



## **PROPOSTA DE UM SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO PARA UM PROTÓTIPO-MINI SUBMARINO DE PROVA**

**André Felipe Souza da Cruz** – [felipe.andcruz@gmail.com](mailto:felipe.andcruz@gmail.com)

Universidade Federal do Pará  
Rodovia BR 422 Km 13 Vila Permanente  
68464-000 – Tucuruí – Pará

**Gabriel Souza da Silva** – [gabriel18.tuc@gmail.com](mailto:gabriel18.tuc@gmail.com)

Universidade Federal do Pará  
Rodovia BR 422 Km 13 Vila Permanente  
68464-000 – Tucuruí – Pará

**Wellington da Silva Fonseca** – [fonseca@ufpa.br](mailto:fonseca@ufpa.br)

Universidade Federal do Pará  
Rua Augusto Corrêa nº 1 Guamá  
66075-110 – Belém – Pará

**Resumo:** Diante do advento tecnológico, diversas necessidades cotidianas, ao longo do tempo, foram sendo solucionadas por equipamentos cada vez mais sofisticados, contudo, a velocidade de atualização de softwares e aparelhos é relativamente alta, logo, alguns aparelhos tornam-se obsoletos e são substituídos. Diante deste contexto, os discentes integrantes do Grupo de Estudos e Pesquisa de Sistemas Elétricos e Mecânicos (GSEM), da Universidade Federal do Pará- Campus Tucuruí, objetivando por em prática os conhecimentos adquiridos no curso de Engenharia Elétrica e despertar qualidades primordiais a um bom desempenho ao trabalho em equipe exigido pelo mercado de trabalho, desenvolveram o protótipo de um Veículo Aquático Não Tripulado capaz de se estabilizar automaticamente de acordo com as variações do meio ao qual é submetido. Desta forma, este artigo apresenta a execução de um Sistema de Estabilização Utilizando um Sensor de Aceleração e Arduino, instalado em um “submarino de teste”, montado com materiais reutilizados, sendo que esse não será submetido a funcionamento em um fluido incompressível, a fim de obter novas tecnologias e o aperfeiçoamento das já existentes, utilizando materiais de custo relativamente baixo, se comparados aos produzidos em grande escala. Tal projeto procura também atingir áreas diversas, como as de ensino, otimizando a didática em disciplinas que envolvam os processos e componentes empregados no funcionamento do “submarino de teste”, em aulas práticas, para melhor visualização e manuseio de equipamentos pelos discentes. O sistema aqui apresentado também é alvo de melhoramentos, futuramente poderá ser aprimorado.

**Palavras-chave:** Arduino, Tecnologias, Sistema de Estabilização.



## 1. INTRODUÇÃO

A partir da necessidade de desenvolver equipamentos capazes de aumentar à praticidade e viabilizar de uma forma mais segura a coleta de dados em um meio de difícil acesso, são projetados protótipos de exploradores robóticos para a realização dessa árdua tarefa em diversos meios, tais como lugares arenosos, lugares com altitude elevada e com risco de queda, desabamento e meios subaquáticos. A idéia de desenvolver um explorador que possa coletar informações em lugares submersos se torna aceitável quando a premissa de manuseio e controle do mesmo não seja tão complexa que chegue a se tornar inviável e de baixa eficiência, já que no momento em que o protótipo se encontra no meio referido, haverá ações de forças perturbadoras de maneira a desestabilizar o explorador tornando seu controle no mínimo difícil (OLIVER, 2009).

Analisando-se o referido contexto, discentes da Universidade Federal do Pará do grupo de pesquisa de sistemas elétricos e mecânicos buscaram desenvolver um sistema de estabilização que possa ser utilizado em diversos tipos de aparelhos, partindo da identificação comportamental de um sensor de aceleração, de acordo com as inclinações que o corpo do mesmo sofria, coletando estes dados foi possível se modelar equações lineares em função da inclinação que, como resposta, introduzem um sinal PWM nos motores.

