



**Criação de uma Estação de Testes para um
Micro-Helicóptero Autónomo**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Raúl Duarte Nóbrega Andrade
MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade

www.uma.pt

setembro | 2012

UMA

Cri

Criação de uma Estação de Testes para um Micro-Helicóptero Autónomo

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Raúl Duarte Nóbrega Andrade

MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

ORIENTAÇÃO

Eduardo Leopoldo Fermé

Luís Armando de Aguiar Oliveira Gomes

Resumo

Os UAV (*Unmanned Air Vehicles*) têm sido cada vez mais utilizados em vários ramos, como a geologia, a segurança pública, a robótica e na obtenção de imagens. Visto existir grande interesse no uso do equipamento, foi comprado um *quadcopter* com o objetivo poder torná-lo o mais autónomo possível. Esta tese contém informações dos elementos utilizados nesse Arducopter e ainda a informação dos sensores que podem ser adaptados ao mesmo. Explica também como está estruturado todo o código e como o UAV pode ser configurado antes do voo. São também apresentados todos os resultados obtidos dos primeiros voos e as evoluções e alterações após cada teste.

Abstract

UAVs (Unmanned Air Vehicles) are being used more frequently in a variety of areas, like geology, public security, robotics and image acquisition. As a result of such demand for this kind of equipment, a quadcopter was bought with the aim of making it more autonomous. This thesis presents information about the elements used on the Arducopter and information about the sensors that can be adapted to it. It explains how the code is structured and how the Arducopter must be configured before flight. It also presents all the results obtained on each test flight and the upgrades that were then implemented.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer à minha família e namorada, por todo o apoio e motivação que me deram.

Agradeço a todos os meus colegas, que ajudaram na documentação dos voos do Arducopter.

Agradeço ao Engenheiro Filipe e aos restantes alunos que se encontravam no laboratório, pela ajuda que deram-me no desenvolvimento da minha tese.

Agradeço aos meus orientadores, o Professor Eduardo Fermé e o Professor Luís Gomes por toda a orientação que deram-me durante este ano.

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice de Figuras	xiv
Acrónimos	xvii
1-Introdução	1
1.1-Motivação.....	2
1.2-Objetivos	2
1.3-Contribuições	2
1.4-Estrutura do documento	3
2-Estado da Arte	5
2.1-Funcionalidade dos UAV	5
2.1.1-Segurança Pública	5
2.1.2-Geologia e Arqueologia	7
2.1.3-Aquisição de imagens aéreas.....	9
2.1.4-Robótica	9
3-Explicação geral do sistema	12
4- Descrição do Arducopter.....	14
4.1-APM (<i>ArduPilot Mega</i>).....	14
4.1.1-Alimentação da placa	15
4.1.2-Descrição da placa APM1	16
4.1.3-Descrição da placa <i>oilpan</i>	16
4.1.5-Descrição da APM2	19
4.2-Estrutura do <i>quadcopter</i>	20

4.2.1-Diferenças entre a estrutura em x ou em +.....	21
4.2.2-Trem de aterragem (estrutura de aterragem).....	21
4.3-Motores/ESC (eletronic speed controls) /Hélices	24
4.4-Rádio transmissor e recetor	24
4.4.1-Rádio transmissor.....	24
4.4.2-Rádio recetor	25
4.5-Bateria e carregador	26
4.5.1-Bateria	26
4.5.2-Carregador.....	27
4.6-Sensores.....	28
4.6.1-Magnetómetro	28
4.6.2-GPS (Global Positioning System).....	31
4.6.3-Sonar (sensor ultrassónico)	31
5- <i>Software</i> e programação.....	34
5.1- <i>Software</i>	34
5.2-Programação em Arduino	34
5.3-Descrição do código.....	36
5.3.1-Pasta Libraries.....	36
5.3.2-Pasta Arducopter	36
6-APM <i>Mission Planner</i>	42
6.1-O que é a <i>Ground Control Station</i>	43
6.1.1-Utilizar o <i>Mission Planner ground station</i>	43
6.2-Definição de <i>waypoints</i> através de um editor <i>point and click</i>	44
6.2.1-Comandos básicos de <i>waypoint</i>	44

6.2.2-Carregar um voo autónomo para a placa APM quando não dispomos de um sistema de telemetria sem fios	46
6.3-Fazer <i>download</i> e análise dos ficheiros <i>log</i>	46
6.3.1-Fazer <i>download</i>	46
6.3.2-Analisar os ficheiros <i>log</i>	46
6.4-utilização de um <i>gamepad /joystick</i> para controlar o Arducopter manualmente em vez do controlo remoto.....	47
6.5- <i>Scripting</i> em Phyton	47
6.6-Controlo através do terminal CLI	48
6.6.1-Como configurar o Arducopter através do CLI	50
7-Configurações Pré-voo.....	52
7.1-Como funciona o sistema do Arducopter	52
7.2-Voo	53
7.3-Segurança	55
7.4-Armar e desarmar os motores.....	56
7.5-Calibrações dos acelerómetros através do controlo remoto	58
7.6-Primeiro Voo	58
7.7-Calibração dos controladores ESC.....	59
7.7.1-Calibração automática.....	59
7.7.2-Calibração Manual	60
7.7.3-Testes.....	60
7.8-Afinações dos parâmetros do controlador PID	60
7.9-Primeira configuração do Arducopter	61
7.10- <i>Failsafe</i>	62
8-Voos de teste e resultados	64
9-Conclusões e trabalhos futuros.....	69

9.1-Conclusões	69
9.2-Contribuições	69
9.3- Trabalhos futuros.....	69
Referências Bibliográficas.....	71
Anexos	79
Anexo A-Manual de montagem do Arducopter	80
A.1-Montagem da placa Arduino	80
A.2-Soldagem dos conectores dos ESC (<i>Electronics speed controls</i>) (conector fêmea) e os conectores dos motores (Conetor macho).	83
A.3-Montagem da placa de distribuição de energia	83
Anexo B-Montagem da estrutura do Arducopter	87
B.1 – Montagem da secção central.....	87
B.2-Trem de Aterragem.....	91
B.3-Montagem dos motores nos braços	93
B.4-Conexão dos ESC aos motores	96
B.5-Ligação do controlo de rádio à APM.....	97
B.6-Ligação do controlo remoto.....	98
B.7-Instalação do recetor de controlo remoto	99
Anexo C-Montagem de sensores opcionais.....	100
C.1-Sensor de infravermelhos	100
C.2-Sensor ótico de fluxo (<i>optical flow</i>)	100
C.2.1-Como ligar o sensor à placa.....	100
C.2.2-Como manter a posição do Arducopter em voo	101
C.3-Telemetria sem fios	102
C.3.1-3DR Radio	103

C.3.2-Xbee.....	104
C.4- <i>Gymbal</i> da câmara	105
C.4.1-Instalar o <i>gymbal</i> da câmara	105
C.4.2-Como ligar os servos do <i>gymbal</i>	106
C.5-Placa <i>On-Screen Display</i> (OSD)	107
C.6-Monitor de bateria	107
Anexo D-Afinações dos termos PID	109

Índice de Figuras

Figura 1- Placa APM V.1 [29]	15
Figura 2 -Imagem ilustrativa de como configurar a alimentação da placa [30]	15
Figura 3 - Arquitetura da placa APM [30]	16
Figura 4 - Placa APM Shield [31]	17
Figura 5 - Ilustração dos vários <i>leds</i> da <i>oilpan</i> [33]	18
Figura 6 - Placa APM2 [34]	20
Figura 7- Indicação da rotação das hélices quando configuradas em + e em x [37]	21
Figura 8- Exemplo do trem de aterragem da estrutura dos diyrones [38]	22
Figura 9 - Exemplo do trem de aterragem da estrutura 3DR [39]	22
Figura 10- Exemplo de um trem de aterragem de uma estrutura nova [40]	23
Figura 10 - Pernas impressas na impressora 3D	24
Figura 12 - Emissor de controlo remoto e movimentos correspondentes	25
Figura 13 -Recetor de controlo remoto	26
Figura 14 -Bateria LiPo do arducopter	26
Figura 15 - Carregador de bateria	27
Figura 16 - Imagem ilustrativa de como carregar	28
Figura 17- Montagem do magnetómetro através do método 1 [41]	29
Figura 18 - Ligação do cabo ao magnetómetro através do método 2 [41]	30
Figura 19- Montagem do magnetómetro através do método 2	30
Figura 20 - Conexão do GPS à placa APM [42]	31
Figura 21- Ligação do sonar à placa APM	32
Figura 22 - Ilustração sobre a conexão dos vários <i>pins</i> do sonar [43]	33
Figura 23 - Diagrama contendo os vários ficheiros do código agrupados segundo as suas funcionalidades	40
Figura 24 - Diagrama com as funções de cada <i>subloop</i> do <i>loop</i> principal	41
Figura 25 - Vários movimento possíveis para um <i>quadcopter</i> com estrutura em + [8]	53
Figura 26 – Ligação do cabo de sinal dos motores à APM [66]	57
Figura 27 - Indicação dos comandos do controlo remoto em modo 2 [65]	57
Figura 28 - Helicóptero inclinando-se ao andar numa direção	65

Figura 29 - Nova disposição das hélices	66
Figura 30 - Botão utilizado para mudar o modo de voo do Arducopter.....	67
Figura 31 - Arducopter em voo no modo Alt Hold	68
Figura 32- <i>Kit</i> de montagem da placa APM [42]	80
Figura 33 - <i>Headers</i> necessários [42].....	81
Figura 34 - Placa APM com os <i>headers</i> de 90° soldados [42]	81
Figura 35 - Colocação dos restantes <i>headers</i> [42].....	81
Figura 36 - <i>Headers</i> soldados na placa [42].....	82
Figura 37 - Placa APM totalmente montada [42].....	82
Figura 38 - Imagem ilustrativa de como soldar os <i>header pins</i> [73].....	83
Figura 39 - Imagem ilustrativa de como preencher a placa com solda [73].....	83
Figura 40 - Imagem ilustrativa de como conectar os cabos de alimentação da bateria [73]	84
Figura 41 - Imagem ilustrativa de como soldar os cabos de sinal à placa de distribuição de energia [73].....	84
Figura 42 - Imagem ilustrativa de como soldar a alimentação da placa APM [73]	85
Figura 43 - Imagem ilustrativa de como soldar os conetores dos ESC à placa APM[73]....	85
Figura 44 - Resultado final da instalação da placa de distribuição de energia.....	86
Figura 45 - Montagem das placas da estrutura base [24]	88
Figura 46 - Parte final da montagem da estrutura base	88
Figura 47 - Montagem dos braços à estrutura	89
Figura 48 - Montagem do suporte de bateria.....	89
Figura 49 - Montagem da placa de distribuição de energia à estrutura.....	90
Figura 50 - Montagem da placa APM à estrutura [24].....	90
Figura 51 - Montagem da placa APM à estrutura	91
Figura 52 - Dome protetor dos componentes de <i>hardware</i> [24]	92
Figura 53 - Peça substituta às pernas existentes no <i>kit</i> de montagem	92
Figura 54 - Novas pernas criadas na impressora 3D	93
Figura 55 - Montagem dos motores nos braços.....	93
Figura 56 - Passagem dos fios do motor pelos braços do Arducopter [33].....	94
Figura 57 - Passos para montar as hélices no motor	94
Figura 58 - Montagem das hélices nos motores	95

Figura 59 - Escolha correta das hélices segundo o tipo de estrutura em + ou em x [37]	96
Figura 60 - Configuração da conexão dos ESC aos motores	97
Figura 61 - Instalação do controlo de rádio à placa APM [66]	97
Figura 62 - Ligação dos canais do recetor à placa APM	99
Figura 63- Sensor infravermelho SharpGP2Y [75].....	100
Figura 64- Instalação do <i>optical flow</i> na placa APM1 [76].....	101
Figura 65- Ligação do 3DRadio à placa APM [78].....	103
Figura 66 - Ligação do Xbee à placa APM V1 [80].....	104
Figura 67 - Exemplo da montagem do <i>gymbal</i> da câmara	106
Figura 68 - Canais de <i>output</i> para <i>roll</i> e <i>pitch</i> da câmara [81]	106
Figura 69 - Exemplo de um OSD (<i>on screen display</i>) [82].....	107
Figura 70 - Imagem ilustrativa de como conectar o sensor AttoPilot [35].....	108

Acrónimos

3D	3 Dimensões
3DR	3D Robotics
APM	ArduPilot Mega
BEC	Brushless Eletronic Speed Controller
CLI	Command Line Interpreter
CTT	Correios Telégrafos e Telefones
DIP	Dual In-line Package
ESC	Eletronic Speed Controls
FPGA	Field-Programmable Gate Array
FPV	Fist Person View
FTDI	Future Technology Devices International
GCS	Ground Control Station
GND	Ground
GPS	Global Positioning System
HALE	High Altitude Long Endurance
HIL	Hardware In-the-Loop
HUD	Heads Up Display
I ² C	Inter-Integrated Circuit
IDE	Integrated Development Environment
IMU	Inertial Measurement Unit

LiPo	Litium Polymers
MAV	Micro Air Vehicle
OSD	On Screen Display
PDB	Power Distribution Board
PID	Proportional Integral Derivative
PWM	Pulse Width Modulation
RTL	Return To Launch
UAV	Unmaned Air Vehicles
USB	Universal Serial Bus
VTOL	Vertical TakeOff and Landing

1-Introdução

Os UAV (Unmanned Air Vehicles) são aeronaves não tripuladas. Este conceito foi desenvolvido por equipas militares dos Estados Unidos da América, pois permitia a observação do campo dos inimigos sem existirem baixas a nível de vidas humanas caso a aeronave fosse atingida [1]. Após vários anos de investigação neste campo, foram criados os mais variados tipos de aeronaves capazes de voar sem um piloto fisicamente presente na aeronave.

As várias aeronaves foram categorizadas segundo várias classificações, de acordo com as suas características em voo. As aeronaves de asa fixa, mais conhecidas como aviões, eram movidas quer por motores com hélices, quer por motores a jato. Devido às suas limitações, as imagens capturadas por este tipo de aeronaves não eram muito nítidas pois não eram capazes de pairar no mesmo sítio e tinham que voar a grande altitude para poderem de certa forma circundar o alvo a ser observado [1,2].

Foram então criados os VTOL (*Vertical TakeOff and Landing*), que permitiam um voo numa altitude mais baixa conseguindo uma melhor qualidade de imagem, assim como podiam descolar e aterrar em qualquer superfície sem necessitar de pistas [1,2].

Também através do desenvolvimento deste equipamento, o tamanho das aeronaves foi ficando cada vez mais pequeno, tornando também a sua construção mais barata e a sua divulgação maior. Passaram de motores de combustível fóssil a elétricos utilizando baterias, devido a serem mais pequenos e leves e passaram a ser também utilizados em voos em espaços fechados, em vez de apenas ao ar livre e céu aberto [1,2].

Dentro dos VTOL, tentaram desenvolver a estrutura dos mesmos de forma a melhorar a performance em voo e conseguirem suportar carga, de forma a transportar sensores para as mais variadas análises e missões. Assim evoluíram do helicóptero tradicional para uma estrutura mais estável: os multicópteros, que possuíam desde 4 a 8 motores equidistantes do centro, proporcionando um maior poder de elevação e um voo mais estável [1,2].

1.1-Motivação

Este projeto é novo nesta universidade. É também desafiante, pois é necessário ter conhecimentos de várias áreas: Na informática, para se poderem criar novos programas para melhor configurar o equipamento e ter um código mais fácil de alterar; Na eletrônica, pois é necessário saber instalar e personalizar os sensores do equipamento; Em inteligência artificial, pois é necessário saber tornar o equipamento o mais autónomo possível. Também os ramos do acesso remoto e das comunicações, são explorados de forma a controlar o *quadcopter* num espaço mais distante e com a melhor qualidade possível.

1.2-Objetivos

Os objetivos para esta tese passaram principalmente por criar uma boa estação de testes e uma boa documentação, para que em projetos futuros utilizando este equipamento não seja necessária uma pesquisa exaustiva para tentar perceber como o equipamento funciona, como deve ser montado, quais as capacidades do mesmo e que sensores podem ser adicionados. O segundo objetivo foi tentar desenvolver pequenos programas e equipar o veículo com mais sensores, de maneira a que este seja mais fácil de controlar por parte do operador e para que exista uma maior segurança em caso de falhas. Serve também para evitar com que ocorram acidentes em voo e por fim para que se criem missões para o Arducopter desempenhá-las autonomamente.

1.3-Contribuições

Uma vez que esta tese fornece uma boa estação de trabalho, com toda a informação necessária para o voo do equipamento, vários outros projetos podem ser aplicados ao helicóptero em várias áreas, como a eletrônica, a informática e a inteligência artificial. Neste sentido, o trabalho não representa uma contribuição significativa em nenhuma destas áreas, mas uma sólida base de trabalho, que suportará futuros projetos nessas áreas.

1.4-Estrutura do documento

A tese está estruturada da seguinte forma:

- A secção 1 “Introdução” apresenta uma breve apresentação do trabalho e estrutura desta dissertação.
- A secção 2 “Estado da arte” apresenta as capacidades dos UAV nas mais variadas áreas, como segurança pública, geologia, obtenção de imagens e robótica.
- A secção 3 “Explicação geral do sistema” apresenta um resumo do funcionamento do sistema do Arducopter.
- A secção 4 “Descrição do Arducopter” indica todos os sensores e componentes existentes no Arducopter e todos os componentes de hardware que podem ser adicionados. Também explica a instalação de cada um dos componentes.
- A secção 5 “*Software* e programação” descreve como programar em Arduino e indica como está estruturado o código e as principais funções de cada ficheiro.
- A secção 6 “*APM Mission Planner*”, explica como utilizar a ferramenta do *Mission Planner*, para a configuração dos controlos de voo, para análise de ficheiros *log*, como criar missões de voo autónomo e como usar as opções do terminal CLI.
- A secção 7 “Configurações Pré-voo” indica tudo o que é necessário saber configurar antes de efetuar um voo.
- A secção 8 “Voos de teste e resultados”, apresenta a evolução que existiu com o equipamento, durante os voos de teste e as alterações feitas ao helicóptero para solucionar os problemas dos voos de teste anteriores.
- A secção 9 “Conclusões e trabalhos futuros” descreve as conclusões tiradas após os voos, que contribuições foram feitas e que trabalhos futuros poderão ser realizados.
- O anexo A “Manual de montagem do Arducopter” descreve os passos de montagem da placa APM, a soldagem dos conetores dos controladores ESC e motores, e montagem da placa de distribuição de energia.
- O anexo B “Montagem da estrutura do Arducopter” descreve todos os passos para montagem da estrutura do Arducopter como: secção central da estrutura; trem de aterragem; braços; motores e controladores; ligação dos cabos de entrada e saída da placa APM aos motores e recetor de rádio.

- O anexo C “Montagem de sensores opcionais” apresenta a informação dos sensores adicionais que podem ser adicionados ao Arducopter, mas que ainda não se encontram instalados, no helicóptero da Universidade.
- O Anexo D “Afinação dos termos PID” apresenta as possíveis afinações dos parâmetros do controlador PID (*Proportional Integral Derivative*) para uma melhor estabilidade em voo.

2-Estado da Arte

2.1-Funcionalidade dos UAV

Os *quadcopters* ou UAV em miniatura abrangem vários campos, como na área militar e de segurança pública. Têm como funções o desempenho de tarefas tais como a busca e salvamento de pessoas, a vigilância e perseguição em caso de roubo, a análise de acidentes de viação [3] e o auxílio na detecção de fogo para prevenção de incêndios [4]. No campo da geologia, usando câmaras térmicas, câmaras de infravermelhos, podem ser capazes de analisar terrenos agrícolas [5], taludes (verificando se estes causam perigo às zonas mais baixas), permitem a análise a estruturas de edifícios (desde pilares ou vigas que se encontram a grande altitude) [6]. No campo da aquisição de imagens são usados essencialmente para fazer captura de imagens, de forma a obter-se uma vista geral e mais abrangente ou para uma filmagem aérea [6]. No campo da robótica, servem para melhorar o equipamento através de simulações [7], de forma a estarem preparados para grande parte das situações, para que consigam voar em condições menos favoráveis, sejam mais estáveis [8], mais autónomos, necessitando cada vez menos da intervenção humana nos seus voos e para que dependam única e exclusivamente dos seus próprios sensores para o desempenho de missões [9,10].

