

## **Proposta de projeto de máquina coletora de resíduos aquáticos para o lago Paranoá**

### ***Project proposal for aquatic waste collecting machine project for the Paranoá lake***

**Filipe Aziz Batista, graduando de Engenharia Mecatrônica, UnB.**

filipe.aziz@gmail.com

**Marcus Jesse Alves de Oliveira, graduando de Engenharia Mecatrônica, UnB.**

marcus.jesse@hotmail.com

**Dianne Magalhães Viana, Dra. Engenharia Civil, Universidade de Brasília.**

diannemv@unb.br

**Simone Borges Simão Monteiro, Dra. Engenharia de Produção, UnB.**

simoneborges@unb.br

### **Resumo**

Grande parte da poluição de plásticos observada na superfície de rios e lagos é carregada pelos sistemas de drenagem, que não contém dispositivos efetivos que impeçam esses resíduos de chegar aos corpos hídricos. Ações podem ser feitas no sentido de evitar que os resíduos cheguem nos rios e lagos e ao mesmo tempo remover os resíduos já existentes. Assim, partindo de uma situação real, a limpeza da orla do lago Paranoá em Brasília, DF, uma equipe interdisciplinar formada por cinco estudantes de engenharia mecânica, mecatrônica e de produção foi constituída para estudar o problema e desenvolver um sistema de coleta de resíduos plásticos. O estudo envolveu uma pesquisa bibliográfica e resultou em uma proposta de projeto conceitual mecânico e o projeto de controle da máquina, para o qual foi construído e testado um protótipo.

**Palavras-chave:** Aprendizagem baseada em projeto; Projeto interdisciplinar; Poluição por plástico, ODS; Educação em engenharia.

### ***Abstract***

*Much of the plastic pollution observed on the surface of rivers and lakes is carried by the drainage systems, which do not contain effective devices to prevent this waste from reaching the water bodies. Actions can be taken to prevent the waste from reaching the rivers and lakes and at the same time to remove the waste that already exists. Thus, starting from a real situation, that is, the cleaning of Paranoá lake shores' in Brasília, DF, an interdisciplinary team consisting of five students of*

*mechanical engineering, mechatronics and production engineering was formed to study the problem and develop a system for collecting plastic waste. The study involved bibliographic research and resulted in a proposal for a conceptual mechanical project and the machine control project, for which a prototype was built and tested.*

**Keywords:** *Project-based learning; Interdisciplinary project; Plastic pollution, SDG, Engineering education.*

## 1. Introdução

Com o crescimento de Brasília, muitas atividades contribuem para a poluição da água e grande parte dessa poluição é carregada pelos sistemas de drenagem, que não contém dispositivos efetivos que impeçam esses resíduos de chegar aos corpos hídricos. Assim, o despejo de resíduos sólidos ocasiona uma contaminação concentrada em alguns pontos ao longo da orla do lago Paranoá.

Situação semelhante ocorre nos rios e lagos em áreas urbanas em diversas partes do país e uma preocupação com estes recursos também estão presentes a nível global. Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU, no âmbito da Agenda 2030, em particular os de número 6 e 12, tratam dessa questão:

6.6 Até 2020, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos.

12.4 Até 2020, alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionais acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente (NAÇÕES UNIDAS, 2022).

Por isso, para atingir o objetivo de preservar a qualidade da água, a estratégia de controle da poluição com auxílio de uma máquina coletora de resíduos sólidos aquáticos pode ser adicionada à gestão desse meio ambiente hídrico.

A fim de propor uma solução para coleta de resíduos no lago Paranoá, foi desenvolvido um projeto com uma equipe interdisciplinar envolvendo 5 estudantes das disciplinas Projeto Integrador e PSP3, dos cursos de engenharia mecânica, mecatrônica e de produção da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. A proposta se insere nas iniciativas de formação por competências com foco em sustentabilidade e utilizando o método de aprendizagem baseada em projetos (PjBL), o qual é centrado no estudante, o que implica em uma responsabilidade maior atribuída ao estudante pelo seu aprendizado (PRINCE e FELDER, 2006).

