

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

**HENRIQUE FRANCISCO KNAPP**  
**FERNANDO HENRIQUE RATUSZNEI CAETANO**  
**ROBSON BORGES DOS SANTOS**

**ESTABILIZADOR DE DOIS EIXOS PARA CÂMERAS**

**OFICINA DE INTEGRAÇÃO 1 - RELATÓRIO FINAL**

**CURITIBA**

**2022**

**HENRIQUE FRANCISCO KNAPP**  
**FERNANDO HENRIQUE RATUSZNEI CAETANO**  
**ROBSON BORGES DOS SANTOS**

## **ESTABILIZADOR DE DOIS EIXOS PARA CÂMERAS**

Relatório final do projeto desenvolvido na disciplina de Oficina de Integração 1, do curso de Engenharia de Computação, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadores:

Prof. Juliano Mourão Vieira.

Prof. Ronnier Frates Rohrich

**CURITIBA**

**2022**

## RESUMO

ESTABILIZADOR DE DOIS EIXOS PARA CÂMERAS. 18f. Oficina de Integração 1 - Relatório Final - Curso de Engenharia de Computação, UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR). Curitiba, 2022.

O presente documento descreve um dispositivo destinado à estabilização de câmeras por meio de uma estrutura articulada. O projeto foi idealizado visando atender uma necessidade específica do ramo audiovisual, a grande maioria das câmeras ainda em atuação no mercado não possuem mecanismos de supressão à vibrações, sendo muito perceptível em suas gravações, trepidações que, rotineiramente, obrigam à realização de novas gravações ou a perda do material gravado devido à baixa qualidade. Com o objetivo de diminuir o problema, foi criado um dispositivo que cancela grandes vibrações utilizando dois motores servo e um micro controlador Arduino nano, tal dispositivo opera sobre dois eixos, alterando a inclinação vertical e horizontal de uma estrutura articulada, que, por fim, estabiliza o dispositivo de vídeo que é anexado a ela.

**Palavras-chave:** Estabilizador para câmeras. Servo motores. Suporte articulado. Manipulação de dados com arduino.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>4</b>
1.1	MOTIVAÇÃO . . . . .	4
1.2	OBJETIVOS . . . . .	4
1.2.1	Objetivo geral . . . . .	4
1.2.2	Objetivos específicos . . . . .	5
<b>2</b>	<b>HARDWARE . . . . .</b>	<b>6</b>
2.1	MODELAGEM E IMPRESSÃO 3D . . . . .	6
2.2	SUPOORTE ARTICULADO . . . . .	7
2.3	ELETRÔNICA . . . . .	8
<b>3</b>	<b>SOFTWARE . . . . .</b>	<b>11</b>
3.1	FERRAMENTAS E BIBLIOTECAS . . . . .	11
3.2	ÂNGULOS A PARTIR DAS LEITURAS DO MPU-6050 . . . . .	11
3.3	TESTES SEM A ESTRUTURA 3D . . . . .	12
3.4	LEITURA DO JOYSTICK . . . . .	13
3.5	CONTROLE DOS SERVOMOTORES . . . . .	14
<b>4</b>	<b>RESULTADOS . . . . .</b>	<b>15</b>
4.1	HARDWARE . . . . .	15
4.2	SOFTWARE . . . . .	15
4.3	DESIGN FINAL . . . . .	15
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS . . . . .</b>	<b>18</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Um recurso que está começando a se tornar popular em dispositivos de captura de vídeo apenas recentemente é a estabilização mecânica. Para pequenas vibrações, a estabilização eletrônica ou digital (já existente a alguns anos) já é suficiente para melhorar a qualidade de fotos, esta é feita via software, através de um algoritmo que tenta minimizar a vibração do dispositivo, no entanto, sua aplicação para vídeos ainda apresenta alguns problemas, uma vez que tal estabilização exige que cada quadro do vídeo seja trabalhado de forma diferente pelo algoritmo, de modo que a gravação final tenha uma boa estabilização, o que pode custar muito do processamento de um dispositivo. Outro mecanismo existente é a estabilização óptica, que, através de sensores embutidos no dispositivo, identifica os movimentos realizados, e através de pequenos motores, ajusta a posição das lentes de modo a obter imagens mais estáveis durante a gravação. Esta é uma solução melhor que a típica estabilização digital presente na maioria dos dispositivos de gravação, como celulares e pequenas câmeras, mas ainda é um recurso com limitações, e para dar a um dispositivo a melhor estabilização possível, foi criado um equipamento externo para realizar esta função.

