

## **CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE BARCO CONTROLADO À DISTÂNCIA DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DE LAGOAS COSTEIRAS E CORPOS D'ÁGUA RASOS**

### **Marlon Mendes de Oliveira<sup>(1)</sup>**

Mestrado Profissional em Engenharia Hídrica pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e Professor do Instituto Federal Fluminense.

### **Ítalo do Valle Tomaz<sup>(2)</sup>**

Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal Fluminense (UFF); Pesquisador de pós doutorado do Waterford Institute of Technology, Irlanda e Professor do Instituto Federal Fluminense.

### **Murilo Minello<sup>(3)</sup>**

Mestrado em Ecologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro.

### **Alessandro Luvizon Bergamo<sup>(4)</sup>**

Doutorado em Oceanografia (Oceanografia Física) pela Universidade de São Paulo e Professor da Universidade Federal de Itajubá, (UNIFEI).

### **Andre Luiz dos Santos Fonseca<sup>(5)</sup>**

Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais pela Universidade Federal de São Carlos e Professor do Instituto Federal Fluminense.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Estrada Cabo-Frio-Búzios, s/nº - Baía Formosa - Cabo Frio - RJ - CEP: 28909-971- Brasil –  
Tel: +55 (22) 2645-9500- e-mail: marlon.oliveira@iff.edu.br.

## **RESUMO**

A região dos Lagos Fluminense no estado do Rio de Janeiro, como o próprio nome sugere, possui diversos corpos hídricos. Muitos sofrem com impactos da destruição de suas margens e lançamento de efluentes, no entanto, sem que haja qualquer tipo de monitoramento. Uma das maiores dificuldades no estabelecimento da rotina de monitoramento é a sua logística que necessita de pessoal treinado e muitos equipamentos caros, tais como embarcação, motor, meios de transportes para estes equipamentos. Outro fator complicador é que muitos desses ecossistemas são rasos e não permitem a entrada de embarcações tripuladas. Portanto, este projeto teve por objetivo o desenvolvimento de uma embarcação controlada à distância, não tripulada capaz de mensurar lançamento de efluentes domésticos através da coleta de amostras d'água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Barco robô, arduino, corpos d'água rasos.

## **INTRODUÇÃO**

As alterações na qualidade da água dos ecossistemas aquáticos podem ser causadas por processos naturais ou antropogênicos. Entre as alterações antropogênicas, a ocupação humana da bacia de drenagem pode causar o assoreamento, o lançamento de efluentes domésticos e resíduos industriais sem tratamento comprometem o funcionamento dos ecossistemas aquáticos além de inviabilizar o uso humano (FIA, 2015).

O crescimento da população na região costeira tem intensificado a degradação dos seus ecossistemas, aumentando a degradação dos recursos hídricos costeiros (GUERRA, 2008). As áreas marinhas costeiras, os ecossistemas lagunares e os ambientes estuarinos desempenham papel fundamental para o desenvolvimento socioeconômico, esses ambientes são utilizados em múltiplos usos, como a pesca, a extração do sal, lazer e o turismo. Esses ambientes também são utilizados em algumas regiões como corpos receptores de resíduos da atividade humana (ESTEVEZ, 2011; BARROSO & FABIANO, 1995; BERTUCCI et al, 2016).

Kjerfve (1994) definiu lagunas costeiras como corpos de águas interiores separados do mar por barreiras de areia e conectados com o oceano por uma ou mais entradas que permanecem abertas pelo menos de forma intermitentemente, na maioria dos casos são rasas, podendo estar sujeitas a mistura das marés, variando suas salinidades de lagos costeiros de água doce até lagos hipersalinos. Estes sistemas normalmente são altamente produtivos possibilitando projetos de aquicultura, mas também são altamente sensíveis à ação antrópica.

As lagoas costeiras ocupam 13% da área costeira mundial, onde o continente Norte Americano tem 33,6% das lagoas costeiras do mundo, a América do Sul tem 10,3%, a Europa 8,4%, a África 18,7%, a Ásia 22,2% e a Austrália 6,8% (BARNES, 1980). No Brasil, lagos e lagoas costeiras se estendem desde o Nordeste até o Rio Grande do Sul, no Estado do Rio de Janeiro destacam-se as lagoas de Araruama, Saquarema e Maricá (ESTEVEZ, 2011).

