

**Universidade Federal de Minas Gerais**  
**Departamento de Engenharia Mecânica**  
**Engenharia Aeroespacial**  
**Laboratório de Eletrônica Industrial**

## **TRABALHO PRÁTICO - QUADRICÓPTERO**

2016097021 – RAMON SANCHES DO NASCIMENTO  
2016021971 – RODRIGO CÉSAR CAIXETA ZANON

**Belo Horizonte**  
**12 de Dezembro de 2018**

## **Introdução**

Esta documentação visa apresentar um método para a construção e configuração de um quadricóptero controlado através de sinal de rádio.

Serão apresentados as etapas, desde a soldagem da placa aos motores até a configuração de voo através de uma aplicação “open source” para Google Chrome (Cleanflight ou Betaflight). Os procedimentos deste projeto foram desenvolvidos no Cleanflight, mas os passos são equivalentes no Betaflight.

Drones são aeronaves não tripuladas de voo autônomo (Unmanned aerial vehicles - UAV), em sua maioria de uso militar, e são uma classe de aeronaves multirotor, denominação mais genérica que pode indicar desde helicópteros até drones com oito ou mais rotores. Como dito, neste estudo será desenvolvido o método para montar e configurar um quadricóptero, uma classe particular de aeronave multi rotor de asas rotativas, com quatro rotores e controlada via rádio transmissor.

Os primeiros quadricópteros datam de 1907 com as criações de Louis Breguet e apesar da pouca documentação a respeito é possível perceber o quão longa é a história do dispositivo.

Desde o início da aviação havia uma preocupação em relação a voos verticais, e a solução à época adotada com a criação dos helicópteros esbarrava em um problema de eficiência, já que o rotor de cauda utilizava uma energia em certa medida “inútil”. Alguns pesquisadores empenhados em solucionar o problema desenvolveram os quadricópteros, que solucionaram o problema do giro com a contra-rotação de suas hélices. Assim toda a energia utilizada pelos motores geraria empuxo e o problema do equilíbrio de momento angular seria solucionado pela rotação das hélices em sentido oposto entre si.

No entanto o controle mais eficiente da rotação e consequente empuxo gerado por cada rotor somente foi possível com a evolução dos computadores, que passaram a executar ciclos de leitura e controle mais rápidos permitindo o voo estável que se tem atualmente.

## Sumário

- 1 - Introdução
- 2 - Lista de Materiais
- 3 - Análise do circuito elétrico do microcontrolador
- 4 - Firmware da placa e adaptação dos drivers
- 5 - Configuração Cleanflight
- 6 - Teste de voo

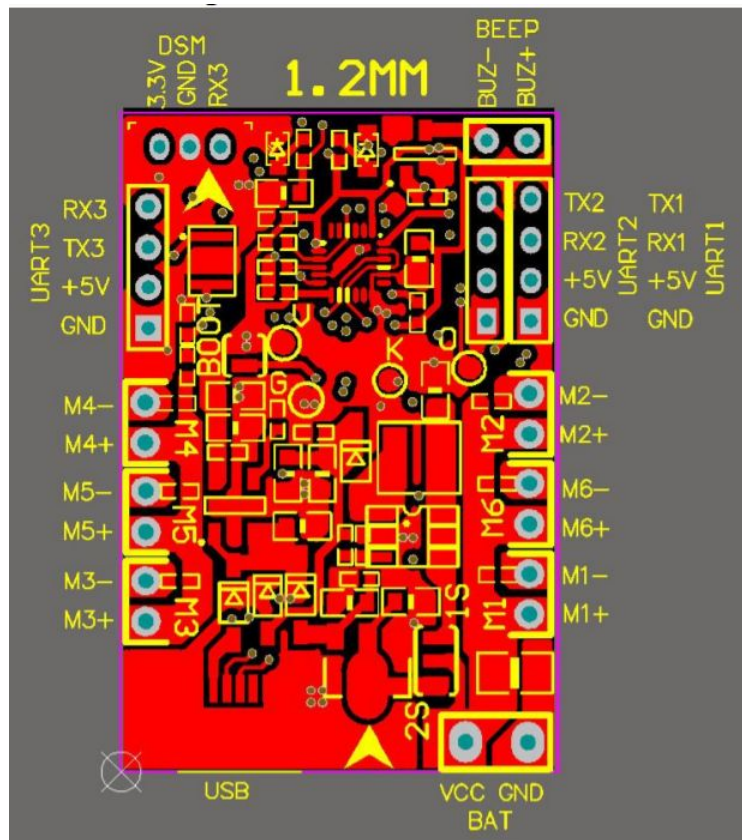
## 2. Lista de Materiais

Componente	Quantidade	Preço Unitário
Micro F3 EVO Brushed Flight Controller v2.0	1	R\$52.80
Motor CC	4	R\$4,08
Rádio Controle PWM	1	R\$549.90
Bateria LiPo	1	R\$40,00
Receptor de Rádio	1	R\$80,00
Conjunto com quatro Hélices	1	11,20
Frame (Hubsan X4 H107d)*	1	19,90

\*Foi utilizado um conjunto completo Hubsan X4, já com a placa do microcontrolador, bateria, hélices e motores. Os valores acima são estimativas para compra isoladamente de cada item. A compra de um kit pode fazer este valor total ser muito mais baixo.

