Pará, o portal HidroWeb apresenta 71 estações pluviométricas, e 68 estações fluviométricas em operação no ano de 2020. Santos (2008) concluiu que um mínimo de 137 estações é necessário no estado do Pará para uma concreta avaliação de disponibilidade hídrica necessária a outorga de direito de uso da água no Estado.

Na bacia Tocantins-Araguaia que também abrange o Norte do país, existe 213 estações pluviométricas e 210 fluviométricas, segundo o portal HidroWeb no ano de 2020.

2.1.1 Sistema de monitoramento convencional

Segundo a ANA (2013), o sistema de monitoramento convencional da qualidade de água em rios e reservatórios inicia-se com a elaboração de um escopo mínimo, que consiste dos seguintes itens:

- **Objetivo do Monitoramento:** Cumprimento de legislação, estudos ecológicos ou acompanhamento para uso pré-determinado (abastecimento público, geração de energia, etc.).
- **Procedimento Metodológico:** Determinam quais variáveis serão estudadas, quais profundidades serão realizadas as coletas, quais equipamentos e procedimentos serão utilizados e etc.
- **Frequência de Observação:** Determinar a periodicidade das amostragens (diária, quinzenal, mensal, trimestral, semestral, anual).
- **Abrangência Espacial:** Determina a quantidade de estações e locais onde estas serão alocadas nos rios/reservatórios.

Após realizado o planejamento inicial, as próximas etapas são relacionadas a execução das tarefas: como coletar a água, armazenar de forma adequada para evitar contaminações e alterações biológicas, analisar laboratorialmente e interpretar os dados para tomada de decisões.

O sistema convencional é dependente de pessoas que detenham conhecimento técnico, não somente no momento da interpretação dos dados para tomada de decisão, mas em todo o processo, desde o planejamento do monitoramento, execução das coletas e interpretação dos

dados. Segundo ANA (2013), esta dependência traz uma diversidade de dificuldades técnicas e custos associados tais como:

- Necessidade de equipe capacitada e multidisciplinar para execução do planejamento, coleta e análises.
- Exposição de pessoas a risco de intempéries e outros
- Necessidade de veículos de apoio, como automóveis e embarcações.
- Grande demora entre a etapa de verificação de necessidade do monitoramento e o resultado com os dados para tomada de decisão

Segundo ANA (2014), em 2013 foram iniciadas as aquisições de equipamentos a serem repassados aos órgãos gestores estaduais que operam as redes de monitoramento de qualidade de água. “Até fevereiro de 2014 foram adquiridas 30 camionetes, 25 barcos com motor de popa, 49 sondas multiparamétricas e 83 medidores de vazão acústicos, totalizando um investimento de cerca de dez milhões de reais” (ANA 2014).

Conforme Ferreira *et al.* (2007) e Giordano *et al* (2015), o uso de embarcações convencionais, equipadas com sensores para mapeamento submerso e operadas por pessoal a bordo, ainda é o principal meio utilizado, mas é limitado devido a diversos fatores, como: profundidade dos corpos d’água, custos relativamente altos envolvidos na operação e manutenção das embarcações e tripulação, ambientes inóspitos e inacessíveis em quaisquer áreas que ofereçam riscos a navegação superficial.

2.1.2 Sistema de monitoramento por sondas e equipamentos de medição

O uso de sondas multiparamétricas, equipamentos eletrônicos portáteis que realizam diversas medições simultaneamente, possibilita indicar rapidamente eventuais alterações nas variáveis físico-químicas da água quando utilizadas para monitorar rios e lagos.

As sondas multiparamétricas podem ser do tipo fixa ou com tecnologia de perfilamento automático (com telemetria), que permite o monitoramento e controle em tempo real (ANA, 2013).

Devido a não padronização, existem diversos modelos e fabricantes de sondas no mercado, que se diferem principalmente devido à quantidade e capacidade de parâmetros que são analisados, podendo chegar até 25 parâmetros (ANA, 2013), tais como temperatura da água, temperatura ambiente, pressão atmosférica, turbidez, oxigênio dissolvido, salinidade, condutividade, nitrato – nitrogênio, cloreto, amônio – nitrogênio, ph, outros.

Este modelo de monitoramento já proporciona maior facilidade na execução das coletas, já que o processo é realizado por um equipamento automático, diminuindo a demanda de atividade sobre o técnico. Mas mesmo com este sistema, ainda ocorre a necessidade de custos dispendiosos com pessoas, logística e com a própria sonda, que possui custo expressivo conforme aumenta a quantidade de variáveis a serem medidas (ANA, 2013), (Mendonça, 2016).

2.1.3 Sistemas de monitoramento em tempo real

O monitoramento em tempo real, “está em acordo com as tendências mundiais mais atuais em monitoramento avançado de ecossistemas aquáticos” (Tundisi *et al.*, 2008), e aplica as seguintes tecnologias:

- Uso de sensores para medições físicas, químicas e biológicas e monitoramento climatológico;
- Armazenamento de dados em taxas de amostragem maiores;
- Transmissão de dados via internet, rádio ou satélite.

Para Tundisi *et al.* (2008), esta tecnologia quando aplicada na gestão de reservatórios, traz grandes avanços para as práticas de gestão, pois possibilita a rápida resposta e predições a respeito de fenômenos naturais e diversos tipos de poluição.

Este tipo de sistema de monitoramento oferece facilidade de operação e gestão para obtenção das informações, diminuindo de forma expressiva custos operacionais, a necessidade de pessoas no local da análise, reduzindo custos logísticos e diminuindo a exposição à riscos de segurança, como ergométricos e afogamento.

Apesar das facilidades e benefícios que este sistema de monitoramento proporciona, há algumas desvantagens como o alto custo de aquisição, sua instalação fixa (ancorada ao fundo do rio/lago), limitando a amostragem espacial, além de estarem sujeitas a ações de vandalismos e roubos, como roubos de placas solares, baterias e outros componentes eletrônicos.

2.2 Barcos robôs autônomos ou ASV's

Os barcos robôs são equipados com os mesmos conjuntos de sensores utilizados nos sistemas em tempo real para monitoramento de qualidade de água e climatológico e dispõem de sistemas de armazenamento e transmissão de dados assim como nos sistemas do tipo boia,

mas sua instalação é sobre um barco, o que faz com que seja móvel, proporcionando obtenção de dados em diversos locais.

Os barcos robôs oferecem uma solução para superar a instalação fixa dos sistemas de boia, oferecendo maior praticidade para o monitoramento de qualidade de água, e apesar de seu custo elevado inicial, oferece um custo operacional muito baixo (CHAVEZ *et al.* 2017). Esta opção está em constante desenvolvimento e os custos de instalação estão em tendência de queda devido a diversas opções de sensores, atuadores e controladores para o robô e o barateamento de componentes que tem ocorrido sistematicamente nos últimos anos. A Figura 3 refere-se ao projeto de barco robô proposto por este trabalho.

Figura 3 – Protótipo do Barco Robô



Fonte: Próprio Autor

Na literatura, encontram-se diversas linhas de discussões e desenvolvimento de barco robôs, onde se iniciou os estudos em meados da Segunda Guerra Mundial e se consolidou nos anos 90 conforme Bertram (2008) e Wang *et al.* (2009).

As aplicações dos barcos robôs são as mais diversas, podendo ser desenvolvidas para ser uma ferramenta diversificada como o barco desenvolvido por Gokul *et al.* (2017), que possui um sistema de guincho que consegue alcançar a profundidade de até trinta metros e içar uma carga de até vinte quilos, além de possuir um cabo de comunicação com até doze canais, podendo ser instalado qualquer sensor, atuador ou sistema que se necessite e que atenda a estas especificações. Outra aplicação mais específica de barco robô observado em Kim *et al.* (2016), onde o barco é equipado com câmeras, atuadores e compartimentos para

que possa localizar e coletar águas vivas no mar, estes barcos robôs são uma variação dos sistemas de monitoramento de qualidade de água que tem suas aplicações mais restritas.

Outras aplicações como monitoramento de qualidade de água foram abordados por pesquisadores como Dunbabin *et al.* (2009), Junior *et al.* (2016) e Chavez *et al.* (2017) e ainda há outras aplicações como monitoramento batimétrico de rios como abordado pelo pesquisador Ferreira *et al.* (2016), além de diversas discussões sobre a otimização dos sistemas de controle e construção destas embarcações (Santos, 2014); (Alam *et al.*, 2014); (Stenersen, 2014). Com isto, percebe-se que esta tecnologia ainda é nova e continua em desenvolvimento a fim de adquirir confiabilidade para que sua disseminação possa alcançar o meio comercial de forma consistente.

No Brasil, esta tecnologia é predominantemente presente na academia, onde grande parte dos desenvolvimentos são pontuais não tendo continuidade nos estudos. No Laboratório de Instrumentação Virtual e Microprocessadores (LIVMP) sediados na Universidade de São Paulo de São Carlos é mantido este tipo de pesquisa onde foi desenvolvido um barco robô autônomo para monitoramento da qualidade de água e peixes (ALMEIDA, 2014). Existem também projetos financiados pela Petrobras de barco robôs híbridos, que podem atuar tanto na água como na terra como o Robô Ambiental Híbrido, que foi desenvolvido em 2006 pelo Centro de Pesquisa da Petrobras (CENPES) para atuar na região Amazônica para monitoramento ambiental (SANTOS, 2009).

É importante destacar que dentre os protótipos pesquisados, observou-se que nenhum realiza a coleta e transporte da amostra da água para o operador, somente realizam as análises no local e enviam os resultados para o operador, e em circunstancia onde há necessidade de análise complementar em laboratório, se faz necessária a coleta da amostra de água pelas modalidades tradicionais.

A seguir, é apresentada a Tabela 1 com o histórico dos principais barcos robôs desenvolvidos em outros trabalhos.

Tabela 1 - Lista dos Barcos Robô (ASV's) Internacionais

ANO	ASC	PAÍS	ORGANIZAÇÃO	USO PRINCIPAL
1993	ARTEMIS	EUA	Instituto de Tecnologia de Massachusettes (MIT)	Levantamento/Testes
1996	ACES	EUA	Instituto de Tecnologia de Massachusettes (MIT)	Levantamento/Testes
1999	MESSIN	Alemanha	Universidade de <i>Rostock</i>	Levantamento/Testes
1999	DELFIM	Portugal	ISR/IST	Operação Coordenada
2000	AutoCAT	EUA	Instituto de Tecnologia de Massachusettes (MIT)	Levantamento

2003	SESAMO	Itália	CNR-ISSIA	Levantamento
2004	SCOUT	EUA	Instituto de Tecnologia de Massachusettes (MIT)	Operação Coordenada
2005	Charlie	Itália	CNR-ISSIA	Levantamento
2005	ROSS	Índia	Instituto Nacional de Oceanografia	Levantamento
2005	Springer	Grã-Betanha	Universidade de <i>Plymouth</i>	Levantamento
2005	BOB	EUA	<i>Virginia Tech</i>	Levantamento
2005	Zarco	Portugal	Universidade de Porto	Operação Coordenada
2005	RAH-Chico Mendes I	Brasil	CENPES	Levantamento
2006	-	EUA	Academia Naval dos Estados Unidos	Testes
2006	IRIS	EUA	WHSC	Levantamento
2006	RAH-Chico Mendes II	Brasil	CENPES	Levantamento
2007	Tri0601	China	Instituto de Automação de Shenyang	Testes
2007	Swordfish	Portugal	Instituto Politécnico de Porto	Operação Coordenada
2007	Circe	EUA	Colégio de Eng. Franklin W. Olin	Uso Educacional
2007	ROAZ II	Portugal	Instituto Politécnico de Porto	Levantamento
2007	OASIS-3	EUA	<i>Emergent Space Technologies</i>	Levantamento
2008	Sea-RAI	EUA	Universidade Texas A&M	Levantamento
2008	-	China	Universidade Marítima de Shanghai	Levantamento
2008	WASP	EUA	Universidade Flórida <i>Atlantic</i>	Levantamento
2009	Neres	EUA	Universidade Flórida <i>Atlantic</i>	Levantamento
2009	Wivenhoe	Austrália	CSIRO ICT Center	Levantamento
2012	CatOne	Itália	<i>AerRobotix</i>	Levantamento
2015	MicroVeGA	Itália	Universidade de Nápoles	Levantamento
2015	WaveGlider	EUA	<i>Liquids Robotics</i>	Operação Coordenada
2016	SeaCharger	EUA	Damon McMillan	Levantamento
2017	Iracema I	Brasil	CTI Renato Archer	Operação Coordenada
2017	C-400	Brasil	Holos Brasil / USSV	Operação Coordenada

Fonte: Adaptado de Ferreira *et al.* (2016)

2.3 Protocolo de coleta de amostras de água

Segundo a Tecnologias Sociais para a Gestão da Água - TSGA (2014), a coleta de uma amostra de água tem por objetivo suprir o fornecimento de material em quantidade e condições adequadas para a realização de análises e que represente com precisão o material que está sendo amostrado.