A ideia aqui proposta é projetar uma máquina coletora que funcionará como uma “lata de lixo flutuante” capaz de coletar resíduos da orla do lago Paranoá. A partir do projeto conceitual e do projeto de controle, desenvolveu-se um protótipo em modelo reduzido de uma máquina não tripulada e controlada remotamente. O protótipo foi testado e a aplicação validada quanto aos movimentos necessários para a operação de retirada de resíduos.

## 2. Caracterização e contextualização do problema

O lago Paranoá contribui para manter a qualidade de vida dos moradores do Distrito Federal, pois melhora a umidade relativa do ar; assim, o lago foi criado para trazer para Brasília certa amenização no clima, visto o clima muito seco e árido (BRINDEIRO, 2017).

De acordo com Echeverria (2007) a sub-bacia do lago Paranoá ocupa uma área de 288,69 quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>), captando os principais cursos d'água que drenam o sítio urbano da cidade de Brasília. O lago foi formado no ano de 1959 a partir do fechamento da barragem do Rio Paranoá. A cota de nível é de 1000 metros (m) acima do nível do mar. Na década de 1990 foi implantado um programa de despoluição e duas estações de tratamento de esgoto, o que proporcionou uma alta qualidade de suas águas.

No século XXI, o lago Paranoá se tornou atrativo e aos poucos atingiu um dos propósitos de sua construção, o lazer da população local e visitantes. Com a preservação do ambiente, obteve valor paisagístico, uso recreacional e turístico (PEREIRA, 2006).

Em 2012, A CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal) anunciou o uso de um barco especializado para coleta de aguapés (planta aquática) presentes no lago, sendo capaz de navegar por toda a sua extensão. O Papaguapé (BARCO PAPAGUAPÉ, 2021), possui 12 metros de comprimento, quatro metros de largura e é alimentado por um motor a diesel. Estão presentes também dois ceifadores verticais para podar a vegetação e três esteiras para coletar a vegetação retirada e também rejeitos inorgânicos (Figura 1).



**Figura 1: Lago Paranoá. Fonte Wikimedia Commons; Barco Papaguapés. Fonte: Acácio Pinheiro/Agência Brasília, 2021.**

## 3. Metodologia

A natureza do trabalho pode ser classificada como pesquisa aplicada, visto que se busca gerar conhecimento para aplicação prática e resolução de problemas específicos. No aspecto do processo de aprendizagem pode-se dizer que foi utilizado um método indutivo, o PjBL. O acompanhamento do projeto realizado pelos professores ocorreu por meio do método ágil Scrum.

Para o desenvolvimento da máquina coletora foi utilizada uma metodologia de projeto de engenharia por meio das cinco etapas descritas a seguir: (i) levantamento de projetos semelhantes; (ii) definição das características da máquina coletora; (iii) elaboração do projeto mecânico; (iv) elaboração do projeto de controle; (v) construção e teste do protótipo. O projeto teve como ponto de partida a proposta de uma coletora de resíduos para o lago do

Parque da Cidade Dona Sarah Kubitschek desenvolvido por Lima et al. (2020), no escopo do evento internacional Global Student SDG Challenge (SDG CHALLENGE, 2020). A concepção dessa proposta precisou ser revista para atender as características do novo local e aqui serão apresentadas

## **4. Resultados e discussões**

### **4.1 Projeto mecânico**

O projeto mecânico é composto pelas fases de estabelecimento de requisitos, design inicial, dimensionamento, análise mecânica e plantas estruturais. A máquina pode ser dividida nas seguintes partes: estrutura e flutuadores, reservatório, esteira transportadora e sistema de movimentação por rodas. A concepção da estrutura mecânica da coletora e dos flutuadores não serão objeto de análise neste trabalho e as imagens apresentadas são ilustrativas. O foco será o método de movimentação da coletora, realizado por meio de rodas de pás e para o qual foi construído e testado o protótipo.

#### **4.1.1 Reservatório**

No reservatório serão armazenados os resíduos sólidos coletados pela esteira transportadora, sendo este esvaziado apenas ao final do ciclo de operação da máquina coletora. Os pontos considerados para seleção dos reservatórios incluíram disponibilidade no mercado nacional, capacidade total, resistência, dimensões totais, praticidade de remoção e massa dos reservatórios. Foram selecionados três reservatórios plásticos de dimensões: 0,475 m de altura, 0,88 m de comprimento, 0,555 m de largura, 7 kg de massa e 0,18 m<sup>3</sup> de volume.