## 3. Análise do circuito elétrico do microcontrolador

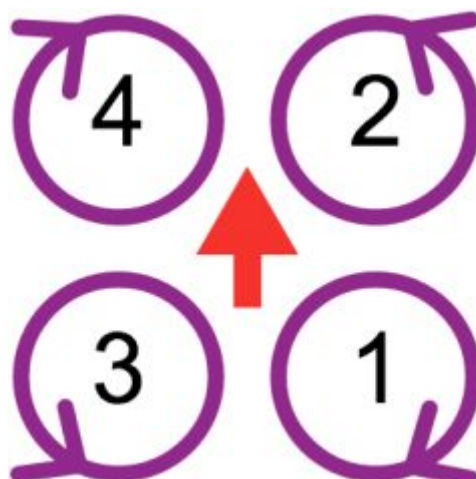
Primeiramente, deve-se fazer um estudo preliminar de como o circuito do microcontrolador funciona. Inicialmente, deve-se analisar a configuração em que os motores devem ser ligados. No caso, a placa utilizada foi uma SPRACINGF3EVO. Segue o diagrama esquemático da placa:



Nota-se a princípio, que a placa possui pontos para serem soldados. Os pontos de M1 até M6 representam onde devem ser soldados os motores da placa. Neste caso, utilizou-se apenas 4 dos motores que a placa pode suportar, ou seja, utilizou-se os pontos M1, M2, M3 e M4.

Para soldar cada motor, deve-se analisar os sinais apresentados no esquema. Caso tenha um sinal negativo, solda-se o terminal negativo do motor. E o mesmo para o positivo.

Se tratando de um quadricóptero, deve-se verificar a rotação dos motores antes de soldá-lo à placa, de modo que sua configuração de rotação seja a seguinte:



Após soldados os motores, deve-se soldar o conector da bateria à placa. E do mesmo modo feito com os motores, deve ser feito com este conector. O cabo preto ligado no GND, e o cabo vermelho VCC.

Feito isso, a última coisa que deve ser soldada à placa é o conector do receptor de rádio, nesta placa, utilizou-se as entradas da UART2 soldando-se o novamente os terminais mais adequados.

Alguns outros elementos, podem ainda, ser soldados à placa, como por exemplo um buzzer na entrada BUZ da placa. Este será utilizado apenas caso se queira fazer seu uso no modo Failsafe, que será explicado futuramente neste documento.

## **4. Firmware da placa e adaptação dos drivers**

### **1. Instalando os Drivers da placa**

Antes de iniciar a configuração do microcontrolador propriamente dito, no windows, é necessário instalar o driver da placa (DfuSe demo package), software gratuito disponível no site do fabricante do microcontrolador (para a SPRACING F3 EVO: [https://www.st.com/content/st\\_com/en/products/development-tools/software-development-tools/stm32-software-development-tools/stm32-programmers/stsw-stm32080.html](https://www.st.com/content/st_com/en/products/development-tools/software-development-tools/stm32-software-development-tools/stm32-programmers/stsw-stm32080.html)). Para instalar basta fazer o download do firmware, acessar a pasta onde os arquivos foram instalados (endereço da pasta padrão no windows:

C:\ProgramFiles(x86)\STMicroelectronics\Software\DfuSev3.0.5\Bin\Driver), procurar pelo arquivo dpinst\_x###.exe e realizar a instalação do driver. As cerquilhas indicam o arquivo adequado à versão do sistema operacional (x32, x64 ou x86) do computador em uso.