Para a obtenção de uma amostra devem ser seguidos procedimentos e requisitos de tal forma que sua manipulação não a deteriore ou contamine antes que a mesma possa ser analisada (TSGA, 2014). Segundo o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras, a coleta e preservação de amostras infelizmente ainda são consideradas como atividades simples, que não exigem qualquer critério ou conhecimento científico. Essa percepção é completamente falha, porque uma amostra, por definição, representa o próprio ambiente estudado e, assim, a sua coleta exige profundo conhecimento técnico e científico, o que

significa contar com recursos humanos altamente treinados e capacitados para desenvolverem as atividades em campo (ANA, 2011).

Em análises realizadas em campo, as determinações de pH e temperatura devem ser realizadas imediatamente, e que as coletas de água devem ser realizadas de 15 cm a 30 cm abaixo da superfície a fim de evitar contaminantes superficiais (TSGA, 2014).

A fim de preservar e evitar as alterações indesejadas nas amostras coletadas, três métodos podem ser utilizados, como: congelamento, resfriamento e a adição de reagentes químicos (TSGA, 2014).

Congelamento: Utilizado para preservar as características da maior parte dos parâmetros químicos. Não pode ser utilizado para determinação da demanda biológica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos filtráveis e não filtráveis.

Resfriamento: O resfriamento entre 1°C e 4°C preservará a maioria das características físicas, químicas e biológicas em até 24 horas. Para amostras microbiológicas, o resfriamento entre 2°C e 10°C é o recomendado.

Adição de Agentes Químicos: Oferece maior grau de estabilização da amostra por maior espaço de tempo. Não é indicado para preservar características biológicas, microrganismos e etc. Os agentes químicos podem ser o formol neutralizado, formol neutralizado com sacarose, solução de acetato de zinco, solução de ácido clorídrico, ácido nítrico ou outra. É importante destacar que “a manipulação de reagentes e soluções tem sido uma constante fonte de acidentes, devido ao uso de reagentes químicos para preservação das amostras. Para se evitar estes acidentes deve-se evitar a manipulação inadequada e a utilização de frascos plásticos tipo conta gotas ou pipetas dosadoras” (ANA, 2011).

O método escolhido para utilização no protótipo proposto é o resfriamento. Este método foi escolhido devido à facilidade de implementação e custos envolvidos ao utilizarmos soluções prontas de mercado.

As recomendações para coleta e preservação de amostras quanto ao tipo de frascos para coleta, volume da amostra necessária, forma de preservação e o prazo entre a coleta e o início da análise para os parâmetros estão apresentados na Tabela 2 a seguir conforme as Tecnologias Sociais para a Gestão da Água - TSGA (2014).

Tabela 2 - Recomendações para Coleta e Preservação de Amostras

PARAMETRÔS		TIPO DE FRASCO	VOLUME AMOSTRA (ml)	PRESERVAÇÃO	TEMPO MÁXIMO ARMAZENAMENTO
Acidez		Plástico ou Vidro	100	Refrigerar	24 h
Alcalinidade		Plástico ou Vidro	200	Refrigerar	24 h
Amônia		Plástico ou Vidro	500	Refrigerar e adicionar H ₂ SO ₄ até PH<2	7 d
Brometo		Plástico ou Vidro	100	Não Requer	28 d
Carbono Orgânico Total		Vidro	---	Refrigerar e adicionar H ₂ SO ₄ até PH<2	7 d
Cloretos		Plástico ou Vidro	50	Não Requer	Sem Referência
Cloro Residual e Total		Plástico ou Vidro	500	Analisar Imediatamente	0,25 h
Compostos Orgânicos	Pesticidas	Vidro	1000	Refrigerar e adicionar 1000mg de ácido ascórbico/L se há cloro	7 d
	Fenóis	Plástico ou Vidro	500	Refrigerar e adicionar H ₂ SO ₄ até PH<2	28 d
Condutividade		Plástico ou Vidro	500	Refrigerar	24 h
Cor		Plástico ou Vidro	500	Refrigerar	48 h
Clorofila		Plástico ou Vidro	500	Sem filtrar, Refrigerar e manter em Ambiente Escuro	24 h

DBO	Plástico ou Vidro	1000	Refrigerar	6 h
Dióxido de Carbono	Plástico ou Vidro	100	Analisar Imediatamente	0,25 h
DQO	Plástico ou Vidro	1000	Refrigerar	7 d
Dureza	Plástico ou Vidro	---	Adicionar HNO ₃ ou H ₂ SO ₄ até PH<2; Refrigerar.	6 meses
Fluoreto	Plástico	100	Não Requer	28 d
Iodeto	Plástico ou Vidro	500	Analisar Imediatamente	0,25 h
Metais em Geral	Plástico ou Vidro	1000	Filtrar e Adicionar HNO ₃ até PH<2; Refrigerar	6 meses
Cromo VI	Plástico ou Vidro	1000	Refrigerar	24 h
Mercúrio	Plástico ou Vidro	1000	Adicionar HNO ₃ até PH<2; Refrigerar	28 d
Nitrato	Plástico ou Vidro	100	Analisar Imediatamente; Refrigerar	48 h
Nitrito	Plástico ou Vidro	100	Analisar Imediatamente; Refrigerar	48 h
Nitrogênio Orgânico	Plástico ou Vidro	500	Refrigerar e Adicionar H ₂ SO ₄ até PH<2	7 d
Odor	Vidro	500	Analisar Imediatamente; Refrigerar	Sem Referência
Óleos e Graxas	Vidro	1000	Adicionar HCl ou H ₂ SO ₄ até PH<2;	28 d

				Refrigerar	
Oxigênio Dissolvido Winkler	Eletrodo	Vidro	300	Analisar Imediatamente	0,25h
	Frasco de DBO	---		Pode ser retardada após acidificação	8 h
pH		Plástico ou Vidro	50	Analisar Imediatamente	0,25 h
Fosforo Total e Ortofosfato		Plástico ou Vidro	100	Refrigerar e Adicionar H ₂ SO ₄ até PH<2	28 d
Salinidade		Vidro	240	Analisar Imediatamente	0,25 h
Sílica		Plástico	200	Refrigerar	28 d
Sólidos		Plástico ou Vidro	200	Refrigerar	7 d
Sulfatos		Plástico ou Vidro	100	Refrigerar	28 d
Temperatura		Plástico ou Vidro	---	Analisar Imediatamente	0,25 h
Turbidez		Plástico ou Vidro	100	Analisar no mesmo dia, Refrigerar, Manter em Ambiente Escuro.	24 h

Fonte: Adaptado de TSGA (2014)

A especificação do protótipo tem como objetivo atender as premissas mínimas como volume de coleta (um litro), temperatura mínima de armazenagem da amostra (4°C), e além da realização de procedimentos básicos de análise de qualidade da água, como temperatura e ph.

Segundo ANA (2013), as técnicas de preservação podem reduzir as taxas de degradação de um analito, mas não podem parar, isto é, somente a velocidade da degradação da amostra é reduzida, com isso a forma de preservação e os períodos entre a coleta e análise deste analito devem ser respeitados.

3 MATERIAIS E METÓDOS

3.1 Etapas do método de pesquisa

O procedimento adotado consistiu em definir subsistemas, analisar seu funcionamento e definir como integrá-los para compor o protótipo.

Devido à dificuldade de encontrar os sensores de oxigênio dissolvido (OD) e condutividade a baixo custo, o projeto contará somente com os sensores de temperatura e ph, podendo no futuro receber outros como OD, condutividade, sensores batimétricos para medição de profundidade, sensores para monitoramento de chuva e outros que vier apresentar custos acessíveis mediante a adaptação do hardware.

No escopo, também foi definida a necessidade do baixo custo do projeto, visto que os barcos robô comerciais, ou boias automatizadas, possuem custos elevados próximo da centena de milhares de reais, com isso o projeto deverá ser pautado também sobre a análise de custo.

As medições de ph, condutividade, temperatura e oxigênio dissolvido são o mínimo necessário para realizar o acompanhamento da qualidade da água em um rio ou reservatório, e devido ao não atendimento a todas estas medições, o projeto contorna esta deficiência ao realizar a coleta da amostra de água e transporte para o operador afim de que possa realizar todas as análises complementares em laboratório.

Nos dias atuais, a eletrônica e computação tem proporcionado evoluções tecnológicas a custos acessíveis. O projeto foi idealizado para utilizar componentes eletrônicos de baixo custo, usando a plataforma Arduino, e seus acessórios, sensores e atuadores disponíveis (NEGREIROS 2019). Além disso, o projeto utiliza em seu chassi madeira compensada e tubos de PVC, o que reduz os custos através de materiais de fácil acesso e montagem.

O desenvolvimento do software do controlador e da interface homem máquina, também seguiu a plataforma Arduino, utilizando a linguagem C.

Testes em campo foram previstos para pós-montagem e realização de testes em oficina, como teste da propulsão, leme, guincho, coleta e refrigeração da amostra de água, teste de sensores de ph e temperatura. O rio Tocantins foi escolhido como local de testes, onde é possível colocar o barco de forma segura e controlada, para que possam ser avaliadas as questões de flutuabilidade, possíveis infiltrações em seus flutuadores, ajustes de altura do motor elétrico propulsor e do guincho com os sensores.

Após a execução destes testes, o barco foi energizado para realizar os testes de comando, como controle do sistema de leme, propulsão, bomba de coleta e válvulas solenoides, além dos sensores de monitoramento da qualidade da água.

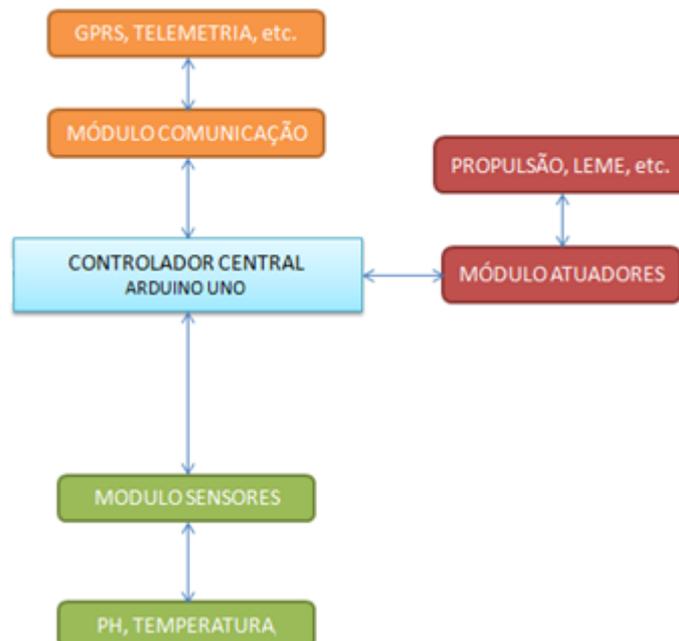
3.2 Especificação da proposta

Neste capítulo é apresentado as discussões referentes aos sistemas elétricos, eletrônicos, mecânicos e de controle utilizado no desenvolvimento do protótipo, onde a especificação detalhada dos componentes eletroeletrônicos utilizados no projeto encontram-se no Apêndice 1.

3.2.1 Arquitetura de hardware

A arquitetura de hardware proposta inicialmente consiste em 3 (três) módulos, sendo: comunicação, sensoriamento, atuadores, e mais um controlador central que faz a gestão do conjunto. A estratégia geral é apresentada conforme a Figura 4.

Figura 4 - Arquitetura do Hardware do Controle do Barco Robô



Fonte: Próprio Autor

3.2.2 Controlador central

O controlador principal consiste em uma placa ARDUINO UNO R3, proporcionando um custo muito acessível e compatível com diversos componentes disponíveis para integração. Baseada no microcontrolador ATmega328, possui quatorze (14) pinos de entradas e saídas digitais onde seis (6) destes podem ser utilizados como saídas PWM.

O controlador central será o componente responsável pela integração entre os módulos. Este módulo é responsável por girar o leme, ligar e desligar a propulsão, mover o guincho com sensores, fazer leitura dos sensores e armazenar os dados, além de controlar o sistema de coleta e realizar a o controle de transmissão dos dados.

3.2.3 Módulo de comunicação

É o responsável pela comunicação com o operador do sistema, através de um canal onde circulam informações sobre a movimentação do barco, dados coletados pelos sensores, sendo o responsável também pelos dados de telemetria.

Conforme Santos (2014), a plataforma robótica além de atuar de forma segura, deve interagir com o operador sempre que a conexão estiver estabelecida, enviando os dados de telemetria e recebendo novas orientações de missões a realizar.

A proposta foi equipar o barco robô com sistema de comunicação via Wifi como em Conte *et al.* (2016), que com o auxílio de um roteador proporciona uma área de cobertura de aproximadamente 6 km² por se tratar de um ambiente aberto e livre de obstáculos. Com o sistema Wifi, a comunicação entre o barco robô e o operador ocorre de forma imediata, sendo possível o envio de comandos e recebimento de informações de forma *on-line*, com um *delay* muito pequeno, melhorando a forma e qualidade dos controles e informações (Conte *et al.* 2016).