#### **4.1.2 Esteira transportadora**

A esteira é responsável por capturar os resíduos presentes no lago e levá-los até os reservatórios. A velocidade de 0,6 m/s foi definida para o transporte de resíduos como sendo um pouco maior que a velocidade de operação do coletor, de 4 m/s. A escolha foi feita com o intuito de maximizar a eficiência do transportador.

Como aspectos construtivos da esteira, levou-se em consideração de que parte dela precisava estar submersa, de que a altura seria limitada pela altura do reservatório escolhido e o uso de um ângulo de inclinação dentro dos limites recomendados na literatura. O ângulo escolhido foi de 20°, o que resultou em um comprimento de 2,63 m. Quanto à largura, definiu-se um tamanho de 1,5 m para permitir que rejeitos maiores pudessem ser coletados sem bloquear a esteira.

Para selecionar o tipo de esteira estimou-se o carregamento máximo. Considerando a inclinação, a área da esteira coberta por rejeitos e uma possível quantidade de água transportada, estimou-se assim, uma carga de 26,65 kg/m<sup>2</sup> a partir da análise dos rejeitos que

flutuam na superfície do lago. Assim, optou-se por uma esteira de construção modular feita em plástico injetado, cuja aplicação se dá normalmente na indústria alimentícia.

Para avaliar a factibilidade da coleta com essa esteira projetada, calculou-se o torque necessário para acionar a esteira e assim selecionar o motor. O torque calculado foi de 3,0 kgfm, considerando ainda as perdas de potência no processo, a potência necessária para o motor é igual a 3,385 kW.

#### 4.1.3 Rodas

Estudos realizados apontaram que a movimentação da coletora utilizando rodas com pás é uma das mais adequadas a esse tipo de embarcação, visto que a movimentação é lenta e que dessa forma as curvas realizadas serão mais curtas, podendo inclusive haver rotações em torno do próprio eixo central da coletora.

Para mover a coletora de resíduos sólidos é necessário sobrepor a resistência ao avanço pelo meio de propulsão escolhido. Pode-se dividir a resistência total a ser superada em três principais componentes: resistência de atrito, resistência residual e resistência do ar. As resistências residual e do ar são consideravelmente inferiores à resistência de atrito, então é possível calcular uma força de propulsão e aplicado um fator de carga em relação a força de atrito.

Para o cálculo da força de atrito é necessário determinar a região submersa da embarcação e a massa total da embarcação vazia e carregada de rejeitos. A dimensão estimada para a coletora foi de 2,5 m de comprimento, 2 m de largura e 1 m de altura, levando-se em conta as dimensões da esteira e do reservatório e considerando que os demais componentes elétricos e motores serão anexados abaixo da esteira. Com as dimensões estimadas, considerando que a estrutura será feita de tubos de PVC, e conhecendo-se as massas da esteira e do reservatório já selecionados, e estimando a massa das rodas, obtém-se uma massa total estimada da coletora carregada de 230 kg.

Para a flutuação da embarcação foi definida a utilização de tubos de PVC, os quais apresentam grande capacidade para armazenar o ar que será responsável pela flutuação. Considerando quatro tubos de 2,5 m de comprimento, calculou-se que é possível carregar até 314 kg, atendendo com folga a massa total estimada da coletora. A partir desses cálculos e considerações é possível calcular a área de contato das partes da embarcação com a água e assim calcular a resistência de atrito.

Para facilitar os cálculos considerou-se o volume de um paralelepípedo com dimensões aproximadas à geometria dos tubos de flutuação. O coeficiente de atrito  $C_F$  pode ser calculado pela Equação 1 (WHITE, 2011), na qual  $R_e$  é o número de Reynolds que pode ser reescrito como a multiplicação da velocidade do barco pelo comprimento da área submersa e dividido pela viscosidade do fluido da submersão.

$$C_F = \frac{0,075}{(\log R_e - 2)^2} \rightarrow \frac{0,075}{\left(\log \frac{VL}{\nu} - 2\right)^2} \quad (1)$$



A resistência de atrito pode ser calculada por meio da Equação 2 (WHITE, 2011), na qual  $\rho$  é a densidade do fluido no qual a embarcação está inserida e  $A_s$  é a área da superfície de contato com o fluido.

$$R_F = \frac{1}{2} C_F \rho V^2 A_s \quad (2)$$

Obteve-se para  $R_F = 56,73$  N como resistência de atrito, ou seja, as rodas utilizadas devem ser capazes de superar essa resistência para que a embarcação se mova.

