

CENTRO PAULO SOUZA
FATEC SANTO ANDRÉ
Tecnologia em Eletrônica Automotiva

Bruno Pereira Romon
Gustavo Pereira Romon

ESTUDO DE ESTABILIZAÇÃO DE EMBARCAÇÕES COM
APLICAÇÃO EM UM MODELO

Santo André
2022

**Bruno Pereira Romon
Gustavo Pereira Romon**

**ESTUDO DE ESTABILIZAÇÃO DE EMBARCAÇÕES COM
APLICAÇÃO EM UM MODELO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso Superior
Tecnológico em Eletrônica Automotiva
da FATEC de Santo André, orientado
pelo Prof. Me. Luiz Vasco Puglia,
como requisito parcial para
obtenção do título de tecnólogo em
Eletrônica Automotiva.

**Santo André
2022**

R766e

Romon, Bruno Pereira

Estudo de estabilização de embarcações com aplicação em um modelo / Bruno Pereira Romon, Gustavo Pereira Romon. - Santo André, 2022. - 34f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2022.

Orientador: Prof. Me. Luiz Vasco Puglia

1. Eletrônica. 2. Protótipo. 3. Sensores. 4. Atuadores. 5. Tecnologia. 6. Embarcações. 7. Giroscópio. 8. Estabilidade. 9. Mau tempo. 10. Estudo. I. Romon, Gustavo Pereira. II. Estudo de estabilização de embarcações com aplicação em um modelo.

629.2

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 29 DE JUNHO DE 2022.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA: "ESTUDO
DE ESTABILIZAÇÃO DE EMBARCAÇÕES COM APLICAÇÃO
EM UM MODELO" DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. LUIZ VASCO PUGLIA

MEMBROS:

PROF. FLÁVIO AUGUSTO BARRELLA

PROFª. SUELY MIDORI AOKI

PROFª. PIETRO TREVISANELLO PUGLIA

ALUNO:

BRUNO PEREIRA ROMON

GUSTAVO PEREIRA ROMON

Dedicamos esse trabalho a nossa mãe, ao qual investimos nosso tempo e esforço na conclusão do curso.

AGRADECIMENTOS

O caminho para a conclusão do nosso projeto foi gratificante e isso devemos as pessoas que estavam ao nosso lado para ajudar com o que fosse preciso, e nessa parte gostaríamos de agradecer cada uma delas e dizer como essas pessoas ajudaram.

Primeiramente gostaríamos de agradecer a nossa mãe Lucimeira Gosmes Pereira por estar nos incentivando e dando ideias para montagem.

Agradeço ao professor Luiz Vasco Puglia por ter nos orientado, pelas dicas, pela atenção e paciência de nós ensinar.

Agradecemos ao nosso Tio Claudinei Romon que nos ajudou na parte mecânica e fez com que ganhássemos muito mais tempo para executar o projeto.

Agradeço também aos nossos avós por ter fornecido a oficina para montagem e os materiais.

“Não se coloque dentro de uma forma, se adapte e construa sua própria, e deixa-a expandir, como a água. Se colocarmos a água num copo, ela se torna o copo; se você colocar água numa garrafa ela se torna a garrafa. A água pode fluir ou pode colidir. Seja água, meu amigo”.

BRUCE LEE

RESUMO

A engenharia é a arte de gerar conforto e facilidade ao ser humano pelo aproveitamento dos recursos naturais. Dessa forma o homem desenvolve, desde os primórdios das civilizações, transportes que permitem a mobilidade sem grandes esforços. Em terra, na água existem hoje diversos transportes para facilitar a vida e o tempo de deslocamento, cada qual com suas vantagens e desvantagens, seja para cargas ou passageiros. Embarcações que utilizam a água como meio de condução tem grandes vantagens por necessitar pouca energia para seu deslocamento, mas com a desvantagens do desconforto do homem quando exposto condições climáticas adversas. Essas condições resultam no balanço da embarcação, perda de estabilidade em casos mais extremos, mas principalmente em mal-estar dos passageiros. Permitir que embarcações permaneçam estáveis, mesmo em condições adversas é uma busca da engenharia, já com bons resultados às embarcações de grande porte. A estabilização de uma embarcação quando submetida a condições de mau tempo, traz consigo benefícios como evitar danos à carga, melhorar a eficiência da tripulação e proporcionar conforto aos passageiros. O objetivo desse trabalho é implementar um protótipo, com sensores e atuadores, que permita a embarcação compensar os transitórios causados por ondas e ventos, mantendo-se estável nas mais variadas condições de mar.

Palavras-chave: Giroscópio. Embarcação. Estabilidade. Protótipo.

ABSTRACT

Engineering is the art of generating comfort and ease to the human being using natural resources. In this way, man develops, since the dawn of civilizations, transports that allow mobility without great efforts. On land, in the air or at sea, there are now several means of transport to make life easier and reduce travel time, each with its advantages and disadvantages, whether for cargo or passengers. Vessels that use water as a means of conduction have great advantages because they need little energy for their displacement, but with the disadvantages of human discomfort when exposed to adverse climatic conditions. These conditions result in the balance of the vessel, loss of stability in more extreme cases, but mainly in the discomfort of passengers. Allowing vessels to remain stable, even in adverse conditions is an engineering pursuit, already with good results for large vessels. The stabilization of a vessel when subjected to bad weather conditions brings benefits such as avoiding damage to the cargo, improving the efficiency of the crew, and providing comfort to passengers. The objective of this work is to implement a prototype, with sensors and actuators, which allows the vessel to compensate for the transients caused by waves and winds, while remaining stable in the most varied sea conditions.

Keywords: Gyroscope. Vessel. Stability. Prototype.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Seakeeper projeto.....	12
Figura 2. Robô bípede	13
Figura 3. Eixos de liberdade	14
Figura 4. Regra da mão direita	15
Figura 5. Efeito na roda	15
Figura 6. Giroscópio.....	16
Figura 7. Dimensões do Barco.....	16
Figura 8. Estrutura do Giroscópio	17
Figura 9. Circuito Eletrônico.....	18
Figura 10. Diagrama de Blocos.....	18
Figura 11. MPU6050.....	19
Figura 12. Funcionamento do Acelerômetro	20
Figura 13. Funcionamento do Giroscópio	20
Figura 14. Ponte H.....	21
Figura 15. Conjunto Montado.....	23
Figura 16. Simulação sem estabilizador	25
Figura 17. Simulação com o Giroscópio ligado	26
Figura 18. Simulação com o sistema	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

E	Centro de Empuxo
G	Centro de Gravidade
GND	Terra
I2C	Circuito Inter Integrado
PID	Proporcional Integral Derivativo
PWM	Pulse Width Modulation
SCL	Serial Clock
SDA	Serial Data
UC	Unidade de Controle
VCC	Tensão em Corrente Continua

LISTA DE SIMBOLOS

T	Torque
L	Momento angular
V	Volts
°	Graus
K	Quilo
X	Eixo das abcissas
ω	Velocidade Angular
Y	Eixo das ordenadas
Z	Eixo monumental