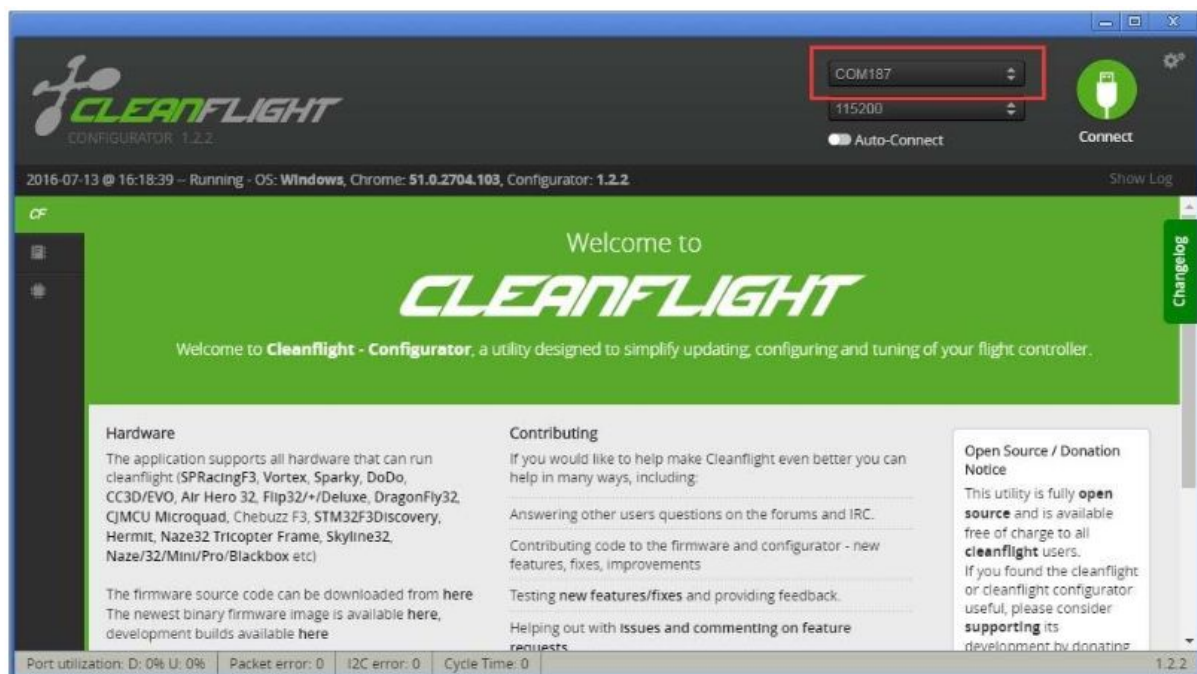
### **2. Instalando o Cleanflight Configurator**

Em seguida instala-se o aplicativo Cleanflight Configurator para Google Chrome, que pode ser obtido gratuitamente a partir do site oficial do aplicativo (<http://cleanflight.com>).

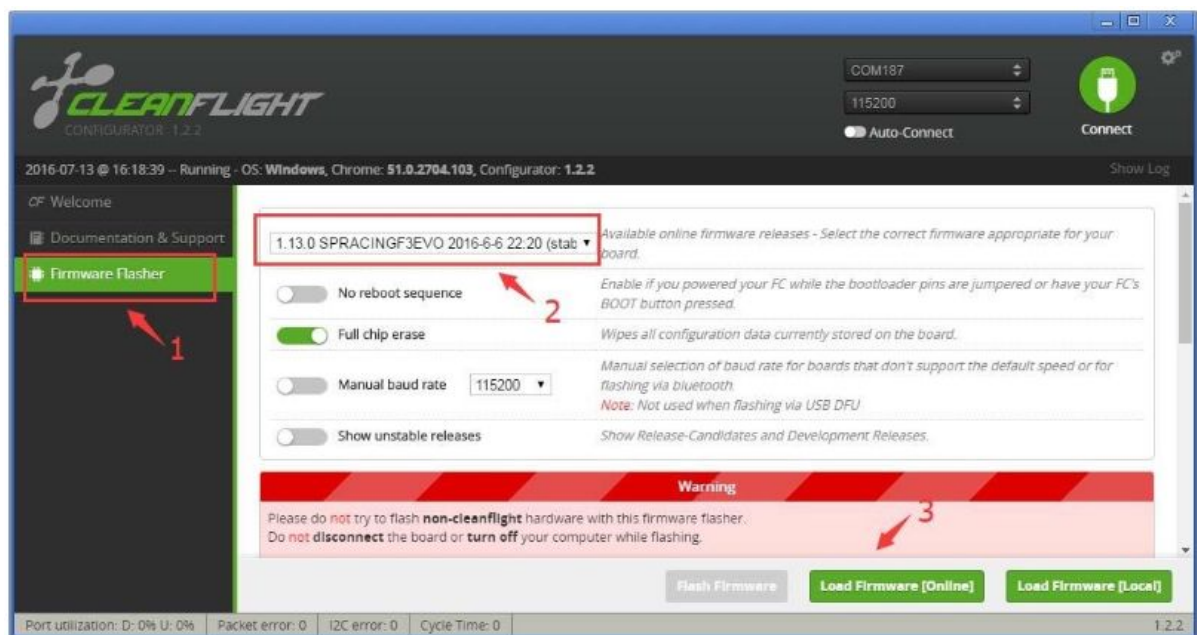
### **3. Substituindo o Driver ST pela porta USB do Windows**

Após a instalação é necessário substituir o driver que foi instalado no item 1 pela porta USB do windows.