#### 4.1.3.1 Hidrodinâmica aplicada à pá da roda

Definiu-se que apenas uma pá da roda estará dentro da água por vez ou uma área equivalente a uma pá. Os cálculos foram realizadas considerando a pá como um remo já que é possível associar o movimento repetitivo de remadas à rotação das pás na roda. A Figura 2 mostra como o remo (ou pá) interage com a água.

Considerando as quatro regiões definidas com os números 1, 2, 3 e 4, para cada região há três constantes,  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  e  $V_4$  são velocidades da água em cada região,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  e  $P_4$  são as pressões em cada região e  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  e  $E_4$  são as energias presentes em cada região. Pela hidrodinâmica aplicada a esse exemplo, tem-se as seguintes características para o sistema,  $V_1 = V_2$ ,  $P_3 = P_0$ ,  $E_1 = E_0$  e  $E_3 = E_2$ .

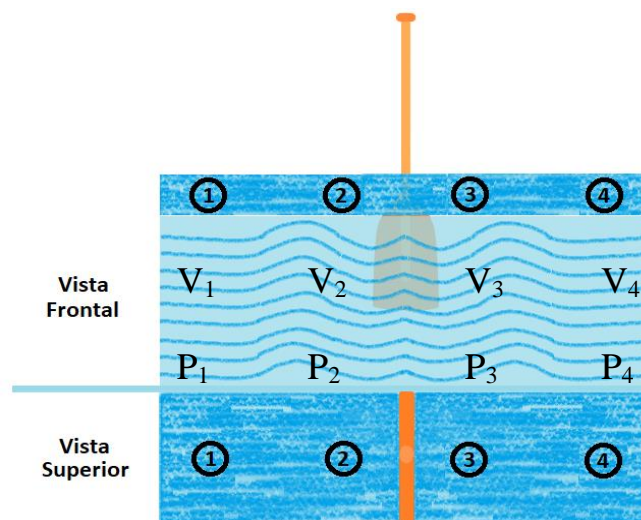


Figura 2: Representação da interação do remo com a água. Fonte: elaborado pelos autores.

Segundo Bernoulli há conservação de energia em um fluxo de um fluido, há alteração de pressão e velocidade, mas a energia se conserva. Pode-se determinar essa energia por meio da Equação 3 (GLAUERT, 1983), onde  $\rho$  é a densidade do fluido,  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $P_a$  e  $P_b$  são as velocidade e pressões nas regiões a e b, respectivamente.

$$E_a = \frac{1}{2} \rho V_a^2 + P_a = E_b = \frac{1}{2} \rho V_b^2 + P_b \quad (3)$$

A pá em movimento introduz nova energia ao sistema vinda do movimento gerado pelo motor, dessa forma a energia antes da pá não é igual a energia após a pá. Porém antes da introdução da pá, a energia é conservada durante o movimento do barco e o mesmo acontece após a introdução da pá, a energia se conserva em toda a região após a pá. Sabendo disso, é possível utilizar a equação de Bernoulli tanto na região antes da pá como após a pá.