No litoral do estado do Rio de Janeiro, as lagoas possuem profundidade média variando entre 0,7 e 3 m, a maioria é conectada ao mar permanentemente por um único canal estreito e raso. O tempo de residência das águas nos interiores das lagoas varia entre 6 e 83 dias (KJERFVE & KNOPPERS, 1999).

A lagoa de Araruama é a segunda maior lagoa do Brasil (KJERFVE *et al.*, 1996), com profundidade média de 3 m e um perímetro de aproximadamente 190 km, apresentando áreas rasas extensas entre 0,5 a 1,5 metros. Sua largura máxima é de 14 km e comprimento de 33 km (SEMADS, 2001; SILVA *et al.*, 2019). Possui salinidade média variando de 37 a 57 gramas por quilograma (SAADA, 2003).

Uma das maiores dificuldades no estabelecimento da rotina de monitoramento desses ambientes é sua logística e uma alternativa para o monitoramento em águas rasas é a utilização de robôs. Nas últimas décadas cientistas e engenheiros se concentraram no desenvolvimento de plataformas autônomas 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 (CHAVEZ *et al.*, 2017).

Na atualidade, robôs podem ser vistos operando em ambientes naturais ou criados pelo homem, como oceanos profundos ou usinas nucleares, sendo utilizados como ferramenta na coleta de dados por cientistas como, por exemplo, para rastrear a proliferação de algas nocivas, monitorando variáveis climáticas e até estudando vulcões remotos. Embora ainda exista uma grande variedade de problemas a serem resolvidos nas operações com robôs, o uso dos mesmos em ambientes hostis estabeleceu uma nova fronteira para a robótica e para as ciências ambientais (DUNBABIN & MARQUES, 2012).

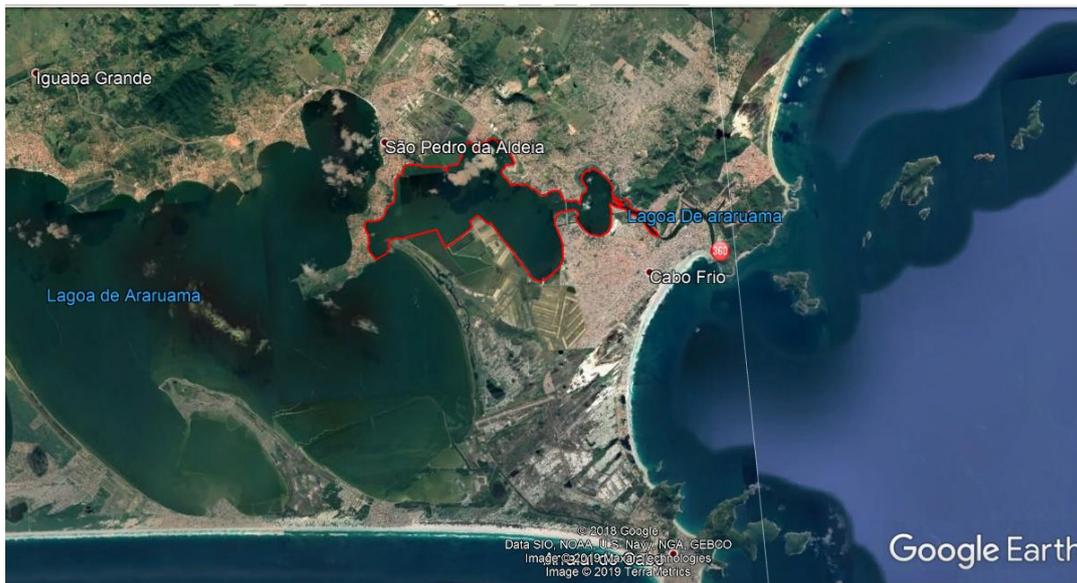
A utilização de barco robô para monitoramento ambiental evita o transporte de colaboradores em barcos e carros, diminuindo sua exposição aos riscos de acidentes, afogamento, exposição a intempéries e riscos ergométricos, além disso, o barco pode sofrer atualizações e alterações para se adaptar a necessidade, como realizar batimetria do fundo do reservatório, acompanhamento de peixes com sonares (FERREIRA *et al.*, 2016).