3.2.4 Nódulo atuadores

Os atuadores são os elementos responsáveis por transformar as instruções do operador em ações físicas, tais como movimentar o barco, mergulhar os sensores e a bomba de coleta. Os principais atuadores são:

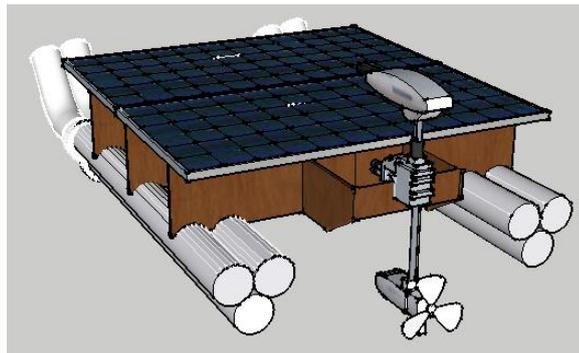
- Motor propulsão
- Motor leme

- Motor Sensores
- Bomba Elétrica
- Refrigerador de Amostras

3.2.4.1 Motor Propulsão

Assim como em Henrique *et al.* (2014), o veículo robótico será impulsionado por meio de um motor elétrico de popa, como os motores auxiliares de embarcações de pesca de pequenas dimensões, que possuem um controle de velocidade manual e potência suficiente para movimentação deste veículo. O motor está instalado na extremidade traseira da estrutura, centralizada entre os dois flutuadores conforme Figura 5, de forma que toda força resulte no avanço do barco de forma segura e controlada.

Figura 5 - Posição do Motor Elétrico no Barco Robô



Fonte: Próprio Autor

O controle da direção do motor e de sua velocidade é realizado pelo controlador central do barco robô, sendo que o sistema original de seleção de velocidade manual (Figura 6) é utilizado de forma fixa.

Figura 6 - Chave seletora de velocidade do motor elétrico



Fonte: Henrique *et al.* (2014)

Devido à alta corrente elétrica necessária para o motor elétrico, a opção menos onerosa para o sistema de controle foi a de relés eletromecânicos, duas (2) unidades no total, pois assim pode-se realizar o controle de avanço e retração do motor.

Os sistemas de relés eletromecânicos possuem total compatibilidade com a plataforma Arduino quando utilizados com acopladores óticos, evitando assim, a possibilidade de interferências geradas pela operação.

3.2.4.2 Motor Leme

O controle de direção é realizado através de um sistema de servo-motor com alavanca conforme apresentado na Figura 7, para que seja possível controlar a direção do leme eletricamente, conforme comandos do operador.

Figura 7 - Detalhe de controle de leme por alavanca



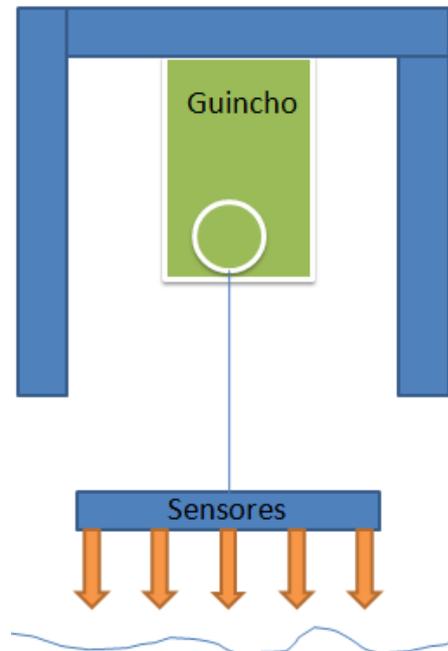
Fonte: Próprio Autor

3.2.4.3 Guincho de Sensores e Bomba

O conjunto de sensores e bomba elétrica de coleta deverão ser inseridos na água somente quando necessário para execução da coleta e análises para que o arrasto não influencie na navegação. Com isso foi necessário o desenvolvimento de um sistema que insira e retire os sensores e bomba de coleta de água.

O sistema utiliza um guincho conforme esquemático apresentado na Figura 8, onde os sensores e bomba coletora são instalados em uma placa que se movimenta verticalmente com o auxílio de guias conforme a necessidade.

Figura 8 - Croqui do sistema de guincho para sensores



Fonte: Próprio Autor

O sistema do guincho onde a bomba e sensores estão instalados, somente poderá ser acionados quando o barco estiver parado, para que se reduza o arrasto da estrutura e componentes. O operador ao acionar o guincho para descer, dará condição para que a bomba e os sensores sejam acionados.

3.2.4.4 Bomba de Coleta

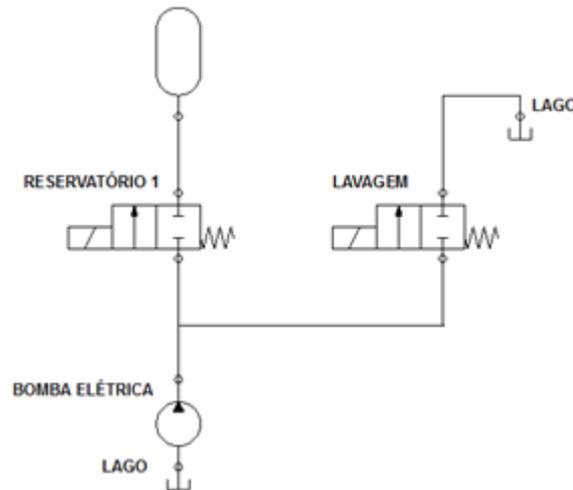
O número limitado de sensores do protótipo impede que algumas variáveis básicas importantes sejam medidas no local, como a condutividade e oxigênio dissolvido. Para superar isto, é proposto um procedimento de coleta de amostra de água utilizando uma bomba e um reservatório refrigerado, para que seja realizada análise complementar em laboratório.

Vale ressaltar que esta possibilidade não foi observada em nenhum dos outros barcos robôs analisada na revisão bibliográfica, trazendo um diferencial ao projeto, pois proporciona a possibilidade de uma análise mais aprofundada em pontos onde as leituras dos sensores indicam desvios consideráveis ou onde existe suspeita de contaminações.

O sistema de coleta de água é apresentado na Figura 9, onde é possível verificar os componentes do sistema (bomba elétrica, eletroválvulas e reservatório) para a coleta e armazenamento da água em reservatório refrigerado, e um sistema de retro lavagem, que

deverá ser acionado sempre antes de realizar o acondicionamento da água no reservatório, a fim de garantir a não contaminação do sistema devido à coleta realizada anteriormente. A retro lavagem é um processo que não utiliza processo químico para limpeza do sistema, somente a própria água, que neste caso deverá ser utilizada sempre imediatamente antes de realizar uma nova coleta, pois assim, garante que toda sujeira, contaminações da amostra coletada em momento anterior, seja retirada do sistema, não influenciando a nova coleta.

Figura 9 - Diagrama Hidráulico do Sistema de Coleta de Água



Fonte: Próprio Autor

3.2.4.5 Refrigerador de Amostras

Conforme exposto na seção 2.1 – Protocolo de Coleta e Amostras de Água, as amostras devem ser refrigeradas a fim de se manter as características físico, químicas e biológicas da amostra para posterior análise em laboratório.

Para suprir esta necessidade, o barco robô será munido de um refrigerador alimentado a 12Vdc, que por meio da eletrônica e do efeito Peltier (MARQUETTI, 2019), promoverá a refrigeração das amostras coletadas até uma temperatura de 4°C.

3.2.5 Módulo de sensores

Este módulo é responsável pela gestão de todos os sensores de análise de água do barco robô. O projeto contemplará somente os sensores para monitoramento da qualidade da água: ph e Temperatura. Os demais sensores como condutividade e oxigênio dissolvido não

foram contemplados no protótipo devido não ter sido encontrado na plataforma Arduino, e poderão ser instalados em uma atualização futura do protótipo em outros projetos.

Demais sensores, como sensores de chuva ou batimétricos e outros poderão ser adicionados em futuras atualizações do barco robô, a fim de aumentar a qualidade de informações da qualidade da água e poderão ser propostos para projetos futuros de atualização.

3.2.5.1 Sensor ph

Conforme a ANA (2012), o parâmetro ph, potencial hidrogeniônico, representa a concentração de íons de hidrogênio H^+ na água e por isso representa a intensidade da acidez ou alcalinidade do ambiente aquático em análise. Para ANA (2012) e Von Sperling (2005), este parâmetro é um dos mais utilizados na rotina de monitoramento da qualidade de água, e com isso será o principal sensor de monitoramento no barco.

3.2.5.2 Sensor de Temperatura

A temperatura da água conforme ANA (2012) é resultado das características físicas do local, como profundidade, fluxo da água e outros, além da radiação solar incidente, e exerce grande influência sobre as atividades biológicas e no crescimento de microrganismos, além de determinar quais habitam o local, visto que muitos são dependentes de faixas específicas de temperaturas para se desenvolverem. Além disso, a temperatura exerce influência sobre a química da água, já que em baixas temperaturas possui maior capacidade de retenção de oxigênio dissolvido.

As características físicas da água também sofrem influência da temperatura, já que a densidade é alterada, promovendo a formação de camadas na coluna d'água e consequentemente à estratificação térmica (ANA, 2019).

3.3 Arquitetura de software do sistema

Para o controle do barco robô e interface homem-máquina, são necessários ao menos dois desenvolvimentos de programas, sendo um para o controlador central e um para o operador.

O programa do controlador central é baseado na linguagem Wiring, nativa da plataforma Arduino, que é uma evolução da linguagem C, amplamente difundida no meio de desenvolvimento de sistemas. Este programa está gravado no controlador Arduino Uno, a bordo do barco robô.

A interface com o operador é um programa diferente, pois devido à interação com o operador, deve ser amigável e de fácil compreensão. Ela é responsável por receber comandos de alto nível, tais como movimentação do barco e traduzi-los em instruções ao firmware, além de transmitir remotamente tais instruções. Este programa fica junto com o operador, podendo ser instalado em *tablet*, telefone celular ou outros.

A compatibilidade e a facilidade de desenvolvimento entre estas duas linguagens de programação são plenas, o que traz uma segurança para o desenvolvimento desde o início do projeto não agregando muitos custos.

3.4 Estrutura mecânica e flutuadores

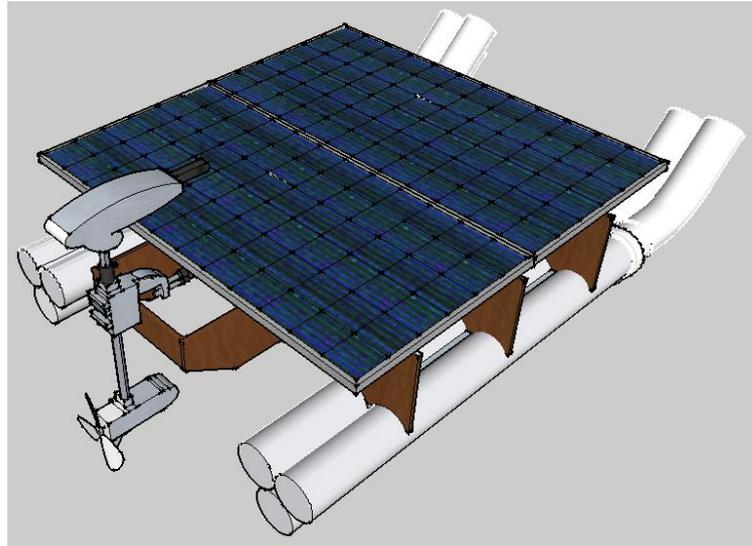
O veículo proposto, possui a forma de um barco modelo Catamarã conforme Figura 10 e Figura 11. Segundo Henrique *et al.* (2014), os catamarãs se notabilizam por seu conforto, segurança, estabilidade e equilíbrio.