A energia introduzida pela pá pode ser escrita como mostra a Equação 4. E reescrevendo essa equação obtém-se a Equação 5.

$$\begin{aligned} \Delta E = E_3 - E_2 = E_4 - E_1 &\rightarrow \frac{1}{2} \rho V_3^2 + P_3 - \frac{1}{2} \rho V_2^2 - P_2 \\ &= \frac{1}{2} \rho V_4^2 + P_4 - \frac{1}{2} \rho V_1^2 - P_1 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\Delta E = P_3 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (V_4^2 - V_1^2) \rightarrow \Delta E = \Delta P = \frac{1}{2} \rho (V_4 + V_1)(V_4 - V_1) \quad (5)$$

Pela segunda lei de Newton tem-se a Equação 6 (GLAUERT, 1983), onde  $\overrightarrow{Pe}$  representa o momento linear e A é a área da região.

$$\vec{F} = \frac{d\overrightarrow{Pe}}{dt} \rightarrow F = A \rho V_2 (V_4 - V_1) \quad (6)$$

Sabe-se que a pressão é distribuição de força por uma área, ou seja,  $F = \frac{\Delta P}{A} \rightarrow \Delta P = F A$ . Da Equação 5 tem-se  $\Delta P$  e associando as equações tem-se a Equação 7, que, por sua vez, associada à Equação 6, gera a Equação 8.

$$F = A \frac{1}{2} \rho (V_4 + V_1)(V_4 - V_1) \quad (7)$$

$$F = A \rho V_2 (2V_2 - V_1) \quad (8)$$

A partir da Equação 8 pode-se calcular a força mínima necessária para a roda mover o barco, considerando a área da superfície de uma pá da roda e as velocidades da pá ( $V_2$ ) e do barco ( $V_1$ ). Substituindo a força de arrasto calculada, uma área escolhida para a pá e a velocidade do barco, pode-se obter a velocidade mínima da pá para que o barco se mova. Escolhendo uma área de 0,045 m<sup>2</sup> e usando a velocidade de 4 m/s para o barco, tem-se  $V_2 = 25,186$  m/s. Considerando um raio  $r = 0,425$  m, tem-se a velocidade angular mínima do motor necessário para mover o barco sendo 68,79 rad/s. A quantidade de pás foi definida a partir do fato de que são necessárias 8 pás para que sempre haja a área de uma pá completa dentro da água. A Figura 3 é ilustrativa e apresenta os modelos da roda e da coletora e a concepção da estrutura de apoio. O projeto estrutural ainda necessita ser realizado.

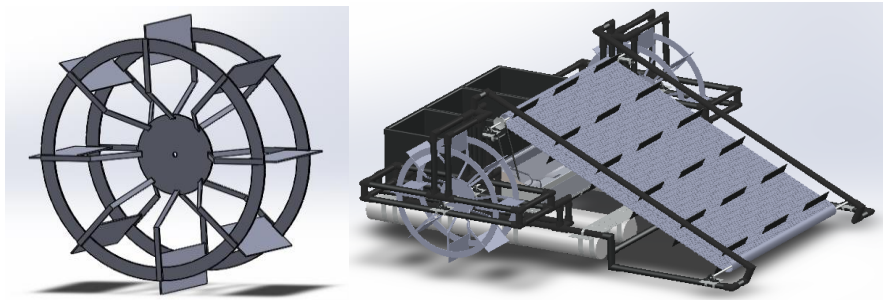


Figura 3: Representação gráfica da roda (à esquerda) e da coletora completa (à direita). Fonte: elaborado pelos autores.

## 4.2 Projeto de controle

Como forma de facilitar o controle e operação da coletora optou-se pela forma remota, assim, o operador permanece na orla do lago e controla a coletora à distância. O projeto de controle consiste no controle transmissor e na base receptora, os quais serão validados por meio da construção de um protótipo.

### 4.2.1 Controle transmissor

Na Figura 4 é possível observar marcações numeradas em diversos componentes eletrônicos. O componente marcado com o número 1 é uma placa Arduino Uno, o microcontrolador que receberá todos os comandos que devem ser enviados à coletora. Com o número 2 está marcado um módulo transceptor RF 2,4G (nRF24L01+) que é responsável por enviar os comandos que o Arduino interpreta para a base receptora. Marcado com o número 3 está a bateria de 9V que alimentará o controle transmissor.