## **OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho consiste em desenvolver e validar um protótipo de uma embarcação de baixo custo controlada remotamente, multiuso e de código aberto, capaz de coletar amostras d'água. Esta tecnologia proporcionará o monitoramento do lançamento de efluentes domésticos nos corpos hídricos da região dos lagos do Estado do Rio de Janeiro.

## **LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE MONITORAMENTO**

Para a realização do monitoramento limnológico, optou-se pela delimitação da região da lagoa de Araruama entre os municípios de Cabo Frio e São Pedro da Aldeia (Figura 1).



**Figura 1: Região do lago de Araruama entre os municípios de Cabo Frio e São Pedro da Aldeia.  
Fonte: Google Earth.**

Saada (2003) mostra que a área entre o canal de Itajuru até o Boqueirão possui salinidade com valores que possibilitam encontrar a maioria das espécies de peixes que habitam a lagoa e possui alta disponibilidade de nutrientes provenientes dos despejos domésticos, toda a carga orgânica lançada na lagoa permanece por longo período de tempo, principalmente nas áreas rasas (GUERRA, 2008).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

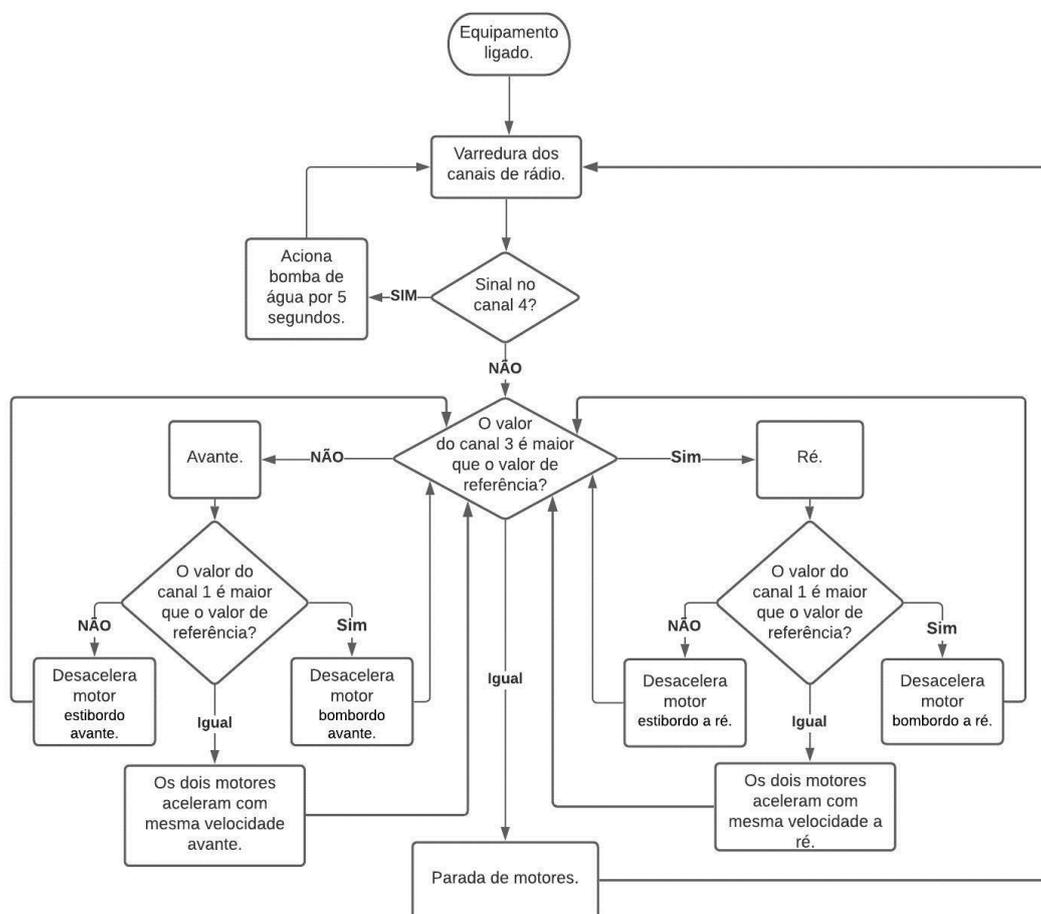
O presente trabalho desenvolveu e construiu um protótipo de embarcação tipo catamarã utilizando uma placa de prototipagem eletrônica Arduino® Uno R3. A estrutura e potência de propulsão foram dimensionadas para uma capacidade de carga de 10 kg, sendo 8 kg provenientes dos equipamentos que deverão ser transportados pelo protótipo (bateria, painel solar fotovoltaico, sensores, sistema elétrico etc.) e 2 kg para cargas extras que possam surgir (DANTAS & WEISS, 2015).