Figura 10 - Barco Robótico Desenvolvido para Monitoramento de Qualidade de Água



Fonte: Dunbabin (2009)

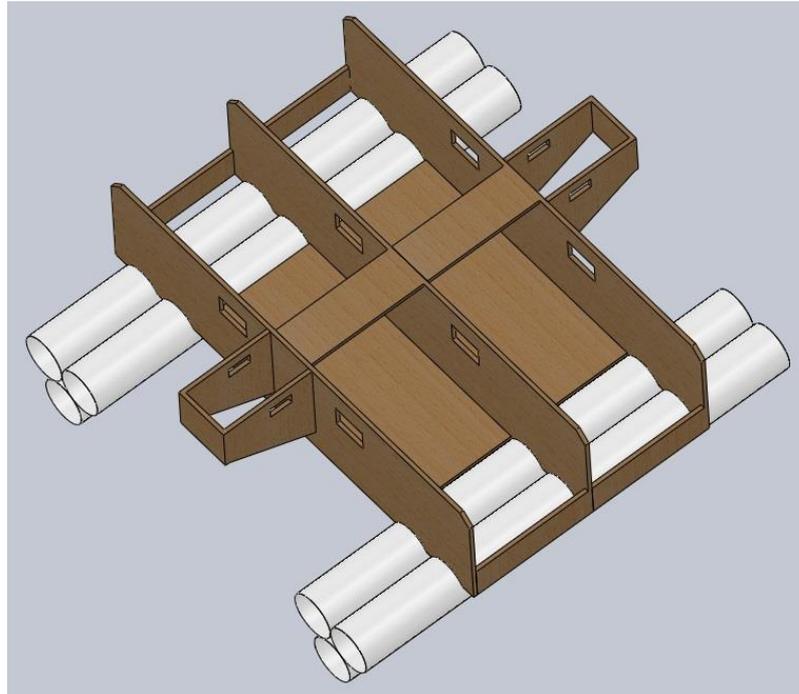
Figura 11 - Barco Robô proposto para construção



Fonte: Próprio Autor

O barco robô proposto, foi projetado a partir de dois conjuntos flutuadores, cada um é composto por três tubos de PVC de 200mm de diâmetro e dois metros de comprimento e um chassi de madeira. Os flutuadores são tubos de PVC utilizados principalmente para instalações de água e esgoto residencial, o que proporciona o fácil acesso ao material e baixo custo de aquisição. Na Figura 12 é possível visualizar um croqui com os dois conjuntos flutuadores e seu chassi, onde também está montado todo o sistema robótico e componentes eletroeletrônicos.

Figura 12 - Projeto Barco Robô - Chassi e Flutuadores



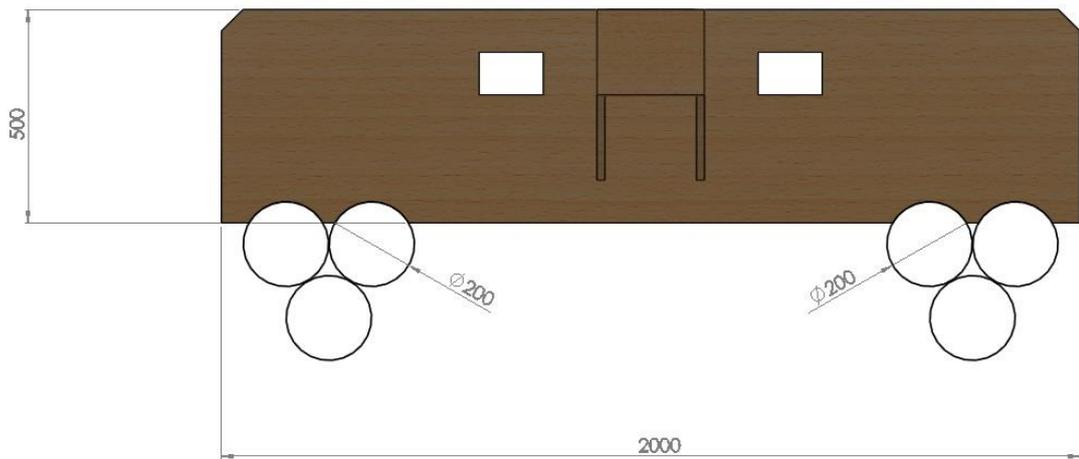
Fonte: Próprio autor

3.4.1 Estrutura mecânica

A estrutura mecânica ou chassi proposta para o barco robô é de madeira e compensado revestidas com tinta e verniz, a fim de garantir o baixo custo e facilitar os ajustes necessários.

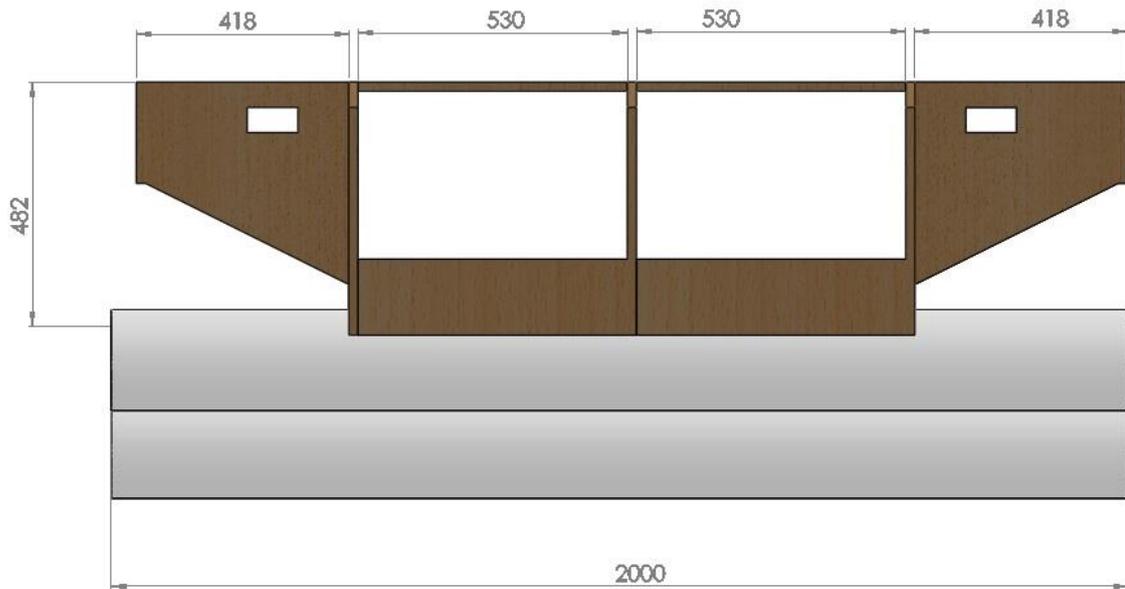
O chassi do barco robô, possui um design para que os flutuadores sejam encaixados em sua base inferior e contarão com compartimentos para instalação de toda eletrônica, controladores e baterias protegidos contra intempéries como, sol intenso, chuva e respingos de água. Em sua parte superior são instalados os módulos solares, responsáveis pela manutenção da energia elétrica necessária para o carregamento das baterias e funcionamento do barco robô. A extremidade traseira é o local onde é feita a instalação do motor elétrico responsável pela sua propulsão e direcionamento do barco. Na extremidade frontal está instalado o conjunto de sensores e bomba elétrica e em seu interior, estão instalados todos os demais componentes como baterias, controladores e toda eletrônica associada.

Figura 13 - Chassi do Barco Robô - Vista Frontal



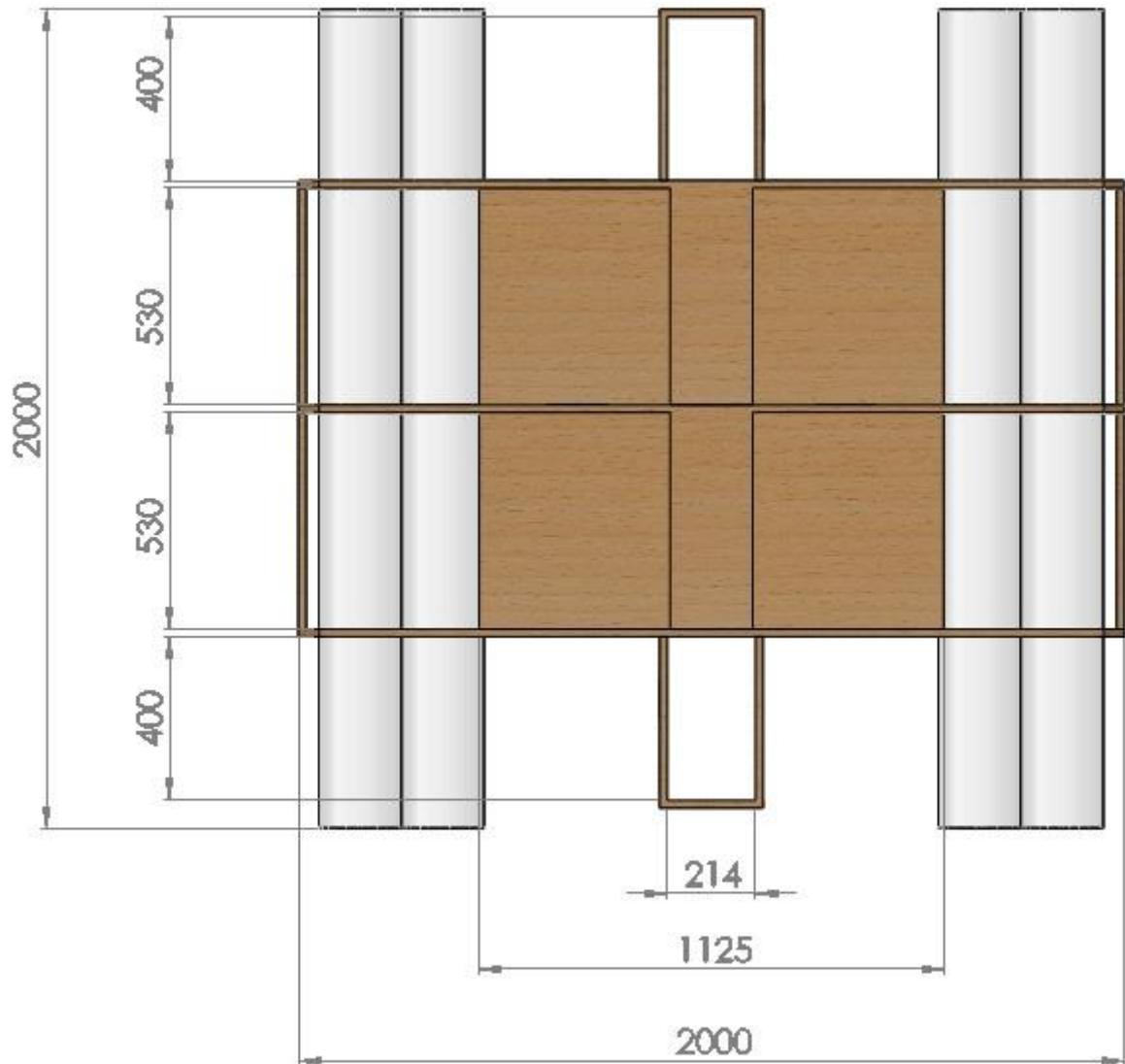
Fonte: Próprio Autor (Medidas em mm)

Figura 14 - Chassi do Barco Robô - Vista Lateral



Fonte: Próprio Autor (Medidas em mm)

Figura 15 - Chassi do Barco Robô - Vista Superior



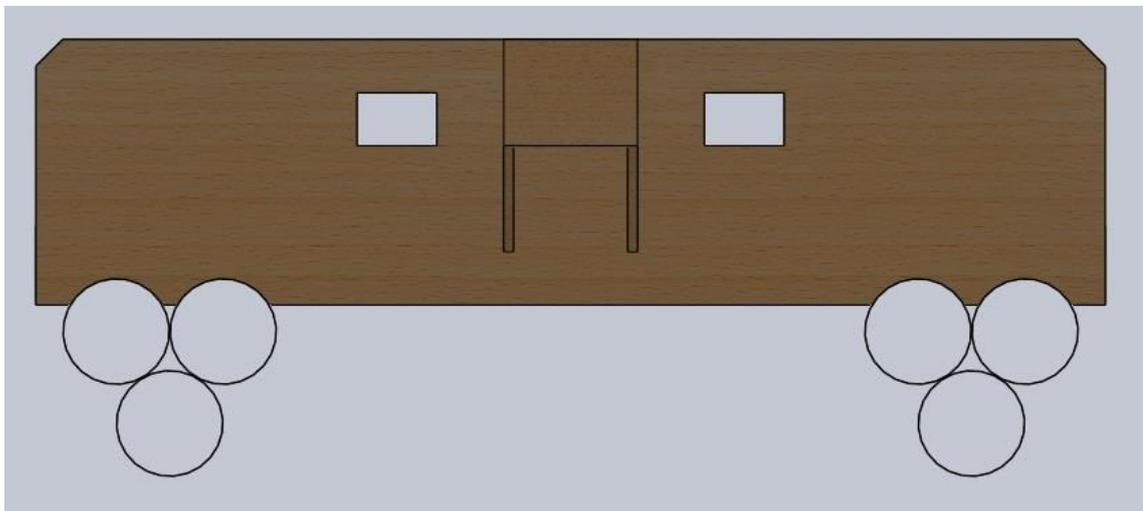
Fonte: Próprio Autor (Medidas em mm)

As Figuras 13, 14 e 15 detalham o chassi do barco robô que possui dimensões externas de aproximadamente 2 metros por 2 metros, o que proporciona grandes compartimentos para a alocação de todos os componentes e acessórios, além de espaço para futuras atualizações do barco.

3.4.2 Flutuadores

Os barcos do modelo Catamarã possuem grande estabilidade devido a sua estrutura composta por dois flutuadores, sendo que estes componentes são de essencial importância e atenção para um barco confiável no quesito estabilidade/flutuabilidade conforme Almeida (2014) e Ferreira (2007). O conjunto-flutuador proposto é composto cada um por 3 tubos de PVC com diâmetro de 200mm e com comprimento de 2 metros, unidos de forma triangular para que possuam o menor arrasto possível favorecendo o deslocamento na água, que pode ser observado na Figura 16 a seguir.