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT.....	9
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	10
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	11
LISTA DE SIMBOLOS	12
1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Objetivo.....	12
1.2. Motivação.....	12
1.3. Exemplos de Uso	12
1.4. Definição do Problema	13
2. Fundamentação Teórica.....	14
2.1. Movimento da Embarcação.....	14
2.2. Efeito Giroscópio	15
2.3. Estrutura da Embarcação.....	16
2.4. Estrutura giroscópio	17
3. Componentes Eletrônicos.....	18
3.1. MPU6050	19
3.1.1. Acelerômetro.....	19
3.1.2. Giroscópio.....	20
3.2. Conexões.....	20
3.3. Ponte H BTS7960b	21
3.4. Servo Motor	21
3.5. Motor com o disco	22
4. Projeto	23
4.1. Configurando o MPU6050	23
4.2. Aplicando no Motor	24

5. Leitura e funcionamento	25
5.1. Primeira leitura	25
5.2. Segunda leitura	26
5.3. Terceira leitura	26
6. Considerações finais	28
7. Propostas Futuras	28
REFERÊNCIA	29
Apêndice – Código controle do Motor com o MPU6050	30

1. INTRODUÇÃO

O modo de como o efeito giroscópio é usado pode não ser percebido para a maioria das pessoas, porém esse efeito é estudado há muito tempo e tem uma grande importância para muitas tecnologias atuais. Tem-se o *gyrocar*, umas das primeiras invenções usando estabilização por giroscópio, criado pelo Conde Russo chamado Pyotr Shilovsky em 1912. “O carro contava com apenas 2 rodas e um sistema de giroscópio, através de um componente o ângulo era medido e compensado com um torque que balanceava o carro para o lado desejado” (WALCK, 2013, p.1). Esse tipo de construção foi importante para entender o funcionamento do efeito e quais aplicações fariam mais sentido no futuro.

Com o tempo e aprendendo mais sobre o assunto foram feitas mais implementações, com isso chegamos no sistema de estabilização para barcos. A Tristan Perez (*apud* AKPADIAHA; JEREMIAH, 2019) em seus estudos nos conta que existe uma grande parte de engenheiros navais e arquitetos que dedicam o tempo para reduzir ao máximo os efeitos negativos de rotação, isso é diminuindo o ângulo de rotação, aceleração ou até mesmo prolongado o tempo do movimento.

Para tal feito são usados vários tipos sistemas, que podem ser passivos ou ativos. Sistemas ativos são aqueles que usam energia e formas de controles para gerar uma força oposta ao movimento de rotação, exemplo o giro estabilizador ou as barbatanas ativas. Já os sistemas passivos são instrumentos que não possuem um controle especial ou uma fonte de força, alguns exemplos passivos em um barco temos as barbatanas e as quilhas.

Os sistemas passivos de um barco se trata de equipamentos externos, por tanto as forças e o torque são gerados através de interações hidrodinâmicas com o casco do navio, correndo riscos de dano físico ao equipamento e baixo rendimento. Comparando aos sistemas ativos temos que em sua maioria trata-se de sistemas que ficam internamente no barco e aplicam forças em toda a estrutura, além de serem acessíveis no caso de manutenção (POH *et al.*, 2017).

Através de um disco de inércia girando em alta velocidade, se cria um momento angular capaz de manter a estrutura estabilizada conforme o movimento oscilatório do barco. A criação de giro estabilizadores trouxe grande efetividade para os barcos de passeios. porém era muito difícil a implementação por conta dos seus custos de montagem e uma falta efetividade no controle do sistema. Ao passar os anos com novas tecnologias e o surgimento de controle digitais reestabeleceu o interesse no sistema giro estabilizador.

1.1. Objetivo

O objetivo deste trabalho é criar um sistema de estabilização que será instalada dentro da embarcação, em um modelo menor, com o intuito de toda força que alterar o movimento do barco ser transferida para o sistema de estabilização que mandará torque equivalente ao sentido dessa força, assim subtraindo os movimentos gerados. Para auxiliar serão usados sensores de movimentos e servo motores. O projeto tem o intuito de servir como base de estudo para a realização de um em proporções maiores

1.2. Motivação

O assunto de estabilização embarcada nos trouxe bastante interesse, mas por se tratar de algo difícil de realizar em tamanhos reais não demos muito atenção no começo, depois de fazer mais pesquisas chegamos ao um vídeo do Mundo Mar (2018), mostrando essa tecnologia no evento *Miami Boat Show*, em um modelo menor feita pela *SeaKeeper*, na figura 1 esse exemplo nos inspirou a está realizando esse projeto.

Figura 1. Seakeeper projeto



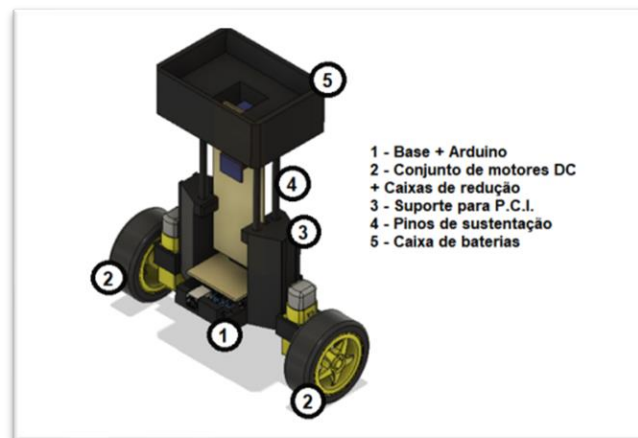
Fonte: SEAKEEPER, 2019

1.3. Exemplos de Uso

Umas das áreas que faz maior proveito dessa tecnologia é a área do cinema que pela necessidade de registrar cenas muitas vezes em altos movimentos se é necessárias câmeras com estabilizadores potentes, ou mesmo para fotos do dia a dia que aparece uns movimentos involuntários na hora de tirar a foto, as câmeras hoje em dia já vêm com um estabilizador giroscópico na parte interna, e se esse recurso ainda não for o suficiente existe peças a parte para efetuar suas exigências. Normalmente esses estabilizadores a parte usam a tecnologia de contrapeso.

Passando para outra área, em um trabalho desenvolvido na FATEC Santo André pelos alunos Satoshi e Manganelli (2018). A figura 2 mostra a montagem do robô bípede com sistema giroscópio e acelerômetro, esse robô se movimenta através de rodas com o intuito de se manter verticalmente posicionado, para que isso ocorra o sistema de estabilização, feito com um giroscópio, compensa a força que está sendo exercida pelo corpo quando está se movimentando.

Figura 2. Robô bípede



Fonte: Satoshi e Manganelli, 2018.

1.4. Definição do Problema

Em um trabalho realizado pelo Pereira (2016), ele aborda o problema que a região Norte do Brasil tem por conta da grande quantidade de rios e alagação da região sendo utilizado em sua maioria meios de transportes fluviais.

O problema desse tipo de transporte são os constantes movimentos involuntários, trazendo consigo desconforto para os passageiros como náusea, perigo de sofrer um acidente e danificar objetos de valor que está sendo transportado.