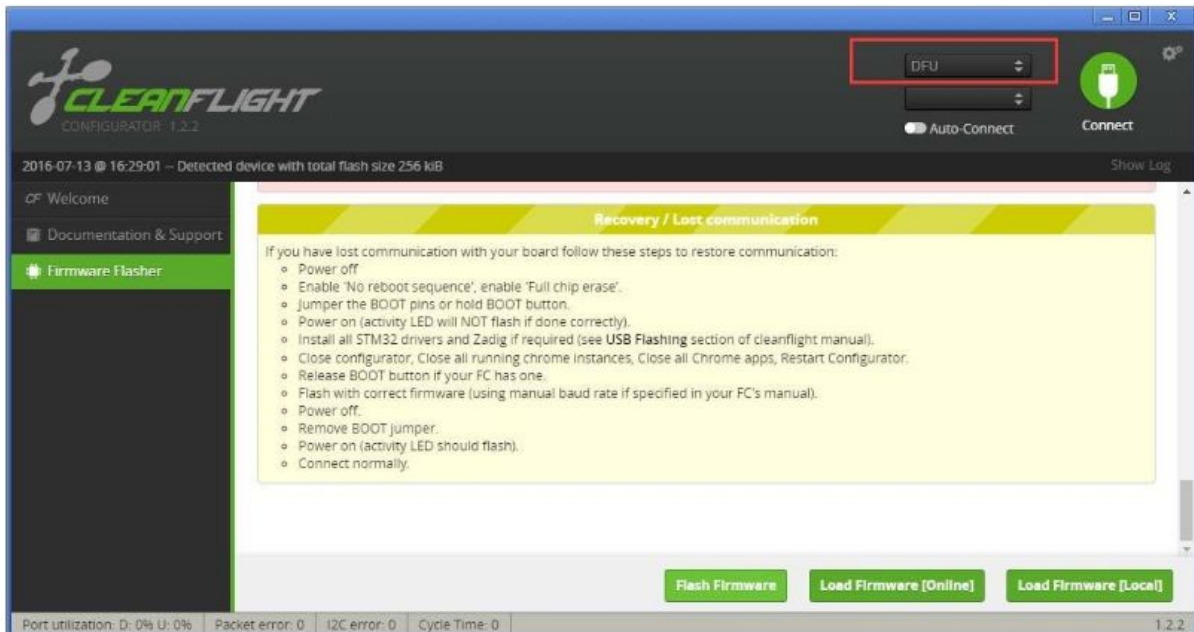
- a. Para isto plugue a placa do microcontrolador ao seu computador, abra o Cleanflight. Deve aparecer no canto superior direito o código referente à porta USB que está sendo utilizada como mostrado na figura abaixo.



- b. Clique no menu “Firmware Flasher” na lateral esquerda da interface (item 1 da figura abaixo). Caso deseje utilizar um Firmware já disponível no Cleanflight selecione o adequado à placa (item 2). Nesta etapa deve-se ter o cuidado de, caso utilize um software já disponível, utilizar um que seja estável. Em seguida basta clicar na opção “Load Firmware[Online]” (item 3). Será feito o download e carregamento do arquivo no microcontrolador automaticamente. Caso seja de seu interesse, o usuário pode utilizar um firmware próprio, desde que seja compatível com o microcontrolador em uso. Neste caso basta clicar na opção “Load Firmware[Local]”, selecionar o arquivo desejado e abrí-lo, eliminando assim o item 2 descrito acima.



- c. Ao término do download a opção “Flash Firmware” estará disponível. O usuário deverá clicar nesta opção e aguardar a instalação do Driver, que estará completa quando o código da porta serial no canto superior direito for substituído por DFU, de acordo com o mostrado na figura abaixo.



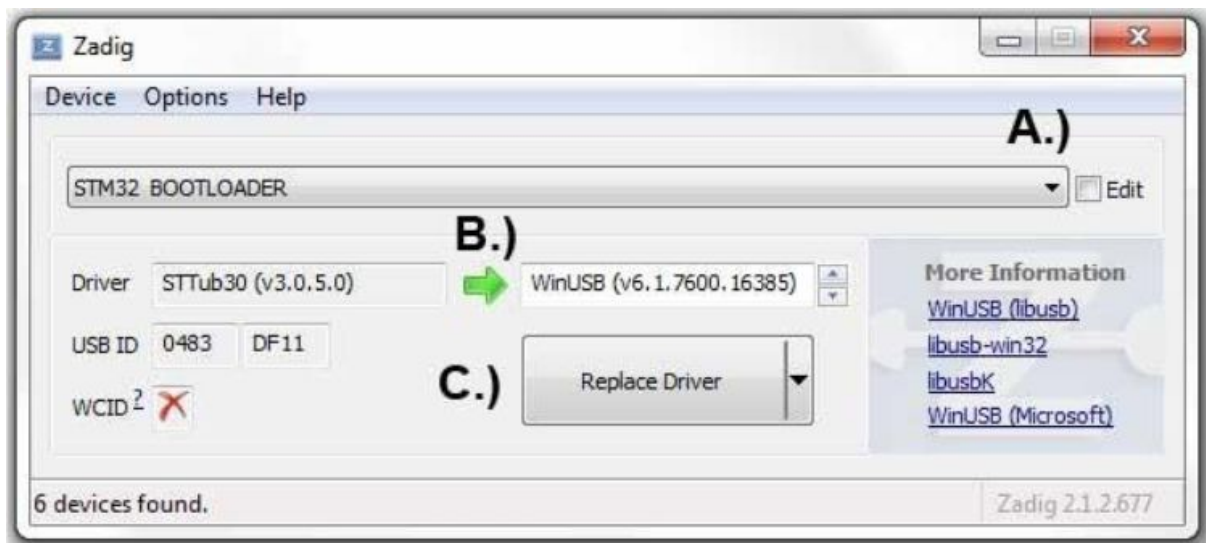
- d. Após atualizar o firmware o usuário deverá fazer o download do programa “Zadig”, software aberto disponível no site (<http://zadig.akeo.ie/>). Esse programa instala drivers mais genéricos para portas USB, que permitirão a interface do computador com a placa.
- e. Abra o Zadig, clique no menu “Opções”, e neste menu marque a opção “Listar todos os dispositivos” como mostrado na figura abaixo.