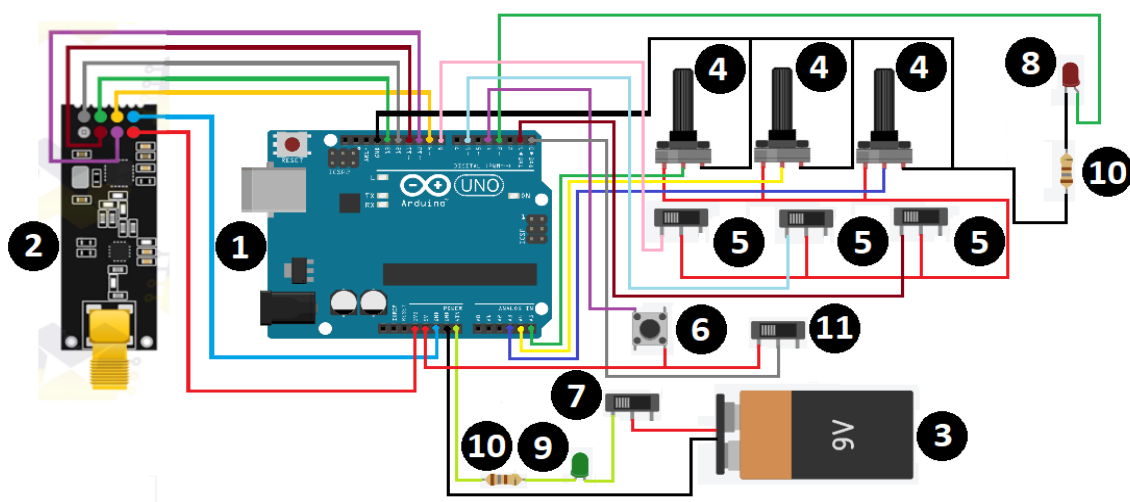


Figura 4: Montagem do controle transmissor da coletora. Fonte: elaborado pelos autores.



O número 4 marca três componentes idênticos, são potenciômetros que serão responsáveis por controlar a velocidade de cada motor. Marcado com o número 5 estão três interruptores que são responsáveis por definir o sentido de rotação de cada motor. Com o número 6 está marcado um *push button*, que é uma chave responsável por ativar a parada de emergência caso seja necessário. O número 7 mostra um interruptor que será responsável por ligar e desligar o controle transmissor. Marcado com o número 8 está um led vermelho que caso esteja aceso indicará que o botão de emergência tenha sido acionado. Já com o número 9 está marcado um *led* verde que indicará quando o controle está ligado. O número 10 marca dois resistores que estão associados aos *leds*, evitando que eles recebam muita corrente. Por fim, o número 11 mostra um interruptor que será responsável por ligar as luzes da coletora.

#### 4.2.2 Base receptora

Na Figura 5 é possível observar marcações numeradas em diversos componentes eletrônicos. O componente marcado com o número 1 é um Arduino Uno, o microcontrolador que receberá todos os comandos que devem ser realizados na coletora. Com o número 2 está marcado um módulo transceptor RF 2,4G (nRF24L01+) que é responsável por receber os comandos e enviá-los para o Arduino interpretar. O número 3 marca um relé que é responsável por permitir que a energia chegue aos motores, bloqueando a energia caso o botão de emergência seja apertado. Marcado com o número 4 está o regulador de tensão (LM2596) que será responsável por regular a tensão que a bateria alimenta a placa Arduino, impedindo que essa tensão passe do limite que este suporta. O número 5 representa uma bateria de 12V que alimentará toda a coletora.