A sigla PWM (Pulse Width Modulation) significa em português: modulação por largura de pulso. Nesta técnica, uma carga (motor, por exemplo) é chaveada por um dispositivo eletrônico fazendo com que ela esteja ora ligada ora desligada. O tempo em que a carga está ligada é controlado pelo sistema chaveador. Como consequência, tem-se uma tensão média aplicada ao motor (Mecatrônica Fácil, 2007). Utilizando este sinal controlado podemos modelar um sistema que possa controlar baixas tensões sendo que um dos grandes problemas do controle de pequenos motores é manter o torque em toda a faixa de rotações. A não linearidade do comportamento desses motores dificulta o uso de controles lineares, há diversas maneiras para se otimizar esse processo porem a mais usada e uma das mais eficientes consiste no emprego de um controle PWM (BRAGA, 2009).

A utilização de motores DC como atuadores em projetos mecatrônicos é muito comum. Estes motores podem ter o sentido de rotação controlado de acordo com o sentido da corrente aplicada em seus terminais. Além disso, utilizando controle PWM é possível controlar a velocidade de rotação do motor sem que se perca o torque do mesmo (VERTULO, 2013).

O sistema citado foi implementado em um protótipo de submarino de teste, para demonstrar como se dá a sua programação, através da utilização de arduino, e a execução do mesmo.

Sendo o ambiente de desenvolvimento do Arduino um compilador gcc (C e C++) que usa uma interface gráfica construída em Java. Basicamente se resume a um programa IDE muito simples de se utilizar e de estender com bibliotecas que podem ser facilmente encontradas. As funções da IDE do Arduino são basicamente duas: Permitir o desenvolvimento de um software e enviá-lo à placa para que possa ser executado (ERUS, 2012).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

## 2.1. Desenvolvimento da estrutura do projeto

O projeto foi iniciado buscando um meio de solucionar o problema da estabilização do protótipo de um veículo aquático não tripulado – mini submarino de prova. Para a detecção da inclinação e posicionamento relativo do protótipo usaremos um sensor de aceleração (Acelerômetro Adl-345) em conjunto com uma interface de programação básica plataforma de prototipagem Arduino Uno, conectando também um par de motores que serão responsáveis pela estabilização do mesmo.

Primeiramente foi escolhida uma estrutura que viesse a simular o corpo do protótipo tendo em vista que esta mesma estrutura seria utilizada apenas como corpo de conexões das partes interativas do mini submarino e não tem estrutura ou capacidade de suportar as forças naturais na qual o mesmo será submetido em futuros testes, que serão realizadas sobre ele, tais forças que agem diretamente com o corpo do protótipo, como diferença de pressões internas e externas, atrito com um fluido incompressível e interações que fazem o estado de energia dos equipamentos variarem, como as variações de temperatura por exemplo, a estrutura escolhida foi corpo de isopor com característica geométrica cilíndrica - oca e com um leve afinamento da metade da estrutura até o topo (figura 1) onde tal região seria desacoplada para o encaixe dos componentes dentro do corpo de isopor.



Figura 1- Corpo de isopor do protótipo

Na região inferior do corpo do protótipo foi realizado um trabalho de corte simétrico no formato de um servo motor cúbico, para que o mesmo fosse encaixado e travado, este processo foi realizado próximo a base na lateral do corpo de isopor de acordo com a figura 2, neste momento os servo-motores terão apenas a finalidade estrutural, e não serão energizados, isso só ocorrerá em melhorias futuras do protótipo onde será possível um controle direcional do mesmo. Utilizando hélices de plástico para a demonstração do controle de rotações dos motores, que estabilizaram o protótipo.



Figura 2- Local do corte para o servo motor

Acoplaram-se as hélices no motor utilizando um tubo que alongasse seu eixo, e em seguida foi acoplado em um cubo de deplon que foi previamente preparado para a acoplagem do motor, esse processo foi realizado de maneira a obter dois cubos de deplon contendo os motores. Na extremidade dos servos-motores foram fixados os cubos previamente preparados e os cabos dos motores encaminhados para a região interna do corpo de isopor do protótipo (figura 3).