- f. Em seguida o usuário deve selecionar a opção “STM32 Bootloader” no menu suspenso, selecionar a opção “WinUSB” como substituta e clicar em “Replace Driver”. Pode ocorrer do processo demorar ou não responder. Caso isto ocorra o usuário pode encerrar o programa e



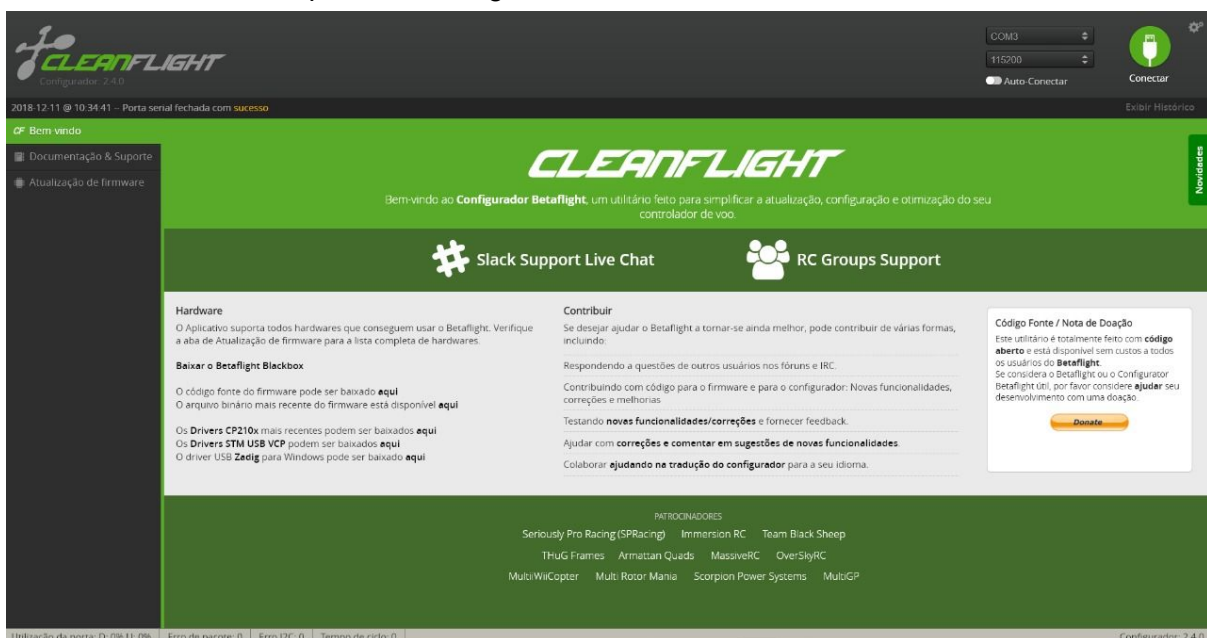
recomeçar, devendo realizar o mesmo processo, porém substituindo “WinUSB” por “WinUSB”.



Observação: neste projeto, como aconteceu o problema com o driver da porta descrito no item f, e a solução apresentada acima não surtiu o efeito desejado, e portanto foi necessário a utilização de um software livre alternativo chamado “ImpulseRC” disponível em(<https://impulserc.com/>), que realiza o mesmo procedimento que o Zadig, porém de forma automática, eliminando as etapas (d) a (f) pelo download do software, conexão da placa ao computador e clique duplo sobre o ImpulseRC, que a partir de então apresentará algumas barras de carregamento e ao final os drivers estarão completamente configurados.