A estabilização mecânica realizada por um dispositivo externo não possui as limitações de movimentação do dispositivo de gravação, mesmo que a base onde o estabilizador externo é fixado se mova, sua estrutura articulada realiza os movimentos contrários aos realizados pela base, anulando os movimentos e deixando o dispositivo anexado a esta estrutura estabilizado. Este é um recurso caro e economicamente indisponível para a grande parte das pessoas.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Criação de um dispositivo de estabilização externa que possua uma estrutura articulada que se movimenta em dois eixos, de modo a deixar sua base acoplada, estabilizada, e como consequência, o dispositivo de vídeo anexado a esta base, também estabilizado. Tal equipamento deve ser composto por atuadores e sensores acoplados à um microcontrolador Arduino.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- O equipamento deve operar com baterias, estas devem ser carregadas externamente.
- O equipamento deve estabilizar uma base através da movimentação de dois eixos de rotação, um eixo mantendo a inclinação vertical, e outro eixo mantendo a inclinação horizontal.
- O equipamento deve permitir a mudança de orientação da base (onde é fixado o dispositivo externo) através de um joystick analógico, com o switch tendo a função de posicionar a base de volta a posição original.
- A base presa à estrutura articulada deve possibilitar anexar um smartphone ou uma câmera externa com peso de até 300 gramas, sendo esse valor definido pela resistência tolerada pela estrutura impressa.
- Deve ser feita uma placa de circuito específica para o dispositivo.
- A estrutura do equipamento deve ser produzida por uma impressora 3D.

## 2 HARDWARE

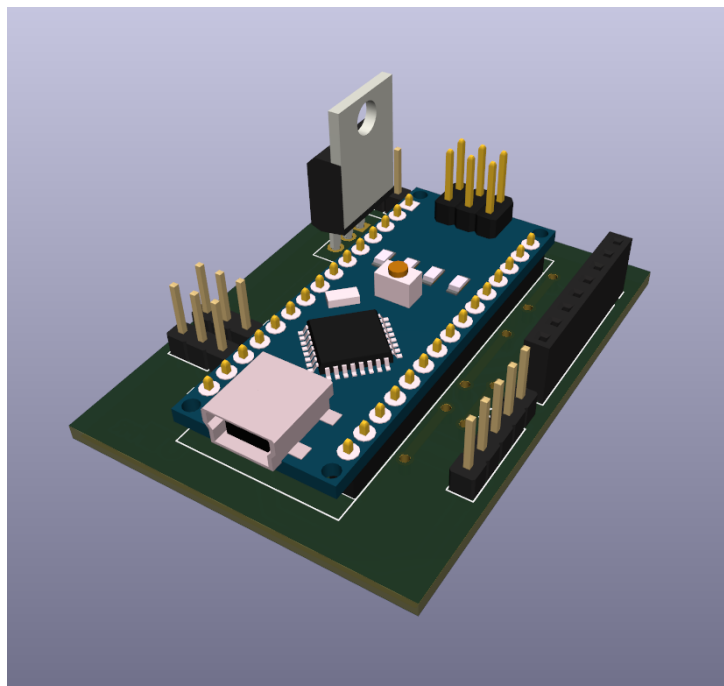
Para a construção do projeto, foram utilizados os componentes listados na tabela 1, além de ferramentas como ferro de solda, percloroeto de ferro etc.

Componente	Modelo/especificações	Quantidade
Arduino	Nano	1
Baterias recarregáveis	INR18650-30Q	2
ServoMotores	MG90s	2
Joystick analógico	3 Eixos KY-023	1
Interruptor Push Button	Retenção PBS-11A (127v)	1
Regulador de tensão	LM7805	1
Acelerômetro e giroscópio	MPU-6050	1
Dissipador de alumínio		1
Barramentos	Macho e Fêmea 10 cm	2
Cabo flat	10 vias, 20 cm	1
Espaguete termo retrátil	20 cm	1
Placa de fenolite	(Não perfurada)	1
Filamento para impressora 3D		
Parafusos	8 mm	10