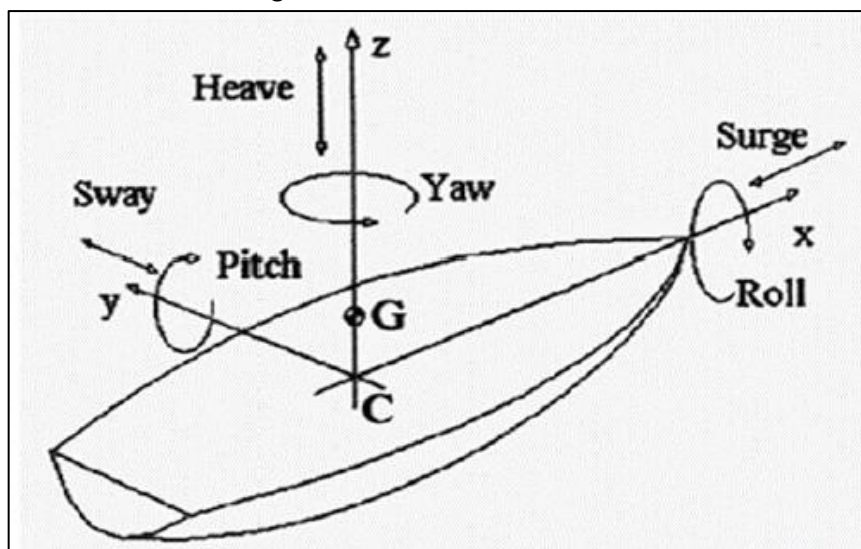
2. Fundamentação Teórica

Com o advento de novas tecnologia tornou-se possível a resolução de problemas, que eram difíceis e demorados, em maneiras mais simples. Com aparição da eletrônica e sistemas mais inteligentes resulta no mundo da engenharia resoluções fantásticas de como resolver um problema, e para o nosso caso a eletrônica será uma ferramenta primordial para o controle da estabilização. Mas antes é preciso entender a física da tecnologia que será utilizada para que assim possa usar a física e a eletrônica ao nosso favor.

2.1. Movimento da Embarcação

O barco posto na água está livre nos 3 eixos X, Y, Z, ilustrado na figura 3, sofrendo alterações inconstantes por conta dos movimentos aleatórios das ondas.

Figura 3. Eixos de liberdade



Fonte: Perez e Blanke, 2012.

O barco pelo seu formato já é projetado para ter uma certa estabilidade, mas ela é dependente do centro de gravidade e do centro de empuxo, devesse saber que a força peso é aplicada no centro de gravidade (G), que é fixo e o empuxo é aplicado no centro de empuxo (E), que é variável. O centro de gravidade (G) não é mudado em relação corpo, já o centro de empuxo (E) muda de acordo com a forma do líquido deslocado.

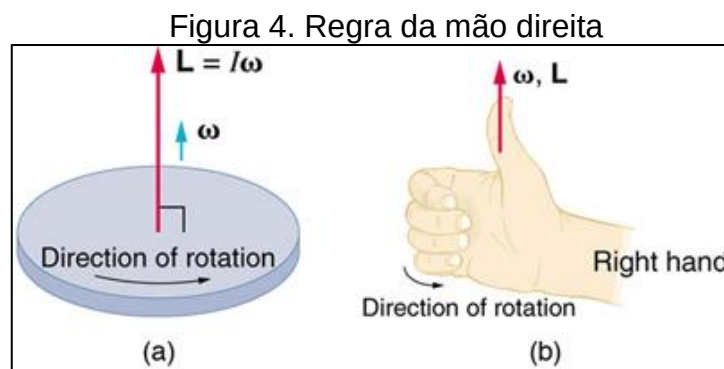
O barco também tem os seis graus de liberdade nos 3 eixos para movimentar nós sentidos de rotação e translação. Com isso podemos ver que a movimentação do barco pode ser para qualquer sentido se não tiver um controle e o mais perigoso é o movimento de rotação em torno do eixo longitudinal que é a movimentação lateral. Em casos de movimentações laterais o barco já tende a retornar à posição inicial uma vez que o G fica abaixo do E, porém até que ele volte o barco oscila diversas vezes podendo causar alguns problemas de enjoo,

acidente envolvendo tripulação etc. Com isso, para auxiliar nesses problemas será utilizado o sensor MPU6050 para a leituras dos eixos e correções das oscilações.

2.2. Efeito Giroscópio

O efeito giroscópio é o mais importante que será abordado nesse projeto e ele é definido da seguinte maneira. “O efeito giroscópico é a capacidade (tendência) do corpo em rotação de manter-se em uma direção constante de seu eixo de rotação” (NAHLIK; SMETANOVA, 2018, p. 293), um bom exemplo de onde que esse efeito ocorre é na roda da bicicleta, por conta da alta velocidade no eixo vertical surge um torque perpendicular ao angulo da roda mantendo a roda verticalmente equilibrada.

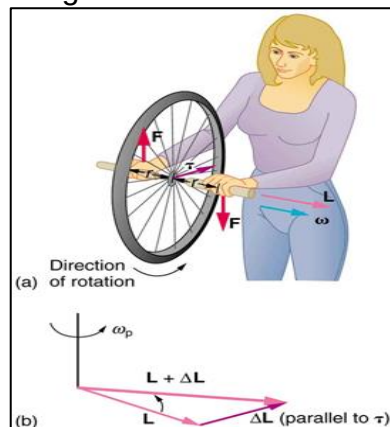
Para explicação é ilustrado, na figura 4, um disco em rotação, onde nele é destacado dois vetores, momento angular (L) e velocidade angular (ω), e ao lado do disco é exemplificado a regra da mão direita para mostrar a direção desses dois vetores.



Fonte: OpenStax, 2022.

Ambos são penpendiculare ao plano de rotação, então o momento angular está relacionado com a velocidade angular. Sabendo disso será abordado sobre como o torque age na figura 5, em que ao inves do disco é usado uma roda de bicicleta

Figura 5. Efeito na roda



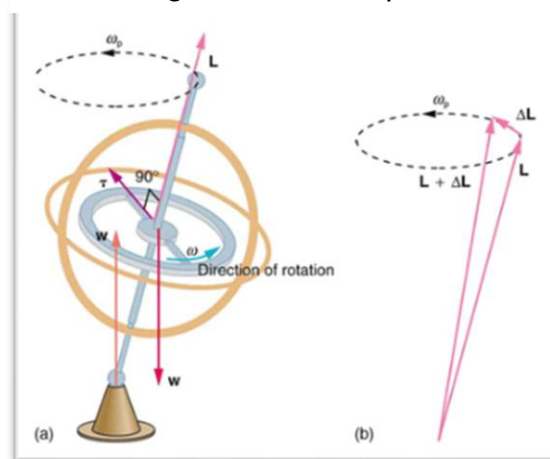
Fonte: OpenStax, 2022.

A roda está em rotação, porem as forças exercidas criam um torque em sua direção. “Este torque cria uma mudança no momento angular (L), penpendicular ao momento

angular original, mudando assim a direção de L mas não sua magnitude”(MOEBS; LING; SANNY, 2016). A figura 5 também mostra mais abaixo a soma de ΔL e L , fazendo com que o momento angular fique na direção da pessoa.