Durante a etapa de projeto, dimensionamento e construção do barco robô, o software SolidWorks foi utilizado como ferramenta de auxílio para a condução do projeto. A escolha ajudou na otimização do tempo e na assertividade da montagem. Com isso, as medidas foram conferidas e ajustadas para que posteriormente fossem confeccionadas as peças em tamanho real. Os materiais envolvidos no protótipo, próprios para ambiente aquático, foram isopor que foi revestido com resina epóxi reforçada com fibra de vidro, a embarcação possui 1 metro de comprimento e 0,5 metro de largura, como mostrado na Figura 2.



**Figura 2: Protótipo em isopor, revestido com resina epóxi reforçada com fibra de vidro.  
Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.**

Uma placa de prototipagem eletrônica Arduino® Uno R3 foi utilizada como controlador central, sendo responsável por controlar os motores, além de controlar o sistema de coleta. O desenvolvimento dos algoritmos de navegação e monitoramento foi realizado no ambiente de desenvolvimento integrado do Arduino®. Foram utilizados três canais, denominados canal 1, canal 3 e canal 4, para o estabelecimento do controle remoto. De acordo com o algoritmo, quando um desses canais é acionado, é verificado o tamanho do pulso enviado, o algoritmo então determina a navegação do protótipo ou o acionamento do sistema de coleta das amostras de água. O fluxograma simplificado da lógica da programação utilizada pode ser visto na Figura 3.