**Tabela 1 – Tabela de componentes e materiais utilizados na construção do dispositivo.**

### 2.1 MODELAGEM E IMPRESSÃO 3D

Todo o hardware do dispositivo está montado em uma estrutura impressa em 3D, as peças da estrutura da caixa (paredes e tampa) foram impressas ocas e com o filamento PLA que é mais frágil e leve se comparado ao material utilizado na impressão do suporte articulado, as peças do suporte articulado foram reforçadas sendo parcialmente impressas de forma maciça e produzidas com o filamento ABS ,que apresenta maior resistência, isto para suportar o peso do equipamento que será anexado à base da estrutura articulada. As dimensões das peças impressas em 3d foram definidas a partir de modelos dos componentes e também do circuito produzidos no software KiCad e SolidWorks, como pode ser visto nas figuras 1 e 2.



**Figura 1 – Modelo 3D da placa de circuito impresso.**



**Figura 2 – Modelo 3D do dispositivo.**

## 2.2 SUPORTE ARTICULADO

A estabilização para o equipamento preso à estrutura articulada é dada por dois eixos de rotação, estes possibilitam variar a inclinação do suporte na vertical e na horizontal de zero a 90 graus para cada lado, isto devido a cada servo motor MG90s possibilitar uma rotação de 180 graus. Cada servo motor opera entre 4,8 e 6 volts, com seu torque e velocidade de operação variando de acordo com esses parâmetros. Para um funcionamento estável, os motores não são alimentados pelo arduino, a tensão máxima fornecida aos dois servos é de 5 volts, como a tensão de saída do conjunto de baterias é de 7,2 volts, foi utilizado um regulador de tensão LM7805,



que mantém uma tensão estável de 5 volts se a tensão de entrada for maior que 7 volts, não excedendo 30 volts, isso nos dá os parâmetros da tabela 2.

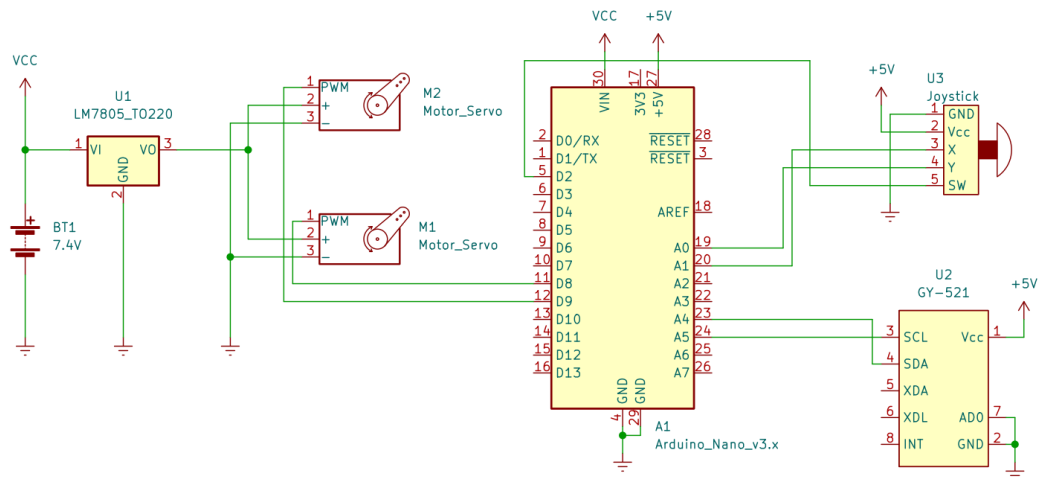
Tensão de entrada	Torque	Velocidade de operação
4,8	1,8kg/cm	0.1sec/60 graus
5,0	1,9kg/cm	0.1sec/60 graus
6,0	2,2kg/cm	0.08sec/60 graus