#### 4. Atualizando o Firmware

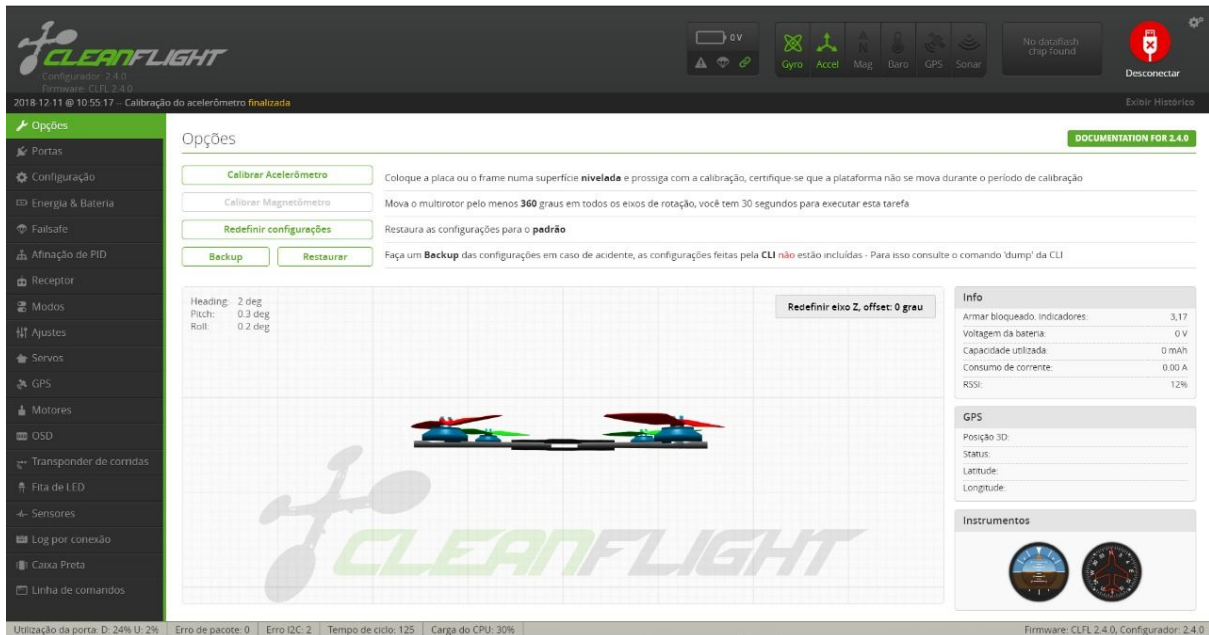
Volte ao Cleanflight, na aba Firmware Flasher clique novamente em Flash Firmware, completando assim a substituição e atualização do driver. A seguir deverá aparecer a imagem:





## 5. Finalizando a instalação

E por fim basta clicar em conectar na parte superior direita da interface. Ao aparecer a tela abaixo, seu Cleanflight estará pronto para iniciar as configurações do microcontrolador.



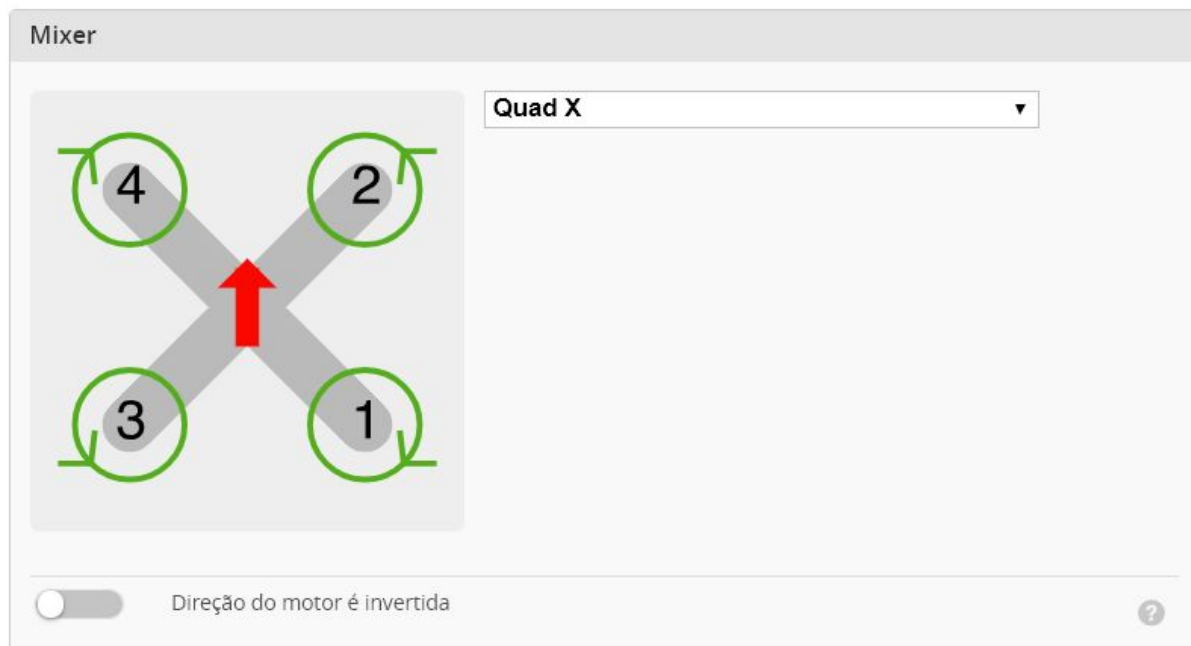
## 5. Configurações Cleanflight

### 5.1 Configurações iniciais

Aba das Opções mostra os sensores que o Quad possui. Neste caso tinha-se apenas o Gyro e o Acelerômetro. Nesta Aba, deve-se calibrar o Acelerômetro para que os valores de saída deste sensor possa servir de base para os comando do controlador de velocidade da placa microcontroladora e para o controlador PID. Para calibrar o acelerômetro, basta colocar a placa em um local plano e posteriormente clicar em “Calibrar Acelerômetro”, deste modo o acelerômetro estará definido para esta superfície nivelada. Vale ressaltar a necessidade de que durante o período de calibração, o quad não se mova.