O mesmo princípio é aplicado nos giroscópios, explicado na figura 6, o torque (T) produzido pela rotação da parte girante chamado de *flywheel* é perpendicular ao momento angular (L).

Figura 6. Giroscópio



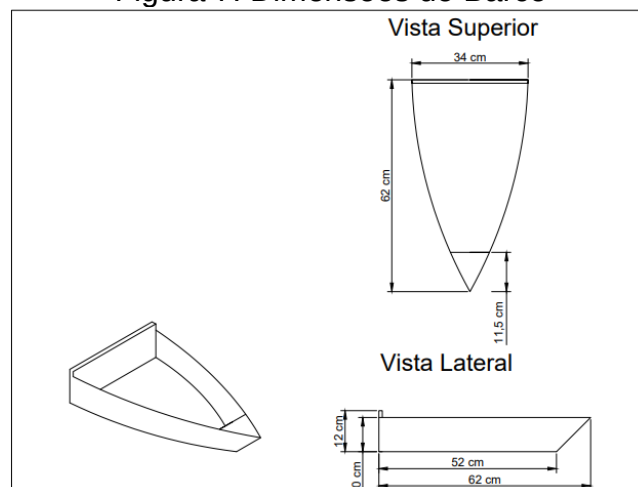
Fonte: OpenStax, 2022.

O *flywheel* continua girando e quando acontece uma mudança de movimentos do eixo, a estrutura que segura o *flywheel* o *gimbal* se movimenta compensando a mudança de direção, mas o *flywheel* continua girando no mesmo sentido.

2.3. Estrutura da Embarcação

Para o uso de estudo e simulação de um sistema de estabilização giroscópio, utilizaremos um modelo de barco de madeira, que servirá de ensaio para a instalação do

Figura 7. Dimensões do Barco



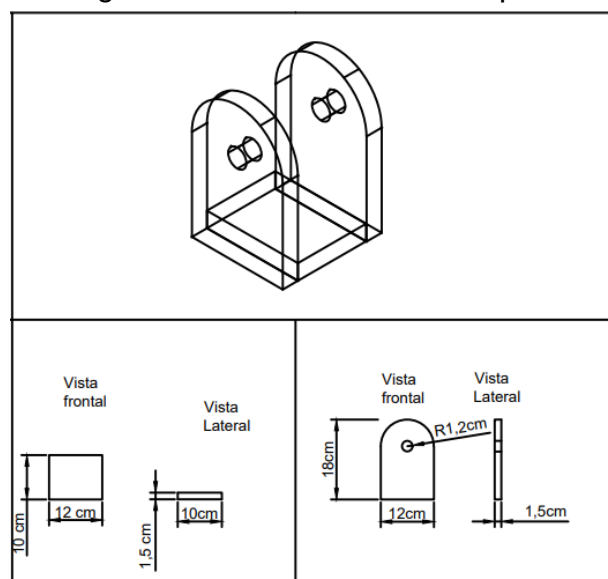
Fonte: Autoria própria.

sistema em seu interior. Deverá aguentar o peso do sistema e as forças postas nos ensaios. Por conta de o barco ser maior ele já se estabiliza mais facilmente, porém a maior preocupação foi qualquer infiltração de água ou tombamento, com uma altura relativamente alta diminui as chances das infiltrações. As dimensões do barco são ilustradas na figura 7 em centímetros.

2.4. Estrutura giroscópica

Pensando no modelo do barco, a figura 8 ilustra o desenho da estrutura para comportar os motores e o eixo com o giroscópio.

Figura 8. Estrutura do Giroscópio



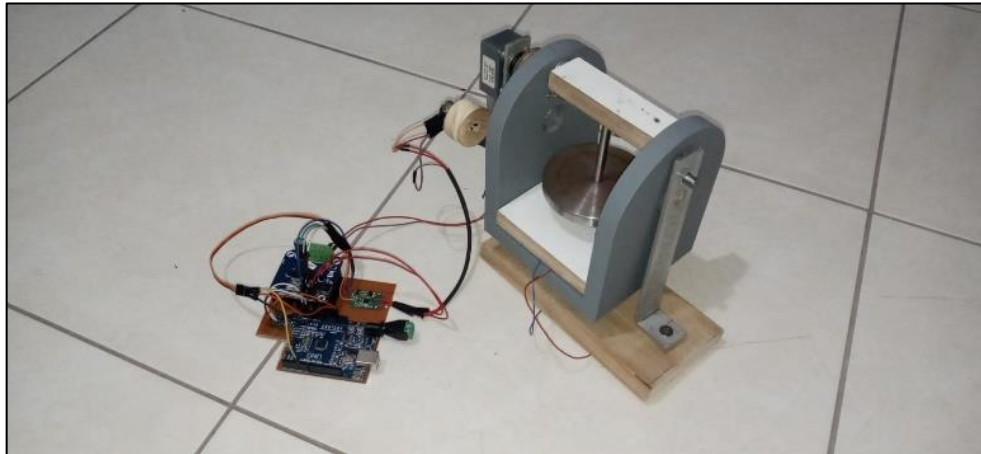
Fonte: Autoria própria.

Na superfície dela abrigará o motor de 12v com o disco acoplado e um rolamento para mantê-lo no eixo, já nas laterais teremos duas hastes de alumínio que servirão de apoio e encaixe na para a estrutura de sustentação, essa base não tem contato direto com o barco e deve estar livre para movimentar 45° nas laterais

3. Componentes Eletrônicos

Para que seja feito o movimento oscilatório da estrutura contaremos com o motor com redutor, porém ele deve fazer esse movimento conforme a direção em *Roll* do barco, em sentido que se contrapõe ao movimento e com a mesma força, para isso será usado componentes de leitura, da posição do barco, e de controle do motor. A figura 9 mostra o circuito montado.

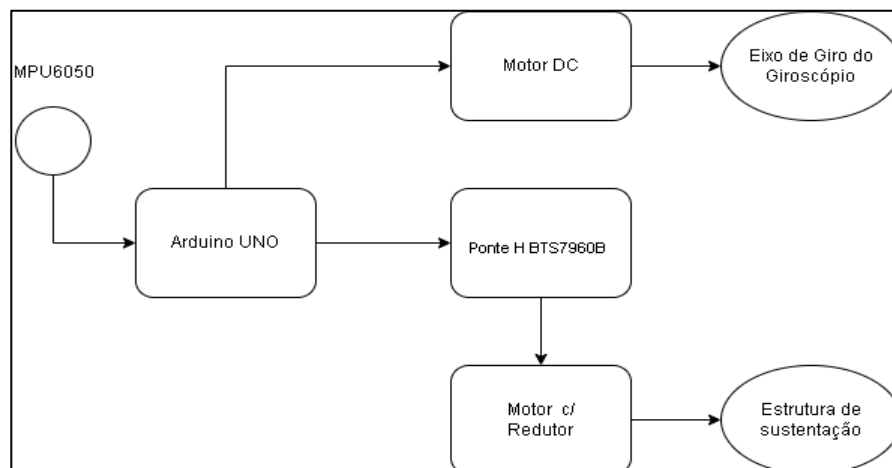
Figura 9. Circuito Eletrônico



Fonte: Autoria própria.