**Tabela 2 – Tabela de parâmetros do servo motor MG90s para diferentes tensões de entrada.**

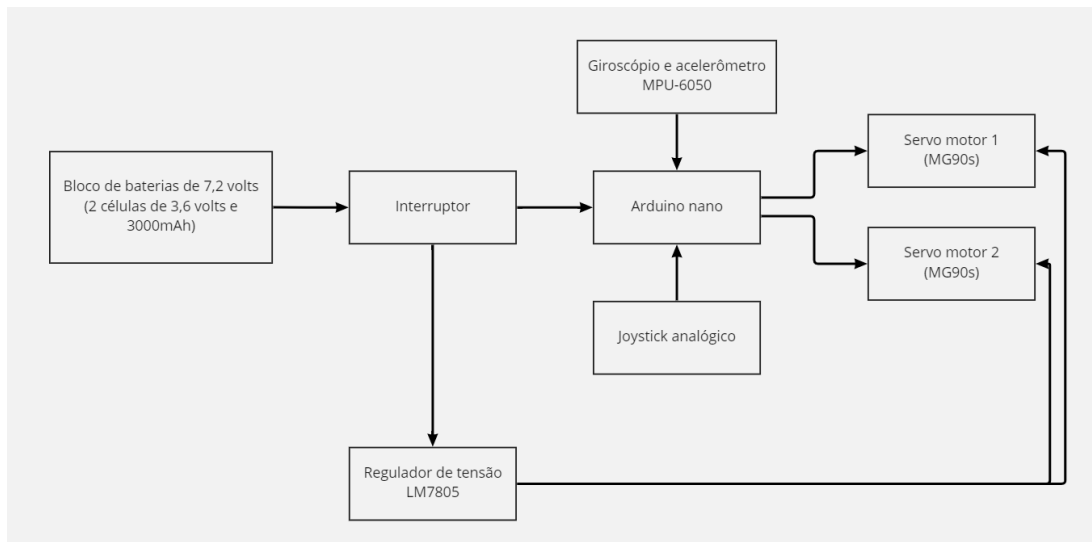
Ambos os servos são fixados diretamente na estrutura impressa por meio de dois parafusos, e as peças móveis da estrutura articulada são encaixadas diretamente no eixo de cada um dos servos com o auxílio de hélices de plástico. Para facilitar a movimentação das partes móveis e diminuir o atrito, e por consequência o desgaste do material plástico, foi adicionado sob cada eixo (encontro de duas partes móveis) duas arruelas de ferro com graxa. O cabeamento dos dois servos segue presa às estruturas móveis da estrutura articulada, isso devido ao comprimento necessário dos cabos ser diferente para diferentes posições de operação.

### 2.3 ELETRÔNICA

O sistema conta com duas células (baterias) recarregáveis de 3,6 volts e 3000 mAh ligadas em série, fornecendo ao sistema 7,2 volts, este conjunto de baterias é ligado a um interruptor, e este é ligado à placa de circuitos. A trilha positiva se liga ao regulador de tensão LM7805 (que manda cerca de 5,0 volts aos dois servo motores), e também ao arduino nano (este não precisa de um regulador de tensão externo, como no caso dos dois servos, pois já possui um integrado em sua placa). O joystick analógico e o sensor MPU-6050 são conectados exclusivamente ao arduino conforme pode ser visto na figura 3. Todos os componentes são conectados por meio de barramentos soldados na placa, permitindo o funcionamento como pode ser visto na figura 4, dando ao sistema modularidade, uma vez que cada componente pode ser removido individualmente, facilitando operações como manutenção e ajustes.