Figura 16 - Chassi com Flutuadores do Barco Robô - Vista Frontal



Fonte: Próprio Autor

Em Daniel *et al.*(2014) e Gokul *et al* (2017), os tubos de PVC foram a escolha para os flutuadores devido a questões de custo e a facilidade de acesso ao material.

Com os materiais e dimensões especificados, é possível fazer a estimativa da flutuabilidade do barco. A flutuabilidade é a força que atua em direção oposta à da gravidade que atua em todos os corpos submersos em um fluido, calculada a partir da equação (1):

$$F_E = V * d * g \quad (1)$$

Onde:

F_E : Força de Empuxo

V : Volume do corpo submerso

d : Densidade do fluido

g : Aceleração

Portanto, para o cálculo dos flutuadores do barco robô, é necessário:

- Cálculo de volume de um tubo de PVC.

Diâmetro de um tubo de PVC = 200mm²

Raio de um tubo de PVC = 0,100 m

Comprimento do tubo de PVC (l) = 2 m

Volume do tubo de PVC = $V_1 = \pi r^2 * l$

Volume do tubo de PVC = $V_1 = 0,06283 \text{ m}^3$

Como cada flutuador será composto por 3 unidades de tubos de PVC:

- Volume total dos tubos de PVC.

Volume total = $V_1 * 6$

Volume total = $0,3768 \text{ m}^3$

Com o volume total dos tubos de PVC que fazem parte dos flutuadores e sabendo que o barco robô será utilizado na água, podemos então calcular a força de empuxo a que o barco robô estará submetido e com isso encontrar o peso máximo permitido para os equipamentos que serão montados no barco.

$$F_E = V * d * g \quad (1)$$

V = Volume: $0,3768 \text{ m}^3$

d = Densidade da Água: 1000 kg/m^3

g = Aceleração: $9,81 \text{ m/s}^2$

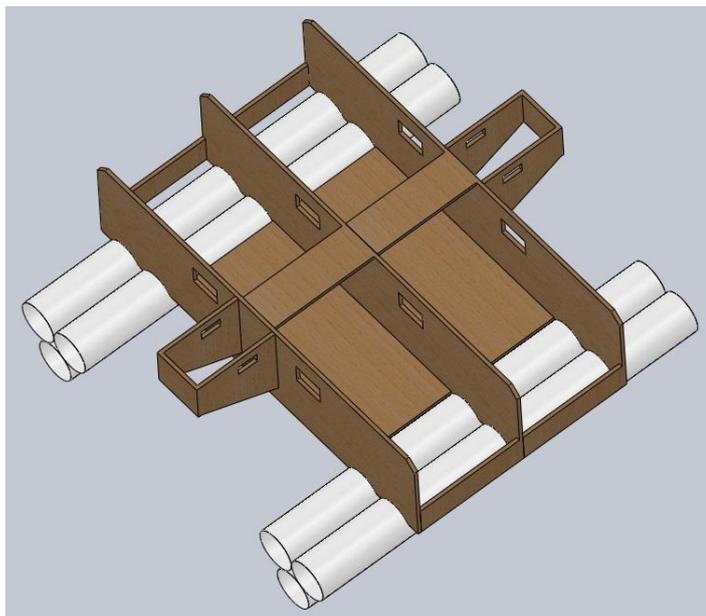
$F_E = V * d * g$

$F_E = 0,3768 * 1000 * 9,81$

Força de Empuxo: $3696,408 \text{ Newton}$

Com isso, podemos afirmar que a carga máxima teórica que o barco robô poderá sustentar será de 370 kg aproximadamente. Para garantir a segurança e estabilidade do barco, o peso dos equipamentos e componentes não poderão ultrapassar este valor e deverá ser considerada uma locação dos itens de maior peso como bateria, motor de propulsão e placas solares, conforme necessário, a fim de garantir a estabilidade do barco. A Figura 17 apresenta o projeto do chassi e flutuadores em perspectiva, que serviu de apoio para locação dos componentes.

Figura 17 - Chassi com Flutuadores do Barco Robô - Vista Perspectiva



Fonte: Próprio Autor

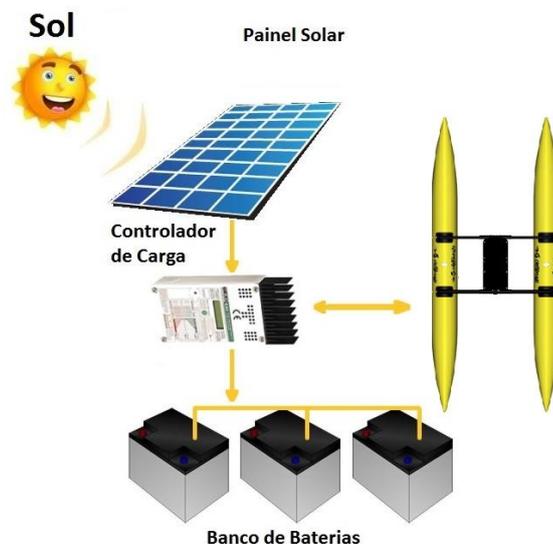
3.5 Sistema de alimentação

De acordo com Oliveira (2013), a aceitação crescente dos barcos robôs têm impulsionado o aproveitamento de novas fontes de energia como eólica, solar e das ondas do mar. Um exemplo mencionado por Manley (2008) é o barco robô *Wave Glider* do fabricante *Liquid Robotics* que alimentado por sistema fotovoltaico, alcançou a autonomia de 142 dias percorrendo 2500 milhas náuticas.

O sistema de fornecimento de energia escolhido para o veículo autônomo foi o sistema fotovoltaico devido ao histórico de bom desempenho e a alta incidência solar na região norte do Brasil (BLUESOL, 2017), e conseqüentemente na região do rio Tocantins na cidade de Marabá - PA, não tendo interferências com sombreamento de estruturas (SOUZA, 2017).

O sistema fotovoltaico isolado é composto por módulos fotovoltaicos ou popularmente conhecido como placas solares que realizam a transformação da energia solar em energia elétrica, por baterias que realizam o armazenamento da energia elétrica em energia química, e o controlador de carga, que é quem faz o gerenciamento desta energia e envia para os componentes elétricos do veículo, como motores, controladores, sensores, atuadores e outros. Na Figura 18 onde é apresentado um esquema de um sistema fotovoltaico isolado.

Figura 18 - Diagrama Esquemático de um Sistema Fotovoltaico Isolado



Fonte: Adaptado de Solares (2019)

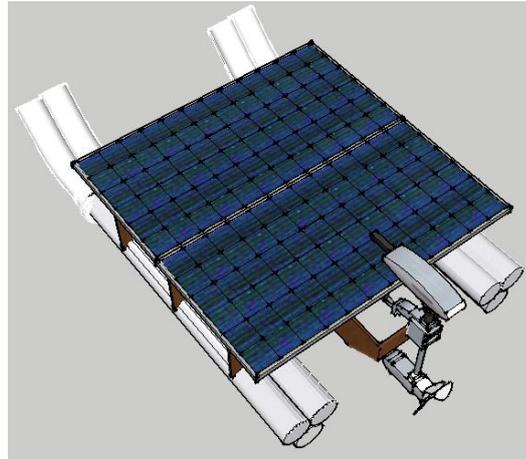
3.5.1 Modulo fotovoltaico

Segundo BlueSol (2017), um módulo fotovoltaico é a menor unidade de geração fotovoltaica, que é composto por células fotovoltaicas que são agrupadas para gerar tensão e corrente elétrica. Um painel fotovoltaico é composto por módulos fotovoltaicos interligados, fornecendo o potencial elétrico a um dispositivo de condicionamento de potência, como um controlador de carga.

O painel fotovoltaico é composto por dois módulos fotovoltaicos interligados modelo ASE-300-DG/17 do fabricante ASE Americas, Inc., o que irá fornecer ao robô uma potência estimada de 600 w total para uma irradiância solar no ambiente de 1000 w/m² médios, aproximadamente 60% de eficiência. Os módulos previstos para serem utilizados possuem capacidade de tensão e corrente de pico de 17,5V e 17,1A. A seguir são apresentadas outras informações importantes referentes aos módulos fotovoltaicos da (ASE AMERICAS INC., 2019), de modelo ASE-300-DG/17, tensão de trabalho de 17,5V, corrente de pico de 17,1 A, potência de pico de 300Wdc, 216 células do tipo multicristais.

Os módulos fotovoltaicos encontram-se instalados na parte superior do barco robô no plano horizontal sem inclinação conforme Figura 19, pois assim, a captação da energia solar será mediana para qualquer orientação a que o barco robô estiver submetido (DANIEL SMITH *et al*, 2014).

Figura 19 - Layout da Montagem dos Módulos Fotovoltaicos sobre o Barco Robô



Fonte: Próprio Autor

Tabela 3 - Irradiação Solar de Marabá no Plano Horizontal

Latitude: 5,326577° S
Longitude: 49,112256° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]													Média	Delta			
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out			Nov	Dez	
<input type="checkbox"/>	Nova Ipixuna	Nova Ipixuna	PA	BRASIL	5,301° S	49,149° O		5,0	4,47	4,64	4,59	4,73	4,72	5,00	5,20	5,56	5,23	4,74	4,63	4,37	4,83	1,19
<input checked="" type="checkbox"/>	Marabá	Marabá	PA	BRASIL	5,301° S	49,049° O		7,6	4,52	4,60	4,67	4,77	4,77	5,10	5,17	5,56	5,30	4,80	4,71	4,45	4,89	1,13
<input checked="" type="checkbox"/>	Marabá	Marabá	PA	BRASIL	5,401° S	49,149° O		9,2	4,57	4,71	4,71	4,79	4,69	5,01	5,14	5,51	5,33	4,89	4,74	4,49	4,88	1,02

Fonte: Centro de referência para as energias solar e eólica Sergio de S. Brito (Cresesb, 2019).

A Tabela 3 apresenta dados de irradiação solares diários médios coletados das duas estações situadas mais próximas à cidade de Marabá e que podem ser localizadas visualmente conforme a Figura 20 a seguir.

- Estação 1: Latitude: 5,301° S, Longitude 49,049° O
- Estação 2: Latitude: 5,401° S, Longitude 49,149° O

Figura 20 - Localização das Estações



Fonte: Google Maps (2019)

Conforme Bluesol (2017), a irradiância solar ou também chamada de intensidade radiante é a potência instantânea da radiação solar, e sua unidade de medida é o W/m^2 . Segundo Tabela 3 apresentada anteriormente, podemos analisar os valores das irradiâncias mensais para a região do rio Tocantins na região da cidade de Marabá, que será à base de nosso estudo.

Com base nestas informações de irradiância média no plano horizontal e com as características dos módulos solares a serem usados no barco robô, é possível realizar os cálculos de Energia Solar Captada que será disponibilizada para o sistema elétrico do barco robô que estão apresentados na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 – Cálculo de Energia Solar Disponibilizada para o Sistema Elétrico

Estação	Município	UF	País	Latitude (°)	Longitude (°)	Distância (km)	Irradiação solar diária média (kWh/m ² .dia)												
							Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Marabá	Marabá	PA	BRASIL	5,301°S	49,049°O	7,6	4,57	4,68	4,67	4,77	4,77	5,1	5,17	5,58	5,38	4,88	4,71	4,45	4,89
Marabá	Marabá	PA	BRASIL	5,401°S	49,149°O	9,2	4,57	4,71	4,71	4,79	4,69	5,01	5,14	5,51	5,33	4,89	4,74	4,49	4,88
Média Mensal Irradiação Solar							4,57	4,695	4,69	4,78	4,73	5,055	5,155	5,545	5,355	4,885	4,725	4,47	4,885
Energia Solar Captada							2,742	2,817	2,814	2,868	2,838	3,033	3,093	3,327	3,213	2,931	2,835	2,682	2,931

Fonte: Próprio Autor

3.5.2 Baterias

No sistema fotovoltaico isolado, as baterias possuem fundamental importância, visto que elas armazenam e fornecem a energia para todo o sistema elétrico do barco robô. Segundo BLUESOL (2017), as baterias em um sistema fotovoltaico isolado possuem três características importantes, a autonomia, estabilização de tensão elétrica e fornecimento de correntes elevadas ao sistema.

Conforme exposto por BLUESOL (2017), Oliveira (2012) e Furlan (2008), atualmente existem basicamente quatro modelos de baterias disponíveis no mercado que são as de íons de lítio (Li-Nion), níquel-cádmio (NiCd), níquel-metal hidreto (NiMH) e a de chumbo ácido, que se diferenciam principalmente pelos elementos químicos utilizados, vida útil, capacidade de carga e disponibilidade no mercado. O modelo escolhido para o barco robô é a de chumbo-ácido devido ao seu custo mais acessível. A Tabela 5 apresenta de forma resumida um comparativo entre os modelos de baterias comerciais.