O diagrama de blocos, ilustrado na figura 10, mostra como funcionará a sequência de função de cada objeto. O sensor MPU6050 mandará o sinal do ângulo em volts para o Arduino, com isso ele fará a interpretação em forma de código e controlará o nosso Servo Motor com base no ângulo do sensor, enquanto isso terá outro motor que fará o disco girar e provocar o efeito giroscópio.

Figura 10. Diagrama de Blocos

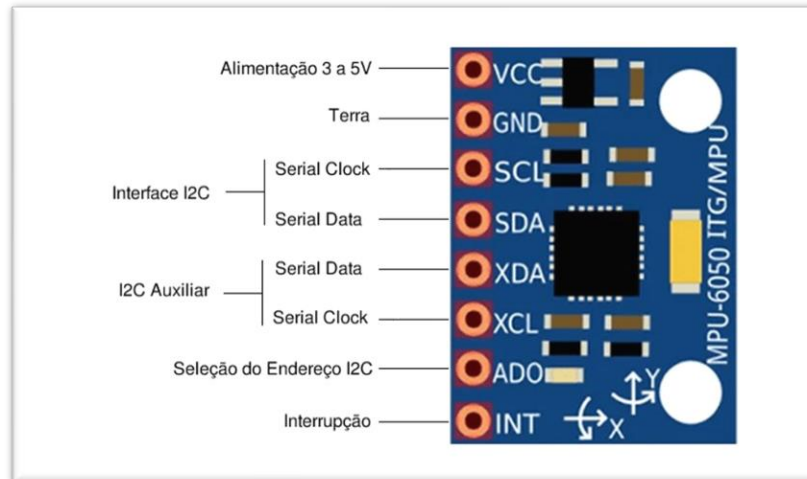


Fonte: Autoria própria.

3.1. MPU6050

Nesse estudo é preciso que a unidade de controle (UC) saiba o ponto de inércia do modelo e se ele está sofrendo alguma perturbação que o faça sair do seu eixo, com a UC tendo essa informação é possível fazer com que ela corrija e volte ao estado de inércia. Para isso será utilizado o acelerômetro MPU6050 que fornece 6 valores, três valores do acelerômetro e três do giroscópio.

Figura 11. MPU6050



Fonte: USAINFO, 2022

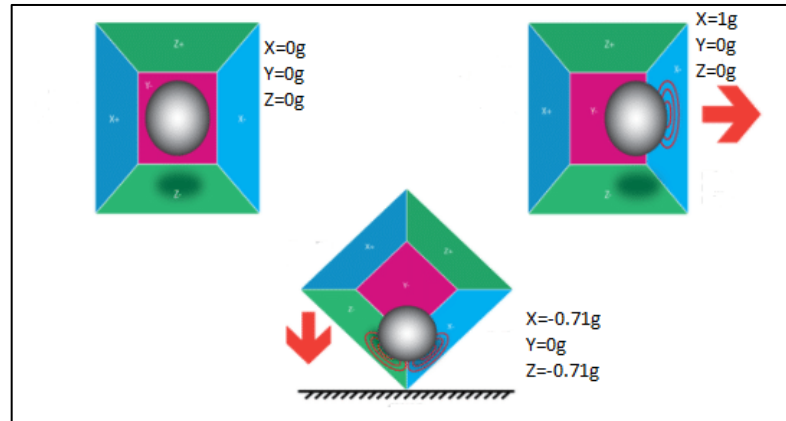
O Arduino será utilizado para fazer a conexão dos pinos da MPU6050 por ser uma plataforma mais prática do uso do *hardware* e *software* e é através do Circuito Integrado (I2C), podendo assim ler os valores obtidos e fazer o sistema de estabilização. A configuração é bastante simples como pode-se ver pela figura 11, onde nesse caso será utilizado apenas 4 pinos, o de alimentação de tensão em corrente contínua (VCC) que será a alimentação, a terra (GND) como tensão de referência, Serial Clock (SCL) e o Serial Data (SDA) que serão responsáveis pela leitura e transmissão.

3.1.1. Acelerômetro

Pode-se imaginar funcionamento de um acelerômetro como se fosse um cubo com uma esfera livre dentro dela, igual na figura 12. Onde as paredes do cubo são sensores de pressão feitos por materiais piezoelétricos e esses materiais têm a característica de quando feito uma pressão é emitido uma tensão elétrica. Cada parede se comporta como se fosse os

eixos X, Y e Z e quando a esfera toca significa que existe uma aceleração na direção dela, porém no sentido oposto.

Figura 12. Funcionamento do Acelerômetro

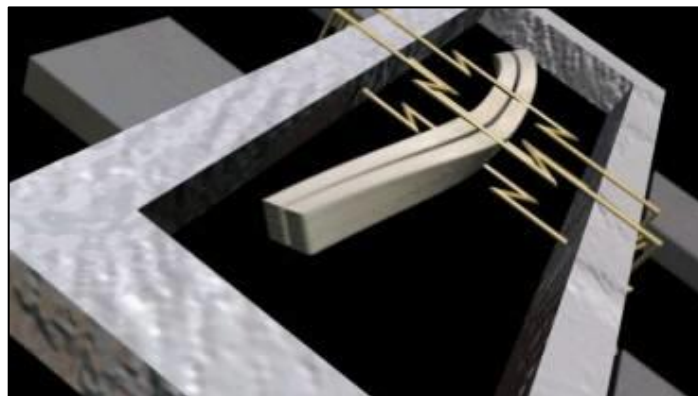


Fonte: CONEM, 2018.

3.1.2. Giroscópio

Os giroscópios também funcionam sob o princípio de piezeletricidade, porém como é visto na figura 13 em vez de uma esfera, usa-se uma estrutura que fica vibrando para determinar a taxa de rotação do objeto. “Essa estrutura é apoiada num suporte e ela tende a continuar vibrando na mesma posição, porém se o suporte rotacionar, o objeto exercerá uma força nele que será proporcional a velocidade angular de rotação” (MAITELLI; YURI; LIMA; OLIVEIRA, 2018).

Figura 13. Funcionamento do Giroscópio



Fonte: CONEM, 2018.