2.1.1-Segurança Pública

No campo da segurança pública foram desenvolvidos equipamentos [11] para a vigilância de edifícios ou de centros comerciais, e também para o resgate e salvamentos depois de catástrofes, como terremotos, explosões, entre outros. Devido a terem um tamanho reduzido, estes poderiam chegar às vítimas em espaços apertados e além de encontrar as vítimas podiam ainda obter um mapa de como chegar com as equipas de salvamento até a essas pessoas.

No artigo [11] foi criado um ambiente de simulação em que se utilizava um controlador de detecção de obstáculos. Segundo o artigo, no uso de OS4 (um modelo de um *quadcopter*) através desse controlador o helicóptero conseguiu alterar a trajetória sem alterar a sua altitude e o seu ângulo de *yaw* (rotação do helicóptero para a esquerda/direita).

De maneira semelhante o artigo [12] fala sobre um voo autónomo efetuado num espaço interior. O sistema utiliza sensores e algoritmos utilizados anteriormente em robôs terrestres. Os criadores lançaram o sistema como um software *open-source* para providenciar uma comunidade com novos *frameworks* para construir aplicações para robôs interior, visto muitas das propostas existentes serem exclusivamente para exterior [10].

O artigo [12] defende que qualquer algoritmo para robôs terrestres pode ser convertido para robôs aéreos, mas que essa conversão é difícil pois são aparelhos diferentes com graus de liberdade diferentes. Um veículo aéreo tem mais complexidade de movimentos e não pode transportar grande peso de sensores como um veículo terrestre. A forma que os autores utilizaram foi tentar manter o helicóptero a uma certa altitude voando de forma a tentar criar um mapa a 2 dimensões, para assim poder criar um mapa por onde pudesse estimar a sua posição e navegar dentro do mapa [12].

Em [10] utilizam um *quadcopter*, que dispõe de um sonar para a altitude e de sensores infravermelhos para a deteção de obstáculos. São então feitos 3 testes numa sala de 6x7 metros. No primeiro teste o *quadcopter* levantou voo, pairou no ar e de seguida aterrou. No segundo teste o *quadcopter* levantou voo e seguiu numa direção aleatória evitando a colisão com uma das 4 paredes da sala. No terceiro teste o *quadcopter* tentou manter-se no meio da sala sem se desviar do centro da sala. Todos os testes foram feitos de forma autónoma e com sucesso.

Quanto à vigilância e perseguição, dentro do campo da segurança pública, no artigo [13] é desenvolvido um método que faz com que um UAV de asa fixa consiga seguir um veículo terrestre, usando uma câmara giratória. O autor afirma que, apesar de este método ser para uma UAV de asa fixa (avião), se fosse aplicado a um helicóptero seria muito mais bem-sucedido visto que o helicóptero tem menos restrições de voo e é capaz de pairar no ar. Esse método funciona segundo duas regras essenciais:

- A primeira – é necessário encontrar o alvo a seguir.
- A segunda – deve tentar manter uma distância de proximidade suficiente para o poder seguir sem o perder de vista.

Uma restrição a ter em conta neste sistema de perseguição é que a velocidade do veículo terrestre não deve exceder a do avião por longos períodos de tempo (pois assim este o perdia de vista).

No artigo [14] é apresentado um algoritmo baseado na visão que permite com que um UAV seja capaz de aterrar sobre uma pista de helicóptero. O algoritmo é feito segundo uma sequência. Primeiro o helicóptero tenta procurar a pista, após encontrá-la dirige-se até ela e quando está situado sobre a pista, tenta fazer a aterragem. Se ao dirigir-se até à pista o helicóptero a perder de vista, ele volta ao primeiro passo. A deteção da pista de aterragem é feita segundo a deteção da forma característica de uma pista de aterragem para helicópteros (um “H”).

De forma semelhante o artigo [15] fala sobre os *quadcopters* que dispõem de uma câmara de um comando Wii, usada para detetar um padrão de leds infravermelhos existentes num boné modificado. O equipamento é capaz de pairar sobre a pessoa que utilize esse boné. Em termos de segurança poderia ser utilizado para vigiar uma pessoa de forma a garantir a sua segurança. Trata-se de um equipamento acessível e leve, visto dispor de sensores simples e baratos.

No que diz respeito aos incêndios, à sua deteção, confirmação e monitorização, o artigo [16] descreve como vários tipos de UAV podem ser usados antes, durante e depois dos incêndios. Podem ser usados por exemplo na prevenção dos incêndios, inspecionando a vegetação, verificando zonas onde exista mais suscetibilidade de ocorrer fogos. Durante os fogos são usados na deteção [17] e confirmação do incêndio, informando o serviço de bombeiros da área através da sua georreferência. Após os fogos são utilizados na monitorização de pequenas brasas e na prospeção fazendo uma previsão da área ardida.

2.1.2-Geologia e Arqueologia

No campo da geologia é apresentado no artigo [5] um *quadcopter* que dispõe de uma câmara com vários filtros óticos, com a finalidade de analisar terrenos agrícolas. Após essa análise é possível observar se é necessário ou não fertilizar determinada zona, pois com a ajuda da câmara é possível assinalar as zonas que necessitem de fertilização, fazendo com que não se desperdice recursos onde não seja necessário. Este sistema dispõe ainda de um

downlink com o qual são transferidas as imagens capturadas pelos sensores para uma GCS (*Ground Control Station*) para serem analisadas.

Outro método é descrito na referência [18]. Esse método é baseado num HALE (*High Altitude Long Endurance*), um tipo de UAV que é usado para exploração dos terrenos inóspitos do Ártico. É proposta uma alternativa de exploração de terrenos como o Ártico, usando um UAV a energia solar, não necessitando de combustíveis fósseis para descolarem satélites para o mesmo propósito.

No campo da arqueologia os UAV são muitas vezes utilizados para o registo de imagens aéreas, de forma a registar o trabalho feito diariamente [19]. O autor enuncia que antes de existirem os UAV, o trabalho teria de ser feito por mão humana, tentando desenhar os planos e seções feitas no trabalho do dia-a-dia, um processo muito tedioso, assim foi testado a utilização de um UAV num local arqueológico em Itália, com sistemas aéreos de baixo custo do Politécnico de Torino. Com o uso da fotogrametria [2] foi possível recolher e armazenar informações das imagens necessárias durante o período de trabalho na escavação, algo que sem o uso de UAV teria que ser feito apenas após o dia de escavações [19].

No artigo [20], são utilizados vários modelos de UAV para fotografar 3 diferentes zonas climáticas, desde zonas húmidas a altas temperaturas, nas Honduras, de zonas com poeiras no Perú, zonas de grande altitude e diferentes variações de temperatura e ventos fortes no Butão. Segundo a análise do autor, conclui-se que ao utilizar diferentes UAV em várias zonas, umas vezes de forma autónoma e outras pilotadas os UAV conseguem completar a missão que lhe é destinada (tirar fotos a instâncias arqueológicas). Ainda conclui que pode ser afirmado que todos os sistemas utilizados estão aptos para aplicações de arqueologia.

De forma semelhante, o artigo [21] indica que utilizam UAV para capturar imagens panorâmicas de uma paisagem de valor cultural de forma a conseguirem posteriormente integrar imagens 3D de mapas históricos ou atlas. Com o uso da fotogrametria, usam UAV para tirar fotos de diferentes perspetivas, a fim de criarem uma imagem com texturas dos vários elementos. Através dessas imagens panorâmicas é possível criar mapas e itinerários,

que mais tarde podem ser usados em aparelhos como *smartphones* ou *tablets* em aplicações de divulgação turística e de conhecimento cultural.

2.1.3-Aquisição de imagens aéreas

Neste campo não existe grande desenvolvimento sobre o equipamento. O equipamento é utilizado como um meio para filmagem. A única parte de desenvolvimento para o equipamento será por exemplo no controlo da câmara que o equipamento transporta [50]. Grande parte dos UAV já é capaz de fazer um percurso aéreo previamente definido, não necessitando de grande conhecimento sobre os comandos de voo e bastando indicar num mapa que percurso o aparelho deve fazer [20].

O sistema por sua vez executa o percurso que lhe foi destinado e muitos deles já dispõem do sistema de aterragem automática [22]. Ao utilizador cabe a tarefa de indicar o percurso de voo e guardar as imagens, para mais tarde vendê-las. Caso não seja propício o voo autónomo, existem modos de voo que permitem um voo estável para qualquer utilizador inexperiente [23].

Este ramo tem crescido cada vez mais, pois através do uso de um UAV não é necessário alugar um meio aéreo para fazer uma filmagem que apenas poderia ser feita por meio aéreo [2]. A utilização dos UAV vai desde a promoção de imobiliário [6], para o vídeo publicitário [6], para documentários de vida animal [6] e para a utilização em cobertura de eventos jornalísticos [24].

2.1.4-Robótica

Este deve ser o campo onde existe mais informação sobre o desenvolvimento de robôs aéreos. Um dos vários desenvolvimentos é a cooperação entre robôs: o desenvolvimento de técnicas multiagente. Em [7] é proposto um ambiente de simulação para teste de controlo de mini-UAV. Durante essas simulações a *quadcopter* é testado no caso de perda do controlo de eficiência num dos motores ao pairar e noutra a fazer uma trajetória elíptica. Este ambiente de simulação é propício para o desenvolvimento do controlador de voo, visto que é possível testar em ambiente controlado, sendo possível alterar variáveis em vez de criar testes reais.

O artigo [25] apresenta uma proposta de um controlador implementado com redes neurais, para controlar o voo de um *quadcopter*. Em ambiente de simulação foram obtidos resultados animadores e conseguiu obter a atitude correta reduzindo os desvios em voo.

O artigo [1] demonstra que foi possível desenvolver um sistema de um *quadcopter*, usando um controlador PID (*Proportional Integral Derivative*) que permitisse estabilizar 2 dos 6 graus de liberdade, usando uma placa FPGA (*Field-Programmable GateArray*). Através da filtragem dos sensores, como o IMU (*Inertial Measurement Unit*), e do uso das imagens de uma câmara para estabilizar os restantes 4 graus de liberdade, foi possível corrigir todos os graus de liberdade para permitir um voo sem intervenção humana.

Por sua vez, na tese [26] é usada uma câmara capaz de capturar o movimento em tempo real e de o transmitir para uma estação terrestre onde será analisada. O sistema utiliza o processamento da imagem que é capturada através da câmara para detetar obstáculos e saber onde se encontra. Através desse sistema o *quadcopter* é capaz de fazer grande parte do percurso sem a intervenção humana.

Na referência [22] é apresentado um *quadcopter* com um sistema de garras, que serve tanto para transportar objetos, como para pousar em superfícies que não se encontram na horizontal. Durante a fase de testes o *quadcopter* foi capaz de aterrar autonomamente e caso exista alguma falha na aterragem, principalmente quando este tenta pousar sobre uma superfície vertical, o helicóptero é capaz de recuperar dessa falha e manter-se novamente a pairar.

O mesmo autor desenvolveu um sistema autónomo, [27] utilizando as garras indicadas no capítulo anterior, de forma a transportar um bloco de madeira com a cooperação de 2 ou mais *quadcopters*. Durante os testes, foi possível transportar blocos de madeira com 4 formas diferentes (em linha, em T, em L e em cruz) utilizando para a tarefa 4 *quadcopters*. Os *quadcopters* foram capazes de transportar os diferentes blocos de forma estável.

Outra inovação é referida em [9] em que é criado um controlador para que o Arducopter passe através de uma janela pela horizontal, pela vertical e que tente também pousar numa plataforma que faz um ângulo com a horizontal superior a 90° . Foi desenvolvido um controlador de forma a que o veículo completasse a sua missão, isto é fazer uma trajetória 3D.

3-Explicação geral do sistema

Para esta tese foi comprado um quadcopter (um helicóptero que dispõe de 4 hélices equidistantes do centro) Arducopter, esse dispositivo é programado sobre a plataforma Arduino. Para o controlo do helicóptero é usado um rádio transmissor de controlo remoto. O controlo remoto dispõe de um conjunto de canais através dos quais podem ser enviados comandos para controlar os movimentos do helicóptero. Existem 4 canais essenciais no que correspondem a cada movimento do helicóptero, esses movimentos são: o movimento de *pitch* no qual o helicóptero movimenta-se para a frente ou para trás, inclinando-se nessa mesma direção; o movimento de *roll* no qual o helicóptero movimenta-se para a direita ou para a esquerda, inclinando-se nas respetivas direções; o movimento de *yaw* no qual o helicóptero faz um movimento de rotação para a direita ou para a esquerda; o movimento de *throttle* que faz o helicóptero aumentar, manter ou baixar a altitude, segundo a potência dos motores. Na secção 7.1 encontra-se definido o processamento dos movimentos com maior detalhe.

Além desses canais existe um outro que é responsável por indicar o modo de voo, na secção 7.2 encontram-se descritos os vários modos de voo e o respetivo comportamento em voo. Existem modos de voo manuais, em que o helicóptero é controlado exclusivamente pelo controlo remoto. Existem também modos de voo assistidos, na medida em que, auxiliam no controlo da altitude, orientação e posição em voo (ajudando a pairar) do helicóptero. Finalmente existem modos de voo autónomos, em que o helicóptero é controlado automaticamente sem necessitar de controlo remoto.

Após o controlo remoto enviar os comandos para o helicóptero, no helicóptero os sinais são recebidos pelo recetor de controlo remoto que reencaminha os sinais correspondentes aos vários canais, para as portas de entrada existentes numa placa que processa-os. Essa placa existente no Arducopter, designada por APM (ArduPilot Mega), é uma placa que contém um microprocessador com 8 portas de entrada e 8 portas de saída PWM e possui outras portas (nas quais podem ser adicionados novos sensores), possui vários sensores embutidos, como o barómetro, giroscópios de xy e z e acelerómetros de 3 eixos. A placa tem como função processar os sinais recebidos por parte do recetor, juntamente com os dados dos

outros sensores e enviar para a saída os sinais que irão fazer mover os motores, de acordo com o desejado.

Os motores estão ligados a controladores ESC (Electronic Speed Controllers), que são responsáveis por fazerem trabalhar os motores. Na placa de controlo através de Arducopter existem 2 pares de hélices simétricos, cada par deve girar numa direção (no sentido dos ponteiros do relógio ou contrário aos ponteiros do relógio). Os pares de hélices devem ser dispostos da seguinte forma: um par deve ser colocado com uma hélice à frente e outra atrás do helicóptero; o outro deve ser colocado, com uma hélice à esquerda e outra à direita do helicóptero. O helicóptero contém de uma bateria de Lítio para fornecer energia a todo o equipamento.

A placa de controlo contém um *firmware* que pode ser programado para adição de novas funcionalidades ou de sensores, atualmente esse *firmware* é o Arducopter 2.6. Existem duas formas para configurar e testar o sistema, e gerir os ficheiros log dos voos efetuados. Uma das formas, é através de um menu CLI (Command Line Interpreter), um terminal de linha de comandos que contém: um menu para configurações referentes ao helicóptero; outro menu para testar os vários sensores; e outro menu para gerir os ficheiros de log. A outra é utilizando o software *Mission Planner*, uma plataforma que além de permitir a execução dessas tarefas através de uma interface gráfica mais perceptível, pode ainda ser utilizado para definir uma missão autónoma para o helicóptero, com a ajuda de um sistema de telemetria permite utilizar uma GCS (Ground Control Station), uma estação capaz de controlar um helicóptero em tempo real através de um portátil, contendo a visualização dos estados dos sensores, sendo possível a alteração da missão autónoma em tempo real. O *software Mission Planner* contém um protocolo de comunicação chamado MAVLink (Minature AirVehicle Link), cujo protocolo serve para definir as missões autónomas e toda a comunicação entre a placa APM e o programa.

4- Descrição do Arducopter

Neste trabalho foi utilizado um *quadcopter* que resultou da aplicação da plataforma Arduino. Neste capítulo serão descritos os vários elementos do Arducopter, assim como a sua instalação.

O equipamento é essencialmente constituído por [28]:

- APM (*ArduPilot Mega*)
- A estrutura do Arducopter
- Motores/ESC (*Electronic Speed Controlers*)/hélices
- Rádio transmissor/recetor
- Bateria e carregador
- Magnetómetro
- GPS

Em seguida iremos descrever esses componentes.

4.1-APM (*ArduPilot Mega*)

Existem duas versões desta placa, a versão 1 e a versão 2. A primeira versão é a mais antiga e é composta por duas partes, o controlador APM (placa vermelha) e o IMU *oilpan* (placa azul). A montagem destes componentes está descrita no anexo A.1. A segunda versão é mais recente, com mais sensores, é mais pequena não necessitando de serem soldados nenhuns componentes, já possui GPS e magnetómetro embutido [28].

O conjunto APM1 serve para controlar todos os sensores, motores e o processamento de todas as informações necessárias para o funcionamento do Arducopter. No que diz respeito à placa ArduPilot Mega1 (figura 1) que é a placa existente atualmente no Arducopter da Universidade da Madeira, esta é constituída por duas placas [29]:

1. Uma placa com o processador Atmega 2560 e um co-processador Atmega328, usado para as comunicações de rádio. Esta placa é conhecida por várias designações como a placa vermelha, APM ou *masterboard*.

2. A segunda placa, que se situa no topo da primeira, inclui um largo conjunto de sensores desde giroscópios, acelerómetros, sensores de pressão e voltagem. Serve de IMU (*Inertial Measurement Unit*, utilizada para gerir a estabilidade do Arducopter) e é conhecida por nomes como placa azul, *APM Shield* e *oilpan*.

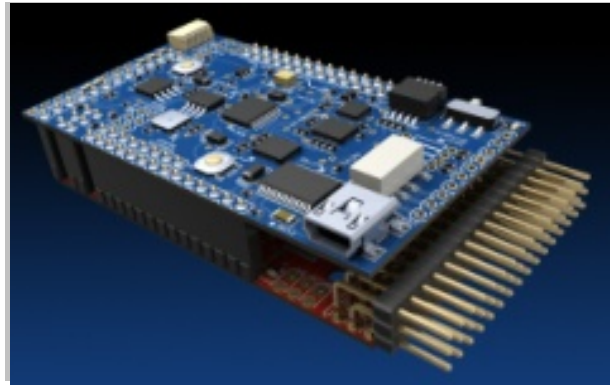


Figura 1- Placa APM V.1 [29]

4.1.1-Alimentação da placa

A APM também tem uma entrada alternativa de energia, podendo assim fornecer energia diretamente à placa através de uma bateria separada do sistema de controlo remoto. Isso é feito através da extração da soldadura de um *jumper* SJ1 como se mostra na figura 2 e ligando os conetores da bateria diretamente na placa APM, com as respetivas polaridades nos *pins* que se encontram na figura 2. A placa possui um regulador de corrente e um fusível de *reset*. [30]

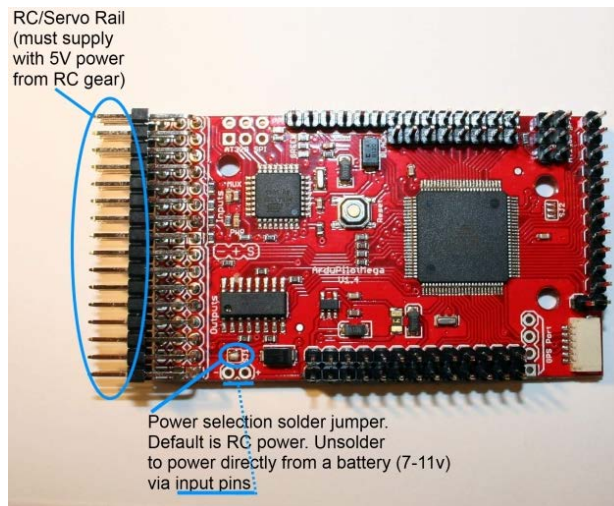


Figura 2 -Imagem ilustrativa de como configurar a alimentação da placa [30]

4.1.2-Descrição da placa APM1

A figura 3 mostra um pouco da arquitetura da placa APM, exibindo em primeiro plano o processador Atmega2560 da atmel que dispõe de uma memória *flash* de 256kb. Através de alguns truques no código é possível ler e escrever 8 canais de PWM (*pulse width modulation*) usando cerca de 1% do processador. A placa dispõe também de um conversor analógico para digital, que pode ser usado como *pins* de entradas digitais, possui 4 portas série sendo as portas 0, 1, 2 e 3 usadas para USB, GPS, DataFlash e Xbee/ Telemetria respectivamente [30].