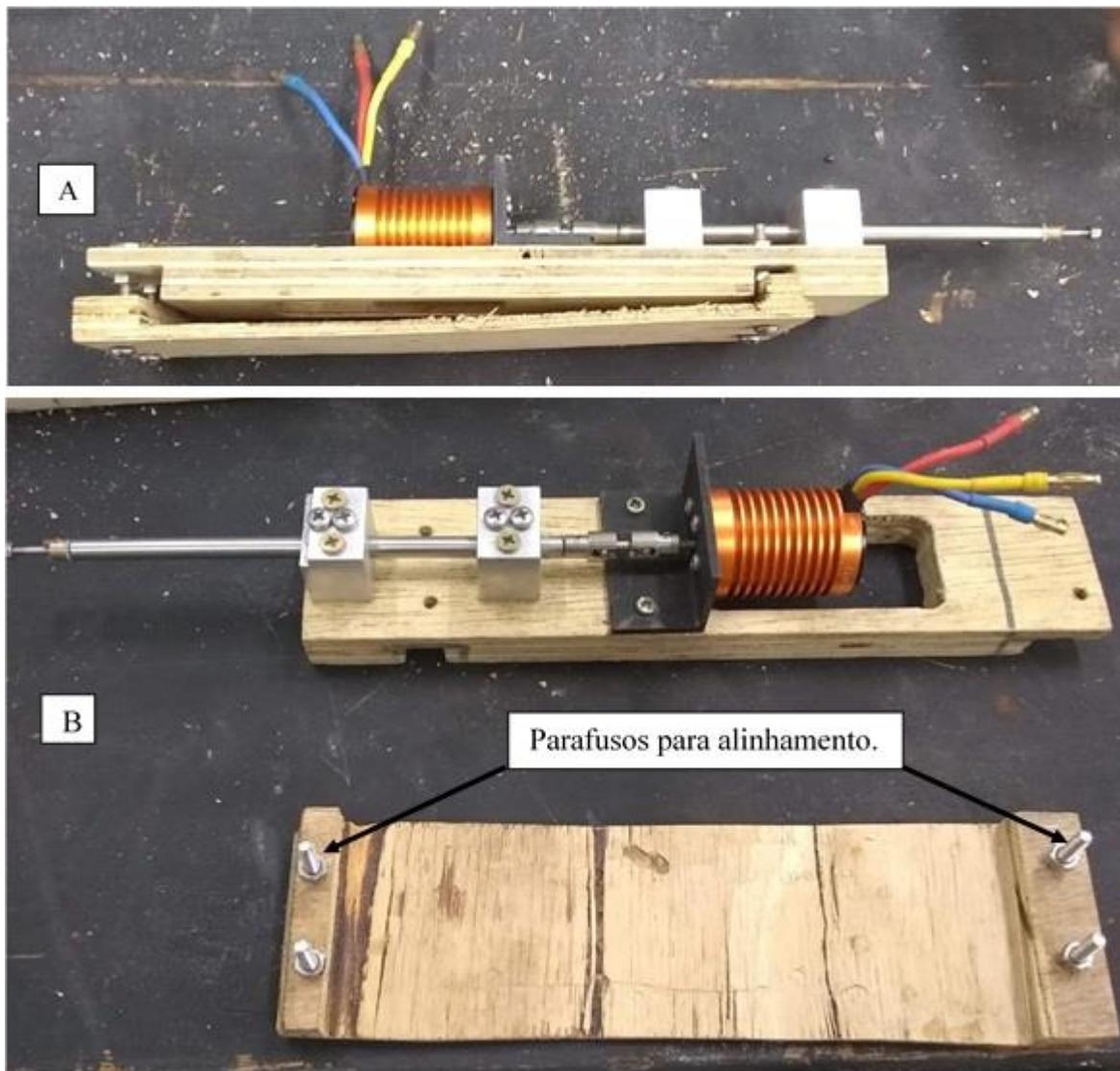
**FIGURA 3: Fluxograma geral da programação desenvolvida para a embarcação.**

Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

### Sistema de propulsão

Como a questão do baixo custo é um dos objetivos primários dessa pesquisa, o motor utilizado segue essa linha, sendo da fabricante Ocday, modelo 3650 4300KV. Este modelo não possui escova, tem uma potência de 900 watts, tensão máxima 13 volts, corrente máxima de 69 amperes e uma rotação máxima de 50.000 RPM.