3.2. Conexões

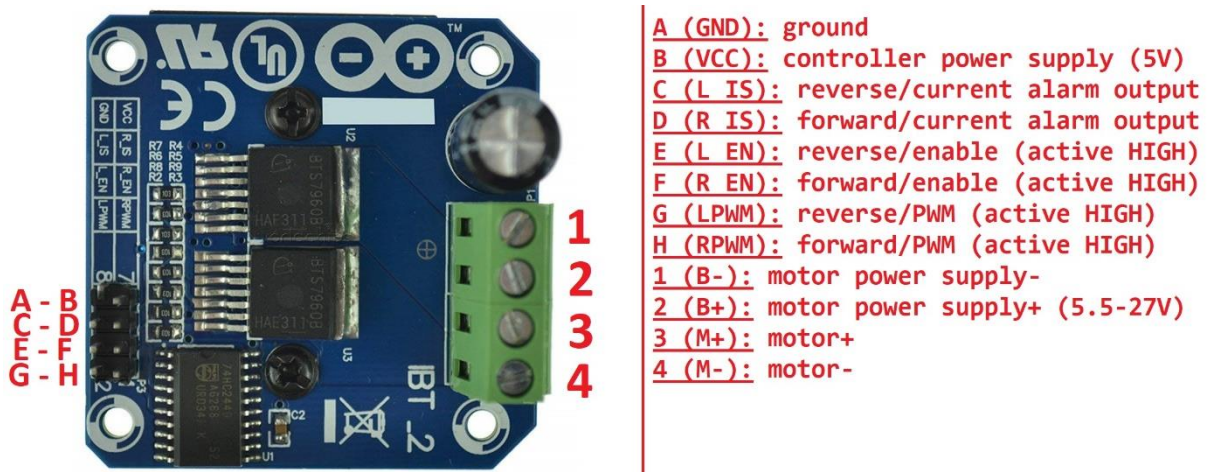
O Arduino é o cérebro do projeto, como já dito anteriormente ele que ficará responsável por ler o sensor MPU6050 e enviar os comandos para os motores, para isso foi desenvolvido uma lógica e conexões necessárias para o sistema, o pino analógico A5 foi conectado no SCL, A4 conectado no SDA, 5v e GND para leitura e alimentação do sensor.

Para controlar o servo motor, foi utilizado o pino 5 da porta digital PWM conectado diretamente no circuito do servo junto de outras conexões de alimentação, VCC e GND. O circuito do servo conta com 2 terminais de saída que estão sendo ligados à ponte H, esse sinal de saída já está com necessário para funcionar o servo motor.

3.3. Ponte H BTS7960b

Como não é recomendável usar um motor direto da fonte para o Arduino escolhemos a ponte H BTS7960b para a ligação e controle do nosso servomotor. Foi utilizado as seguintes conexões: VCC e GND com a função de ligar a parte logica da ponte H; R_EN e L_EN para a ativação dos dois sentidos de giros; RPWM e LPWM para a ativação do *Pulse Width Modulation* (PWM) nos dois sentidos de giro, nessas conexões em PWM não será ligado diretamente nas portas do Arduino teremos o circuito do servo motor que será mais bem explicado no **3.4. Servo Motor**. A figura 14 mostra melhor onde fica cada conexão.

Figura 14. Ponte H



Fonte: ElectricalEngineering, 2019.

Na figura 14 podemos ver as conexões 1 (B-) e 2 (B+) onde será ligado diretamente a fonte de 12v, e temos a 3 (M+) e 4 (M-) onde será ligado o nosso servomotor.

3.4. Servo Motor

O servo motor é umas das partes mais importantes, ele deve ter a rotação e a força necessária para girar a estrutura conforme o ângulo dado pelo MPU6050. Porém um servo motor com esses parâmetros é de difícil aquisição então decidimos montar o nosso próprio servo.

Todo servo é constituído de um potenciômetro, um motor com redutor e o circuito para ler o potenciômetro mais o sinal PWM, gerado de alguma porta digital, com isso é possível determinar o ângulo através do código no Arduino e o sinal PWM (NARDI MARLON, 2021). Com isso em mente será utilizado o circuito do servo motor MG995, um potenciômetro

de 1K Ohms e um motor com a caixa de redução. Juntando-os no circuito conseguimos formar um motor que agente o peso da estrutura de giro e que faça os movimentos conforme o ângulo informado pelo MPU6050.

3.5. Motor com o disco

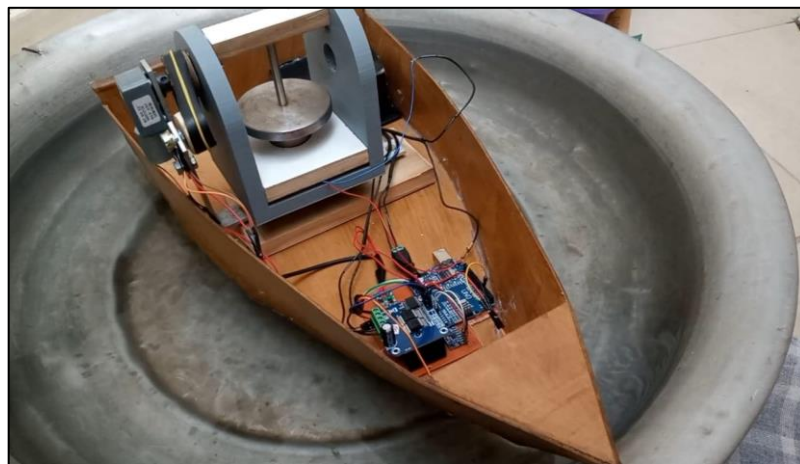
E por último, o moto de 12v que tem a rotação necessária para o disco de metal criar o efeito giroscópio, esse motor não vai ligado no Arduino nem na ponte H, pois ele não precisa de nenhum comando e para o funcionamento ele pode ser conectado diretamente na fonte.

4. Projeto

Os sensores lerão o movimento gerando no giroscópio pois é o giroscópio reproduzirá a mudança de movimento da embarcação, será enviado para a unidade de controle (UC) que fará os cálculos para enviar o torque e o sentido correto para os atuadores que terão a atuação de movimentar o barco no sentido contrário do movimento que está sendo feito assim tornando-o nulo. Todos os equipamentos ficarão na parte interna da embarcação.

Como o tamanho é limitado, então não terá problemas significativos de ruídos externos, se fosse proporcional a uma lancha por exemplo seria preciso colocar o equipamento giroscópio dentro de uma cápsula a vácuo para ganhar velocidade, diminuir peso e reduzir o consumo de energia, precisaria de um sistema de refrigeração para remover o calor, a melhor seria a líquida para aproveitar a água do mar (SEAKEEPER, 2018).

Figura 15. Conjunto Montado



Fonte: Autoria própria.

Com o projeto montado na figura 15 e entendido as funções de cada componente agora é preciso de um código que atenda aos requisitos de cada e reproduza no sistema. Nesse caso é necessário ter os valores do MPU6050 e passar a informação do ângulo X em um valor que possa ser usado no nosso servo motor.

4.1. Configurando o MPU6050

Como dito anteriormente o MPU6050 só servirá para leitura então é necessário de uma biblioteca que proporciona os parâmetros de leitura. Utilizamos a biblioteca MPU6050.h, com ela é obtido a leitura do ângulo X, com valores que podem chegar de 17000 a -17000.

4.2. Aplicando no Motor

Com o sensor MPU6050 enviando o valor do ângulo X, é preciso convertê-lo para um parâmetro em que possa ser usado no servo motor. Para o controle do ângulo do servo motor é preciso usar o sinal PWM, que será enviado pela porta 5 do Arduino.

Para o funcionamento do sistema é preciso que o servo motor se mova 90° para os dois sentidos e que não ultrapasse esse valor. Já que o valor da frequência do sinal PWM é o que controla o ângulo do servo motor, é preciso colocar na saída da porta digital 5 do Arduino o valor de 180.