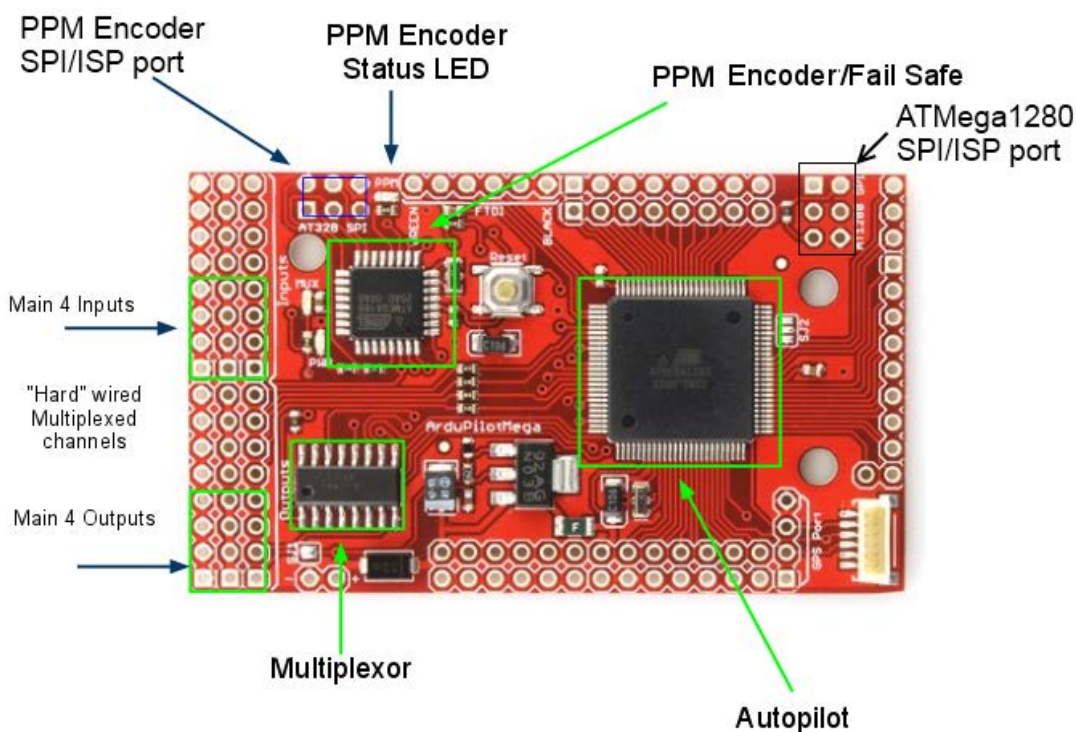


Figura 3 - Arquitetura da placa APM [30]

4.1.3-Descrição da placa oilpan

Esta placa engloba grande parte dos sensores que irão determinar uma boa performance em voo. Desde acelerômetros de 3 eixos, giroscópios xy e também do z, e barômetro para calcular a altura do equipamento segundo a sua temperatura e pressão atmosférica. Na porta I²C é ligado o magnetômetro, de forma a se ter uma orientação em voo correta. A placa também dispõe de uma porta de expansão para a ligação de vários sensores analógicos. A

A figura 5 ilustra os vários *leds* da placa azul [33]:

- O *led* A (verde) - se estiver ligado indica que os motores estão armados; se estiver intermitente indica que os motores estão desarmados.
- O *led* B (amarelo) - se estiver intermitente o sistema encontra-se durante a calibração; caso contrário não é utilizado.
- O *led* C (vermelho) - se estiver ligado indica que o GPS está sincronizado; se estiver intermitente indica que está a tentar sincronizar; se estiver desligado indica que o GPS não se encontra conectado.
- Os *leds* TX e RX - quando estão intermitentes indicam que está a decorrer uma comunicação em série, quer por USB ou por Telemetria.
- O *led* power (azul) - indica que a placa APM1 está ligada.

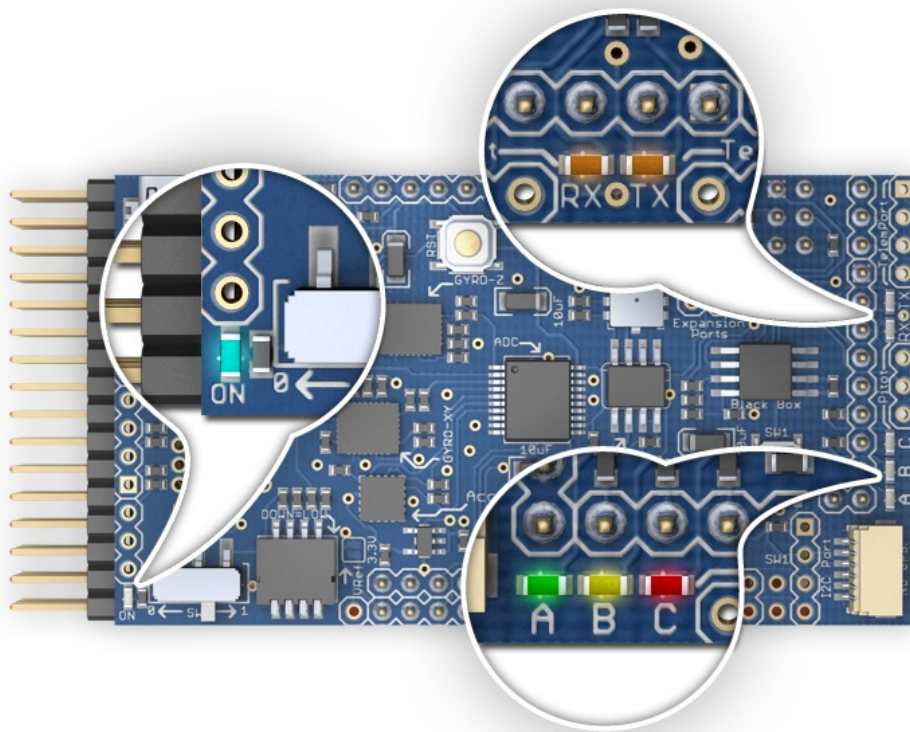


Figura 5 - Ilustração dos vários *leds* da *oilpan*[33]

4.1.5-Descrição da APM2

Apesar da Universidade da Madeira não dispor da versão 2 da placa APM, irá ser descrito brevemente as diferenças entre as duas versões. Uma das grandes diferenças entre estas duas placas é nos sensores que usam. A placa APM2, que está representada pela figura 6, dispõe de um InvenSense MPU-6000 *gyro/accelerometer chip*, que contém o seu próprio processador. Contém ainda um sensor de pressão altamente preciso para medições de altitude. Devido à evolução dos sensores foi possível a incorporação de várias funções, utilizando assim menos *chips* e com sensores digitais, não recorrendo aos conversores analógico para digital, como ocorria no APM1 [34].

Ao contrário da APM1, a APM2 já dispõe de sensores como o GPS e o magnetómetro embutidos, para não ser necessária a utilização de soldaduras ou cabos. O botão CLI (*command line interpreter*) no APM2 já não existe. O CLI é chamado premindo a tecla *enter* 3 vezes no terminal de início em vez de utilizar um interruptor na placa APM para ativar essa função. A placa APM2 não contém o relé que servia essencialmente para tirar uma foto numa câmara, mas é possível a adição de um relé externo [34].

Não existem interruptores DIP pois estas funcionalidades são executadas através do *Mission Planner*. Como acontecia com a APM1 esta não dispõe de um monitor de voltagem, pois é preferível utilizar um Sparkfun *current sensor* [35], que pode ser ligado a uma das portas disponíveis [34].

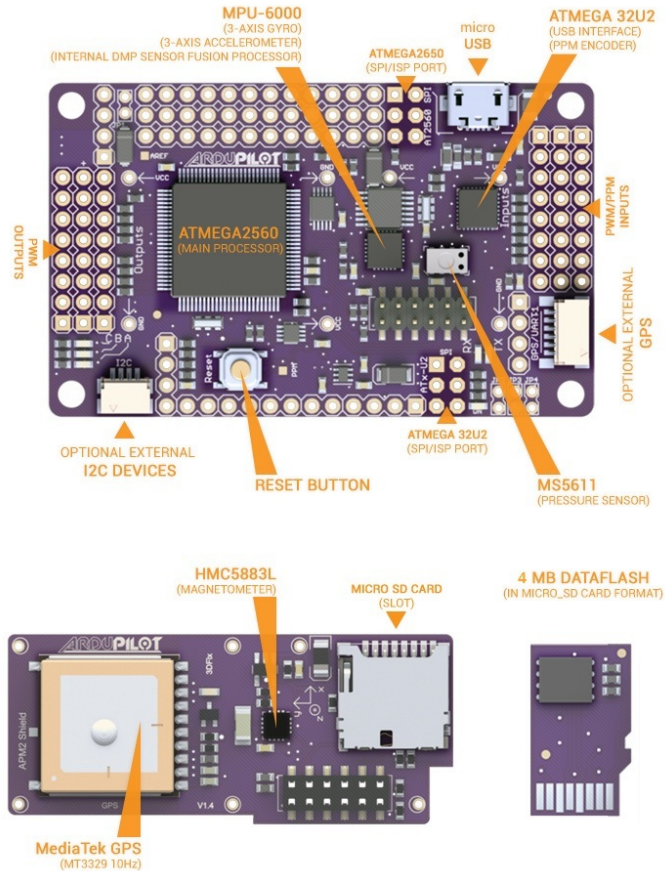


Figura 6 - Placa APM2 [34]

4.2-Estrutura do quadcopter

Existem vários tipos de estruturas, dependendo do número de motores e da versão do modelo. A versão do Arducopter existente é uma versão mais antiga e primordial. O seu trem de aterragem não é o melhor, pois é feito de um material frágil e pouco resistente a choques. Existem outros modelos mais recentes que já dispõem de materiais mais robustos, com alumínio, que fazem com que se tenha mais segurança no caso de uma queda involuntária do equipamento ou no caso de não se ter muita sensibilidade com o controle ao aterrizar [28].

Estas novas estruturas têm a vantagem de serem originais do Arducopter tendo assim controladores PID (*Proportional Integral Derivative*) adequados à estrutura e aos motores de 850kv (potência dos motores), que são os motores padrão. A montagem da estrutura encontra-se descrita no Anexo B. A estrutura do *quadcopter* existente pode ser configurada

de duas maneiras, quer em cruz (+) ou em x. O tipo de estrutura existente no Arducopter atual é a estrutura em cruz (+) [28].

4.2.1-Diferenças entre a estrutura em x ou em +

Qualquer uma pode ser escolhida. A estrutura em x é utilizada quando é usada uma câmara, visto que, durante o voo ao inclinar-se, no movimento de *pitch* (para a frente), a câmara não apanha o braço que se encontra inclinado, como aconteceria se se utilizasse na estrutura em +. A estrutura em + é a mais utilizada, por ser a mais intuitiva em voo, quando se pretende verificar onde fica a parte da frente do Arducopter. Normalmente pinta-se o braço que se encontra à frente ou é colocada uma bola de ping pong na perna da frente de forma a diferenciar dos restantes braços [36].

A figura abaixo mostra como devem ser dispostas as hélices quando configuradas em + (esquerda) e em x (direita).

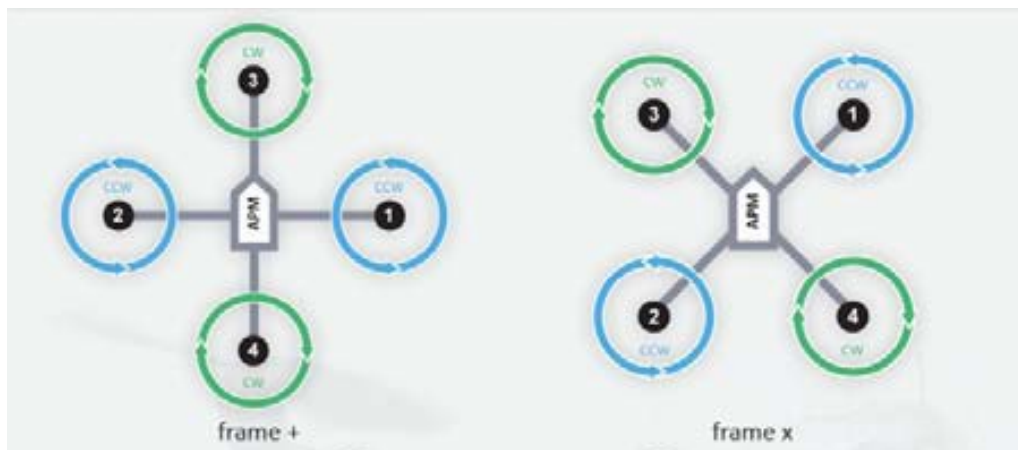


Figura 7- Indicação da rotação das hélices quando configuradas em + e em x [37]

4.2.2-Trem de aterragem (estrutura de aterragem)

Quanto ao trem de aterragem existente, pode-se concluir que é muito frágil. É preferível a substituição deste por um mais robusto e mais flexível. Recomenda-se uma boa superfície, feita de um material flexível e ao mesmo tempo forte, para que no caso de uma queda o choque seja absorvido e os componentes permaneçam intactos.

Dos vários exemplos de trens de aterrager existentes, pode-se referir o modelo da diydrones, representado na figura 8:



Figura 8- Exemplo do trem de aterrager da estrutura dos diydrones [38]

Este é semelhante a uns esquis, como existem nos helicópteros convencionais, e permitem a utilização de uma câmara a bordo. Outro modelo, representado nas figuras 9 e 10, utilizam 4 pernas.



Figura 9 - Exemplo do trem de aterrager da estrutura 3DR [39]



Figura 10- Exemplo de um trem de aterragem de uma estrutura nova [40]

Na figura 10 existe uma estrutura constituída por 4 pernas que dispõem de molas para reduzir a força do impacto. Um dos factos a ter em conta quando se escolhe um trem de aterragem é a funcionalidade do helicóptero. Se for necessário incorporar uma câmara, é indispensável que o trem de aterragem seja suficientemente alto para que consiga proteger a câmara de um impacto.

Analisando os vários modelos existentes, optou-se por criar uma perna para ser colocada em cada um dos braços, visto a universidade usufruir de uma impressora 3D, para que fosse mais estável a aterragem. Estas novas pernas, que se apresentam na figura 11, são feitas de um plástico que as torna mais flexível, para aterragens de pequena altitude. As pernas foram colocadas mais perto dos motores, para que na queda as hélices não se inclinassem para o chão e fossem danificadas. Com esta nova disposição das pernas, caso a aterragem fosse de forma inclinada, a estrutura ficaria mais nivelada.

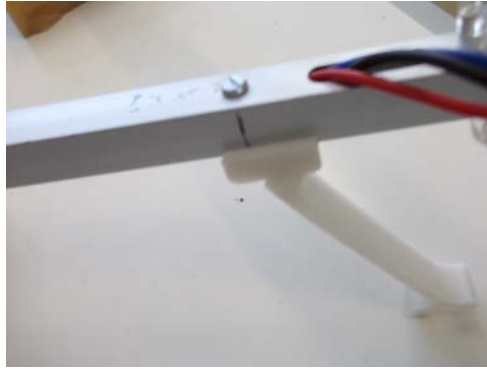


Figura 11 - Pernas impressas na impressora 3D

4.3-Motores/ESC (eletronic speed controls) /Hélices

No que diz respeito aos motores, os motores usados são de 850 kv sem escovas. Na compra de motores/ESC (controladores de velocidade electrónicos) /hélices é preferível utilizar os que já vêm em *kits*. Para os *multi-rotores* são recomendados os motores de 800-1100 kv quando se usa baterias de 3 células. Os controladores de velocidade são usados para controlar os motores e são classificados em amperes. Essa amperagem deve coincidir com a usada pelo motor [28].

As hélices utilizadas são hélices com duas pás grandes, sendo as dimensões mais populares 10x45 e 12x47. As hélices podem ter a particularidade de serem constituídas por um tipo de material mais resistente. As hélices que vêm de fábrica são as de 10x45, mas foi testado o uso de hélices maiores, de 12x47, e o Arducopter ao levantar voo tornou-se mais estável com este tipo de hélices do que com as anteriores [28]. A descrição da montagem dos motores e hélices encontram-se no anexo B.3.

4.4-Rádio transmissor e recetor

Nesta secção são descritos o rádio transmissor e o rádio recetor utilizados no atual modelo do Arducopter.

4.4.1-Rádio transmissor

O rádio transmissor é usado para controlar o Arducopter em modo manual, simples ou no caso de existirem coordenadas erradas no modo automático é possível intervir para que o equipamento não caia. O equipamento necessita no mínimo de 4 canais para desempenhar grande parte das funcionalidades do Arducopter [28]. Na figura 11 pode-se observar o rádio

transmissor, que é um rádio transmissor de 9 canais que está configurado no modo 2 (modo utilizado na Europa em que o *throttle* é posicionado no lado esquerdo do comando, algo que não aconteceria no modo Americano, em que o *throttle* está posicionado no lado direito, fazendo uma troca com o comando *pitch*) e funciona com 8 pilhas AA. A figura 12 apresenta os vários canais e o correspondente a um movimento do Arducopter. A explicação desses movimentos encontra-se na secção 7.1.



Figura 12 - Emissor de controlo remoto e movimentos correspondentes

4.4.2-Rádio recetor

O rádio recetor representado na figura 13 é o equipamento que recebe os comandos enviados pelo transmissor e os envia para a placa APM. Estes dois equipamentos são comprados em conjunto, mas ter vários recetores é por vezes bom, no caso de se ter várias aeronaves, pois assim pode-se utilizar apenas um controlador para várias aeronaves [28]. A instalação dos componentes encontra-se explicada no anexo B.5.

Este equipamento apresenta 9 canais de saída, mas no modelo existente na Universidade da Madeira apenas utilizamos o cabo que contém 6 canais, que deve ser ligado às primeiras 6 entradas (apesar de não usarmos o 6º canal pois este não é necessário).

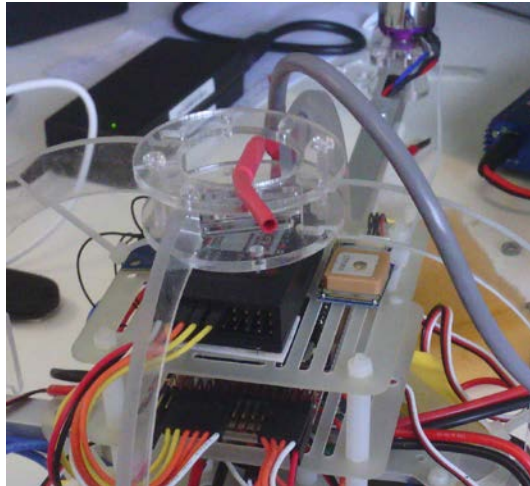


Figura 13 -Recetor de controlo remoto

4.5-Bateria e carregador

Nesta secção são descritos a bateria, o carregador e os passos para o seu carregamento.

4.5.1-Bateria

Um componente muito importante é a bateria, visto que é o dispositivo que fornece toda a energia necessária para o funcionamento dos controladores e motores [28]. O Arducopter existente possui uma bateria de LiPo (*Litium Polymers*) de 11,1V e 2200mAh com 3 células. Abaixo encontra-se a figura 14, com a bateria. Este tipo de bateria é muito perigoso, por ser muito inflamável e não ser possível apagar com um extintor normal. Por isso deve-se ter o cuidado de mantê-la em lugares frescos e longe de fontes de ignição ou de calor.