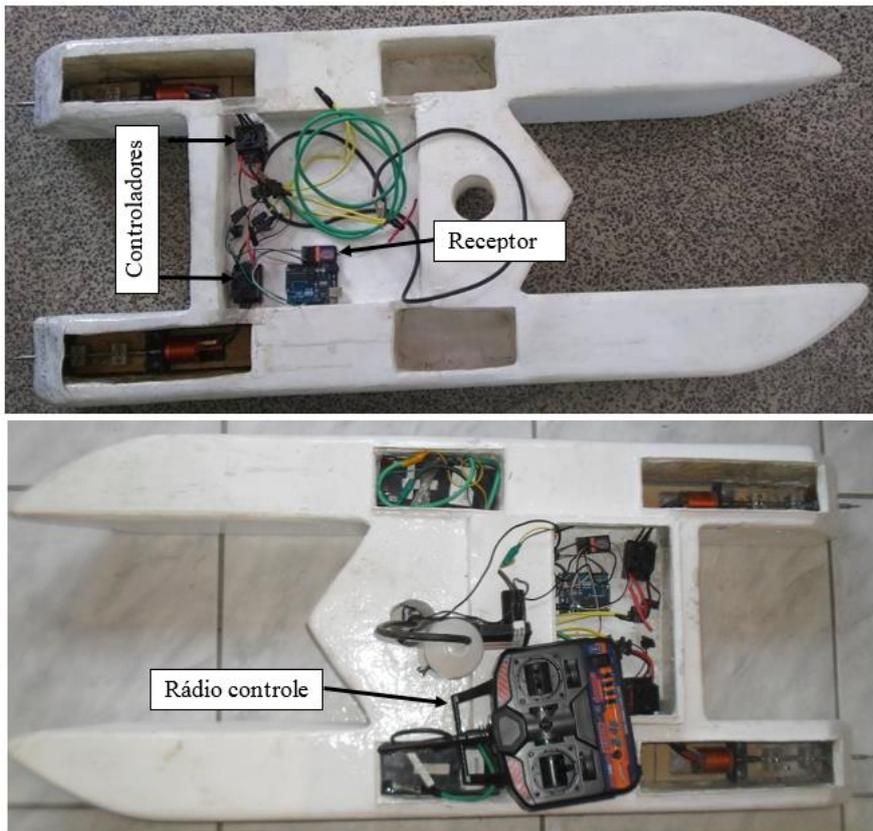
O eixo e hélices são do fabricante Feilun, o eixo da hélice e do modelo FT009-11, a hélice e do modelo FT009-12. A base do sistema de propulsão é fabricada em compensado naval, reduzindo o peso ao mesmo tempo em que oferece resistência à umidade. A base passou por processo de usinagem para garantir a precisão do conjunto, e quatro parafusos são usados para realizar o perfeito alinhamento do sistema (Figura 4).



**Figura 4: Visão geral do sistema de propulsão: A) Base montado B) Base desmontada detalhando parafusos destinados ao alinhamento do conjunto. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.**

### **Sistema de navegação**

A comunicação entre os controladores dos motores e o receptor do rádio controle foi feita através das entradas digitais da placa de prototipagem eletrônicas Arduino® Uno R3. O receptor utilizado foi da marca Hobbykings modelo HK-TR6A de 2,4 GHz de 6 canais e o rádio controle de 4 canais com inversão de servo, conforme Figura 5.



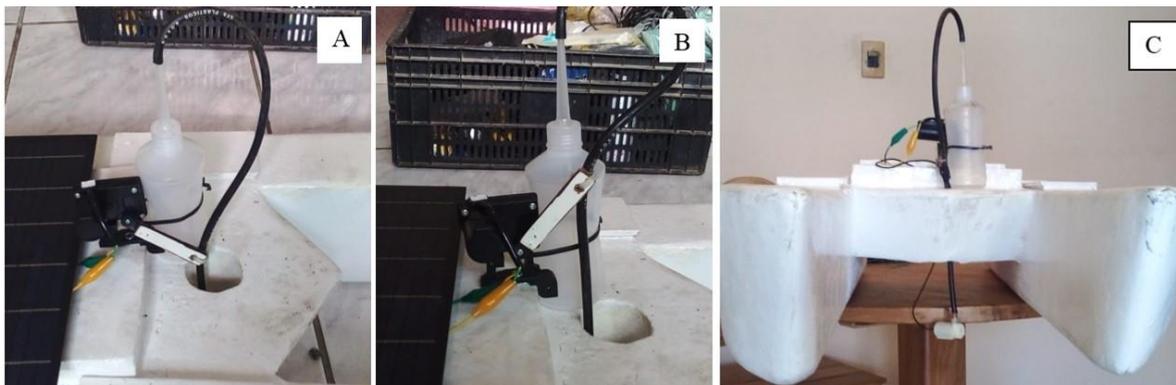
**Figura 5: Sistema de navegação. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.**

Para a coleta de amostras de água foi usado uma Mini Bomba d'água submersa, alimentada com uma tensão de 5 volts e vazão de 1,5 litros por minuto. Esse método de amostragem é conhecido como pesca elétrica sendo indicado para coleta em ambientes com águas rasas, ele evita o revolvimento do sedimento do fundo, o que poderia alterar as propriedades da água (ANA, 2011). A bomba de água utilizada é mostrada na Figura 6.