Dessa maneira quando o MPU6050 estiver parado, ou seja, dando o valor 0 no ângulo de X, o sinal vai estar 90PWM. No caso de o MPU girar 90° para a direita o valor que será lido é de 17000, será aplicado mais 90 ao sinal do PWM sendo agora 180PWM, fazendo com que o servo motor se mova 90° para a direita. E para o valor mínimo, de -17000, será subtraído 90 do sinal PWM tornando esse valor igual a 0PWM, movendo o servo motor 90° para a esquerda.

Para ter essa conversão do sinal gerado do MPU para o PWM a função `map()` do Arduino atenderá a esse requisito. Pois com a informação do ângulo recebido pelo sensor, que terá o valor máximo de 17000 e o mínimo de -17000, é possível mapear para os valores necessários do PWM, de 0 a 180PWM.

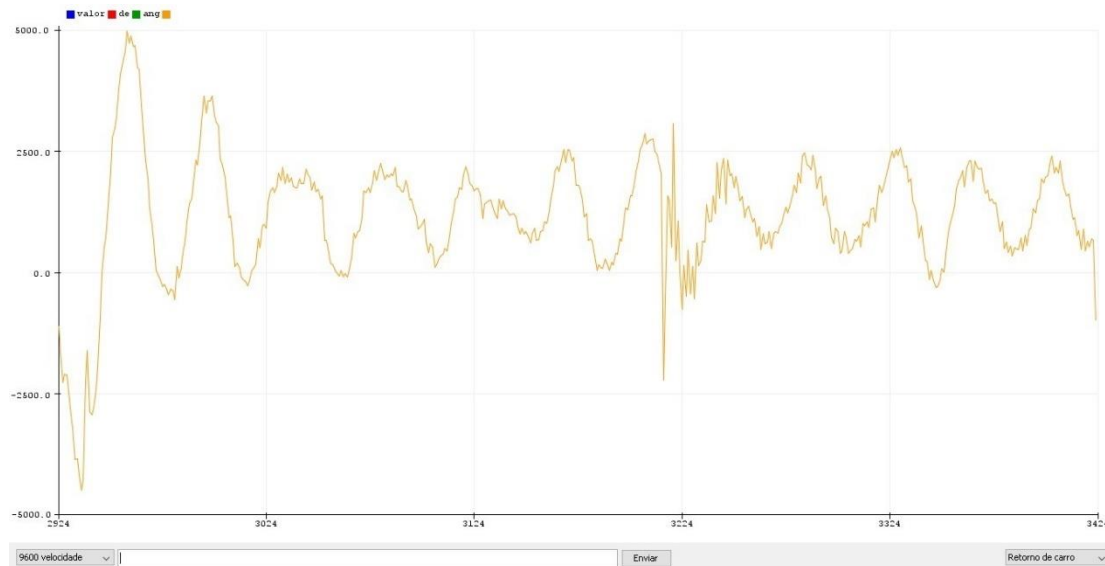
Valor Convertido = `map(AnguloX, -17000, 17000, 0, 180);`

5. Leitura e funcionamento

Nessa parte será abordado os testes feitos, suas particularidades e porque deles terem dados tal valor. Com a estrutura montada, o circuito conectado e o código funcionando, foi posto dentro do barco uma bateria de 12v alimentando todo o circuito e com o cabo USB ligado no Arduino e ao Laptop, é possível obter o gráfico mostrando o sinal do eixo X pelo MPU de cada teste, usando a função *Plotter Monitor*. Foi feito três tipo de teste em que é ligado gradualmente um componente para ver como o modelo se comporta através de uma perturbação posta na lateral simulando uma onda.

5.1. Primeira leitura

Figura 16. Simulação sem estabilizador

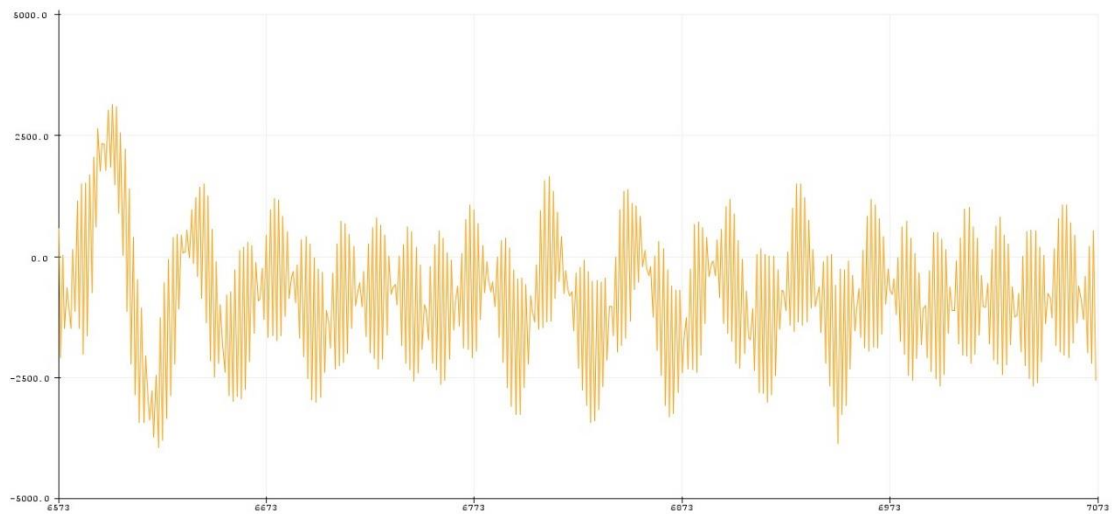


Fonte: Autoria própria.

No primeiro teste, é simulado o funcionamento do barco com nenhum equipamento de estabilização eletrônico, o único componente ligado foi o sensor para ler a perturbação. Como é mostrado na figura 16, em que começa com um sinal de onda forte que é a perturbação posta inicialmente em cada um dos testes, por conta desse primeiro teste não ter nenhum componente estabilizador a frequência dos sinais de onda demorou para decair.

5.2. Segunda leitura

Figura 17. Simulação com o Giroscópio ligado



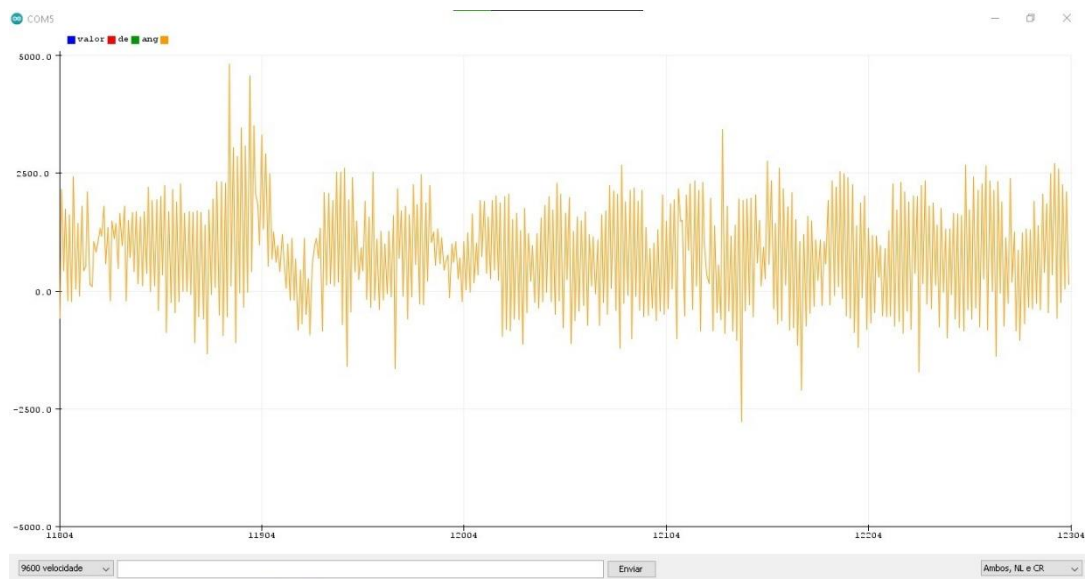
Fonte: Autoria própria.