Figura 3- Hélice acoplada ao cubo de deplon

Utilizando um conjunto de componentes eletrônicos foi montado um circuito ponte H, capaz de controlar o sentido de rotação dos motores utilizando o arduino, já que o mesmo não teria suporte necessário para realizar este controle sozinho. Logo em seguida foi acoplado o sensor de aceleração na região central do corpo do protótipo (figura 4), fixado em uma base presa na ponta do mesmo, em seguida o sensor foi conectado na plataforma de prototipagem para que os dados fossem coletados, para energizar o arduino foram utilizadas quatro pilhas em um porta-pilhas, somando no total uma d.d.p. de seis volts, tensão suficiente para o funcionamento de todos os equipamentos elétricos do protótipo nesta etapa de desenvolvimento como, por exemplo, plataforma de prototipagem Arduino Uno, ponte H formada por transistores do tipo NPN para controlar a velocidade e sentido de rotação dos motores e servo motores figura 5.

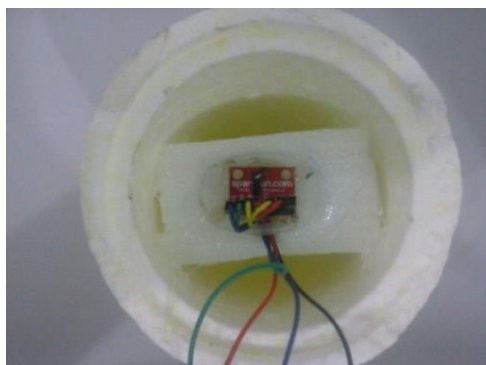


Figura 4- Sensor de aceleração

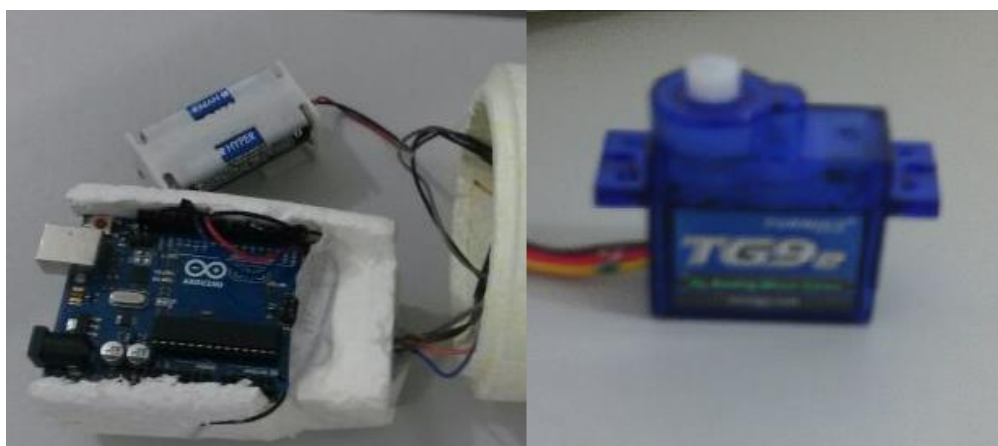


Figura 5- Arduino e servo motor

A montagem eletrônica do circuito implementado pode ser visualizado na figura 6.

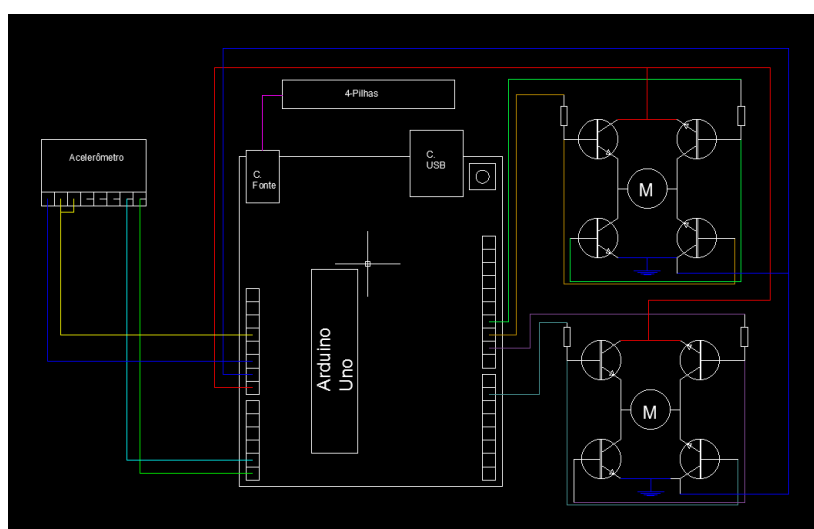


Figura 6 – Diagrama Eletrônico do protótipo



## 2.2. Desenvolvimento do algoritmo

A base do algoritmo de programação do micro controlador do protótipo se baseava na ideia de manter o protótipo equilibrado na posição inicial, onde ele tenderia a se manter de acordo com as interações caóticas que viessem a abalar sua estabilidade. É importante colocar em foco três preocupações iniciais ao desenvolver o algoritmo:

- O protótipo não deveria responder de maneira brusca as interações externas, ou seja, ele deveria responder de maneiras diferentes de acordo com a inclinação que o corpo do protótipo sofresse;
- Os motores do protótipo deveriam responder com uma intensidade inicial relevante de acordo com os momentos iniciais de distúrbio sobre o corpo do mesmo, isso se torna fundamental já que não há aproveitamento em potências menores que 30% dos motores em questão;
- Os dados obtidos pelo acelerômetro são totalmente abstratos e adimensionais, modelados a partir da biblioteca inserida na programação do mesmo, esses dados coletados foram estudados e após a análise dos movimentos do comportamento do acelerômetro nas três dimensões, foram modeladas equações de linearização do sistema obedecendo a parâmetros de obtenção de dados e emissão de respostas para a utilização dos motores com maior eficiência.

Em geral os motores iriam responder de acordo com as inclinações do protótipo. Foi realizado um estudo sobre o sensor de aceleração e assim foi possível a obtenção de uma equação que respondia de acordo com as inclinações que o sensor sofria. A equação tem a estrutura da equação geral de uma esfera de raio 260 (equação 1).

$$x^2 + y^2 + z^2 = (260)^2 \quad (1)$$

Utilizando os dados do eixo das abscissas do acelerômetro coletados pelo arduino como a variável para equações lineares que respondiam com valores entre 0 e 255 de acordo com o pulso pwm para alimentar os motores laterais, essas variações fazem com que a velocidade de rotação de seus eixos variem de acordo com a inclinação do protótipo. Esse conjunto de equações lineares (equação 2), foram modeladas para responder com uma taxa de variação diferente dependentes dos níveis de inclinação do protótipo.

$$f(x) \begin{cases} 0,74x + 80 & \text{se } 22,6 < x < 116,12 \\ 0,76x + 86 & \text{se } 116,2 < x < 235,64 \\ 255 & \text{se } 235,64 < x < 260 \end{cases}$$

(2)

A tensão injetada nos motores depende diretamente do pulso, o sinal do pulso em função da inclinação do sensor utilizando as coordenadas do eixo x pode ser visualizado no gráfico 1.

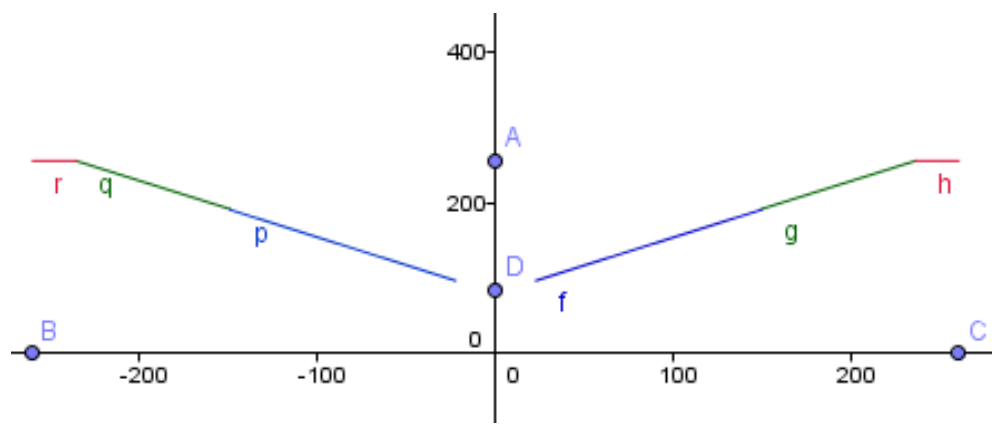


Gráfico 1- Pulso PWM em função das variações das coordenadas do eixo x do sensor de aceleração.