Tabela 5 - Comparativo entre Modelos de Baterias Comercias

Dado	Chumbo-ácido	NiCd	NiMH	Li - ion
Densidade energética	Baixa	Baixa	Média	Alta
Características de estocagem	Precisam ser carregadas	Boas	Boas	Boas
Vida útil	Baixa	Longa	Longa	Média/Longa
Velocidade de carga	Lenta	Lenta ou rápida	Lenta ou rápida	Lenta
Restrições ambientais	Sim	Sim	Não	Não
Custo	Baixo	Médio	Médio/Alto	Alto
Tolerância de sobrecarga	Alta	Média	Baixa	Baixa

Fonte: Furlan (2008)

A bateria de chumbo-ácido de eletrólito líquido é amplamente difundida no comércio, devido ser utilizada em veículos automotores. Com isso, apesar de exibir características inferiores em relação às demais, o seu custo se sobressai sendo a melhor opção neste quesito.

A bateria a ser implementada no barco robô será um modelo 150Ah do fabricante Tudor, comumente utilizadas em caminhões devido a sua grande capacidade de armazenamento, suas especificações são apresentadas a seguir (TUDOR, 2019), modelo TXS150MVD – 150Ah, tensão 12 Vdc, corrente nominal de 150Ah e peso de 42,90kg.

Uma característica também a ser analisada com atenção em relação à bateria refere-se a seu peso, o que faz com que a bateria seja o componente unitário de maior peso do barco

robô, e com isso força a projetar um layout de locação dos componentes de forma que o centro de gravidade do barco não seja alterado.

3.5.3 Controlador de carga

Segundo Bluesol (2017), O controlador de carga de um sistema fotovoltaico é um dos principais componentes, pois é o responsável por aumentar o rendimento e a vida útil do banco de baterias, que é um dos componentes de maior custo do sistema. As principais funções de um controlador em um sistema fotovoltaico isolado são controle da recarga do banco de baterias, proteção contra sobrecargas indevidas, proteção contra descarga excessiva e informação do nível de carga do banco de baterias.

O controlador de carga pode ser classificado em controlador série, controlador shunt, PWM e controlador com MPPT, onde o que se diferencia é em relação à forma de controle da carga do banco de baterias (BLUESOL, 2017).

Para manter o objetivo do projeto de baixo custo, o controlador de carga proposto é o modelo CM5024Z, do fabricante Anself que possui modo de carga do tipo PWM, muito difundido no mercado com as características apresentadas a seguir (ANSELF, 2019), modelo CM5024Z, tensão nominal de 12V/24V automático, corrente nominal de 50A, modo de carga PWM e que suporta tensão máxima dos módulos em até 50V.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Este projeto teve como objetivo projetar e construir um protótipo de barco robô de baixo custo, que com aplicação para atividades de monitoramento ambiental, que realizasse a coleta e medição de amostras de qualidade de água em reservatórios de água, e foi motivado pela deficiência de monitoramento da qualidade de água na região norte do Brasil e pela crescente tendência da exploração sustentável dos recursos ambientais, entre eles o recurso hídrico.

4.1 Custos

A seguir é apresentada a Tabela 6 onde são expostos os principais custos do projeto. Os custos são referentes aos valores de aquisição dos materiais no mercado local e preços de materiais adquiridos pelo mercado eletrônico (internet).

Tabela 6 - Planilha com Custos de Componentes

Planilha com Custos de Componentes				
Item	Descrição	Valor Unitário	Quantidade	Valor Total
1	Microcontrolador Arduino UNO	R\$ 30,00	1	R\$ 30,00
2	Sensor PH	R\$ 60,00	1	R\$ 60,00
3	Sensor Temperatura	R\$ 15,00	1	R\$ 15,00
4	Módulo GPRS	R\$ 30,00	1	R\$ 30,00
5	Refrigerador 12V	R\$ 130,00	1	R\$ 130,00
6	Servo Motor 60kg	R\$ 200,00	1	R\$ 200,00
7	Bomba Elétrica	R\$ 80,00	1	R\$ 80,00
8	Caixa Box	R\$ 30,00	1	R\$ 30,00
9	Placa Solar 300W	R\$ 900,00	2	R\$ 1.800,00
10	Controlador de Sistema Fotovoltaico	R\$ 250,00	1	R\$ 250,00
11	Baterias 12V 150A	R\$ 450,00	2	R\$ 900,00
12	Motor Elétrico Propulsão 12V 450W	R\$ 900,00	1	R\$ 900,00
13	Motor Elétrico Sensor	R\$ 60,00	1	R\$ 60,00
14	Reles	R\$ 30,00	10	R\$ 300,00
15	Cabos Elétricos Diversos	R\$ 300,00	1	R\$ 300,00

16	Ferragens diversas (parafusos, porcas, etc.)	R\$ 500,00	1	R\$ 500,00
17	Flutuantes (Tubos PVC)	R\$ 200,00	3	R\$ 600,00
18	Chassi (Madeira)	R\$ 250,00	1	R\$ 250,00
19	Outros	R\$ 300,00	1	R\$ 300,00
20	Mão de Obra Total	R\$ 5.000,00	1	R\$ 5.000,00
	TOTAL			R\$ 11.735,00

Fonte: Próprio autor

Os custos de mão de obra para realização da montagem mecânica, elétrica, eletrônica e o desenvolvimento do software supervisor, que foram realizados pelo próprio autor e parceiros, foram calculados com base nas horas efetivamente aplicadas na montagem e desenvolvimento de software, com valores estimados de custos horários de profissionais de nível técnico, que entendemos que possuem o nível de instrução mínimo para realização desta atividade com o acompanhamento devido.

O custo total do protótipo de R\$ 11.735,00, é um valor muito acessível, mesmo tratando-se de um protótipo de barco robô ainda em desenvolvimento. Ao compararmos com soluções comerciais como a boia modelo 1,5 metros com sonda multiparamétrica do fabricante Agsolve que custa o valor de R\$ 70.244,76 (AGSOLVE, 2020), ou R\$ 170.000,00 aproximadamente, relativos ao custo do barco robô Iracema que possui maior quantidade de sensores embarcados, como sonda multiparamétrica, sonar, ecobatímetro e outros (Secitece, 2018), é possível concluir que o projeto é oportuno ao promover um alto valor agregado a um custo acessível.

4.2 Protótipo físico

Durante a etapa de construção do barco robô, foram utilizadas diversas ferramentas de auxílio para a condução do projeto a fim de aperfeiçoar o tempo e a assertividade da montagem. Com isso, para a montagem mecânica, softwares de projeto como SolidWorks 2010 e Sकेetchup 2016 foram muito úteis para auxílio no dimensionamento da estrutura do barco robô, pois com isso as medidas podiam ser conferidas e ajustadas para que posteriormente fossem confeccionadas as peças em tamanho real.

Após a construção mecânica da estrutura em chapas de madeira de compensado, os componentes mecânicos (trilhos, suportes, flutuadores, etc.), elétricos (motores, guincho, fonte, refrigerador, etc.) e eletrônicos (sensores, controladores, etc.) foram montados, para que

pudesse ser analisado o melhor encaminhamento de cabos e tubulações para as interligações, mecânicas, elétricas, eletrônicas e hidráulicas.

A integração eletrônica necessitou de revisões, onde alguns componentes previamente selecionados, não obtiveram os resultados esperados, como o sistema de comunicação entre o barco robô e o operador, GPRS que foi alterado para o ESP8266 Node MCU, controladores de motores do guincho, nível de água do reservatório e outros que tiveram que ser substituídos por sistemas temporizados para que se pudesse simplificar os comandos, e com isso baratear o projeto ao reduzir a quantidade de sensores.

Após a montagem de todos os sistemas mecânicos, elétricos e eletrônicos foi realizada a integração por meio do controlador Arduino UNO e plataforma com supervisório em um dispositivo móvel, um *tablet*.

Na Figura 21 está o barco robô operacional em tamanho real, no rio Tocantins onde foram realizados os primeiros testes operacionais em campo.

Figura 21 – Protótipo do Barco Robô no Rio Tocantins



Fonte: Próprio Autor

O sistema de guincho é demonstrado na Figura 22. Para garantir a flexibilidade e movimentação da placa de sensores, foram utilizadas guias lineares e mangueiras espirais.

Figura 22 – Detalhe do Suporte de Sensores / Guincho



Fonte: Próprio Autor

O sistema de controle do leme apesar de em operação, tem apresentado inconsistências e falhas, tanto mecânicas como eletrônicas devido a protocolos de comunicação diferentes, entre o modulo Edukatica (protocolo SBUS, de receptores de radio frequência) e o Arduino, com isso cogita-se alterar este controlador para um controlador com servo motor de 60kg/cm, que já tem demonstrado ser promissor. O servo motor possui compatibilidade nativa com a plataforma Arduino, e não necessita de grandes ajustes como o modulo Edukatica tem necessitado. A Figura 23 apresenta o conjunto atual instalado no protótipo do barco robô.

Figura 23 – Detalhe do Controlador / Mecanismo Leme



Fonte: Próprio Autor

O sistema de coleta de amostras está apresentado nas figuras 24, 25, 26 e 27, onde é possível visualizar na figura 24 o sistema de válvulas que fazem a retro lavagem do sistema a cada coleta, e a válvula que libera o envio da amostra coletada ao reservatório. Como mencionado no decorrer do trabalho, não foi verificada esta função nos outros barcos robôs que foram objeto de estudo, sendo um diferencial deste projeto.

Figura 24 – Detalhe do Sistema de Válvulas Solenoide



Fonte: Próprio Autor

Figura 25 – Vista Inferior do Suporte de Sensores



Fonte: Próprio Autor

Figura 26 – Detalhe do Suporte de Sensores



Fonte Próprio Autor

As figuras 25 e 26 mostram em detalhe a instalação da bomba coletora, posição dos sensores de pH e temperatura da água, além da tubulação flexível essencial para possibilitar a movimentação da placa de sensores.

Na figura 27 é possível observar o alcance da placa de sensores. Não funcionou como esperado, visto que para alcançar os 15 cm a 30 cm de profundidades necessárias para atender os procedimentos da TSGA 2014, o barco deveria estar com peso suficiente para que os flutuadores estivessem quase que em sua totalidade submersa, o que não aconteceu. Com isso, a profundidade que se conseguiu foi em torno de 5 cm da superfície da água, não atendendo as especificações da TSGA 2014.

Figura 27 – Detalhe do suporte de Sensores abaixado



Fonte: Próprio Autor

O refrigerador de amostras pode ser observado na Figura 28, onde apesar de alcançar temperaturas próximas da necessidade, entendemos que o tempo para isso é demasiado extenso, aproximadamente 5 horas, sendo necessário também uma melhoria no sistema, ou a possível troca por máquina de gelo 12v, por exemplo. O tempo para refrigeração da amostra é um item importante e condicionante para garantia da qualidade da amostra, visto que este procedimento é quem garante a redução da velocidade da degradação do analito.

Figura 28 – Detalhe do Refrigerador de Amostras



Fonte: Próprio Autor

O sistema elétrico do barco é apresentado nas Figuras 29 e 30, onde é possível observar o inversor e fonte de alimentação que atende toda parte de comando e controle do

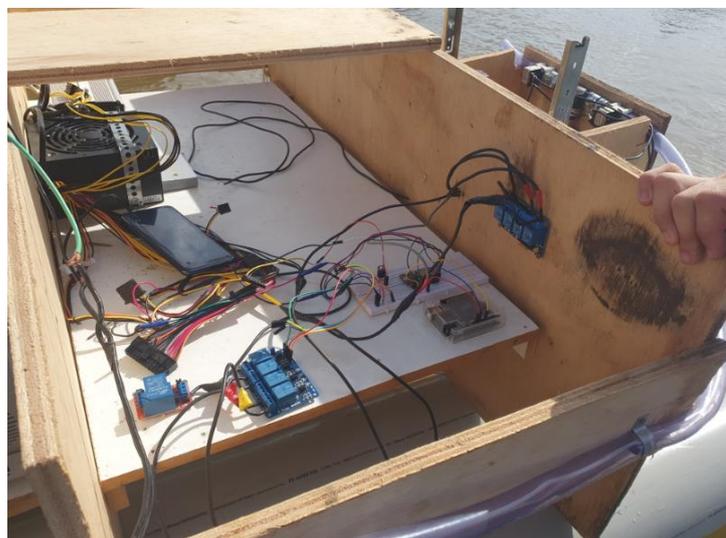
protótipo e pequenas cargas de potência. A linha de potência dos motores do leme e do propulsor é proveniente diretamente da bateria de 12Vdc para que não ocorra limitação de potência. A Figura 30 apresenta as conexões eletrônicas, relés auxiliares, relés de potência, módulos de comunicação e de sensores e suas interconexões.