Nesse teste é simulado apenas com o efeito do giroscópio, então é ligado o motor central com o disco e depois foi aplicada uma perturbação na lateral. Nessa leitura como é mostrado na figura 16 que se obteve um grande ruído causado pela força de rotação do disco, mas mesmo com esse ruído nota-se que depois da perturbação inicial o modelo se mantinha em uma certa escala no mesmo eixo se mantendo mais estável do que a leitura anterior.

5.3. Terceira leitura

Nesse último teste temos o gráfico, na figura 18, mostrando as leituras com todo o sistema funcionando.

Figura 18. Simulação com o sistema



Fonte: Autoria própria.

É aplicado outra força no barco e temos o mesmo ruído gerado na figura 17 pelo giroscópio, porém agora o servo motor está balanceado o sistema e se obteve uma rápida mudança do pico, gerado pela força, para uma constante dos balanceios na água.

6. Considerações finais

O nosso projeto fez com que de forma sintetizada e prática estudássemos mais a fundo, conceitos visto durante o nosso curso de eletrônica automotiva. Foram vistos conceitos dos componentes eletrônicos e como cada um está sendo usado, conceitos de microcontroladores de como executar diversas aplicações em um sistema, foi visto a física de um giroscópio e como usar o seu momento angular para estabilizar uma estrutura e foi mostrado conceitos de desenvolvimento de software para sensores e atuadores. O modelo também se mostrou efetivo com as oscilações forçadas, porém devesse ressaltar que com mais tempo e estudos dá para desenvolver melhorias, como exemplo mudar o modelo usado para um menos largo na traseira, devido a essa parte larga o projeto precisou criar um disco com um material mais pesado de metal, assim podemos obter o toque suficiente para o balanço.

7. Propostas Futuras

Podemos falar que este material serve como um bom começo para futuras aplicações, partindo desse começo podemos aplicar melhorias e conceito mais avançados. Aconselha-se desenvolver junto ao código um controle Proporcional Integral Derivativo (PID) com esse controle é possível reduzir ainda mais as oscilações imposta ao modelo. Temos também no próprio sensor MPU6050 a funções de interrupção que pode ser muito útil no controle do ângulo.

O sistema giroscópio de estabilização é muito usado em barcos, mas não se tem apenas essa aplicação, para uma proposta futura seria interessante na realização de um drone ou até robô bípede.

REFERÊNCIA

- AKPADIHA, Ini; JEREMIAH, Victor. **Roll motion damping using gyroscopic stabilizers**. 2019. 251 f. *Journal (Department Marine Engineering) - Akwa Ibom State University, Akwa Ibom State*, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/335432645_ARTICLE_Roll_motion_damping_using_gyroscopic_stabilizers>. Acesso em: 12 agosto 2021.
- MAITELLI, André; YURI, Carlos; LIMA, Gustavo Fernandes de; OLIVEIRA, Vinicius. **Proposta de Reconstrução de Trajetória de PIGs Utilizando Componentes Não Convencionais**. 2018. 8 f. Monografia (Engenharia Mecânica) – CONEM, Salvador, 2018.
- MOEBS, William; LING, Samuel; SANNY, Jeff. **University Physics Volume 1**. 2016. 988 f. *Houston: OpenStax*, 19 setembro 2016. Disponível em: <<https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/1-introduction>>. Acesso em: 22 junho 2022.
- NAHLIK, Tomaš; SMETANOVA, Dana. **Applications of Gyroscopic Effect in Transportation**. 2018. 4 f. *Professional paper (Faculty of Technology) - Institute of Technology and Business in České Budějovice, České Budějovice*, 2018. Disponível em: <<https://www.nasemore.com/wp-content/uploads/2018/11/24.-Nahlik-Smetanova.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2021.
- NARDI MARLON, 2021. 1 vídeo (17min). Publicado pelo canal Marlon Nardi. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=dBXq8kVYm6M>>. Acesso em: 18 maio 2022.
- PEREIRA, João Carlos Passos. **Sistema de Controle de Oscilação em Roll de um Barco**. 2016. 121 f. Relatório (Engenharia de Controle e Automação) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- POH, Alex et al. **Gyroscopic stabilisation of rolling motion in simplified marine hull model**. 2018. 7 f. *Conference Paper (Faculty of Mechanical Engineering) - Universiti Teknologi Malaysia, Johor, Malaysia*, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/323650510_Gyroscopic_stabilisation_of_rolling_motion_in_simplified_marine_hull_model>. Acesso em: 11 abril 2021.
- SATOSHI, Henrique Kisoki; MANGANELLI, Renan N. De Siqueira. **Robô com Sistema Giroscópio**. 2018. 83 f. Monografia (Tecnólogo em Mecatrônica Industrial) – FATEC Santo André, Santo André, 2018.
- SEAKEPPER, 2018. 1 vídeo (3 min). Publicado pelo canal Mundo Mar. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=pxSZ1EiHQ84>>. Acesso em: 15 abril 2021.
- WALCK, Christopher. **Stabilization of an inverted pendulum using control moment gyros**. 2013. 54 f. *Master's degree (Mechanical Engineering) - Iowa State University, Ames, Iowa*, 2013. Disponível em: <<https://dr.lib.iastate.edu/entities/publication/13a37e81-3d93-4ab9-9813-43e199309cce>>. Acesso em: 20 junho 2022.

Apêndice – Código controle do Motor com o MPU6050

```
// Bibliotecas
#include <Wire.h>
#include<MPU6050.h>
#include <Servo.h>

MPU6050 mpu;
// Declaração das variáveis de leitura do MPU6050
int16_t ax, ay, az;
int16_t gx, gy, gz;

Servo s;
const int pinoServo = 5;

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  mpu.initialize();
  delay(2000);

  s.attach(pinoServo);
  s.write(0);
}

void loop(){
  controle();
}

void controle(){
  ax = mpu.getAccelerationX(); // Variável recebe o sinal de aceleração do X

  // Função para mapear o sinal do MPU e mandar para o servo motor
  ax = map(ax, -17000, 17000, 0, 180);
  s.write(ax);
  Serial.print("valor de ang: ");
  Serial.println(mpu.getAccelerationX());
}
```