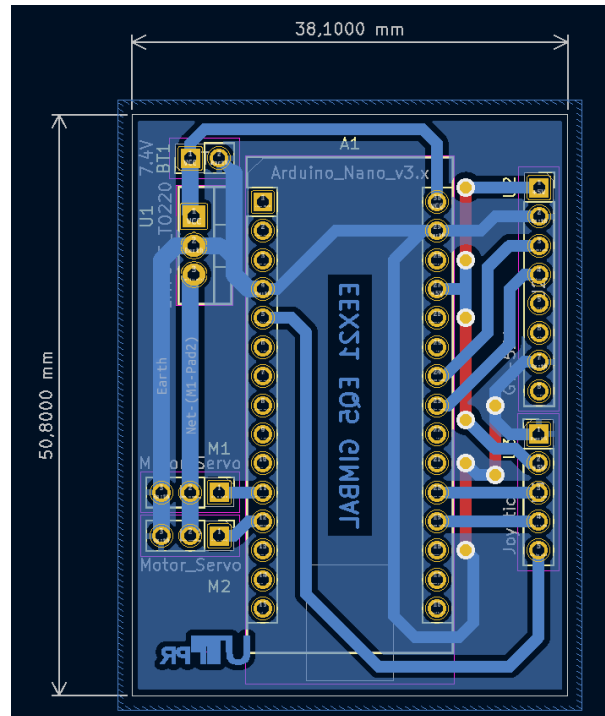


**Figura 3 – Esquemático dos componentes eletrônicos.**

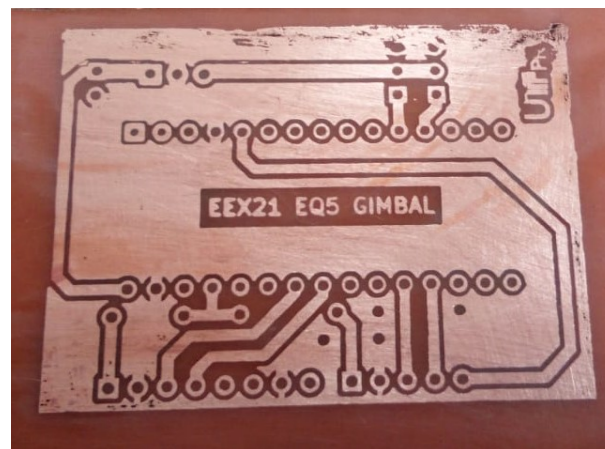


**Figura 4 – Diagrama de blocos do dispositivo.**

A placa de circuitos foi produzida manualmente pelos integrantes do grupo deste trabalho utilizando percloreto de ferro. A imagem do circuito foi produzida através do software KiCad, como pode ser visto na figura 5, e foi transferida de um papel fotográfico para a placa de fenolite utilizando uma fonte de calor, depois de resfriada, foi imersa em percloreto de ferro por cerca de cinco minutos. Após o fim do processo, obtivemos uma placa funcional do circuito do projeto, como pode ser visto na figura 6.



**Figura 5 – Desenho do circuito no software KiCad.**



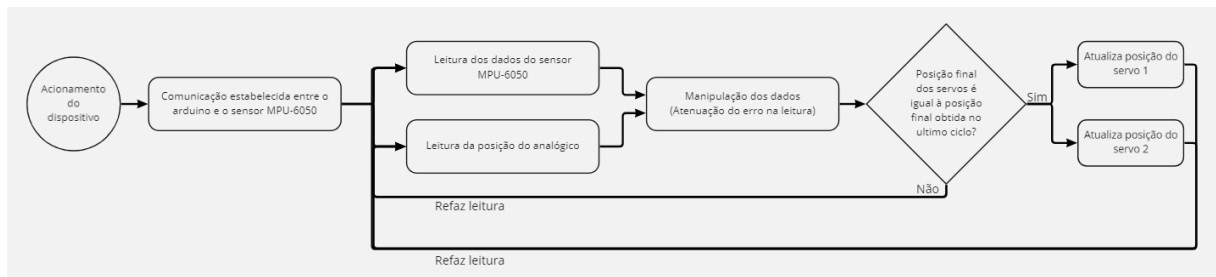
**Figura 6 – Placa produzida manualmente utilizando o processo de corrosão por percloro de ferro.**

Com exceção dos servo motores, os componentes são posicionados dentro da estrutura impressa (caixa) através de pequenos parafusos, dando espaço ao posicionamento do módulo MPU-6050 com sua placa orientada na horizontal, nos permitindo obter leituras precisas da inclinação nos dois eixos de rotação da estrutura articulada, como também possibilitar a passagem dos cabos sem prejudicar outros componentes.

### 3 SOFTWARE

#### 3.1 FERRAMENTAS E BIBLIOTECAS

O código do controlador foi feito utilizando o IDE do arduino e as bibliotecas "MPU6050\_light" e "Servo", disponíveis para download pelo IDE. A primeira biblioteca realiza a leitura dos sensores acelerômetro e giroscópio pelo barramento I2C do arduino, além de combiná-los com um filtro complementar que será explicado a seguir. A segunda biblioteca realiza o controle das posições dos servo motores por meio de um sinal PWM. Uma visão geral do funcionamento do sistema é dada pelo fluxograma na figura 7.



**Figura 7 – Fluxograma da sequência de operação do sistema.**

#### 3.2 ÂNGULOS A PARTIR DAS LEITURAS DO MPU-6050

A leitura dos sensores é realizada pela biblioteca "MPU6050\_light", são lidos utilizando o protocolo I2C os valores brutos da aceleração linear, do acelerômetro, e angular, do giroscópio.