Figura 29 – Inversor 12V/127V e Fonte 500W



Fonte: Próprio Autor

Figura 30 – Interligações Eletroeletrônicas



Fonte: Próprio autor

A interface homem máquina é apresentada na Figura 31, onde é possível controlar o barco por meio de botões e realizar as leituras dos dados dos sensores. A interface apresentada ainda está em desenvolvimento, visto que é controlado o barco com ações independentes, mas que deverão ser transformadas em rotinas, como exemplo a coleta de amostra, que deverá

realizar automaticamente uma rotina pré-definida e não ações independentes conforme o operador definir. Esta interface foi inicialmente montada desta forma para facilitar o processo de testes e ajustes do barco robô, que poderá posteriormente ser agrupada em comandos mais complexos e sequenciais, não precisando exigir tanto do operador.

Figura 31 – Interface Homem Máquina



Fonte: Próprio Autor

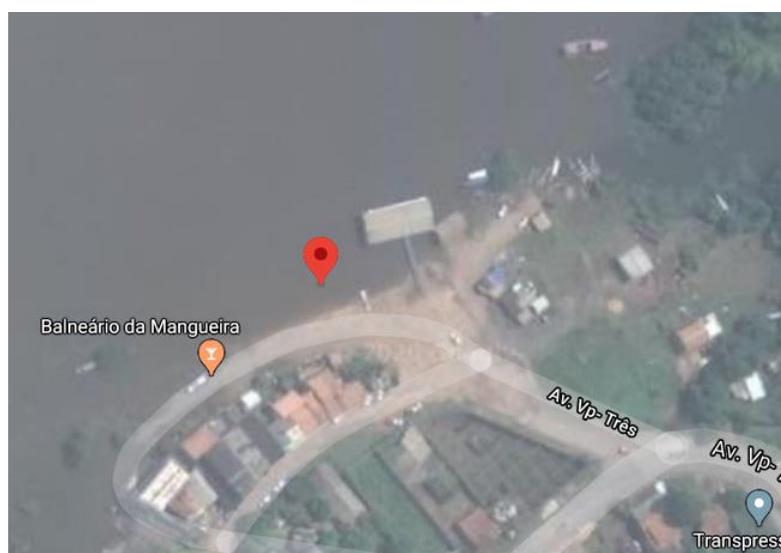
4.3 Coletar, transportar e analisar amostras de água

Com o barco robô em operação às margens do rio Tocantins, foi possível realizar o procedimento de medida de ph e temperatura da água além da temperatura e umidade do ambiente, apesar da coleta ter sido realizada na superfície, onde obtivemos os dados conforme variações a seguir:

- ph: 8,285, 8,267
- Temperatura da água: 28°C
- Temperatura ambiente: 32°C
- Umidade do ar: 78%.

O teste do barco robô aconteceu na data de 30 de dezembro de 2019 no período da tarde, realizado às margens do rio Tocantins numa área pública de desembarque de barcos (Figura 32 e Figura 33), onde com um raio de até 20 metros da margem testamos o equipamento amarrado por um cabo, devido ao risco de falhas e correnteza no local. Realizamos diversas medidas, onde as temperaturas da água e do ar, além da umidade relativa se mantiveram constantes, somente a leitura de ph que ocorreu divergências, onde pudemos encontrar os dois valores médios apresentados anteriormente, esta divergência de ph pode ser devido a bolsões de água com material orgânico, poluição, ou outra característica pontual que promove esta alteração até sua total diluição com o meio (Borssato *et al.*, 2010). É importante destacar que a coleta e medições das amostras, não foram realizadas na profundidade ideal que deve ser de no mínimo de 15 cm de profundidade, as mesmas foram realizadas na superfície do rio devido a limitações de comprimento e ajustes no trilho que sustentam os sensores e bomba coletora, apesar deste desvio, prosseguimos com os testes afim de averiguar todo o funcionamento do sistema.

Figura 32 – Localização da Área de Teste do Barco Robô



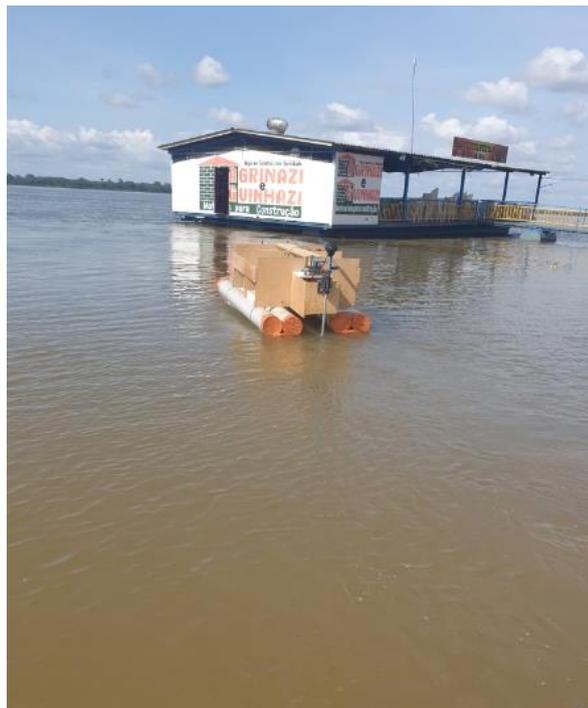
Fonte: Google Maps (2019)

Dando continuidade aos testes do barco robô, foi realizada a coleta da água e iniciado a refrigeração da amostra para aferição de todo o sistema proposto, além de aferir o desempenho, como velocidade de coleta, capacidade real do reservatório do barco, e temperatura mínima alcançada, além do período de tempo para alcançar a temperatura necessária de 4°C. Após a apuração destes dados, foi possível compor as características do barco conforme a seguir:

- Velocidade de Coleta (para um litro): 3 segundos aproximadamente
- Volume do Reservatório: 7,8 litros
- Temperatura Mínima da Amostra (para um litro): 5°C
- Tempo para Temperatura Mínima (para um litro): 5 horas aproximadamente

Complementarmente a amostra foi analisada em laboratório da empresa JBS Friboi com medidor modelo pHmetro DM-2P do fabricante Digmed aferido e certificado sob o número NM-2547/19 válido até 05/20 para comparação das medições realizadas, e após análise, concluímos que o ph da amostra estava em 8,28, em consonância com os valores obtidos pelo Sensor de ph instalado no Barco Robô, demonstrando sua confiabilidade de informação, além de atender o objetivo do projeto que é analisar, coletar e transportar a amostras de água.

Figura 33 – Barco Robô em Teste



Fonte: Próprio Autor

5 CONCLUSÕES

O projeto do barco robô foi concluído conforme objetivo do geral da proposta ao realizar o projeto, dimensionamento e montagem e realizar as medições de ph e temperatura, além da realização de coleta e refrigeração de amostras. É fato que o mesmo precisa de ajustes, aferições, tanto na parte mecânica, elétrica e eletrônica como na parte de contaminação de amostras. A automação dos comandos foi baseada em temporizadores a fim de facilitar e baratear o custo do projeto, que para um desenvolvimento comercial faz-se necessário a implementação de sensores fim de curso, controladores pid's para a correção de cursos, e sinais codificados para segurança da informação. Em relação às questões de controle de contaminações, para um produto comercial, faz-se necessário a análise da eficácia do sistema de retro lavagem das válvulas, mangueiras do sistema e bomba do sistema de coleta, além de melhora do desempenho do sistema de refrigeração da amostra a fim de reduzir o tempo para alcançar os 4°C necessário.

O projeto mesmo com todos os pontos a melhorar elencados anteriormente se mostra promissor, além de possibilitar diversos outros avanços em suas aplicações, como a adição de sensores complementares de qualidade de água, ou outros.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Conforme descrito em possíveis pontos de melhoria no projeto do Barco Robô, para trabalhos futuros sugere-se:

- Adição de sensores para que o barco robô torne-se uma plataforma multiuso
- Adição de controladores para aumento da confiabilidade dos controles e comandos
- Discutir e analisar sistema de retro lavagem e contaminação cruzada de amostras
- Desenvolver e aplicar controlador Pid's para o sistema de controle do leme do barco robô
- Desenvolver controle autônomo via gps para o barco robô
- Desenvolver solução de refrigeração mais eficiente para as amostras
- Desenvolver novo chassi com novos materiais e reciclados

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AG SOLVE Monitoramento Ambiental, Proposta Comercial 22757.1. Indaiatuba, SP. 2020;

ALAM, Khairul, TAPABRATA RAY, Sreenatha G. ANAVATTI; Design And Construction Of An Autonomous Underwater Vehicle; Neurocomputing, vol. 142, 2014;

ALMEIDA, Thales Eugenio Portes de. Sistema de sensoriamento de orientação para um veículo aquático de superfície utilizando sensores de baixo custo. 2014. Dissertação (Mestrado em Sistemas Dinâmicos) - Escola de Engenharia de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2014;

ANA, Agência Nacional De Águas, Capacitação Para O Singereh: Monitoramento Da Qualidade Da Água De Rios E Reservatórios, Autoinstrucional - 40h; Ministério Do Meio Ambiente, Governo Federal, Brasil. 2013;

ANA, Agência Nacional De Águas, Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras, água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas. Brasília – DF, 2011;

ANA, Agência Nacional De Águas, Programa Nacional de Avaliação de Qualidade das Águas – PNQA, outubro, 2009. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/PUBLICACOES/Workshop%20Aguas%20Urbanas/S2P3_Maurrem.pdf>. Acesso em: 13/05/2020.

ANA, Agência Nacional De Águas, Programa Nacional de Avaliação de Qualidade das Águas, 2ª Edição, Brasília. 2014;

ANA, Agência Nacional De Águas, Qualidade De Água Em Reservatórios; 2012 Disponível em: <<http://Dspace.Agencia.Gov.Br:8080/Conhecerhana/74>>. Acesso em: 13/05/2020.

ASE-300-DG/17, Manual. Disponível Em: <<Http://Www.Physics.Arizona.Edu/~Cronin/Solar/Tep%20module%20spec%20sheets/Ase-300-17.Pdf>>. Acesso em: 13/05/2020.

BATERIAS TUDOR, Bateria Txs150mvd. Disponível Em: <Http://Tudor.Com.Br/Pt_Br/Produtos/Automotiva-Pesada>. Acesso em: 13/05/2020.

BERTRAM, V. Unmanned Surface Vehicles - A Survey. 2 Rue François Verny, F-29806 Brest, France, 2008;

BLUESOL, Os Sistemas De Energia Solar Fotovoltaica, Livro Digital De Introdução Aos Sistemas Solares, Bluesol Educacional. Disponível em: <<http://Www.Bluesol.Com.Br>>. Acesso em: 13/05/2020.

BLUESOL, Unidade Didática 02: Células Fotovoltaicas: Tipos E Tecnologias. Disponível em: <<http://Campusvirtual.Bluesoleducacional.Com.Br>>. Acesso em: 13/05/2020.

BLUESOL, Unidade Didática 04: Baterias: Características Técnicas E Utilização Em Sistemas Fotovoltaicos. Disponível em: <<http://Campusvirtual.Bluesoleducacional.Com.Br>>. Acesso em: 13/05/2020.

BORSATTO, Josélia Calixto Leitão. Análise da Qualidade da Água nos Rios Tocantins e Cacao no Trecho da Construção da Ponte da Amizade, Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 2, p. 163-177, abr./jun, 2010;

BRASIL. Decreto-lei nº 9.433 de janeiro de 1997, Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989;

BRASIL. Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente. 2005;

CARVALHO, Aurean de P. et al. Diagnóstico da degradação ambiental da bacia do rio Taquari em Araguatins (TO). Caminhos da Geografia, Uberlândia, v. 7, n. 20, 2007.

CHAVEZ, Francisco P. et al. Measurements of pCO₂ and pH from an autonomous surface vehicle in a coastal upwelling system. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, v. 151, p. 137-146, 2018.

CNRH, Conselho Nacional De Recursos Hídricos, Caderno da região hidrográfica amazônica. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. MMA, Brasília, DF. 124p. 2006;

CONTE, Giuseppe et al. Experimental testing of a cooperative ASV-ROV multi-agent system. IFAC-PapersOnLine, v. 49, n. 23, p. 347-354, 2016.

COUCEIRO, Sheyla Marques; HAMADA, Neusa. Os instrumentos da política nacional de recursos hídricos na região norte do Brasil. Oecologia Australis, v. 15, n. 4, p. 762-774, 2011.

DUNBABIN, Matthew; GRINHAM, Alistair; UDY, James. An autonomous surface vehicle for water quality monitoring. In: Australasian Conference on Robotics and Automation (ACRA). Citeseer, 2009. p. 2-4.

FARINACCIO, Rafael.; Barco autônomo da Rolls-Royce pode ser o futuro das patrulhas marítimas. Tecmundo. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/mobilidade-urbana-smart-cities/121993-barco-autonomo-rolls-royce-futuro-patrulhas-maritimas.htm>. Acesso em 04/06/2019;

FERREIRA, Hugo et al. Roaz autonomous surface vehicle design and implementation. Robótica Control, Automação, instrumentação, 2007.