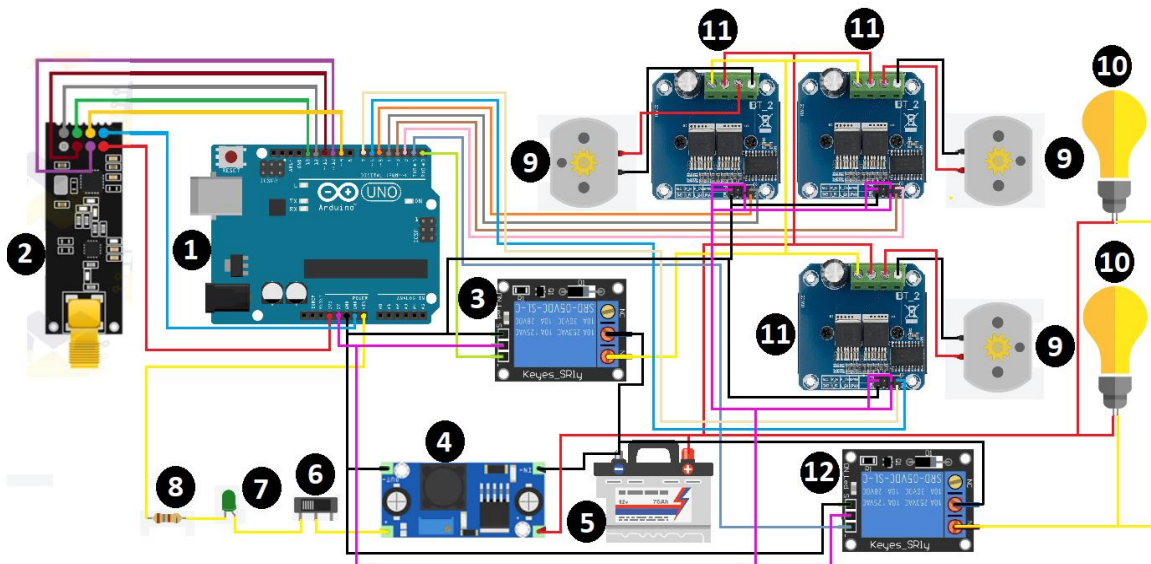


Figura 5: Montagem da base receptora da coletora. Fonte: elaborado pelos autores.

Marcado com o número 6 está um interruptor que será responsável por ligar e desligar o sistema da base receptora. O número 7 marca o *led* verde que identifica quando a base receptora está ligada ou desligada. O número 8 mostra um resistor que é responsável por

evitar que o *led* receba muita corrente e queime. Marcado com o número 9 estão três motores, dois que controlarão a movimentação da coletora e um que controlará a esteira. O número 10 mostra as lâmpadas que iluminam a coletora. Marcado com o número 11 estão três pontes H, que controlam os três motores, é o componente responsável por controlar a velocidade e direção dos motores a partir de informações vindas do controle transmissor. Por fim, o número 12 mostra um relé que é responsável por ligar e desligar as luzes da coletora, dependendo apenas da informação enviada do controle transmissor.

### 4.3 Protótipo para validação do projeto de controle

Para a validação do projeto de controle, decidiu-se construir um protótipo com dimensões reduzidas, mas com o mesmo projeto de controle da coletora original. Como o objetivo era validar o projeto de controle, não houve uma preocupação em colocar a esteira e os reservatórios, principalmente pela dificuldade em encontrar uma esteira que fosse compatível com as dimensões do protótipo em questão. As dimensões deste protótipo foram escolhidas a fim de facilitar a construção e ter um custo reduzido, 0,18 m de altura, 0,47 m largura e 0,37 m de comprimento.

Os cálculos da hidrodinâmica da pá da roda para o protótipo foram feitos de maneira análoga aos cálculos do projeto original. Obteve-se uma velocidade angular do motor de 305,33 rad/s, área da pá da roda de 0,0009 m<sup>2</sup>, raio da roda de 0,07 m e 8 pás.

A roda utilizada no protótipo em questão é a mesma modelada para a coletora original, em escala de 1:10. Essa roda foi fabricada por impressão 3D, em material PLA, como mostra a Figura 6. A roda foi fixada diretamente no eixo do motor sem a necessidade de uma caixa de redução. O motor escolhido foi o DC, alimentado por uma fonte de 18V.

A estrutura foi construída com tubo de PVC de 20mm e todos os encaixes foram modelados e impressos em 3D com material PLA, mostrados na Figura 7. O sistema de flutuação consiste de quatro garrafas PET, sendo duas de 600ml e duas de 237ml. O circuito e todos os componentes eletrônicos incluindo as baterias foram colocados dentro de uma caixa selada no centro do protótipo.

O circuito do controle remoto do protótipo, visível na Figura 7, permaneceu idêntico ao circuito do controle original. Por outro lado, o circuito da base receptora recebeu algumas alterações: a ponte H utilizada foi trocada por um modelo mais simples e de baixo custo já que os motores utilizados demandam menos corrente. As lâmpadas previstas no projeto não foram utilizadas no protótipo, o regulador de tensão não foi necessário já que uma bateria de 9V foi utilizada para alimentar o Arduíno e por fim, os relés não foram utilizados, e a parada de emergência foi criada em código.