**Figura 6: Mini Bomba de Água submersa. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.**

O arrasto do sistema de coleta das amostras pode prejudicar a navegação, então um motor de passo acoplado a uma caixa redutora foi utilizado para inserir o sistema na água durante a execução da coleta (Figura 7).



**FIGURA 7: Suporte do sistema de coleta: A) Abaixado B) Erguido C) Vista inferior do sistema.**  
**Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.**

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### CUSTOS

Pelo fato do baixo custo do protótipo ser uma das principais justificativas para o presente trabalho, visto que os barcos robôs comerciais ou boias automatizadas, possuem custos elevados, foram calculados os custos de aquisição dos materiais no mercado local e pelo mercado eletrônico (compra online; Tabela 1).

**Tabela 1 - Planilha com custos de componentes do protótipo em 2020.**

Planilha com custos de componentes				
Item	Descrição	Valor Unitário	Quantidade	Valor Total
1	Arduino UNO	R\$ 30	2	R\$ 60
2	Motor	R\$ 350	2	R\$ 700
3	Baterias skate elétrico 12v 9 Ah	R\$ 79	2	R\$ 158
5	Eixo com hélice	R\$ 53	2	R\$106
6	Rádio controle com 4 canais	R\$ 270	1	R\$ 270
8	Servo para veleiro	R\$ 85	1	R\$ 85
10	Bomba d'água Submersível para Arduino	R\$ 30	1	R\$ 30
11	Fibra de vidro e Resina epóxi	R\$ 200	1	R\$200
13	Compensado naval	R\$ 50	1	R\$ 50
<b>TOTAL</b>				<b>R\$ 1.660</b>

### TESTE DE CAMPO

Os testes iniciais foram realizados em lago de pequenas dimensões, localizado no interior do Campus do Instituto Federal Fluminense de Cabo Frio no estado do Rio de Janeiro, Brasil. Esse corpo d'água possui área aproximada de 300 metros quadrados e profundidade média de aproximadamente 1 metro.

Os testes do sistema de navegação foram realizados com o transporte de uma carga de 8 Kg e duas baterias, com carga total de 10 Kg de carga. O percurso realizado continha curvas e a embarcação também teve que navegar em linha reta (Figura 8).



**Figura 8: Registro visual das manobras com o protótipo: A) Curva à direita B) reta C) Curva à esquerda D) linha reta. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.**

### **COLETAS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA**

Com o barco robô em operação no lago dentro do Instituto Federal Fluminense Campus Cabo Frio, foi possível realizar o procedimento de coleta das amostras de água. As coletas foram realizadas a 15 centímetros da superfície do lago, sendo coletados 250 mililitros d'água no reservatório instalado sobre o convés. As amostras coletadas foram analisadas nos laboratórios do Instituto Federal Fluminense Campus Cabo Frio.

### **CONCLUSÃO**

O protótipo de barco para monitoramento ambiental em águas rasas construído neste trabalho demonstrou ser robusto e preciso tanto para a coleta quanto para o transporte das amostras d'água. A possível aplicação desse projeto em maior escala, no que concerne à sua aplicação, dimensionamento e montagem possui baixo custo. Além disso, a autonomia é satisfatória, o sistema possui baixos custos de manutenção e demonstrou ser efetivo na coleta de amostras. Assim é possível afirmar que o protótipo é promissor, com a possibilidade de aplicar melhoramentos e avanços, o que aumentaria a gama de aplicações. O acoplamento de sensores complementares de qualidade de água, por exemplo, possibilitaria mais recursos adicionando usos na embarcação. Dessa forma é possível concluir que o projeto alcançou seus objetivos principais com primazia, visto que a embarcação possui baixo custo, realizando o trabalho necessário com eficiência, demonstrando seu alto valor agregado e seu essencial papel em prol do monitoramento ambiental.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. FIA, R.; HUGO CÉSAR TADEU, H. C.; MENEZES J. P. C.; FIA F. R. L.; OLIVEIRA L. F. C. *Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre*, v. 20, n.1, p. 267 – 275, 2015. DOI: 10.21168/rbrh.v20n1.p267-275