. O gráfico dois deixa explanado o funcionamento do equipamento em função das variações no eixo das abscissas, o intervalo foi definido de -260 a 260 (medida adimensional). Conforme o gráfico dois, a partir das regiões ficam definidas que de acordo com o aumento da tonalidade da região azulada no gráfico, utilizar em um sistema de equações condicionais que tem seus coeficientes angulares ligados diretamente com o aumento da tonalidade de cada região. O ângulo  $\gamma$  e seu simétrico representam a região de inclinação livre e os motores não serão acionados, na região do ângulo  $\beta$  e seu simétrico a velocidade do motor partirá de 30% e poderá chegar até 60% como potência máxima e zona crítica do ângulo passando para o ângulo  $\delta$  e seu simétrico que se iniciará com 60% da potência total e chegando até 100%. Entrando na região do ângulo  $\alpha$  e seu simétrico a potencia do motor será de 100% já que é necessário que o protótipo recupere o equilíbrio o mais rápido possível e tendo em vista que o mesmo está em uma situação crítica. O sistema foi configurado para operar em inclinações para os lados e para frente, utilizando dados dos eixos x, y e z, que se tornam simples e necessário apenas o entendimento do funcionamento das coordenadas dos eixos x e y.

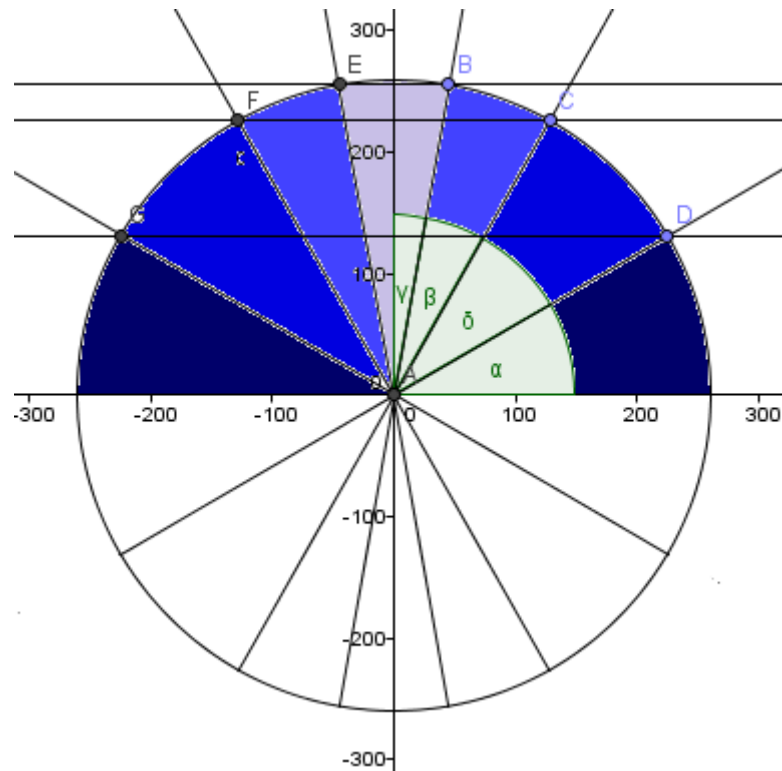


Gráfico 2- Coordenadas cartesianas dos eixos x e y e representação dos ângulos de inclinação

### 2.3. Materiais Utilizados

Para construção do protótipo mini submarino de prova, foram utilizados materiais e baixo custo, tais como:

- Cúpula de isolamento térmica feita de isopor para garrafas de cerveja.
- Pedacos de deplon.
- Hélices de pirulitos do tipo pirocôptero.
- Pedacos de isopor.
- Seringa de XML.
- Cabo de pirulitos.

Foram utilizados equipamentos e dispositivos eletrônicos de baixo custo visado a flexibilidade e a facilidade de acesso a tais matérias no mercado consumidor.