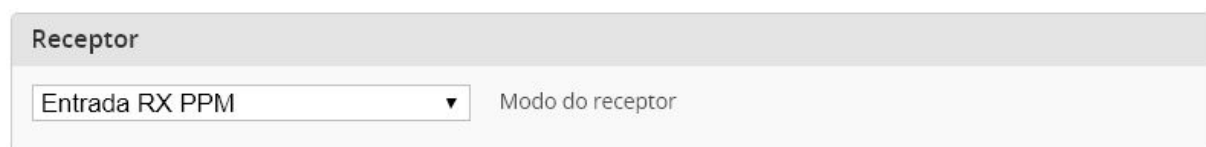
Após isso, em Configurações, configurou-se alguma opções. Inicialmente mudou-se a configuração do programa para os equipamentos que se possui. Em mixer, troca-se a configuração para Quad X. Em caso os motores tenham sido testados e verifica-se que estão girando em sentido oposto ao esquema apresentado anteriormente, pode-se também inverte-los nesse local do programa.



Além disso, pode-se também fazer o alinhamento do acelerômetro, para caso queira-se fazer um ajuste mais fino do acelerômetro, ou fazer correção dos eixos.



E finalmente definiu-se qual era o tipo de modo do receptor, neste caso, utilizou-se uma entrada RX PPM, mas se deve utilizar aquele que for adequado ao seu tipo de receptor.



Após isso, deve-se ir à aba Portas, e no caso de uma entrada como a utilizada, deve ter as seguintes configurações.

Identificador	Configurações/MSP	Serial Rx	Saída de telemetria	Entrada do sensor	Periféricos
USB VCP	<input checked="" type="checkbox"/> 115200 ▼	<input type="checkbox"/>	Desativado ▼ AUTO ▼	Desativado ▼ AUTO ▼	Desativado ▼ AUTO ▼
UART1	<input type="checkbox"/> 115200 ▼	<input type="checkbox"/>	Desativado ▼ AUTO ▼	Desativado ▼ AUTO ▼	Desativado ▼ AUTO ▼
UART2	<input type="checkbox"/> 115200 ▼	<input type="checkbox"/>	Desativado ▼ AUTO ▼	Desativado ▼ AUTO ▼	Desativado ▼ AUTO ▼
UART3	<input type="checkbox"/> 115200 ▼	<input type="checkbox"/>	Desativado ▼ AUTO ▼	Desativado ▼ AUTO ▼	Desativado ▼ AUTO ▼

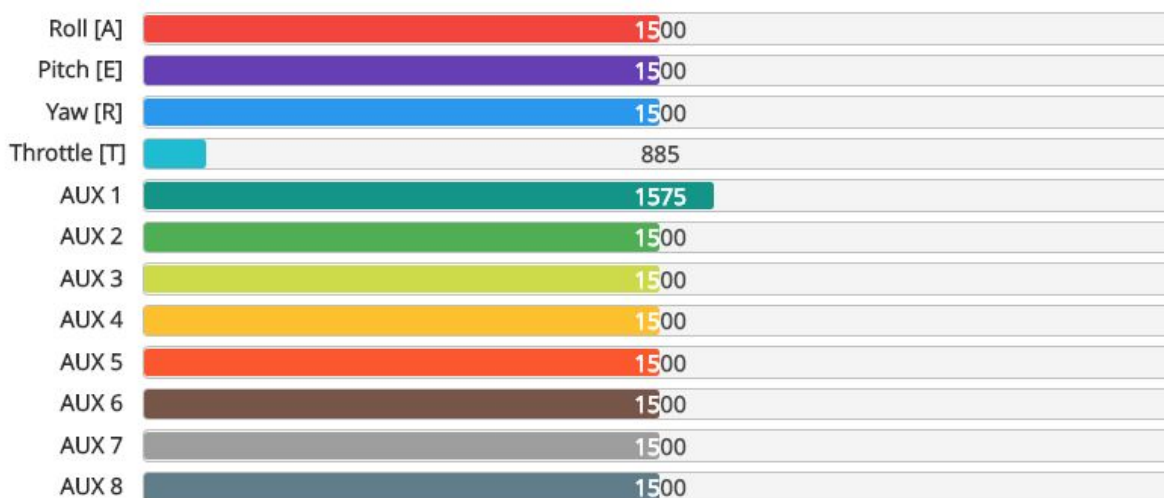
## 5.2 Configuração Do Receptor e Modos

A configuração da aba Receptor é fundamental para que o voo do quad possa ser feito com sucesso. Nesta aba será configurado os comandos que estão sendo recebidos pelo receptor e mandados para a placa.