Figura 14 -Bateria LiPo do arducopter

4.5.2-Carregador

É também necessário ter um carregador específico para este tipo de bateria de forma a carregar corretamente cada célula da bateria [28]. O carregador IMAX B6 dispõe de várias formas de carregamento (carregamento rápido, carregamento normal e carregamento balanceado) para vários tipos de bateria (de níquel e de lítio). Ao carregar a bateria, deve ser escolhido o tipo de bateria correto assim como o carregamento balanceado, visto que este carrega corretamente cada célula da mesma. Na figura 15 encontra-se uma imagem do carregador existente.

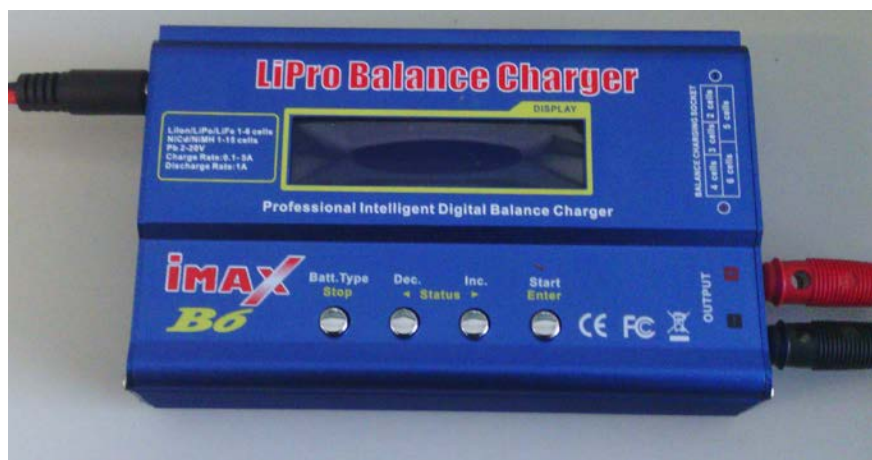


Figura 15 - Carregador de bateria

Ao carregar a bateria há que seguir os seguintes passos:

- Ligar os conetores da bateria ao carregador como mostra a figura 16.
- Ligar as duas outras pontas dos fios de corrente do carregador a uma fonte de alimentação (ter sempre em atenção o positivo e negativo) e escolher uma voltagem de cerca de 15V.
- Ligar o carregador.
- Escolher o menu de baterias lítio LiPo (normalmente já está definido por defeito).
- Escolher o menu de carregamento balanceado. De seguida clicar na tecla *enter*.
- Em seguida selecionar a amperagem de 2A (este valor convém ser entre 1,5A a 2A), a voltagem de 11,1V e 3S (3 células). Para começar a carregar a bateria deve seguir para o próximo menu, pressionando *enter* cerca de 3 segundos.

- Irá ser apresentado um menu indicando o número de células detetadas pelo carregador (à esquerda) e o número de células escolhido no menu anterior (à direita). Caso o número seja o mesmo deve seguir para o próximo menu pressionando *enter*.
- A bateria irá carregar durante uns 30 minutos, após esse tempo o carregador irá dar uns apitos a indicar que a bateria está carregada. O tempo de carregamento é influenciado pela amperagem definida, quanto mais amperagem mais rápido o seu carregamento. Após estar carregada, carregue no botão *stop*, desligue a fonte de alimentação e retire os conectores todos.



Figura 16 - Imagem ilustrativa de como carregar

4.6-Sensores

Esta secção apresenta quais os sensores que podem ser adicionados ao Arducopter. Um sensor é um dispositivo eletrónico cuja função é medir certos valores, por exemplo a temperatura, a altura, a distância. A placa APM analisa os vários dados obtidos pelos diversos sensores para que o Arducopter tenha melhor desempenho nos voos.

4.6.1-Magnetómetro

Este dispositivo pode ser opcional no caso de não se utilizar o modo de manter a posição em voo (pairar no mesmo local) ou de fazer voos autónomos. O magnetómetro disponível é o *Tripple Axis Magnetometer - HMC5883L*. Este dispositivo pode ser colocado na placa APM de duas maneiras. Através de um cabo ligado à porta I²C do *oilpan* (placa azul); ou

soldando o magnetómetro à placa. Em baixo encontram-se descritas as formas de montar este equipamento [41].

4.6.1.1-Método 1

O método 1 é a maneira mais fácil de montar o magnetómetro instalando-o diretamente na placa azul. É a maneira mais utilizada e é a configuração padrão. É de ter em atenção se a voltagem do sensor está configurada para 5V. Para a sua instalação é necessário utilizar 4 *headers pins*. Quebra-se a parte assinalada pela figura 17 e solda-se os 4 *pins* Finalmente solda-se o magnetómetro virado para baixo como mostra a figura 17.

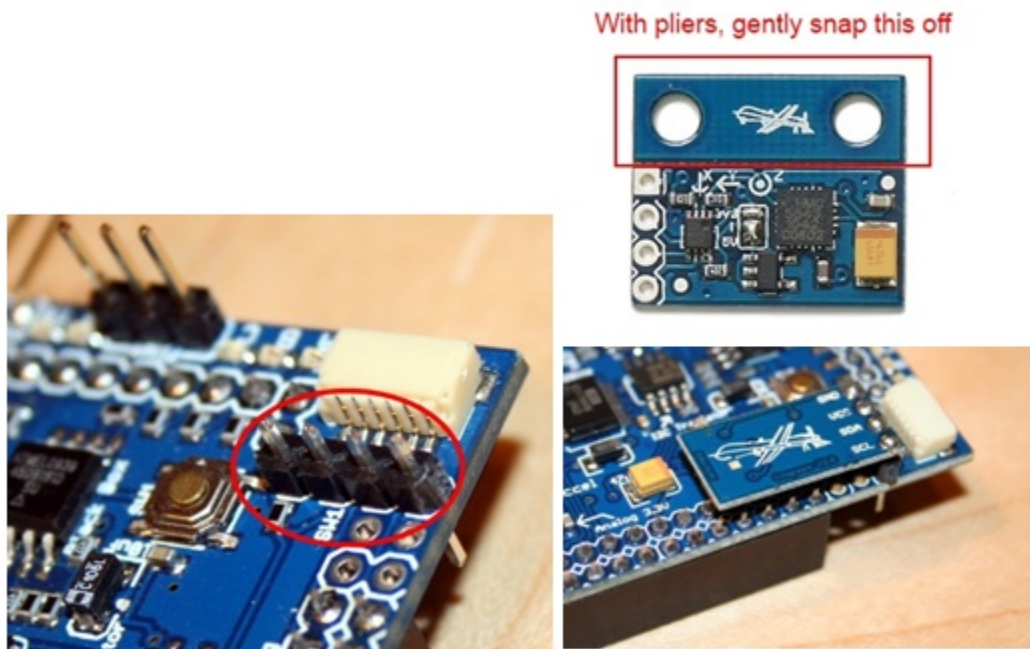


Figura 17- Montagem do magnetómetro através do método 1 [41]

4.6.1.2-Método 2

No método 2, o cabo mais comprido do kit deve ser alterado. Retira-se um conector (peça de plástico branca) de uma das extremidades do cabo e dois fios como podemos observar na figura 18. De seguida é inserido o conector na placa IMU na porta I²C. O magnetómetro ao ser ligado na estrutura deve se encontrar orientado para a frente como no método 1 (figura 19) [41].

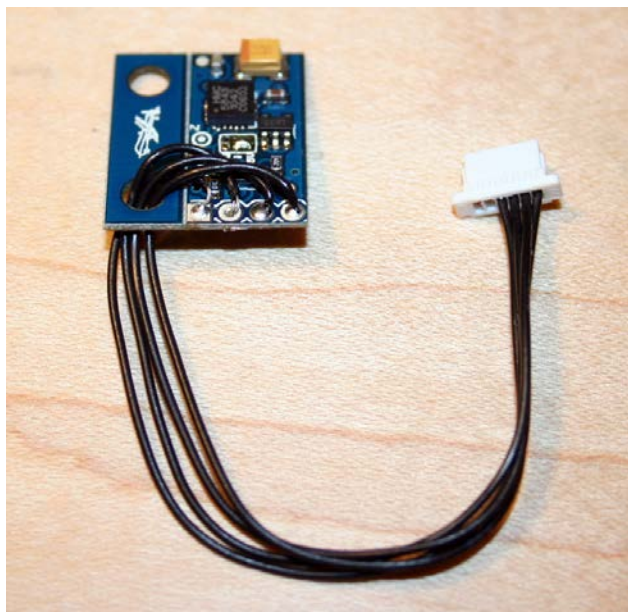


Figura 18 - Ligação do cabo ao magnetómetro através do método 2 [41]

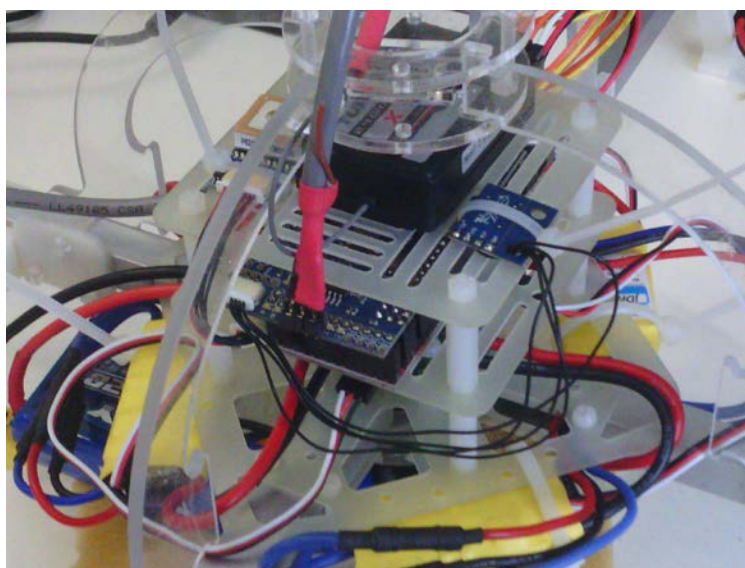


Figura 19- Montagem do magnetómetro através do método 2

4.6.2-GPS (Global Positioning System)

O GPS serve para se poderem realizar missões de voo autónomo e deve ser usado em espaços abertos de forma a ser possível capturar a sua localização. O modelo do GPS do Arducopter utilizado é o *Mediatek MT3329*, e a sua instalação é feita (como podemos observar na figura 20) ligando um conector I²C à porta do GPS e o outro conector à porta I²C da placa vermelha.

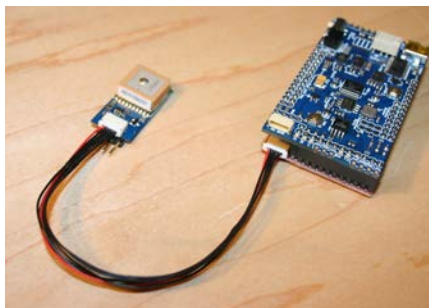


Figura 20 - Conexão do GPS à placa APM [42]

Como sensores opcionais podem ser ligados [28]:

- Sonar
- Sensor Infravermelho.
- Sensor de *optical flow*
- *Kit* de telemetria sem fios
- Um *gymbal* de câmara
- *Display* no ecrã(On screen display)
- Monitor de bateria

Alguns dos sensores encontram-se apresentados no anexo C.

4.6.3-Sonar (sensor ultrassónico)

O Arducopter pode dispor também de um sonar para o Arducopter manter a sua altitude, quando esta é inferior a 10 metros. No caso da altitude ser superior a 10 metros em vez de ser utilizado o sonar, é usado o barómetro (sensor de pressão). O sonar é também utilizado na deteção de obstáculos. Abaixo temos a informação de como instalá-lo.

É importante que o sonar seja montado pelo menos cerca de 7,5 cm do centro, para evitar ruídos elétricos provenientes dos ESC e outras interferências. Adicionou-se um sonar no Arducopter utilizado na tese, criou-se um suporte na impressora 3D. Este sensor foi preso com apenas um parafuso. O sonar é o LV-EZ3, apesar do modelo não ser o LV-EZ0, os alcances na medição de distâncias são semelhantes [43].

O sonar dispõe de um cabo que é facilmente adaptado e retirado, caso não seja necessário a sua utilização. Ao instalar deve-se ter atenção às marcas que se encontram em cada uma das extremidades do fio (figura 21). A marca a preto corresponde ao GND (Ground) e coloca-se na placa de forma correta, para evitar danos na placa e no sensor. [43]

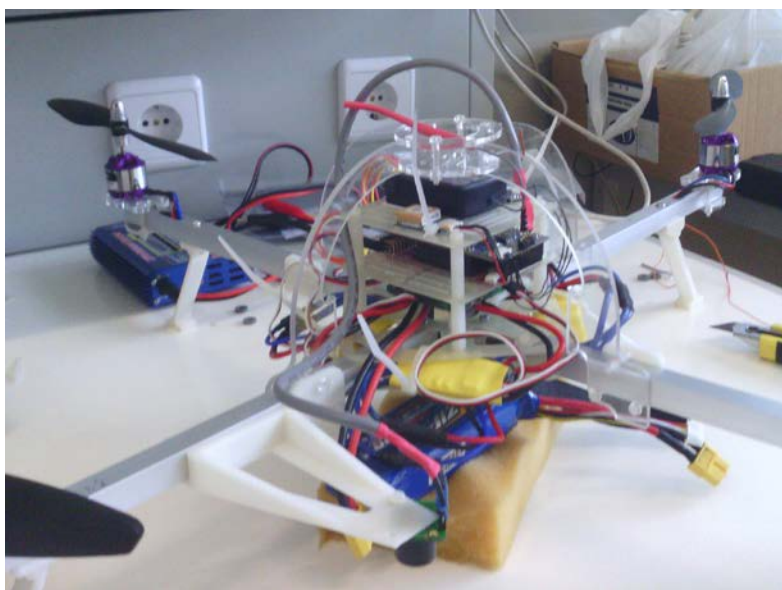


Figura 21- Ligação do sonar à placa APM

Ligam-se os 3 *pins* de GND (preto), V+ (vermelho) e “AN” (amarelo) ao *pitot tube* do IMU *shield* (placa azul) nos GND, +V e “AN” respetivamente, como pode-se observar na figura 22.

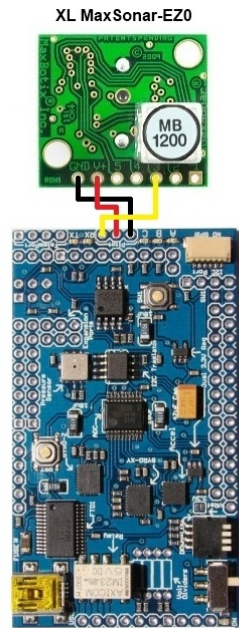


Figura 22 - Ilustração sobre a conexão dos vários *pins* do sonar [43]

É possível ativar o sonar entrando no modo CLI (*command line interpreter*), ou usando o separador “configuration” do *Mission Planner*. No terminal de CLI, após escrevermos setup, escreve-se “sonar on” para ativá-lo. Para indicar o modelo do sonar escreve-se “sonar 0” para o XL-EZ0; “sonar 1” para o LV-EZ0; ou “sonar 2” para o XL-EZL0. É possível ativar e selecionar o modelo, quando estamos conectados pela USB através do programa *APM Mission Planner*, selecionando o separador “configuration” como se encontra descrito na secção 6.

Os valores do sonar podem conter ruído, para isso usa-se um *choke* de ferrite no cabo do sensor ou utiliza-se um cabo blindado. As causas dos ruídos poderão ser [43]:

- Os ESC, servos (motores) ou BEC (Brushless Eletronic Speed Control), que encontram-se no mesmo circuito que o sonar
- As frequências eletromagnéticas provenientes dos motores, dos seus cabos, dos ESC ou do Xbee.
- O barulho acústico provocado pela rotação das hélices.
- As vibrações dos motores ou das hélices.

5- Software e programação

Neste capítulo serão apresentados os vários *firmwares* existente para o Arducopter, assim como a explicação do *firmware* Arducopter 2.6, que se encontra instalado no *hardware* do Arducopter da Universidade da Madeira.

5.1-Software

Existem vários *firmwares* diferentes para o *hardware* do Arducopter entre os quais são recomendados [44]:

- ArduPiratesNg code – Foi utilizada uma versão ArduCopter RC2 onde fizeram melhoramentos através comunidade Ardupirates, este inclui novos suportes da estrutura de voo, um melhor processo de configuração e resolução de *bugs* [45]. Este código encontra-se atualmente pouco desenvolvido, pois com o aparecimento da placa APM2 o grupo do Arducopter evoluiu de tal maneira que todos os modos de CLI e voo são selecionados por *software*, existindo melhores funcionalidades deixando este código praticamente obsoleto.
- ArduCopterMega - É a versão oficial mais recente a ser lançada. Tem como nome Arducopter 2.0. O código que provém do APM de asa fixa (*Ardupilot*), que contém mais funcionalidades e é mais maduro que o Arducopter. Esta versão traz as funcionalidades totais dos UAV, incluindo *waypoints* programáveis em 3D, *software ground station*, comunicação de dois sentidos durante o voo e uma navegação guiada através de GPS permitindo indicar onde o Arducopter deve seguir em tempo real. Atualmente encontra-se na versão Arducopter 2.6, mas mensalmente são realizadas melhorias ao *software*, de forma a tornar o voo mais estável.

5.2-Programação em Arduino

No caso de ser necessário criar novas funcionalidades no código, ou incorporar outro sensor que não se encontre na versão atual, é possível programar a placa APM com o IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino [46].

Antes de programar é necessário instalar a placa APM no computador, para tal é necessário [47]:

- Instalar o Arduino IDE que se encontra disponível *online* na referência [48]
- Ter atenção para não seleccionar o ficheiro Arduino com uma versão igual ou superior à 1.0, pois esta versão utiliza uma extensão de ficheiro diferente à utilizado pelo Arducopter. É preferível a utilização do ficheiro Arduino 0023.
- Após instalar o ficheiro deve ligar-se a ficha mini USB à placa APM, caso o sistema não reconheça a placa, deve-se ir ao gestor de dispositivos do computador e atualizar o controlador (de preferência através da atualização *online*).
- Abrir o gestor de dispositivos, ir às propriedades da porta, escolher “definições avançadas” e seleccionar a opção “Set RTS on Close”.
- Abrir o programa Arduino, escolher o menu “preferências” e indicar onde se deseja guardar o *sketchbook* (área de trabalho do programa Arduino que contém o código).
- Após definir a localização do *sketchbook*, é necessário fechar o programa e reiniciá-lo para que as opções sejam atualizadas.

Para carregar o código através do Arduino devem-se seguir os seguintes passos [49]:

- Fazer o *download* da versão mais recente do Arducopter neste caso o Arducopter 2.6. [50] e descompactar o ficheiro *zip* para uma pasta. Após a descompactação deve-se copiar as duas pastas (Arducopter, Libraries) para a localização definida do *sketchbook*.
- Abrir o programa Arduino.
- Ir a “ficheiro”, seleccionar “abrir” e procurar dentro da pasta Arducopter o ficheiro “ArduCopter.pde”.
- No menu de ferramentas do Arduino escolhe-se a placa Arduino Mega 2560.
- Depois de efetuadas as alterações no código, para fazer o *upload* do código é necessário carregar no botão com uma seta azul apontando para a direita. Este processo demora um a dois minutos e após a transferência o Arduino indica que o *upload* está completo.

5.3-Descrição do código

O código é criado por uma pequena equipa que ao desenvolvê-lo, torna-o mais completo, e com menos erros. Mensalmente são criadas novas versões do código, onde são corrigidos *bugs* e adicionadas novas funcionalidades.

O código que será analisado corresponde à versão 2.6. O código é constituído por duas pastas, uma “Libraries” e outra “Arducopter”.

5.3.1-Pasta Libraries

No que diz respeito à pasta “Libraries”, esta contém todas as bibliotecas necessárias para uma boa operação dos sensores e dos componentes. Dentro desta existem várias pastas que correspondem às bibliotecas individuais de cada componente, (desde controladores, sensores, motores, informações relativas à placa, entre outras). Em cada pasta podem existir 4 tipos de ficheiros com 4 tipos de extensão. A extensão “.h”(ficheiro *header*), a extensão “.cpp”(ficheiro c++), a extensão “.pde” (ficheiro Arduino) e um ficheiro adicional de extensão “.txt”(ficheiro de texto) com o nome de “keywords.txt”.