Em funcionamento normal a maior aceleração linear percebida pelo dispositivo é a gravidade e, com um pouco de trigonometria, é calculada a rotação do sistema em relação à direção "para baixo". Ao longo do tempo o valor médio calculado se mantém próximo do esperado, porém qualquer movimento, até mesmo as vibrações de origem térmica no material, causam ruídos e ainda não podemos utilizar essa leitura diretamente.

Das leituras da aceleração angular podemos integrar o sinal duas vezes para obter a velocidade angular e então o ângulo relativo à alguma posição de referência. Para um tempo curto essa leitura já basta, contudo o erro do sistema é somado em cada ciclo de integração e um desvio vai se acumulando com o tempo. Outro problema que precisa ser corrigido antes de utilizar essa leitura é a definição dessa posição de referência.

Pode-se observar então que temos uma variável com boa confiança em curto prazo (do giroscópio) e outra cuja a confiança é aceitável apenas após a coleta de várias leituras após um longo tempo para ser calculada uma média (do acelerômetro). Pode-se então utilizar a técnica de filtros complementares para combinar o sinal dos dois sensores e ter o melhor dos dois mundos. A figura 8 apresenta um diagrama em blocos do filtro implementado pela biblioteca. O parâmetro  $k$  controla qual medição vai ter mais influência em curto prazo e, por complemento, qual teria mais influência após um tempo muito longo. Valores típicos são cerca 99%, dando um peso maior para as leituras de ângulo pelo giroscópio em curto prazo e para o acelerômetro, que vai fazer o trabalho da posição de referência, após muito tempo.

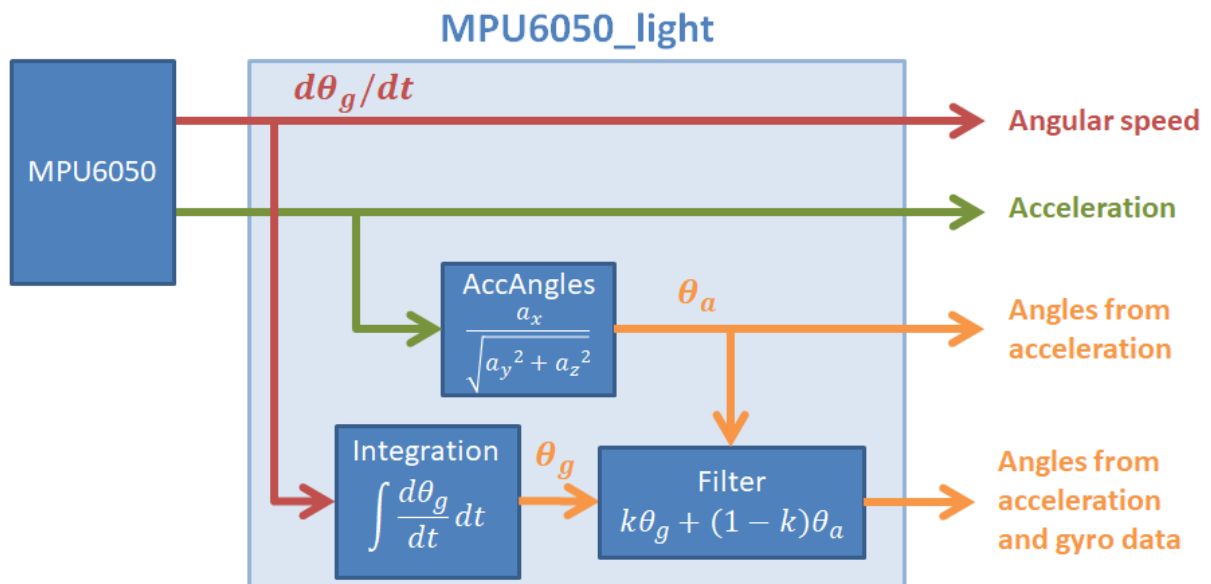
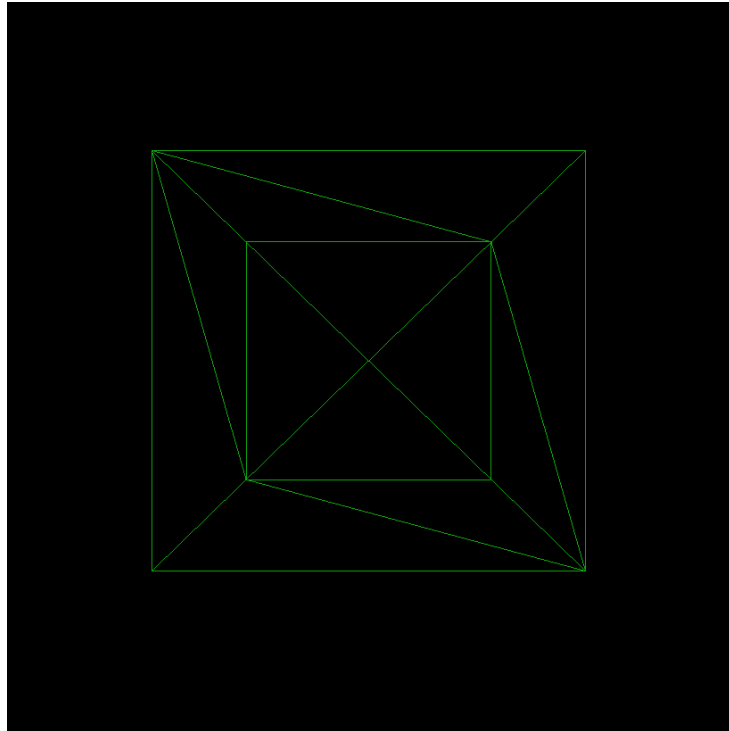