**Figura 7: Roda, protótipo, caixa com circuito eletrônico e controle remoto. Fonte: elaborado pelos autores.**

## 5. Conclusão

Embora existam várias iniciativas já praticadas em todo o mundo que buscam a redução dos resíduos plásticos na superfície de lagos e rios, as pesquisas para equipamentos mais eficientes são muito necessárias, visto que este tipo de poluição ainda é uma ameaça para os seres vivos e o meio ambiente. Com base no problema identificado, o projeto proposto foi desenvolvido de modo que pudesse ser aplicado na orla do lago Paranoá.

O projeto para o controle remoto levou em consideração o projeto mecânico que envolveu três motores, dois para a movimentação da coletora e um para a movimentação da esteira. Dessa forma, foram desenhados dois sistemas, um controle transmissor que é capaz de enviar informações com relação ao controle da velocidade e direção dos motores da coletora, assim como ligar e desligar as luzes contidas na coletora, e uma base receptora capaz de receber essas informações e efetuar as ações para com os motores e lâmpadas.

No entanto, algumas melhorias ainda podem ser realizadas, como a instalação de faróis equipados com um aparelho óptico dotado de fontes de luz e espelhos refletores, cujo fecho é visível a médias distâncias e assim possibilitar a operação noturna. Além disso, a instalação de uma câmera com uma tela no controle capaz de ser conectada a *plotters* cartográficos que suportem entrada de vídeo para monitorar áreas dentro e ao redor da máquina coletora; bem como a colocação de placas solares para aumentar a autonomia do equipamento projetado.

Por fim, quanto ao protótipo desenvolvido, levou-se em consideração todas as adversidades que sofreria a coletora e obteve-se bons resultados com respeito à capacidade de controle, validando o projeto de controle.

Vale ressaltar a relevância deste trabalho no processo de aprendizagem dos alunos, uma vez que puderam aplicar os conhecimentos técnicos adquiridos ao longo curso em busca de uma solução real para o projeto de uma máquina coletora de resíduos aquáticos.

## Referências

BARCO PAPAGUAPÉ. Barco Papaguapé limpa o lago Paranoá. **Agência Brasília**, Brasília-DF, 20 de março de 2021. Disponível em: <<https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2021/03/20/barco-papaguape-limpa-o-lago-paranoa/>>. Acesso em: 04/04/2022.

BRINDEIRO, Charles Thomas. **O papel da iniciativa privada na conservação urbanística e ambiental dos bens de uso comum do povo: estudo de caso: Lago Paranoá**, Brasília-DF. 2017. 72 f. Monografia (Graduação) - Faculdade de Ciências Jurídicas e Sociais, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2017. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/235/11269>. Acesso em: 04/04/2022.

ECHEVERRIA, Rosângela Martines. **Avaliação de impactos ambientais nos tributários do lago Paranoá**, Brasília - DF. 2007. 132 f. Dissertação (Mestrado em Geologia)-Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/2040>. Acesso em: 04/04/2022.

GLAUERT, Hermann. The Airscrew Momentum Theory. *In*: GLAUERT, Hermann. **The elements of aerofoil and airscrew theory**. Cambridge University Press, 1983. p. 208-221.

LIMA, Daniel Víctor Carvalho *et al.* **Projeto de uma embarcação coletora de resíduos sólidos**. Relatório de projeto. Universidade de Brasília, 2020.

NAÇÕES UNIDAS. Brasil. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 04/04/2022.

PEREIRA, Lilian Pena. **Avaliação econômica do uso do lago Paranoá para atividades recreacionais**. 2006. 197 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)-Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/3336>. Acesso em: 04/04/2022.

PRINCE, M. J., FELDER, R.M. Inductive Teaching and Learning Methods: Definitions, Comparisons, and Research Bases, **Journal of Engineering Education**, 95(2), 123-138, 2006.

SDG CHALLENGE. Edição 2020. Site. <https://www.sdgchallenge.com.br/>

WHITE, Frank M. Escoamento ao redor de corpos imersos. *In*: WHITE, Frank M. **Mecânica dos Fluidos**. Porto Alegre: AMGH, 2011. p. 461-532.