- Os ficheiros *header* definem as classes, indicando os construtores e os métodos que a classe deve ter.
- Os ficheiros c++ contêm a mesma informação da classe, mas indicam a definição dos métodos da classe.
- Os ficheiros Arduino apresentam pequenos exemplos para testar certos sensores e outros elementos da biblioteca.
- O ficheiro “keywords.txt” contém o nome da classe seguido do número 1 e os nomes dos vários métodos seguidos do número 2, este ficheiro serve para distinguir o construtor da classe dos métodos da classe.

5.3.2-Pasta Arducopter

Quanto à pasta “Arducopter”, esta é constituída essencialmente por ficheiros de dois tipos, Arduino e *header*.

Os ficheiros *header* (extensão “.h”) servem para criar classes com parâmetros globais, e definir a configuração dos componentes a serem utilizados no Arducopter assim como as variáveis.

Através da figura 23, pode-se observar que de todos os ficheiros Arduino (extensão “.pde”) existe um ficheiro principal denominado “arducopter.pde” e encontra-se ligado a todos os restantes. Este ficheiro realiza a inclusão de todas as bibliotecas necessárias, assim como de todas as variáveis e inicia o *loop* principal do programa. É a partir deste ficheiro que são chamadas todas as funções que se encontram nos restantes ficheiros Arduino.

Na parte superior da figura 23, podemos observar um pequeno grupo de ficheiros Arduino que correspondem aos menus do CLI. Esses ficheiros são:

- Setup.pde
- Test.pde
- Log.pde
- Planner.pde

O ficheiro System.pde, que se encontra ligado a este grupo, é responsável por criar o menu principal do terminal, com as opções (setup, test, log e planner), assim como as funções críticas como a designação do modo de voo, a ativação do modo *failsafe* e o início do *GCS*.

Os restantes ficheiros (setup, test, log e planner) contêm a informação de como serão apresentados os vários menus selecionados, como se fosse um terminal.

No lado direito da figura apresenta-se um grupo de dois ficheiros, responsáveis por permitir ao utilizador definir o seu próprio código. Esses ficheiros são o “UserCode.pde” e o “UserVariables.h”. No “UserCode.pde”, podem ser definidas as inicializações e as funções necessárias. As variáveis do utilizador podem ser definidas no ficheiro *header* “UserVariables.h”.

Na parte de baixo da figura 23 existe um grupo formado por 3 ficheiros nos quais se encontram as funções relacionadas com o rádio controlo remoto:

- Radio.pde – contém as funções de inicialização dos comandos de *input* e *output* do controlo remoto, o valor mínimo de *output* dos motores, as funções de *failsafe* (no caso de perda de controlo do rádio), e o *trim* (alteração da escala dos valores) de valores do controlo remoto.
- Control_modes.pde – contém as funções do interruptor dos modos de voo.

- Events.pde – contém as funções de ativação e desativação do evento de *failsafe*, a atualização de eventos e o evento de bateria fraca.

Também no canto inferior esquerdo da figura 23 existe um outro grupo composto por ficheiros *header* que são responsáveis pela alteração, definição de variáveis, pela configuração de estrutura e pela configuração de canais. Esses ficheiros são:

- Config.h – Ficheiro de configuração principal (nunca deve ser alterado).
- APM_config.h – Ficheiro de configuração que é sobreposto ao config.h.
- APM_config.Mavlink.h – Utilizado para simulações com o modo HIL (*Hardware In the Loop*).
- Config_channel.h – Configuração dos canais de voo.
- Defines.h – Definição de variáveis do sistema

No canto inferior direito da figura 23 encontra-se um grupo de ficheiros que dizem respeito às funções dos sensores e dos atuadores. Este grupo é formado pelos seguintes ficheiros:

- Sensors.pde – contém funções que dizem respeito a sensores como o barómetro, a bússola, a leitura de bateria e o sonar.
- Motors.pde – contém as funções de inicialização da armação e a inicialização da desarmação dos motores, as funções de armar e desarmar motores e de enviar os comandos aos motores.
- Camera.pde – contém as funções necessárias para a estabilização da câmara em voo.
- Leds.pde – contém as funções que dizem respeito à correspondência de *leds*.

No lado direito, em baixo na figura 23 pode-se observar um grupo de 3 ficheiros que têm como função gerir a dinâmica em voo, ou seja, manter um voo mais estável ou mais ágil. Este grupo é formado por:

- Inertia.pde – contém todas as funções necessárias para o bom funcionamento dos acelerómetros.
- Attitude.pde – contém as funções necessárias para obter os valores desejados de *roll*, *pitch*, *yaw* e *throttle* para um voo estável.

- Flip.pde – é um ficheiro recente que contém a definição das funções necessárias para o Arducopter fazer uma pirueta no ar no sentido do *roll*.

Novamente no lado direito da figura 23, encontra-se um grupo formado por 3 ficheiros. Esses são responsáveis pela criação, processamento e gestão dos comandos de voo automático. O grupo é formado pelos seguintes ficheiros:

- Commands.pde – é responsável pela inicialização e criação do comando.
- Commands_process.pde – é responsável pelo processamento dos vários comandos de voo.
- Commands_logic.pde – é responsável pela gestão dos comandos, designando como devem ser tratados os comandos.

No canto superior direito, existe um ficheiro chamado GCS_mavlink.pde, que contém todas as funções necessárias para a comunicação entre o Arducopter e a estação GCS.

No lado esquerdo, pode-se observar o ficheiro Navigation.pde, que contém todas as funções necessárias para um voo autónomo. Este ficheiro contém o cálculo de trajetórias, de velocidade, de altura e de erros para que o voo através de *waypoints* seja feito sem falhas.

Finalmente no canto superior esquerdo, existe um grupo formado por 4 ficheiros, dois *headers* e dois ficheiros Arduino. Esses ficheiros são:

- Parameters.h – Contém uma classe (Parameters) que contém todos os parâmetros globais.
- Parameters.pde – Contém as funções definidas na classe “Parameters”.
- GCS.h – Contém a definição das classes GCS e GCS_mavlink.
- GCS.pde – não é utilizado, pois todo o seu código encontra-se comentado.

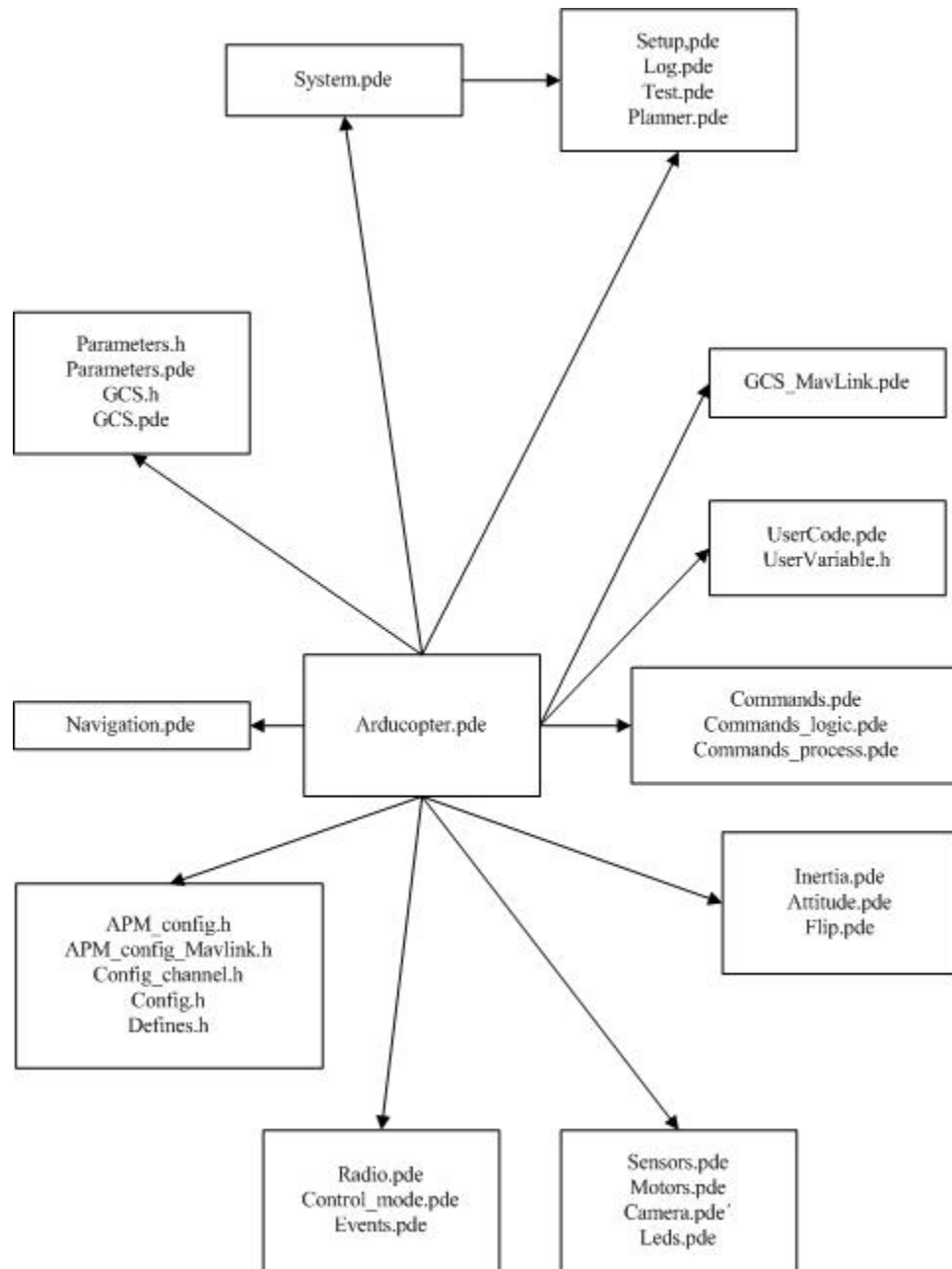


Figura 23 - Diagrama contendo os vários ficheiros do código agrupados segundo as suas funcionalidades

Na figura 24, pode-se observar um diagrama que contém os vários *loops* do código principal do “arducopter.pde”. A figura apresenta retângulos e cada retângulo indica um *loop*. Os *loops* *médium_loop* e *slow_loop* contêm pequenos retângulos dentro do seu *loop*, isto deve-se ao facto de apenas executarem um retângulo de cada vez que são chamados. Os retângulos são executados da esquerda para a direita e de cima para baixo. Cada um dos *loops* é executado segundo um período de tempo determinado. O *fast_loop* executa-se a

uma frequência de 100Hz; o medium_loop a uma frequência de 10Hz; o 50hz_loop como o nome indica executa-se a uma frequência de 50Hz; o slow_loop executa-se a uma frequência de 2Hz; finalmente o super_slow_loop executa-se a uma frequência de 1Hz. Quanto maior a sua frequência, mais vezes é executado o loop, sendo através destas relações de frequência que é possível designar a prioridade das funções.

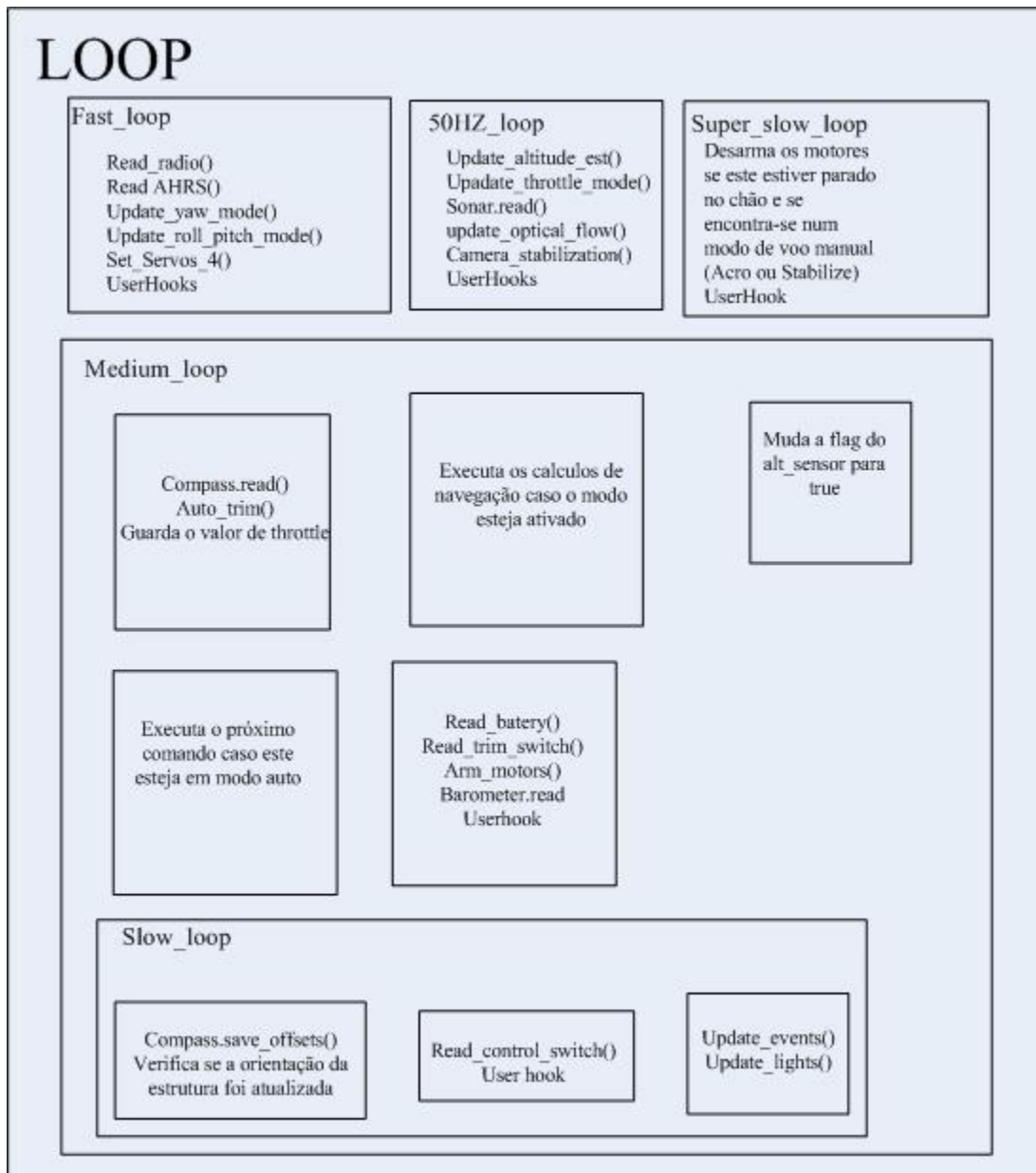


Figura 24 - Diagrama com as funções de cada subloop do loop principal

6-APM *Mission Planner*

O *Mission Planner* é um programa auxiliar de configuração do Arducopter que contém uma plataforma na qual conseguimos aceder aos valores dos sensores da placa APM, do terminal CLI, entre outros. O APM *Mission Planner* é utilizado para definir uma rota para o Arducopter seguir, usando *clicks* no Google Maps. É também utilizado como uma estação base para monitorizar o helicóptero e mandar comandos de voo através de um pc, permitindo seleccionar os comandos de voo através de *drop-down menus*. Verificar os valores de output dos sensores e testar a performance de voo em piloto automático, ou fazer *download* dos ficheiros *log* para análise posterior. O software permite também configurar a placa APM, escolhendo as estruturas de voo dos comandos de rádio e as afinações dos valores controladores PID (Propositional Integral Derivate). Permite a visualização do terminal da APM [51].

O *software* pode ser adquirido através do *link* da referência [52], escolhe-se a versão do *Mission Planner* de acordo com o tipo de arquitetura do computador utilizado (32 bits ou 64bits).

Após instalar o *software*, no canto superior direito ao abrir o ficheiro do *Mission Planner* encontra-se um *drop-down menu* que contém as portas necessárias para a ligação. Se for usada a porta USB é necessário escolher a porta COM designada pelo gestor de dispositivos do Windows. Quando liga-se ao *Mission Planner* o *baud rate* deve ser 115200 *bps*, para a conexão usb. Se a conexão for através do Xbee devemos indicar novamente a porta COM criada pelo gestor de dispositivos do Windows quando o Xbee foi ligado. Neste caso o *baud rate* deve ser de 57600 *bps*. A informação sobre quais as portas disponíveis, encontra-se no gestor de dispositivos do Windows [51].

Carrega-se no botão “connect” depois de se escolher a porta COM. A placa irá fazer reset por uns 20-30 segundos, irá conectar-se através do MAVLink e carregar os parâmetros da APM para o *Mission Planner*. A placa APM suporta por vários *softwares* de GCS entre os quais:

- ➔ Arducopter *Mission Planner* [51]
- ➔ Happykilmore GCS [53]
- ➔ Qground Control(mac, Linux e widows) [54]

6.1-O que é a *Ground Control Station*

Se se tiver um Xbee para comunicações *wireless* (através do *kit* de telemetria) configurado no Arducopter. É possível utilizar a *ground control station* (GCS) para monitorizar a telemetria e carregar comandos de voo. A GCS dispõe os dados em tempo-real da quando o helicóptero se encontra em voo e serve de *cockpit* virtual, mostrando um horizonte virtual assim com os de um avião real [55].

A GCS pode ser utilizada para controlar um UAV em voo, podendo carregar novos comandos de missão e repor parâmetros. É possível também visualizar o *stream* de vídeo das câmaras quando o UAV se encontra em voo, utilizando o um transmissor de vídeo ligado a um sistema OSD [55].

6.1.1-Utilizar o *Mission Planner ground station*

O mapa apenas apresentará a posição atual se o GPS estiver ativado e sincronizado, ou se estiver a usar um simulador de voo. O horizonte artificial funciona da seguinte forma, quando o arducopter se inclina para a direita, o horizonte inclina-se para a esquerda, isto pode ser verificado se inclinar a cabeça para a direita [56].

Através do *Mission Planner* é possível observar as mudanças do modo de voo assim como outros comandos quando este se encontra em voo. Essas mudanças devem ser feitas sobre o modo Autopilot para ter efeito. Se fizermos duplo *click* sobre o HUD (*Heads up Display*), abrirá uma nova janela com o seu conteúdo. Ao fazer-se duplo *click* sobre o *speed gauge* pode-se modificar a escala máxima da velocidade que se pretende ver. Ao ativar a *checkbox* de *tuning* é possível visualizar as variáveis de *status* num gráfico em tempo real [56].

É também possível selecionar ao fazer duplo *click* na legenda, e escolher que variáveis são apresentadas no gráfico. Em voo é possível fazer com que o Arducopter vá até onde se pretende, pressionando com o botão direito do rato no mapa, escolhendo a opção “fly to here”. Isto fará com que o Arducopter paire no local onde foi indicado, este modo de voo é

chamado modo guiado e só pode ser utilizado se existir um sistema de telemetria que comunique entre o Arducopter e o programa em tempo-real [56].

O modo guiado é separado dos outros modos e uma vez selecionado no Arducopter, irá permanecer no ponto selecionado até que seja adicionado outro ponto em modo guiado ou até que seja escolhido outro modo de voo. No caso de outro modo de voo ser o auto, ele retomará a missão onde foi deixada [56].

6.2-Definição de *waypoints* através de um editor *point and click*

Para efectuar uma missão através do *Mission Planner*, é necessário escolher o separador “flight planner” e em seguida indicar a missão clicando no mapa. Podemos alterar os parâmetros dos *waypoints* conforme a missão pretendida. A altitude em voo é sempre relativa à altitude da descolagem. Se o Arducopter for lançado já no ar, essa altura será a sua altitude 0. O *default Alt* é a altura com que se inserirem os *waypoints*. Ao escolher a opção *Verify height* significa que o helicóptero usará a altura do relevo do Google Earth como altura de referência. Este modo é bom pois faz com que em modos de voo autónomos o Arducopter não vá de encontro a obstáculos, como por exemplo montanhas [57].