Figura 8 – Operação do filtro - Imagem obtida na documentação da biblioteca "MPU6050\_light"

### 3.3 TESTES SEM A ESTRUTURA 3D

Durante o desenvolvimento do projeto foi utilizada uma aplicação web 3d para testes com sensor MPU-6050, que nos permitiu analisar seu funcionamento sem ter de acoplar motores ou quaisquer outros atuadores, tal aplicação é executada no navegador Chrome ou semelhante do computador, sendo necessário somente que o sensor esteja ligado a um arduino, e este arduino, ligado ao computador. Ao iniciar a aplicação, é solicitada a porta serial conectada ao sistema com o sensor, com isso, a interface fornece um cubo, como mostrado na figura 9, que acompanha a rotação do sensor no mundo real.



**Figura 9 – Fluxograma da sequência de operação do sistema.**

### 3.4 LEITURA DO JOYSTICK

No joystick é feito três leituras, o eixo x, eixo y e um botão de reset. Os eixos de movimento são lidos direto por portas analógicas no arduino e o botão por uma porta digital.

O joystick controla um ajuste para cada eixo, esses ajustes são dois ângulos de desvio a ser considerados no posicionamento dos motores. Movendo um eixo do joystick para uma posição positiva o ajuste correspondente é incrementado com o tempo. O simétrico vale para uma posição negativa também. Podemos imaginar um plano "Ajuste X x Ajuste Y" com um ponto cujas as coordenadas são um ajuste final, o joystick então movimentaria esse ponto como se fosse um personagem de um jogo.

### 3.5 CONTROLE DOS SERVOMOTORES

Os servomotores são controlados por um sinal modulado por largura de pulso (PWM). O período do sinal é de 20ms e a largura de pulso varia entre 1ms e 2ms, que posicionam o servo nas posições 0° e 180°, respectivamente. Para poupar tempo de desenvolvimento foi utilizada a biblioteca "Servo" que gera essas formas de onda.

Da saída do filtro complementar já temos um bom posicionamento, mas ainda causa solavancos extremos em quase todo movimento. Antes de enviar a nova posição de correção para os servos esse sinal ainda é tratado com um filtro de média levando em conta os últimos 5 valores e é adicionado o valor de ajuste do joystick. Então a posição do servomotor é interpolada entre a posição antiga e a nova posição corrigida. Dessa forma no começo de uma correção os motores se movimentam rapidamente e conforme se aproximam da posição final eles desaceleram, reduzindo os solavancos.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 HARDWARE

Os resultados obtidos com o protótipo do dispositivo evidenciaram que, para grandes vibrações, o dispositivo funciona como esperado, anulando as inclinações indesejadas e mantendo a estrutura articulada estável, o qual, junto dos sistemas de estabilização embutidos no equipamento de vídeo, fornece uma imagem com poucas vibrações, o que já era esperado, uma vez que o sistema estabiliza o suporte articulado dentro de limites de operação.