- Plataforma de prototipagem Arduino Uno
- Dois motores de 3,6 volts retirados de um aparelho de DVD.
- Dois servos-motores.
- Oito transistores Npn Tip 120.
- Sensor de aceleração Acelerômetro Adl 345.
- Porta pilas de 4 lugares.



- Quatro Pilhas Panasonic.

### 3. RESULTADOS

Os resultados de pesquisas para desenvolver mecanismos que possibilitem o aprimoramento de formas de lecionar foram proveitosos ao possibilitar o desenvolvimento do equipamento apresentado neste artigo, que poderá auxiliar em diversas vertentes no âmbito escolar e futuramente com o aperfeiçoamento e desenvolvimento deste protótipo a realização de exploração e pesquisa, pois podendo servir como instrumento em aulas práticas, poderá permitir que os alunos da graduação em ciências exatas com ênfase na programação e eletrônica possam absorver mais facilmente aquilo que lhes é ensinado em sala de aula, pois com a prática, a didática se torna muito mais proveitosa. O protótipo se comportou da maneira esperada, assim como foi previamente definido em seu algoritmo de programação.



Figura 7- Protótipo finalizado

### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de estabilização elaborado mostrou-se eficiente ao cumprir as funções previamente determinadas nas condições as quais fora submetido. O mini submarino de teste pode se auto estabilizar plenamente, demonstrando assim, que o referido sistema é muito útil para a detecção da inclinação e posicionamento relativo de corpos desestabilizados.

Podendo ser utilizado em várias vertentes, este sistema pode ser empregado tanto na indústria, em produções de grande escala, quanto em unidades de ensino, servindo como



material de aulas práticas, onde os alunos poderão aplicar de forma prática as teorias vistas em sala de aula.

Este artigo demonstra como o incentivo à produção científica em instituições de ensino podem produzir alternativas tecnológicas de qualidade, e de grande importância, auxiliando no avanço tecnológico produzindo alternativas aos equipamentos já existentes.

## 5. REFERÊNCIAS

CHAVIER, L. F. **Conceitos iniciais de programação para arduino.** Disponível em: < [www.circuitar.com.br/tutoriais/programacao-para-arduino-primeiros-passos/](http://www.circuitar.com.br/tutoriais/programacao-para-arduino-primeiros-passos/)> Acesso em: 09 jun. 2014.

LEITE, Mário; CESUMAR. Programação orientada ao objeto - Uma abordagem didática, 1998. 32p. Monografia (Especialização).

MCROBERTS, Michael. Arduino básico. São Paulo:Novatec, 2011. 38 p, il.

BRAGA, N. C. **Controle PWM de motor DC.** Disponível em: < <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/robotica/5534-mec139> > Acesso em: 10 jun. 2014.

MICHELS. L. Controlador Repetitivo cara Inversores Pwm com Referência de Frequência Variável. Revista Controle & Automação, Santa Maria, v. 20, n. 3, 2009.

OLIVER, G. **Exploradores Robóticos do Meio Marinho.** Disponível em: < <http://www.elmundo.es/servicios/palm.html>> Acesso em: 10 jun. 2014.

***Abstract:** Given the technological advent, various daily needs, over time, were being dealt with by increasingly sophisticated equipment, however, the speed of updating software and devices is relatively high, so some devices become obsolete and are replaced. Given this context, the students members of the Group of Studies and Research of Electrical and Mechanical Systems (GSEM), the Federal University of Pará, Campus Tucuruí, aiming to put into practice the knowledge acquired in the course of Electrical Engineering and awaken the primordial qualities a good performance teamwork required by the labor market, developed a prototype Unmanned Nautical able to automatically stabilize according to the variations of the environment to which it is subjected. Thus, this article presents the implementation of a Stabilization System Using an Acceleration Sensor and Arduino, installed on a "submarine" test, mounted with reused materials, and this will not be subjected to operating in an incompressible fluid in order to obtain new technologies and improvement of existing ones, using relatively low cost material, when compared to those produced on a large scale. This*



*project also seeks to achieve several areas, such as education, optimizing teaching in disciplines that involve the processes and components used in the operation of "submarine" test, practical lessons for better visualization and handling of equipment by students. The system presented here is also targeting improvements in the future can be improved.*

***Key-words:*** *Arduino, Technology, Stabilization System.*