6.2.1-Comandos básicos de *waypoint*

Para definir a missão o *Mission Planner* tem como comandos básicos [57]:

- *Waypoint* - Tem como parâmetros o *delay*, a altitude, a longitude e a latitude. O *delay* é feito após o Arducopter chegar ao *waypoint*.
- *Loiter UnLim* - Este comando faz com que o Arducopter faça *loiter* na posição em que se encontra quando o comando é chamado.
- *Loiter_Time* - Tem como parâmetros o tempo, a altura, a latitude e a longitude. Este comando fará com que o Arducopter faça *loiter* durante o tempo especificado, na latitude, na longitude e altura especificada.
- *Loiter_turns* - Tem como parâmetros o número de voltas que o Arducopter fará. Este comando faz com que o Arducopter faça *loiter* na posição em que se encontra quando o comando é chamado.
- *Return_to_launch* - Este comando necessita que o GPS esteja ativo e sincronizado, faz com que o Arducopter regresse ao *waypoint home* com a altura indicada. Caso o

parâmetro esteja a zero, o Arducopter regressará ao *waypoint home* à altura em que se encontra.

- Land - Este comando fará com que o Arducopter aterre. Se o sonar estiver ativo, ele manterá a posição a uma altura de 3 metros e em seguida descerá. Neste comando os motores não param, sendo necessário mudar o modo de voo para Stabilize para poder desligá-los.
- Takeoff - Este comando tem como parâmetro a altura. O comando fará com que o Arducopter levante voo e mantenha a sua posição até a altura indicada nos parâmetros.
- Condition_delay - Tem como parâmetro o tempo em segundos. Este comando fará com que o próximo comando condicional tenha um igual ao indicado nos parâmetros.
- Condition_distance - Tem como parâmetro a distância em metros. Este comando fará com que o Arducopter cumpra uma condição quando a distância para o próximo *waypoint* seja a indicada.
- Condition_Change_alt - Tem como parâmetro a altura em metros. Este comando fará com que a altura indicada sobreponha a altura no próximo *waypoint*.
- Condition_yaw - Tem como parâmetros a direção e rotação no sentido dos ponteiros do relógio (valor 1) ou então ao contrário (valor 0).
- Do_jump - Este comando faz com que o helicóptero salte o comando para um *waypoint* com o índice indicado nos parâmetros. Tem como parâmetros o índice do comando pretendido e o número de vezes que deve ser executado o salto.
- Do_Change speed - Muda a velocidade e mantê-la-á configurada até ser novamente reiniciado.
- Do_set_relay - Este comando liga ou desliga o relé existente na placa APM (placa azul).
- Do_set_servo - Este comando faz mover o servo e tem como parâmetros o canal e o valor de PWM.
- Do_repeat_servo - Este comando é semelhante ao anterior podendo indicar-se quantas vezes o comando repete, assim como a velocidade. Tem como parâmetros o canal, o valor de PWM, o número de repetições e o tempo do ciclo em segundos.

6.2.2-Carregar um voo autónomo para a placa APM quando não dispomos de um sistema de telemetria sem fios

Assim que a missão esteja realizada, pressiona-se “Write WPs” para que a missão seja guardada na EEPROM da placa APM. É possível verificar se tudo está em ordem ao carregar-se em “Read WPs”.

Também é possível guardar múltiplos ficheiros de *waypoints* no computador utilizando o botão “Save WP file”. Para se aceder aos ficheiros gravados no disco do PC utiliza-se o botão “Load WP file” [57].

6.3-Fazer *download* e análise dos ficheiros *log*

No separador “Telemetry Logs”, se se utilizar o Xbee ou outro sistema de telemetria sem fios ligado ao *Mission Planner*, é possível gravar os relatórios do voo num ficheiro *tlog*. Este ficheiro encontra-se no *Mission Planner* na pasta de *log*. É também possível fazer o *download* de ficheiros *logs* assim como convertê-los num ficheiro KML que pode ser visualizado no Google Earth. Estes encontram-se também na pasta de *log* [58].

6.3.1-Fazer *download*

Deve-se assegurar que se seleciona a porta COM correta ao conectarmos a placa ao *Mission Planner*. Seleciona-se o *log download* do separador “terminal” do *Mission Planner*, então aparecerá uma lista com os *logs* que se encontram em memória. Esses ficheiros podem ser selecionados de forma individual, ou todos de uma vez. Pode-se ainda obter os ficheiros *log* diretamente do CLI escrevendo “dump -1” [58].

6.3.2-Analisar os ficheiros *log*

Para analisar os ficheiros basta clicar no ficheiro pretendido e abrirá o *Log Browser*. Ao princípio parece um pouco confuso perceber como está estruturado mas a estrutura é feita da seguinte forma [58]:

- As primeiras 256 linhas são os comandos e após essas linhas o *log* alternará entre attitude (valores dos acelerómetros) e GPS. Se o GPS for 0 significa que o GPS não estava sincronizado nessa altura.
- Cada linha representa um *data log* que é feito várias vezes por segundo.

- Os dados mais importantes são os de attitude, está dividido em 3, nomeadamente, *roll*, *pitch* e *yaw*. Clicando na célula aparecerá um gráfico com a variação dos valores respetivos.

Para mais informações de como analisar os ficheiros *log* encontra-se na referência [59]

6.4-utilização de um *gamepad* /*joystick* para controlar o Arducopter manualmente em vez do controlo remoto

O Arducopter permite que se controle o helicóptero utilizando um *joystick*, enviando os comandos através do Xbee, em vez de utilizar o sistema de controlo remoto. Para isso são necessários os seguintes equipamentos [60]:

- Um sistema de telemetria sem fios como o Xbee.
- Um *joystick* ou *gamepad* com ligação USB.
- Um portátil na área de voo.

O *Mission Planner* facilita a configuração dos comandos do *joystick* ou do *gamepad*. É recomendado ter o controlo remoto ligado, pois no caso de alguma perda de sinal o controlo remoto assumirá o comando. Assim que o comando esteja ligado, seleciona-se o botão “*joystick*” (que se encontra no separador “*flight data*”), então abrirá uma janela que permitirá configurar os botões do comando. Para configurá-los é necessário [60]:

- Clicar em “Auto Detect” e mexer os *sticks* ou botões do comando de forma a configurá-lo.
- Pode-se inverter os eixos fazendo *check* na *checkbox* “reverse.”

Quando tudo estiver configurado clica-se em “enable” e o *Mission Planner* fará com que o comando configurado assuma o lugar do controlador manual. As restantes funções mantêm-se. Se carregar em “Save ” o sistema guardará as configurações, sendo designar modos autopilot através dos botões do comando.

6.5-Scripting em Phyton

No *Mission Planner* é possível executar *scripts* em phyton, de forma a programar o Arducopter facilmente. Para aceder e executar o *script*, deve-se carregar no botão “Script”

(que se encontra no separador “flight data”), escrever o *script*. Ao fechar abrirá uma janela indicando se se quer executar o *script* ou não.

Além dos comandos do *python* existem os comandos que são específicos do *Mission Planner*, sendo eles [61]:

- `cs.????` – estado atual, qualquer variável no separador “status” do *Mission Planner* pode ser usada onde se encontra os `????` de forma a saber o seu valor.

O Script tem como opções:

- `Script.Sleep (ms)` – faz uma pausa no processamento durante os milissegundos.
- `Script.ChangeParam (nome,valor)` – muda o valor do parâmetro.
- `Script.GetParam (nome)` – obtém o valor do parâmetro.
- `Script.ChangeMode (modo)` – muda o modo de voo.
- `Script.WaitFor (string,tempo)` – imprime a string espera o tempo especificado no comando.
- `Script.SendRC(canal,pwm,sendnow)` – envia um sinal pwm para o canal e o `sendnow` é uma variável booleana.

6.6-Controlo através do terminal CLI

Não é necessário usar o *Mission Planner* para fazer a configuração do helicóptero. O modo CLI pode ser usado em qualquer terminal série, disponível em qualquer sistema operativo. O modo CLI serve também para definir funções, como escolher os modos de voo desejados, que serão utilizados no *control switch* do rádio (botão de 3 posições). É possível entrar no modo CLI através do terminal do *Mission Planner* carregando no separador “terminal” [62].

Dentro do modo CLI pode-se sempre escrever o comando “help” de forma a obter-se a lista de todos os comandos disponíveis. Existem 4 tipos de menu de nível topo [62]:

- Setup – Um menu para configurações.
- Log – Um menu para a gestão dos ficheiros log.
- Test – Um menu para testar sensores.
- Planner – Um menu recente que ainda está em desenvolvimento.

Cada um destes menus contém sub-menus cujos comandos podem ser novamente verificados pelo comando “help”.

Dentro do menu Setup temos os seguintes comandos [62]:

- Erase – Apaga os dados da EEPROM.
- Reset – Faz um reset à EEPROM e inicia os valores de fábrica.
- Radio – Guarda os valores limite dos vários canais do controlo remoto.
- Motors – Move os motores através do controlador do controlo remoto(mover o stick de *pitch* para cima fará mover o motor da frente, ao mover o stick de *pitch* para baixo fará mover o motor para de trás, ao mover o stick de *roll* para direita fará mover o motor da direita e assim sucessivamente).
- Level – Faz uma calibração nos valores do acelerómetros, neste helicóptero deve estar numa superfície nivelada.
- Modes – Faz a configuração dos modos de voo. Usa-se o stick de *roll* para escolher o modo de voo e a tecla *enter* para gravar as configurações.
- Frame – Configura a estrutura(em x ou +).
- Current – Ativa o sensor de corrente AttoPillot.
- Sonar – Ativa o sensor ultrassónico.
- Compass – Ativa o magnetómetro.
- Declination – Indica a declinação do magnetómetro em relação aos polos.
- Show – Apresenta uma lista com as configurações efetuadas.

Dentro do menu Log temos os seguintes comandos [62]:

- Dump – Descarrega o *log* com o número indicado, por exemplo “*dump (1)*” descarrega o *log* número 1.Caso o número seja 0, descarrega e apaga todos o *logs*.
- Erase – Apaga todos os *logs*.
- Enable – Ativa o log com o nome, por exemplo “*enable log1*” ativa o *log1*. Se se escrever “*all*” em vez do nome ativa todos os *logs*.
- Disable – Desativa o log com o nome, por exemplo “*disable log1*” desativa o *log1*. Se se escrever “*all*” em vez do nome desativa todos os *logs*.

Dentro do menu Test temos os seguintes comandos [62]:

- Pwm – Apresenta os valores PWM de todos canais enviados através do controlo remoto.
- Radio – Apresenta os valores de todos o canais do controlo remoto em graus.
- GPS – Apresenta os valores do GPS.
- Ins – Apresenta os valores da attitude(acelerómetros).
- Imu – Apresenta os valores da attitude(acelerómetros).
- Battery – Apresenta os valores da voltagem se existir um monitor de voltagem ligado.
- Tune – Não é atualmente usado.
- Relay – Liga e desliga o relé.
- Wp – Apresenta os valores dos waypoints gravados para a missão autónoma.
- Altitude – Apresenta a altura segundo os valores do barómetros que se encontra na placa APM oilpan(placa azul).
- Sonar – Apresenta os valores do sonar.
- Compass – Apresenta o ângulo de graus norte(norte=0);
- Optflow – Apresenta os valores do sensor de fluxo óptico

Existe um novo menu chamado Planner, que foi adicionado recentemente, não existe nenhuma documentação sobre a sua funcionalidade. Este menu apenas dispõe do comando:

- Gcs

Devido à falta de informação sobre este comando, não é aconselhável o seu uso.

6.6.1-Como configurar o Arducopter através do CLI

Faz-se o carregamento do *firmware* através do *Mission Planner* ou através do Arduino. Clica-se no separador para iniciar caso não tenha sido dada a *entry prompt* do CLI. Para aceder-se a cada um dos 3 menus escreve-se o nome do menu (Setup,Log, ou Test) e dentro de cada menu existem os vários comandos que estão indicados acima. Antes do primeiro voo deve-se seguir os seguintes comandos do menu Setup [62]:

- “Reset” de forma a limpar os valores anteriores para que não existam conflitos.

- Após fazer o *reset* liga-se o rádio e escreve-se o comando *radio*. Será pedido para mover os controlos deste e pressionar a tecla *enter* para gravar os valores máximos.
- Executa-se o comando “Level” com o Arducopter numa superfície plana.
- Executa-se o comando “Frame” que tem como estrutura padrão a estrutura em “x”. No caso de se querer a orientação como sendo em + deve-se indicá-la escrevendo o comando “frame +”.
- Executa-se o comando “Modes” para indicar os modos de voo no canal 5 do helicóptero, a seleção do modo é feita utilizando o *stick* de *roll*. O *stick* de *yaw* serve para indicar se o modo *simple* é ativo ou não. No controlo do canal 5 do rádio (botão de 3 posições) indicamos a posição para qual o modo é definido e quando estiver concluído clicamos na tecla *enter* de forma a guardar as configurações.
- Escreve-se “sonar on” para ativá-lo. Para escolher o modelo do sonar devemos escrever o comando “sonar 0,1 ou 2” para os modelos XL-EZ0, LV-EZ0 e XL-EZL0, respetivamente. O sonar disponível é o LV-EZ3, por isso deve-se escrever o comando “sonar 1”.
- Da mesma forma escreve-se “compass on” para ativar o magnetómetro.
- Escreve-se por exemplo “declination 14.25” para gravar a inclinação para a bússola. Para achar a declinação da bússola deve-se ir ao *link* disponível na referência [63] colocar a latitude, a longitude e a data. De seguida faz-se o cálculo da declinação e introduz-se esse valor.
- Por fim executa-se o comando “exit” para sair do menu Setup.

Escreve-se “Test” para entramos no menu Test e executa-se o comando “Radio” para se verificar os valores do rádio movendo os *sticks* de *roll* e *pitch*, como se encontra na secção 4.4.1, Para baixo e para a direita os valores devem ser aproximadamente de 4500 nos dois (*roll* e *pitch*), O *stick* de *throttle* deve ser entre os valores 0-800 e o *stick* de *yaw* os valores devem ser de -4500 se este estiver para a esquerda, e de 4500 se estiver para a direita.

Após estes passos o Arducopter está pronto para voo. Apesar destes passos poderem ser feitos através do modo CLI, é preferível fazê-los através do APM *Mission Planner*, visto este ter uma *interface* gráfica, facilitando os passos de configuração. As instruções Para a configuração estão descritas na secção 7.8.

7-Configurações Pré-voos

Este capítulo apresenta o uma serie de procedimentos a serem cumpridos antes de se efetuar um voo.

7.1-Como funciona o sistema do Arducopter

O Arducopter pode fazer 4 tipos de movimentos, um para cada canal de transmissão. Com a estrutura em + (que é a que se encontra definida no Arducopter usado), o seu comportamento em voo é o seguinte [8]:

O movimento *pitch* (em que o Arducopter inclina-se para a frente ou para trás), é feito aumentando a potência do motor oposto. Para andar para a frente, o Arducopter aumenta a potência do motor da parte de trás e vice-versa.

O movimento de *roll* (em que o Arducopter inclina-se para a esquerda ou para a direita), é feito aumentando a potência do motor do lado oposto. Para andar para esquerda, o Arducopter aumenta a potência do motor da direita e vice-versa.

O movimento de *yaw* (em que o Arducopter roda para a esquerda ou para a direita), é feito aumentando um par de motores. Para rodar para a esquerda é ativado o par que roda no sentido contrário (neste caso é o par de motores da esquerda e da direita). Para rodar para a direita é aumentado o outro par de motores (neste caso são os motores da frente e de trás).

O movimento de *throttle* (que faz o Arducopter levantar do solo), é feito aumentando a potência de todos os motores por igual. Quanto mais potência é aplicada nos motores mais alto o Arducopter sobe.

A figura 25 ilustra o texto acima, indicando os vários movimentos feitos pelo Arducopter.

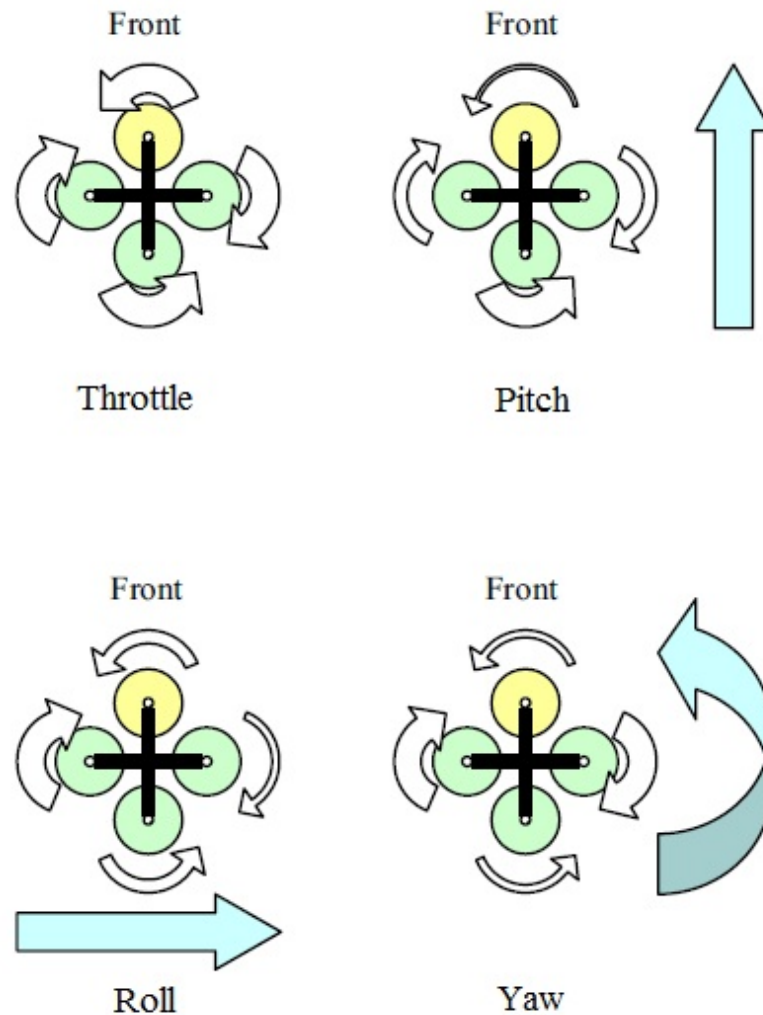


Figura 25 - Vários movimento possíveis para um *quadcopter* com estrutura em + [8]

7.2-Voo

O Arducopter permite os seguintes modos de voo [23]:

- **Acro:** este modo destina-se a voos acrobáticos (só deve ser utilizado quando temos grande domínio sobre o helicóptero), pelo que não é recomendado a principiantes.
- **Stabilize:** este modo tentará manter o Arducopter equilibrado. É um bom modo de voo para FPV (*first person view*), sendo que o valor dos *sticks* indicará o valor do ângulo que o Arducopter deve manter. O controlo dos ângulos é feito na ordem de 45° em 45°. O *yaw* manter-se-á na direção indicada, um movimento no *stick* de *yaw*

fará com que o helicóptero mude a sua rotação consoante o valor do *stick*. Largar o *stick* de *yaw* fará o helicóptero manter a nova posição.

- **Alt Hold:** é um modo semelhante ao Stabilize mas com a potência das hélices ajustada automaticamente de forma a manter a altitude. Essa altitude pode ser controlada levantando o *stick* de *throttle* (faz o helicóptero aumentar a altitude) ou baixando o *stick* de *throttle* (faz o helicóptero diminuir a sua altitude). Deixar o *stick* de *throttle* na posição de repouso, faz com que este mantenha a altitude.

Um dos cuidados a ter neste modo é com a sua desativação, pois o valor de *throttle* será o mesmo que o indicado no comando. Assim, quando este modo for desativado, o Arducopter pode subir ou descer rapidamente, causando assim um acidente.

Neste modo não é possível aterrar e parar os motores completamente (uma vez que este modo controla a altitude do helicóptero e não os motores). É aconselhável mudar o modo para o Stabilize e assim aterrar.