Foi observado que, movimentos bruscos de "grande amplitude" podem gerar leituras fora dos padrões pelo sensor MPU-6050, com a grande maioria destas anormalidades sendo anulada via software, porém, isso não se mostrou um problema, uma vez que o propósito de um estabilizador externo é amenizar vibrações (como vibrações encontradas em um caminhar, durante a gravação de um show ou outros eventos artísticos) e não balancear movimentos demasiadamente grandes, que inclinem o equipamento mais que 90 graus para qualquer um dos lados ou movimentos súbitos (como chacoalhar o equipamento ou coloca-lo de cabeça para baixo).

### 4.2 SOFTWARE

Foi observado durante o desenvolvimento do projeto, dificuldade na integração das leituras dadas pelo sensor MPU-6050 com os servo motores, posteriormente concluímos que o problema quanto a rotação dos servos era a falta de um "filtro" para os valores obtidos pelo sensor, a falta deste filtro ocasionava na tentativa de correção de orientação da estrutura articulada a cada pequena variação na leitura do sensor, este, por possuir erro constante na leitura de cerca de 1 grau positivo ou negativo e uma nova leitura acontecendo a cada 20 milissegundos, ocasionava a instabilidade de toda a estrutura articulada.

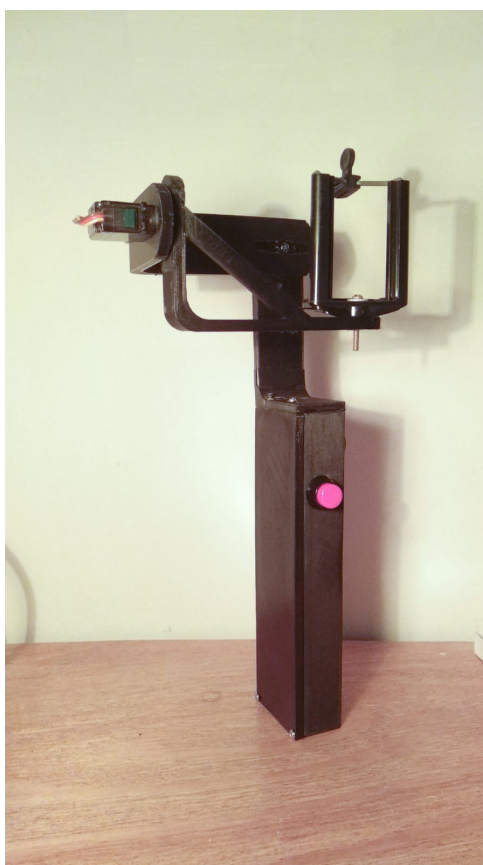
### 4.3 DESIGN FINAL

O design final do dispositivo pode ser visto nas figuras 10 e 11.





**Figura 10 – Design final do dispositivo.**



**Figura 11 – Design final do dispositivo.**

## **5 CONCLUSÕES**

Apesar das dificuldades encontradas durante a construção e programação do dispositivo, nota-se que, mesmo componentes de prototipação conseguem entregar um resultado aceitável. Este projeto, mesmo sendo conceitualmente simples, se mostrou desafiador devido a possuir partes móveis acopladas, o que a princípio, gerou problemas de estabilidade e, no caso da estrutura articulada, retrabalho de algumas peças. Além disso, o uso de ferramentas de edição 3d facilitou muito o trabalho de construí-lo, assim como a visualização 3d das leituras do sensor por meio de um software contribuiu para o entendimento do funcionamento do mesmo.

## 6 REFERENCIAS

Repositório de arquivos do projeto. Disponível em <<https://github.com/ratatusznei/gimbal-EEX21>> Acessado durante todo o período de desenvolvimento do projeto.

Biblioteca MPU6050\_light. Disponível em <[https://github.com/rfetick/MPU6050\\_light](https://github.com/rfetick/MPU6050_light)> Acessado durante todo o período de desenvolvimento do projeto.

Vídeo do projeto, ESTABILIZADOR DE DOIS EIXOS PARA CÂMERAS. Disponível em <<https://youtu.be/y9m5s8JzXt0>>