FERREIRA, Ítalo Oliveira, NETO, Arthur Ayres, MONTEIRO, Cristina Sameiro, O Uso De Embarcações Não Tripuladas Em Levantamentos Batimétricos, Revista Brasileira De Cartografia, Rio De Janeiro, No 68/10, P. 1885-1903, 2016;

FRANCISCO, Wagner de Cerqueira E. "Bússola"; Brasil Escola. Disponível em: <<https://Brasilecola.Uol.Com.Br/Geografia/Bussola.Htm>>. Acesso em 03 De outubro De 2018;

FURLAN, André Luís, Análise Comparativa De Sistemas De Armazenamento De Energia Elétrica Fotovoltaica Por Meio De Baterias E Hidrogênio Em Localidades Isoladas Da Região Amazônica, Dissertação, Unicamp, Campinas – SP, 2008;

GIORDANO, Francesco et al. Integrating sensors into a marine drone for bathymetric 3D surveys in shallow waters. *Sensors*, v. 16, n. 1, p. 41, 2016.

GLASGOW, Howard B. et al. Real-time remote monitoring of water quality: a review of current applications, and advancements in sensor, telemetry, and computing technologies. *Journal of experimental marine biology and ecology*, v. 300, n. 1-2, p. 409-448, 2004.

HITZ, Gregory; POMERLEAU, François; "Autonomous Inland Water Monitoring: Design and Application of a Surface Vessel," in *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 19, no. 1, pp. 62-72, March, 2012;

JUNIOR, Silva et al. Towards a real-time embedded system for water monitoring installed in a robotic sailboat. *Sensors*, v. 16, n. 8, p. 1226, 2016.

KIM, Donghoon et al. Development and experimental testing of an autonomous jellyfish detection and removal robot system. *International Journal of Control, Automation and Systems*, v. 14, n. 1, p. 312-322, 2016.

LORD, Selborne. A ética do uso da água doce: um levantamento. 2001.

MANLEY, Justin E. Unmanned surface vehicles, 15 years of development. In: *OCEANS 2008. Ieee*, 2008. p. 1-4.

MARQUETTI, Lilian; SANTOS, Luan. Mini geladeira. *Etic-Encontro de Iniciação Científica-ISSN 21-76-8498*, v. 15, n. 15, 2019;

MATTOS, David Issa; DOS SANTOS, Douglas Soares; NASCIMENTO, Cairo Lúcio. Development of a low-cost autonomous surface vehicle using MOOS-IvP. In: *2016 Annual IEEE Systems Conference (SysCon)*. IEEE, 2016. p. 1-6.

MENDONÇA, Angela Maria et al. Confiabilidade dos parâmetros monitorados em águas por sonda multiparâmetros. 2016.

MIGUENS, Altineu Pires. Navegação: a ciência e a arte. Volume I. Navegação Estimada, Costeira E Em Águas Restritas. Niterói: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 1996.

MIRANDA, Sebastião Atila Fonseca. Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas: Condições de suas águas versus Resolução N 357/CONAMA/20051. *Scientia Amazonia*, v. 6, n. 2, p. 83-90, 2016.

NEGREIROS, Álvaro Pinto Fernandes de. N-Boat: projeto e desenvolvimento de um veleiro robótico autônomo. 2019. Dissertação de Mestrado. Brasil.

OLIVEIRA, Alan Vicente. Análise comparativa de metodologias de estimação de parâmetros aplicada a modelos analíticos utilizados na predição do tempo de vida de uma bateria. 2012.

OLIVEIRA, Lara Christina Braga de. Modelagem e controle de um veículo aquático de superfície. 2013.

PARÁ, Decreto-lei n° 6.381 de 25 de julho de 2001, Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. Assembleia Legislativa do Estado do Pará. 2001;

RAMOS, María C.; QUINTON, John N.; TYRREL, Sean F. Effects of cattle manure on erosion rates and runoff water pollution by faecal coliforms. *Journal of Environmental Management*, v. 78, n. 1, p. 97-101, 2006.

SANTOS, Auderi Vicente et al. Robô Ambiental Híbrido: um novo conceito em locomoção e monitoramento de áreas inóspitas na floresta amazônica.

SANTOS, Einstein Gomes dos. Arquitetura de Software para Barcos Robóticos. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SANTOS, Vitor Juntas. Avaliação da rede de monitoramento hidrológico e sua contribuição para a gestão dos recursos hídricos no estado do Pará. Trabalho de conclusão de curso de especialização em gestão ambiental. Universidade Federal do Pará. Belém, PA, 38p. 2008;

SECITECE – Secretária da Ciência, Tecnologia e Educação Superior do Estado do Ceará. Barco Autonomo IRACEMA Integra a Expedição Científica no Baixo Rio São Francisco, 2018. Disponível em: <<https://www.sct.ce.gov.br/2018/10/18/barco-autonomo-iracema-integra-a-expedicao-cientifica-no-baixo-rio-sao-francisco/>>. Acesso em 30/01/2020;

SILVA, Jose Henrique. Projeto e Construção de um Barco Movidado à Energia Solar. ABCM Symposium Series in Mechatronics, v. 6, part. 2, s. IV. 2014

SMITH, DANIEL et al. Design of a semi-autonomous boat for measurements of coastal sedimentation and erosion. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, v. 367, p. 447, 2015.

SOUSA, Adriano Cyrino de. Estudo de uma usina solar fotovoltaica flutuante em um lago de hidrelétrica: UHE Tucuruí. 2017.

SOUZA, L. C.; Barco autônomo. Revista Pesquisa Fapesp, 2017. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/2017/03/17/barco-autonomo/>>. Acesso em: 22/08/2019;

SOUZA, Manoel Nascimento; da Fonseca, Márcia Batista. Enquadramento Dos Corpos de Água em Classe: Instrumento de Proteção da Qualidade Ambiental Dos Recursos Hídricos Nacionais. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade. Anais. Conde (PB): 2013.

STEIN, Procópio Silveira; REIS, N. R. S. D. Sistema integrado de navegação para o Robô Ambiental Híbrido na Floresta Amazônica. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 21-26, 2007.

TSGA, Tecnologias Sociais para a Gestão da Água, Programa De Capacitação Em Gestão Da Água, Curso: Monitoramento E Diagnostico De Qualidade De Água Superficial, Florianopolis - Sc, Ufsc; 2014;

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Limnologia. São Paulo: Oficina de Textos. 631 p. Soils and Sediments, v. 2, n. 4, p. 216-222, 2008.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: UFMG, v. 1, p. 452, 2005.

WANG, Jianhua et al. An unmanned surface vehicle for multi-mission applications. In: 2009 International Conference on Electronic Computer Technology. IEEE, 2009. p. 358-361.

APÊNDICE A – ESPECIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS COMPONENTES PARA O SISTEMA ELETRO ELETRÔNICO DO BARCO ROBÔ

Este apêndice apresenta as especificações dos equipamentos e componentes principais utilizados na fabricação e montagem do barco robô, como: sensores, atuadores e controladores eletroeletrônicos. Discussões da aplicação no barco robô são discutidas no Capítulo 3, referente aos Materiais e Métodos utilizados na construção do barco robô.

Módulo de Comunicação

O barco robô foi equipado com sistema de comunicação via Wifi, que com o auxílio de um roteador proporciona uma área de cobertura de aproximadamente 6 km² por se tratar de um ambiente aberto e livre de obstáculos. Os detalhes do módulo são apresentados a seguir no Quadro 1.

Quadro 1 - Módulo WIFI - Quadro de Dados

Módulo Wifi ESP8266 NodeMCU
Especificação:
Wireless padrão 802.11 b/g/n
Alcance: Aprox. 6 km ²
Tensão de operação: 4,5Vdc ~ 9Vdc
Antena embutida
Conector micro-usb
Modos de operação: STA/AP/STA+AP
Suporta 5 conexões TCP/IP
Portas GPIO: 11
GPIO com funções de PWM, I2C, SPI, etc
Taxa de transferência: 110-460800bps
Conversor analógico digital (ADC)
Dimensões: 49 x 25,5 x 7 mm

Fonte: FlipFlop (2019)

Motor Propulsão

O veículo autônomo será impulsionado por meio de um motor elétrico de popa, como os motores auxiliares de embarcações de pesca de pequenas dimensões, que possuem um controle de velocidade manual e potência suficiente para movimentação deste veículo conforme informação de catálogo apresentadas no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2 - Motor Elétrico - Quadro de Dados

Fabricante	Phantom
Modelo	Motor Elétrico 54lbs água doce
Potência lbs/hp/kw	2,3hp/1,73kw
N de velocidades frente	5
N de velocidades trás	2
Altura	43 pol
Tensão Nominal	12Vdc
Corrente em Vel. 1	16A/h
Corrente em Vel. 2	26A/h
Corrente em Vel. 3	36A/h
Corrente em Vel. 4	46A/h
Peso	12 kg

Fonte: Phantom (2019)

Relés Eletromecânicos

O barco robô é composto por diversos relês eletromecânicos que possuem total compatibilidade com a plataforma Arduino. O modelo escolhido foi do fabricante Songle, já incorpora o opto-acoplador em sua placa o que garante a segurança contra possíveis interferências, seus dados complementares são apresentados no Quadro 3 a seguir.

Quadro 3 - Relé Eletromecânico - Quadro de Dados

Fabricante:	SONGLE
Modelo:	SLA-05VDC-SL-C
Tensão Bobina:	5 Vdc
Corrente Máxima:	30 A
Contato Carga:	NF+NA
Quantidade:	6 unidades

Fonte: Songle (2019)

Motor Leme

O controlador utilizado para o controle do leme do barco robô, é baseado no controlador do fabricante Edukatika, modelo SS10A, apresentado no Quadro 4 a seguir.

Quadro 4 - Controlador de posição - Quadro de Dados



Fabricante:	Edukatika
Modelo:	SS10A
Tensão trabalho:	12Vdc à 24Vdc
Corrente Máxima:	20A
Tipo de Controle	PPM
Aplicação:	Motores DC - 2 fios

Fonte: Edukatika (2019)

O servomotor utilizado para realizar o posicionamento do leme/propulsor foi o conjunto moto-redutor utilizado em veículos da linha Gol no limpador de pára-brisa, modelo YM054 do fabricante YMAX. O Quadro 5, apresenta os dados complementares do motor escolhido.

Quadro 5 - Moto Redutor - Quadro de Dados



Fabricante:	YMAX
Modelo:	YM054
Tensão de Trabalho:	12 Vdc
Corrente Nominal:	6 A

Fonte: YMAX (2019)

Bomba de Coleta

A bomba utilizada para realização da coleta de amostra de água é apresentada no quadro 6.

Quadro 6 - Bomba Elétrica - Quadro de Dados

Fabricante	SEAFLO
Modelo	500 GPH - SFBP1-G500-01
Tensão	12 Vdc
Consumo	1,6 A
Capacidade	1.890 l/h
Peso	400 g

Fonte: SEAFLO (2019)

Refrigerador de Amostras

O modelo utilizado para realizar o resfriamento da amostra foi o refrigerador portátil do fabricante Lorben que possui as seguintes características apresentadas no Quadro 7.

Quadro 7 - Refrigerador Lorben - Quadro de Dados

Fabricante:	LORBEN
Modelo:	7,5 lts
Pmax (W):	30w (resfriamento) / 28w (aquecimento)
Capacidade (mm):	7,5 lts
Tensão Max:	12 Vdc
Corrente Max:	3 A
Range Temp:	4°C à 55°C

Fonte: Equipamentos Lorben (2019)

Sensor pH

O sensor de ph a ser utilizado será o modelo PH - 4502C do fabricante DIY MORE, que possui as demais características específicas conforme o Quadro 8 a seguir.

Quadro 8 - Sensor PH - Quadro de Dados

Tensão de Trabalho	5±0.2V (AC -• DC)
Corrente de Trabalho	5-10mA
Detecção de Variação de Concentração	PH0 - PH14
Detecção de Variação de Temperatura	0 - 80°
Tempo de Resposta	≤ 5S
Tempo de Estabilização	≤ 60S
Consumo	≤ 0.5W
Temperatura de Trabalho	-10~50 centigrado
Umidade de Trabalho	Até 95%RH
Vida útil	3 anos
Dimensões (mm)	42x32x20
Peso	25g
Sinal de Saída	Tensão Analógica

Fonte: DIY More (2019)

Sensor de Temperatura

O sensor utilizado para esta função no barco robô é o modelo DS18B20 do fabricante Dallas Semiconductor. A seguir é apresentado o Quadro 9 com as demais informações mais relevantes referentes ao sensor:

Quadro 9 - Sensor Temperatura - Quadro de Dados

Fabricante:	Dallas Semiconductor
Modelo:	DS18B20
Tensão Trabalho:	3,0 à 5,5 Vdc
Precisão:	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ de -10°C à 85°C
Faixa de Medição:	-55°C à 125°C
Resolução:	9 ou 12 bits
Interface:	1 fio (porta digital)
Identificação:	ID único 64bits

Fonte: Dallas Semiconductor - DS18B20 Datasheet (2019)