- **Simple:** este modo é o que é muitas vezes chamado de “*care free*” em outros *multicopters*. Permite o utilizador voar sem se preocupar com a orientação do helicóptero. Se nos controlos apontar-se o Arducopter para norte ele seguirá nessa direção. Este modo é muito útil para voos em que a sua visualização é dificultada pela longa distância.

Este modo pode ser sempre selecionado juntamente com qualquer outro modo de voo.

Quando se usa este modo deve-se primeiro armá-lo na orientação correta antes de se levantar voo. Assim quando se apontar o controlo para a frente ele deve seguir em frente e ao carregar-se para trás ele deve vir na direção oposta.

- **Auto:** este modo faz com que o helicóptero siga as instruções internas de *scripting* de forma a controlar as suas ações. As suas missões podem ser simples *waypoints* ou ações complexas como levantar voo, rodar várias vezes, tirar fotos, entre outros. Para aterrar é necessário outra vez mudar para o modo Stabilize, visto que no modo automático apenas controla-se a altitude e não os motores.

- **RTL:** Este modo permite que o helicóptero retorne à localização de início (ou seja *return to home location*). Este modo retorna à posição inicial com a mesma altura a não ser que seja especificado outro valor através do *Mission Planner*.
De forma semelhante ao modo Auto, não é possível aterrar neste modo, daí ter-se que mudar, por exemplo para o modo Stabilize.
- **Guided:** Este modo é semelhante ao RTL com a particularidade de se indicar a localização no mapa. Este modo apenas funciona se se tiver um *kit* de telemetria que permita que durante voo indicar o local pretendido.
- **Loiter:** Este modo serve para manter o voo na localização atual.
Como no modo Alt Hold, a altitude é controlada através do *stick* de *throttle*. Ao mudar-se a posição do *stick* do *roll* e do *pitch*, este modo fará controlar a posição do helicóptero.
- **Position:** É semelhante ao modo Loiter mas com *throttle* manual.
- **Circle:** Este modo serve para orbitar numa certa localização. É semelhante ao Loiter mas a parte da frente do helicóptero aponta sempre em direção ao centro.
No modo Circle a localização será o centro da órbita.
- **Follow Me:** É uma opção muito útil pois permite que o Arducopter siga uma localização de *waypoint* dinâmico. Para este modo é necessário ter um *kit* de telemetria, assim como dois dispositivos *Bluetooth*, um no GCS e outro no Arducopter. O Arducopter seguirá o portátil através do seu sinal de *bluetooth*.

Nota: os modos Auto, RTL e Guided apenas devem ser utilizados quando o GPS se encontra sincronizado.

7.3-Segurança

O Arducopter é uma máquina e, como em todas as máquinas podem existir falhas. As falhas podem ser, quer por parte do piloto, ou através do sistema *hardware/software* do equipamento [64].

Antes de qualquer voo é necessário ler os avisos disponíveis no manual, de como ligar os componentes e por exemplo retirar as hélices quando testamos os motores. Deve-se deixar uma distância de segurança, ao manobrar este tipo de equipamento, para que em caso de falhas não se por a vida de ninguém em risco [64].

Estas são as regras base para um voo em segurança [64]:

- Apenas ligar a bateria quando for para voo.
- Ter sempre o modo de voo Simple como uma das 3 opções do botão de 3 posições do rádio emissor. Por exemplo ventos fortes provocam desvios no movimento do helicóptero, principalmente a grande altitude. A utilização do modo de voo Simple evita que isto aconteça, pois este modo faz com que a sua orientação seja sempre a mesma.
- Enquanto não se dominar o voo manual e automático deve-se evitar os voos a alta velocidade e grande altitude. É normal perder o controlo do helicóptero quando este se encontra acima do nível das árvores, devido ao vento ser maior nessas regiões. Deve-se utilizar o helicóptero a baixa altitude (entre 2 e 3 metros), voar a baixa velocidade, em zonas amplas e estar constantemente a utilizar os modos Simple e RTL.
- Ao utilizar o controlo remoto não se deve fazer movimentos bruscos com os comandos (especialmente o *stick* de *throttle*). Se o dispositivo estiver bem calibrado deve-se apenas fazer movimentos pequenos e suaves. O helicóptero deverá manter-se mais estável na horizontal se não se utilizar os restantes comandos.
- Ao assumir que os motores estão armados deve-se dar um toque suave no *throttle*, para confirmar se os motores estão armados.
- Verificar sempre se o helicóptero está a estabilizar-se corretamente.
- Evitar voar a grande altitude com pouca bateria.
- Com FPV (*first person view*) deve-se utilizar os modos Simple, Stabilize e RTL, mas devemos testar primeiro o RTL.
- Se perder a orientação do *yaw* no modo Stabilize, deve tentar voar apenas para a frente e utilizar o *yaw* para virar (como se se tratasse de um carro por controlo remoto).

7.4-Armar e desarmar os motores

Para que os motores não se ativem acidentalmente quando transporta-se o Arducopter, existe uma espécie de código de forma a poder usá-los (armar) e voltar a bloqueá-los (desarmar) quando não for necessário o seu uso. Antes de armar os motores, deve-se ter o

cuidado de não ter nem pessoas nem objetos perto das hélices. Deve-se armar o Arducopter apenas num espaço aberto e livre de todo o tipo de obstáculos. Liga-se a bateria de *LiPo* e espera-se até que a placa APM reinicie, mostrando os *leds* verde e vermelho a piscar. Caso se tenha os 4 fios que contêm o sinal dos motores desconectados dos *pins* de *output* da placa APM, os motores tentarão rodar e estarão constantemente a apitar [65]. Para armarmos os motores deve-se ligar os 4 fios à placa como mostra a figura 26 do anexo B.5.

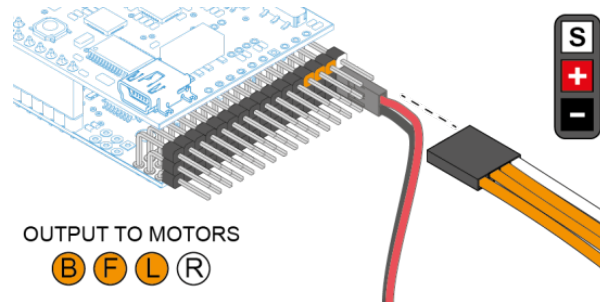


Figura 26 – Ligação do cabo de sinal dos motores à APM [66]

A armação é feita segundo o modo do rádio transmissor. O rádio disponível já se encontra configurado no modo 2, como se pode ver na figura 27. Para armar os motores neste modo deve-se apenas mexer no *stick* da esquerda, todo para baixo e todo para a direita durante 2 segundos, sendo que se pode verificar que está armado olhando para o *led* verde da placa que estará ligado [65].



Figura 27 - Indicação dos comandos do controlo remoto em modo 2 [65]

Para desarmar é semelhante, mas em vez do *stick* estar posicionado todo para a direita, este deve estar posicionado todo para a esquerda durante 2 segundos. Pode-se verificar que o Arducopter encontra-se desarmado, verificando se o *led* verde encontra-se intermitente [65].

Nota: Apenas se pode armar e desarmar os motores do Arducopter caso este se encontre no modo de voo manual (Acro ou Stabilize). Nos restantes modos não é possível desarmar ou armar os motores [65].

7.5-Calibrações dos acelerómetros através do controlo remoto

De forma semelhante à armação e desarmação dos motores, caso a armação seja feita durante 20 segundos, ativa-se um modo especial usando o modo Stabilize que dura 45 segundos voando a cerca de 1,20 metros do chão. Este modo fará a calibração dos acelerómetros em pleno voo, deve-se mantê-lo nivelado. Uma vez que este esteja equilibrado deve-se aterrar o Arducopter e esperar até que os 3 *leds* deixem de fazer ciclos (piscando um após o outro) [65].

No caso de se manter o comando da função de desarmar o Arducopter por cerca de 15 segundos, ele fará a recalibração dos acelerómetros. O Arducopter deve-se encontrar numa superfície nivelada para que a calibração dos acelerómetros esteja correta [65].

7.6-Primeiro Voo

Deve-se assegurar que o modo de voo do controlo remoto está em Stabilize e lentamente aumentar o *throttle* até que o helicóptero esteja a alguns centímetros do chão. Se por acaso parecer que o helicóptero vai virar, ou não está a levantar de forma estável é melhor aterrá-lo. De seguida, deve-se segurá-lo com a mão, equilibrando-o no ar com as hélices afastadas do corpo aumenta-se o *throttle* aos poucos para ter noção de como o *quadcopter* se comporta [65].

Ao mover nos controlos o helicóptero inclina-se nas direções pretendidas? Se o helicóptero não corresponder aos comandos, isso pode significar que existe alguma má configuração dos motores, ou que os motores não se encontram corretamente ligados, ou que o recetor dos canais do controlo remoto tenha os canais mal configurados. No caso de o Arducopter

não voar da forma desejada é sempre bom rever o equipamento, a fim de verificar se tudo está corretamente ligado [65].

7.7-Calibração dos controladores ESC

Para que o helicóptero consiga levantar voo de forma estável é necessário fazer uma calibração aos controladores ESC de forma a que todos os motores se liguem ao mesmo tempo. Alguns controladores ESC não se ligarão a não ser que recebam um sinal PWM suficiente. Devem-se configurar os controlos de rádio através do *setup* do modo CLI ou através do *APM Mission Planner* para que os ESC sejam ativados, caso contrário apenas ouvirá sons de *beeps* por parte do helicóptero e não calibrará nada [67].

Existem duas maneiras de calibrar: uma manual, feita sem falhas e que funciona sempre para todos os ESC; a outra automática, que funciona com grande parte dos ESC. Deve-se primeiro tentar a maneira automática, e então se esta não funcionar devemos executar a manual.

7.7.1-Calibração automática

Esta calibração é feita com todos os controladores ao mesmo tempo. Durante a calibração é recomendável retirar as hélices. A calibração executa-se segundo os seguintes passos [67]:

- Deve-se certificar que o cabo com 4 fios que vem da placa de distribuição de energia encontra-se ligado à placa APM corretamente (nos primeiros 4 pins de saída da placa). Este cabo é o que fornece o sinal proveniente da placa APM aos motores.
- Desconectar-se o cabo USB.
- Nos controlos deve-se meter o *throttle* alto e ligar a bateria para fornecer energia à APM.
- Quando a APM ligar, as luzes irão circular continuamente.
- Desliga-se a bateria e liga-se novamente. Um sinal alto de PWM será enviado para os controladores ESC acionando a calibração.
- Desloca-se o *stick* de *throttle* para o mínimo (todo em baixo). Deverá ouvir-se um *beep* ou dois de confirmação. Em seguida deve-se mover o *stick* de *throttle* e confirmar que todos os controladores estão a funcionar de forma sincronizada.

- Por fim deve-se desligar a bateria. Os controladores ESC já se encontram calibrados.

7.7.2-Calibração Manual

Ao contrário da calibração automática, esta deve ser feita de forma individual a cada controlador. Novamente recomenda-se retirar as hélices antes da calibração. Os passos são os seguintes [67]:

- Com a bateria desligada, liga-se os 3 conetores do ESC que se pretende calibrar ao canal de *throttle* do recetor de controlo remoto.
- Liga-se o transmissor de rádio e aumenta-se o *stick* de *throttle* para o máximo.
- Liga-se o ESC à bateria.
- Deverá ouvir-se uma nota musical e de seguida dois *beeps*. Depois dos dois *beeps* deve-se largar o *stick* de *throttle*. De seguida irá ouvir-se um número de *beeps* (equivalente ao número de células da bateria, que neste caso é de 3) e depois um longo indicando que o ESC está calibrado.
- Deve-se então desligar a bateria e repetir o processo para os restantes controladores ESC.
- Caso um controlador ESC não calibre, deve-se inverter o canal de *throttle* pois deve estar ao contrário.

7.7.3-Testes

É necessário efetuar pequenos teste de voo após a calibração, para confirmar que tudo se encontra em ordem. Após estar tudo ligado corretamente assim que a placa iniciar, armamos os motores pondo o *stick* de *yaw* no máximo para a direita durante 2 segundos, de seguida deve-se dar uma pequena quantidade de *throttle*. Espera-se que todos os motores rodem à mesma velocidade e comecem ao mesmo tempo [67].

7.8-Afinações dos parâmetros do controlador PID

O controlador PID é um mecanismo que serve para controlar vários dispositivos eletrónicos [68]. O controlador tenta ajustar os valores de *input* de forma a que o valor de *output* medido seja o mais próximo do desejado, sendo que para tal, utiliza 3 variáveis uma proporcional, uma integral e outra derivada do erro (diferença entre o valor de *output* e o

valor desejado). Na proporcional o controlador utiliza a variável para diminuir o erro segundo o erro atual. Na integral o controlador tenta chegar ao valor desejado através do conjunto de erros passados, diminuindo assim o tempo até chegar ao valor desejado. Na derivada o controlador, segundo o conjunto dos vários erros, tenta prever erros futuros. Por vezes pode-se dispensar o uso de certos termos, ficando apenas com controladores: PI, PD, P ou I, sendo o mais comum o PI, pois o termo da derivada é suscetível a medições de valores com ruído. No separador “configuration” do Mission Planner é possível afinar os parâmetros do controlador PID do Arducopter para que, por exemplo, no caso de utilizar-se um modelo que não seja oficial do Arducopter, possam-se alterar os parâmetros PID para que o helicóptero se torne mais estável [69]. No anexo D são apresentadas as possíveis afinações para que o controlo do Arducopter seja feito, sem oscilações e com um tempo de resposta menor.

7.9-Primeira configuração do Arducopter

A APM1 necessita de estar conectada a uma bateria externa. É possível usar o USB e a bateria ligados ao mesmo tempo sem problemas. Antes da configuração é aconselhável retirar o cabo de sinal dos motores da placa APM.

Para fazer o primeiro *setup* é necessário seguir os seguintes passos [70]:

- Abre-se o *Mission Planner* e clicar no separador “*Firmware*”.
- Clica-se em “connect” no canto superior direito. O *Mission Planner* irá tentar conectar através do MAVlink.
- Clica-se no botão “*APM Setup (Quad)*”, abrirá uma janela que passará por um processo de configuração.

Esse processo de configuração segue os seguintes passos [70]:

- Faz-se *reset* na placa – clicando no separador terminal, inserir o seguinte comando – *setup* e de seguida escreve-se “*reset EEPROM*”.
- Calibra-se o transmissor do controlo remoto – aparecerá uma janela com os vários comandos de voo com barras verdes e linhas vermelhas de forma a indicar os limites de cada comando (*Pitch*, *Roll*, *Yaw* e *Trottle*). Quanto ao comando de *pitch*,

é preferível selecionar a opção de *reverse* para inverter o controlo de *stick* de forma a ser mais intuitivo ao utilizar o controlo remoto (ao fazer *pitch* para a frente no *stick* do controlo remoto, este fará o Arducopter andar para a frente).

- Configura-se os modos de voo – É possível configurar os vários modos de voo através do botão de 3 botões de posições do controlo remoto, através de *comb-boxes*. É importante utilizar pelo menos um modo de voo manual como o modo *Stabilize* para um dos modos de voo.
- Configura-se o *hardware* – Nesta parte é possível indicar que sensores estão ligados, apenas selecionando os necessários.
- Configura-se a orientação da estrutura se em + ou em x – é possível selecionar a orientação desejada e existe ainda um botão “*level*” para calibrar os acelerómetros. Ao carregar no botão devemos garantir que o Arducopter encontra-se numa superfície nivelada.
- Antes de começar o voo é necessário calibrar os controladores ESC (secção 7.7) e verificar se as hélices e a direção da rotação correspondem à estrutura em que se encontra. De seguida deve-se saber armar e desarmar os motores com o *stick* de *yaw*. Para armar os motores é necessário meter o *stick* de *throttle* a 0 e o de *yaw* todo para o lado direito durante cerca de 2 segundos. Para desarmar é semelhante mas o *stick* de *yaw* deve estar todo para o lado esquerdo (secção 7.4).

7.10-Failsafe

O sistema de *failsafe* é um sistema que serve, por exemplo no caso de o controlo remoto estar fora do alcance, o helicóptero conseguir lidar com a situação (regressando à sua posição *home*). Para ativar o sistema de *failsafe* é necessário definir o parâmetro `THR_FAILSAFE` a 1 (a 0 para desativá-lo).

Caso seja ativado o *trigger* de *failsafe*, o Arducopter levantará uns 10 metros, regressará à posição de *home* e aterrará após 20 segundos. Este modo só funcionará caso o GPS se encontre sincronizado. Por medidas de segurança o sistema de retornar à base só funcionará caso o helicóptero esteja armado e esteja cerca de 10 metros da sua posição de *home*. Ao utilizar este modo é necessário não desligar o controlo remoto acidentalmente, pois ele irá aumentar a sua altitude em 10 metros e pairará na posição em que se encontra. O modo de

failsafe é ativado quando o recetor manda para a placa pouco sinal de *throttle*, por exemplo quando o rádio emissor é acidentalmente desligado [71].

Ao usar o modo auto, existem dois modos de *failsafe*: No modo 1 quando o parâmetro THR_FS_ACTION está definido para 1, indica que ao haver uma falha por parte do recetor o Arducopter deve regressar à posição *home*; O modo 2 em que o parâmetro THR_FS_ACTION está definido como 2, caso ocorra uma falha por parte do recetor (por falta de sinal ou mau funcionamento) e este estiver em modo auto o Arducopter deve continuar a missão [71].

8-Voos de teste e resultados

Neste capítulo será feito um pequeno resumo, dos vários voos de teste efetuados, assim como as conclusões e melhorias sobre o equipamento.

Os voos de teste foram feitos em dois locais:

- Dentro da Universidade, no piso -2.
- No parque de estacionamento da Universidade, perto da cantina.

O primeiro objetivo foi testar os passos de configuração dos primeiros voos que se encontram indicados na secção 7.8. Após se efetuarem esses passos foi efetuada à calibração dos motores. O primeiro voo foi realizado dentro da Universidade, os motores foram armados e os comandos testados. O Arducopter parecia estar bem configurado a nível de estrutura e comandos. No primeiro voo foram obtidos os seguintes resultados:

- O Arducopter voou como era suposto e no que diz respeito a fazer *pitch*, *roll*, *yaw* e *throttle* todos os comandos respondiam corretamente.
- Era difícil, em voo saber onde se encontrava a parte da frente do Arducopter, visto este ser simétrico em todos os braços.
- Também tornava-se difícil controlar o *stick* de *throttle* após o equipamento levantar do chão, e este não permitia uma aterragem suave, por vezes levantando o Arducopter ainda mais, em vez de o baixar.
- Outra observação resultante do primeiro voo foi que, devido às pernas provenientes no *kit* serem muito próximas do seu centro, estas faziam com que em voos de baixa altitude, ao se querer deslocar o Arducopter, este inclinava-se e tocava de raspão com as suas hélices no chão, partindo-as (figura 28).



Figura 28 - Helicóptero inclinando-se ao andar numa direção

Como já foi sido referido na secção 4.2, o trem de aterragem original era muito pouco fiável, pois ao mínimo toque com o solo fazia com que as hélices se inclinassem para o chão e além disso mostravam ser um material muito frágil.

Perante os primeiros resultados, foram pensadas novas alternativas relativas à estrutura, nomeadamente o trem de aterragem e as hélices. Foram então alteradas as pernas do helicóptero, das originais, para umas impressas na impressora 3D do laboratório. Quanto às hélices, foram encomendadas 2 hélices pretas e duas verdes. Para testar novamente o helicóptero em voo foram usadas as hélices de outro Arducopter (umas hélices duas polegadas maiores que as que existiam anteriormente), a fim de verificar se as novas pernas criadas serviam para o propósito.

Após o segundo voo os resultados obtidos foram os seguintes.

- Em voos de baixa altitude as novas pernas faziam com que este não se inclinasse tanto para a frente (visto elas encontrarem-se mais perto dos motores).
- Com o uso das hélices do outro Arducopter, o voo tornava-se mais estável do que com as hélices menores.
- Novamente, ao aterrar de uma altura considerável (cerca de 1 metro) tornava-se difícil o controlo para uma aterragem suave. Este mau controlo implicava a quebra de uma ou duas pernas.