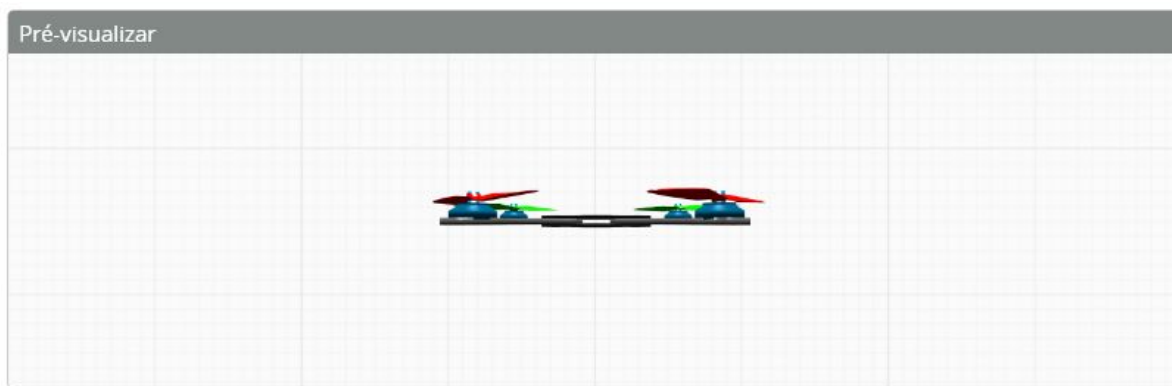
Nessa aba, deve-se atentar para o duas opções, a interface gráfica dos comandos do transmissor, e a sub-aba “Pré-visualizar”

A primeira mostra como estão os comando de atuação do quad, e deve-se ver se estes estão de acordo com os comandos do transmissor. Casos os comandos estejam invertidos ou diferentes, deve-se reconfigurá-los no transmissor para que estejam iguais.

Ademais, deve-se separar pelo menos dois canais do transmissor para armar o quadricóptero e mudar seus modos de voo. Utilizou-se os AUX 1 e AUX 2.



Já a segunda, mostra como o quad deve se comportar a partir dos comandos recebidos na primeira. Deve-se verificar se o modelo 3D segue adequadamente aqueles comandos.



Finalmente, configura-se a aba Modos, nesta aba para um quad básico, deve-se configurar principalmente os modos ARM, ANGLE, HORIZON e HEADFREE. Caso se tenha um canal de três níveis diferentes, pode-se deixar todos para a configuração dos modos ANGLE, HORIZON e HEADFREE, um para cada nível do canal. E, além disso, separa-se um canal para fazer o armamento e o desarmamento dos motores do quad.

Nota-se que para um modo esteja ativo, o indicador verde, de nível da canal, deve estar dentro da faixa especificada para este mesmo canal.



### 5.3 Testes finais

Agora o quad deve estar pronto para voar. Antes se deve ir na aba Motores e testá-los uma última vez, indo até a potência máxima no comando *Mestre*, tomando as devidas precauções de segurança.

Depois de feita esta configuração, calibra-se novamente o acelerômetro em uma superfície nivelada e o quadricóptero pode ser fechado e testado.

## 6. Teste de Voo

Depois de feita toda estas configurações, o quadricóptero deve voar. Mas talvez não de um modo ótimo logo de primeira. Para que ele voe de um modo melhor, existe ainda a aba de Afinação do PID, esta controlará os efeitos que os motores farão a partir de uma

perturbação nas saídas do acelerômetro. Os valores ótimos para cada constante, depende bastante de cada quad.

Já prevendo o caso de uma eventual queda, deve-se também configurar a aba Failsafe, nesta, é mais adequado que se configure o quad para drop por questões de segurança.

## 7. Referências Bibliográficas

Hyperion F3 EVO Brushed Flight Controller manual, disponível em [https://hyperion-world.com/download\\_files/manuals/HP-FCF3EVOB2-MAN.pdf](https://hyperion-world.com/download_files/manuals/HP-FCF3EVOB2-MAN.pdf) . Acesso em 12 de Dezembro de 2018.

Github – cleanflight/cleanflight. Disponível em <https://github.com/cleanflight/cleanflight>. Acesso em 12 de Dezembro de 2018.

MCGRIFFY, DAVID. Make: Drone: Teach na Arduino to Fly. Primeira Edição. San Francisco: Maker Media, Outubro de 2016.

Amazon.com: Hubsan X4 (H107L) 4 Channel 2.4GHz RC Quadcopter, Black: Toys & Games. Disponível em <https://www.amazon.com/Hubsan-H107L-Channel-2-4GHz-Quadcopter/dp/B00IZC6C8E>. Acesso em 12 de Dezembro de 2018.