2. GUERRA, L. V. Processos microbiológicos e composição da matéria orgânica relacionados à eutrofização de uma lagoa costeira hipersalina, L. Araruama. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Niterói - RJ, 2008.
3. ESTEVES, F. *Fundamentos de limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, p. 826, 2011.
4. BARROSO, L. V.; FABIANO, F. F. C. *Estudo da pesca com artes fixas na Lagoa de Araruama*. *Oecologia Brasiliensis*, v. 1, p. 569-585, 1995. Disponível em < <http://www.oads.org.br/livros/26.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2021.
5. BERTUCCI, T. C. P.; SILVA, E.P.; MARQUES JR. A. N.; NETO C. M. *Turismo e urbanização: Os problemas ambientais da lagoa de Araruama – Rio de Janeiro*. *Ambiente & Sociedade*, v.19, n.4, São Paulo, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc137111v1942016>
6. KJERFVE, B. Chapter 1 Coastal Lagoons. Elsevier Oceanography Series. v.60, p. 1-8, 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0422-9894\(08\)70006-0](https://doi.org/10.1016/S0422-9894(08)70006-0)
7. BARNES, R.S.K. Coastal Lagoons. The neglected history of a neglected habitat. Cambridge University Press, 1980.106 p. ISBN 0 521 23422 0.
8. KJERFVE, B.E.; KNOPPERS B.A. Physical characteristics of lagoons of the East Fluminense Coast, state of Rio de Janeiro, Brazil. *Série Geoquímica Ambiental*, v.6.p. 161- 169, 1999. Disponível em: <<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.542.6058&rep=rep1&type=pdf>> acesso em 20/01/2021.
9. KJERFVE, B.; SCHETTINI, C.A.F.; KNOPPERS, B.; LESSA, G.; FERREIRA, H.O. *Hydrology and salt balance in a large hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil*. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. v. 42, p. 701-725, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1006/ecss.1996.0045>
10. Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e desenvolvimento Sustentável (SEMADS). *Bacias Hidrográficas e Rios Fluminenses - Síntese Informativa por Macrorregião Ambiental*. Semads, 2001. 73 p. Disponível em: <[http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/doc\\_bacias\\_ambiental\\_18875.pdf](http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/doc_bacias_ambiental_18875.pdf)> acesso em 04/01/2020.
11. SILVA K. M.; GUIMARÃES T. C. S. M.; WASSERMAN J. C. *Distribuição espacial da concentração de nutrientes em sedimentos na Laguna hipersalina de Araruama – RJ, Brasil*. *Geochimica Brasiliensis*, v.33, n.1, p.16-27, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21715/GB2358-2812.2019331016>
12. SAADA. M. Composição, distribuição espacial, dinâmica de populações de peixes e estatística pesqueira na lagoa hipersalina de Araruama, RJ. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP, 2003.
13. CHAVEZ, Francisco P. et al. *Measurements of pCO<sub>2</sub> 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2017.01.001>
14. DUNBABIN, M.; MARQUES, L. *Robots for Environmental Monitoring: Significant Advancements and Applications*. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, v 19, p: 24-39, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1109/MRA.2011.2181683>
15. FERREIRA, Í. O.; NETO, A. A.; MONTEIRO, C. S. *O Uso De Embarcações Não Tripuladas Em Levantamentos Batimétricos*. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 68, n. 10, 2016. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44290>> Acesso em: 10/05/2021.
16. DANTAS, J. L.; WEISS J. M.G. *Revisão da metodologia de dimensionamento de hélices para embarcações fluviais*. In: 9º Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior, 2015, Manaus – AM. Anais do 9º Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior, Manaus, 2015.
17. ANA, Agência Nacional De Águas. *Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras, água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas*. Brasília – DF, 2011. Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>>. Acesso em: 20/04/2021.