Conclui-se por isso que novos meios tinham de ser usados, de forma a evitar a aterragem brusca. Foi então pensada na instalação de um sonar para que a baixa altitude, o sonar ajudasse a manter a altura. Então foi criada uma estrutura de montagem para o sonar na impressora 3D, para ser colocada no Arducopter. O sonar foi disposto de maneira a que fosse facilmente adaptado, para que quando não fosse necessária a sua utilização, este pudesse ser facilmente retirado.

Quando a encomenda com as novas hélices chegou, as anteriores foram substituídas. Para tentar resolver o problema de se conhecer a parte da frente do Arducopter, foi então posta na parte da frente uma hélice verde ficando as restantes hélices a preto (figura 29). Após a instalação do sonar na placa, foi testado o modo de voo Alt Hold.



Figura 29 - Nova disposição das hélices

Durante o voo não foi possível designar o modo de voo Alt Hold, pois o botão de 3 posições não estava a controlar o canal 5. Dentro do menu do emissor de rádio controlo era possível definir certos comandos auxiliares para o canal 5, mas não era possível designar o botão de 3 posições para esse canal. A solução para este problema foi designar um outro controlo para o canal 5, a fim de testar se alterava o modo de voo. O comando escolhido foi o *pitch trim* que é indicado na figura 30.

Controlo
modo de voo



Figura 30 - Botão utilizado para mudar o modo de voo do Arducopter

Ao ser testado novamente, os resultados foram os seguintes:

- A aterragem e a descolagem eram feitas com muito mais fluidez, não aterrando tão bruscamente.
- O Arducopter não mantinha a sua posição, fazendo certos desvios.
- O Arducopter quando se encontrava no modo Alt Hold, ao aterrar as suas hélices não paravam de girar, sendo necessário alterar o modo para Stabilize, para que este parasse os motores e que pudesse ser desarmado.
- Durante o voo no parque de estacionamento, o Arducopter sofreu a influência do vento (figura 31). Apenas com o comando para levantar voo, este sofria um desvio enorme desde a posição em que se encontrava inicialmente.
- O botão para o controlo do modo de voo é um botão semelhante a um potenciómetro, em que se pode designar os valores rodando para a direita ou para a esquerda, de forma a escolher o modo de voo. Por vezes o valor em que se encontrava não era preciso, além de que a sua transição de um modo para o outro levava mais tempo, do que se fosse o caso do botão de 3 posições.



Figura 31 - Arducopter em voo no modo Alt Hold

Para o último voo foi pensado o uso de um método de voo automático, em que fosse definida uma missão. Então foi carregada uma missão (secção 6.2) que fizesse o Arducopter levantar voo para uma altura de cerca de 3 metros, mantivesse a sua posição e regressasse ao ponto onde estava quando descolou, caso o Arducopter desviasse por influência do vento. Mas, visto que o espaço onde era para ser testado era no parque perto da cantina da Universidade da Madeira, e isto implicava que no caso duma coordenada errada de GPS o Arducopter embatesse contra um carro ou o edifício, em vez do modo Auto (onde existia uma missão indicando os *waypoints*) foi utilizado o modo RTL. Assim, quando o Arducopter estivesse uns metros fora de rota ele regressaria autonomamente, com a mesma altura ao local onde havia descolado.

Infelizmente ao levantar o voo no modo Alt Hold, possivelmente devido ao vento que se fazia sentir no local, o Arducopter perdeu o controlo e embateu no chão violentamente, danificando algumas hélices e partindo as suas pernas.

Não foi possível efetuar mais voos de teste, visto não existir a possibilidade de substituir as peças em tempo útil.

9-Conclusões e trabalhos futuros

Neste capítulo será apresentada as conclusões e contribuições do projeto assim como as perspectivas futuras.

9.1-Conclusões

Nos objetivos, tinha sido enunciado que se pretendia realizar a criação de pequenos programas e o seu desenvolvimento em termos de modos de voo autónomos. Devido a um lapso por parte dos CTT parte da encomenda foi reenviada ao fornecedor. Sendo que esta continha componentes chave para o uso do helicóptero (carregador e controlo remoto). Esses elementos apenas chegaram a 10 de julho de 2012, e devido a este acontecimento, não foi possível fazer grandes desenvolvimentos no Arducopter.

Apesar desse curto tempo para ensaios, foi possível fazer vários voos e reter certas observações importantes para o bom funcionamento do equipamento. Por outro lado, todo o trabalho de pesquisa, instalação e configuração foi compilado nesta tese. Assim, quando for necessário desenvolver outro projeto, utilizando o Arducopter, já não será necessário fazer toda uma pesquisa exaustiva, a fim de verificar como funciona, como se instala e como se controla o equipamento em voo.

9.2-Contribuições

Esta tese tem como principais contribuições o uso de equipamento de diversas áreas, como a robótica, a informática e a eletrónica. Dispondo agora da estação de testes para o Arducopter, quem necessitar de fazer um projeto nesta área, apenas tem que se preocupar com os voos de teste, melhorias de voo e adaptação de novos sensores. Todas as restantes informações relativas à montagem, descrição de *hardware*, descrição de *software* e de como controlar o Arducopter em voo, têm apenas de ser consultadas nesta tese.

9.3- Trabalhos futuros

Relativamente aos problemas sentidos nos voos de testem, como por exemplo com as pernas que se partiam, talvez fosse de melhorar esse tipo de estrutura, colocando por exemplo uma esponja na sua base, de forma a absorver mais o impacto, no caso de uma queda.

Quanto ao sonar, o facto de este ser facilmente descartável fazia que com as vibrações este se desconectasse. Para resolver este problema o melhor seria soldar o equipamento à placa de forma definitiva, evitando que este voltasse a desconectar-se.

No que diz respeito ao local de testes, talvez fosse mais indicado realizar os voos num local mais isolado, espaçoso e de preferência com um relvado, de forma a não danificar tanto o trem de aterragem ou o próprio helicóptero.

Por outro lado, seria bom arranjar mais equipamentos extra, como hélices suplentes e pernas do trem de aterragem, para não se ter a pressão de só existir aquele material, e no caso de uma queda, não ter-se que esperar por uma nova encomenda.

No futuro seria também bom a implementação de um sistema de telemetria, de forma a se poder controlar o voo através de um GCS, receber o estado dos seus sensores e alterar a missão em tempo-real. Também a adaptação de um sensor de *optical flow*, permitiria um melhor voo no exterior, mesmo existindo vento, pois este sensor ajuda o helicóptero a manter a sua posição em voo.

Uma forma de não danificar tantas vezes as hélices poderia passar por arranjar uma estrutura que circundasse as hélices, permitindo com que estas não se partissem quando o Arducopter fosse de encontro a uma parede ou obstáculo.

Referências Bibliográficas

1. Fowers, S. G Fowers (agosto 2008), “Stabilization and control of a quad-rotor micro-uav using vision sensors”, Tese de Mestrado of Science.
2. Eisenbei, H. (2009). “UAV Photogrammetry”, dissertação de mestrado No. 18515, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland, Mitteilungen, Nr.105, p. 235.
3. DragonFly Innovations Inc, “Law Enforcement”. [Online] <http://www.draganfly.com/uav-helicopter/draganflyer-x6/applications/government.php> [acedido a: 20 de agosto de 2012].
4. Wegener, S. S., Schoenung, S. M., Totah, J., Sullivan, D., Frank, J., Francis, E., Frost, C., et al. (2004). “UAV Autonomous Operations for Airborne Science Missions”, in AIAA 3rd Unmanned Unlimited Technical Conference, Workshop and Exhibit, Artigo 2004-6416.
5. Knoth, C., Prinz, T., Loef, P. (outubro 2010), “Microcopter-Based Color Infrared (CIR) Close Range Remote Sensing as a Subsidiary Tool for Precision Farming”, In: Proceedings of the ISPRS Workshop on Methods for Change Detection and Process Modelling, Universidade Presss Cologne, Alemanha.
6. DragonFly Innovations Inc, “Aerial Photography & Video”. [Online] <http://www.draganfly.com/uav-helicopter/draganflyer-x6/applications>. [acedido a: 20 de agosto de 2012].
7. Srikanth, M. B., Dydek, Z. T., Annaswamy, A. M., Lavretsky, E. (2009), “A Robust Environment for Simulation and Testing of Adaptive Control for Mini-UAVs”, in American Control Conference ACC’09, páginas 5398–5403.
8. Weng, K. W., Abidin, M. S. B. Z. (2006), “Design and Control of a Quad-Rotor Flying Robot For Aerial Surveillance”, in 4th Student Conference on Research and Development (SCOReD), paginas 173–177.
9. Mellinger, D., Shomin, M., Michael, N., Kumar, V. (2010.), “Trajectory Generation and Control for Precise Aggressive Maneuvers with Quadrotors”, in International Experimental Robotics.

10. Roberts, J. F., Stirling, T. S., Zufferey, J.-C., & Floreano, D. (setembro de 2007), “Quadrotor Using Minimal Sensing For Autonomous Indoor Flight”, in 3rd US-European Competition and Workshop on Micro Air Vehicle Systems & European Micro Air Vehicle Conference and Flight Competition.
11. Bouabdallah, S., Becker, M., Siegwart, R. (setembro 2007), “Autonomous Miniature Flying Robots: Coming Soon!”, in IEEE Robotics & Automation Magazine,13(3).
12. Grisetti, G. Grzonka, S., Burgard, W. (2009), “Towards a navigation system for autonomous indoor flying”, in IEEE Int. Conf. Robotics and Automantion,Kobe, Japão.
13. Rafi, F., Khan, S., Shafiq, K., Shah, M. (maio de 2006), “Autonomous Target Following by Unmanned Aerial Vehicles”, in Proceedings of the SPIE.
14. Saripalli, S., Montgomery, J. F., Sukhatme, G. S. (maio de 2002), “Vision-based autonomous landing of an unmanned aerial vehicle”, in Proceedings 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No.02CH37292), volume 3, páginas 2799–2804.
15. Wenzel, K. E., Masselli, A., Zell, A. (2010), “A Quadrocopter Hovering Above a Person Wearing a Modified Cap”, in Proceedings of International Micro Air Vehicle Conference and Flight Competition, Braunschweig, Germany, páginas 1-7.
16. Ollero, a., Martínez-de-Dios, J. R., Merino, L. (15 de Novembro de 2006), “Unmanned aerial vehicles as tools for forest-fire fighting”, in Forest Ecology and Management, volume 234, página S263.
17. Restas, A. (2006), “Wildfire Management Supported by UAV Based Air Reconnaissance: Experiments and Results at the Szendro Fire Department”, in Proceedings of Eleventh Forest Service Remote Sensing Application Conference,Utah; American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, página 54.
18. Runge, H., Rack, W., Ruiz-Leon, A., Hepperle, M. (setembro de 2007), “A Solar Powered HALE-UAV for Artic Reasearch”, in 1st CEAS European Air and Space Conference, University of Canterbury , Gateway Antarctica , Christchurch , New Zealand.

19. Rinaudo, F., Chiabrand, F., Lingua, A., & Spanó, A. (1 de setembro de 2012), “Archaeological site monitoring: UAV photogrammetry can be an answer”, volume 39-B5, páginas 583–588.
20. Sauerbier, M., Eisenbeiss, H. (2010), “UAVS for the Documentation of archaeological excavations”, in IAPRS&SIS volume 38 (5), Newcastle upon Tyne, UK.
21. Brumana, R., Oreni, D., Alba, M., Barazzetti, L., Cuca, B., Scaioni, M. (2000), “Panoramic UAV views for landscape heritage analysis integrated with historical maps atlases”, páginas 1–8.
22. Mellinger, D., Shomin, M., Kumar, V. (outubro de 2010), “Control of Quadrotors for Robust Perching and Landing”, in Proceedings of the International Powered Lift Conference.
23. Arducopter, “Flight Modes” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_ModeSwitch. [accedido a: 16 de janeiro de 2012].
24. Uavision, “Aplicações das Plataformas não Tripuladas (UAV)” [Online] http://www.uavision.com/index.php?option=com_content&view=article&id=58&Itemid=182&lang=pt#Aero-Apps-Media [accedido a 28 de julho de 2012].
25. Nicol, C., Macnab, C. J. B. (2008), “ Robust neural network control of quadrotor helicopter”, in Canadian Conference on Electrical and computer Engineering , páginas 1233–1238.
26. Kemp, C. (2006). “Visual Control of a Miniature Quad-Rotor Helicopter”, tese de doutoramento, Universidade de Cambridge.
27. Mellinger, D., Shomin, M., Michael, N., Kumar, V. (2010), “Cooperative Grasping and Transport using Multiple Quadrotors”, in Proceeding of International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems.
28. Arducopter UK, “What do I need for my Arducopter multi-rotor UAV?” [Online] <http://www.arducopter.co.uk/what-do-i-need.html> [accedido a: 8 de fevereiro de 2012] .
29. Ardupilot-mega, “ArduPilot Mega hardware” [Online] <http://code.google.com/p/ardupilot-mega/wiki/HardwareDetails>. [accedido a: 20 de maio de 2012].

30. Ardupilot-mega, “The ArduPilot Mega Hardware” [Online] <http://code.google.com/p/ardupilot-mega/wiki/Hardware>. [acedido a: 20 de maio de 2012].
31. Ardupilot-mega, “The ArduPilot Mega IMU shield Hardware” [Online] <http://code.google.com/p/ardupilot-mega/wiki/IMUHardware>. [acedido a: 20 de maio de 2012].
32. DIY drones, “What are these switches?” [Online] <http://diydrones.com/forum/topics/what-are-these-switches?page=1&commentId=705844%3AComment%3A766906&x=1#705844Comment766906>. [acedido a: 15 de julho de 2012].
33. Arducopter, “LEDs and their meaning” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC_LED. [acedido a: 18 de agosto de 2012].
34. Arducopter, “The APM 2 Board” [Online] <http://code.google.com/p/arducopter/wiki/APM2board>. [acedido a: 14 de março de 2012].
35. Arducopter, “Measuring your battery voltage and current consumption with APM” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_Current. [acedido a: 14 de março].
36. Arducopter, “Assembling the ArduCopter airframe” [Online] <http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2Airframe>. [acedido a: 15 de novembro de 2011].
37. Arducopter, “Attaching the props to the motors” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_Props [acedido a: 16 de janeiro de 2012].
38. DIY drones, “ArduCopter Hexa with Heli landing gears and cameamount” [Online] http://diydrones.com/photo/arducopter-hexa-with-heli?xg_source=activity. [acedido a: 23 de junho de 2012].
39. DIY drones, “Announcing the ArduCopter 3DR Pre-order” [Online] http://diydrones.ning.com/profiles/blog/show?id=705844%3ABlogPost%3A589745&commentId=705844%3AComment%3A593845&xg_source=activity. [acedido a: 23 de junho de 2012].
40. Hobby King, “Heavy duty landing gear for quad/mikrokopter! IDEAS?” [Online] <http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=1318380>. [acedido a: 23 de junho de 2012].

41. Arducopter, “Using a magnetometer” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_Magnetos. [acedido a: 14 de março de 2012].
42. Arducopter, “Completing the ArduPilot Mega hardware” [Online] <http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2Assembly> [acedido a: 15 de novembro de 2011].
43. Arducopter, “Sonar” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_Sonar [acedido a: 14 de março de 2012].
44. Arducopter, “Choosing and loading the code” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/Quad_LoadingPage. [acedido a: 19 de maio de 2012].
45. Ardupirates, “Softwares_Building” http://code.google.com/p/ardupirates/wiki/Softwares_Building [Online][acedido a 28 de julho de 2012].
46. Arducopter, “Setting up to Program ArduCopter” [Online] <http://code.google.com/p/arducopter/wiki/ProgrammingSettingUp>. [acedido a: 19 de maio de 2012].
47. Arducopter, “Setting up your airframe” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_Frame_Assembly [acedido a: 20 de Julho de 2012].
48. Arduino, “Download the Arduino Software” [Online] <http://arduino.cc/en/Main/Software> [acedido a 28 de julho de 2012]
49. Arducopter, “Downloading and using the ArduCopter software with Arduino” [Online] <http://code.google.com/p/arducopter/wiki/Code>. [acedido a: 19 de maio de 2012].
50. Arducopter “Download: ArduCopter 2.6” [Online] <http://code.google.com/p/arducopter/downloads/detail?name=ArduCopter-2.6.zip> [acedido a: 14 de março de 2012].
51. Arducopter, “The Mission Planner utility” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_Mission. [acedido a: 15 de julho de 2012].
52. Ardupilot-mega, “Downloads” [Online] <http://code.google.com/p/ardupilot-mega/downloads/list> [acedido a: 14 de março de 2012]
53. Ardupilot-mega, “The ArduPilot Mega IMU shield Hardware” [Online] <http://code.google.com/p/ardupilot-mega/wiki/IMUHardware>. [acedido a: 20 de maio de 2012].

54. Ardupilot-mega, “QGroundControl” [Online] <http://code.google.com/p/ardupilot-mega/wiki/QGC>. [acedido a: 20 de maio de 2012].
55. Arducopter, “Using the Ground Station software” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_GCS. [acedido a: 15 de julho de 2012].
56. Arducopter, “Using the Mission Planner Ground Station” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_MPGCS. [acedido a: 15 de julho de 2012].
57. Arducopter, “Mission Planning” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_Waypoints. [acedido a: 15 de julho de 2012].
58. Arducopter, “Downloading and analyzing log files” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_Logs. [acedido a: 15 de julho de 2012].
59. DIY drones, “Useful tips for log analysis” [Online] <http://www.diydrones.com/profiles/blog/show?id=705844%3ABlogPost%3A801607> [acedido a: 15 de julho de 2012]
60. Arducopter, “Using a computer joystick/gamepad instead of RC for manual control” [Online] <http://code.google.com/p/arducopter/wiki/Joystick>. [acedido a: 15 de julho de 2012].
61. Arducopter, “Python scripting” [Online] <http://code.google.com/p/arducopter/wiki/Python>. [acedido a: 15 de julho de 2012].
62. Arducopter, “Using the Command Line Interpreter (CLI) to configure ArduCopter” [Online] <http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2CLI>. [acedido a: 15 de julho de 2012].
63. NOAA, “Estimated Value of Magnetic Declination” [Online] <http://www.ngdc.noaa.gov/geomagmodels/Declination.jsp> [acedido a 28 de julho de 2012]
64. Arducopter, “Safety” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_Safety. [acedido a: 20 de Julho de 2012].
65. Arducopter, “Flying ArduCopter” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_Flying. [acedido a: 16 de janeiro de 2012].

66. Arducopter, “Radio and APM wiring setup” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_Radio [acedido a: 15 de julho de 2012].
67. Arducopter, “ESC calibration” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_ESC. [acedido a: 16 de janeiro de 2012].
68. Wikipedia, “PID controller” [Online] http://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller [acedido a: 15 de julho de 2012].
69. Arducopter, “Tweaking ArduCopter parameters” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_Tweaks [acedido a: 15 de julho de 2012].
70. Arducopter, “First-time Setup” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_First. [acedido a: 16 de janeiro de 2012].
71. Arducopter, “AC2_Failsafe” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_Failsafe. [acedido a: 27 de julho de 2012].
72. YouTube, “How to Solder Bullet Connectors By Innov8tive Designs” [Online] http://www.youtube.com/watch?v=MnldHRTjre8&feature=player_embedded [acedido a: 15 de novembro de 2011]
73. Arducopter, “Soldering the motor connectors and power distribution board” [Online] <http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2PowerDistro> [acedido a: 16 de janeiro de 2012].
74. Arducopter, “Introduction” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_Motors [acedido a: 16 de janeiro de 2012].
75. Robot Shop, “Sharp GP2Y0A710K0F IR Range Sensor - 100 to 550cm” [Online] <http://www.robotshop.com/ca/sharp-gp2y0a710k0f-ir-range-sensor-100-to-550cm.html> [acedido a: 23 de junho de 2012].
76. Arducopter, “Optical Flow Sensor” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_OptFlow. [acedido a: 14 de março de 2012].
77. Arducopter, “Using wireless data modules for telemetry and in-flight commands” [Online] <http://code.google.com/p/arducopter/wiki/Telem>. [acedido a: 15 de julho de 2012].
78. Arducopter, “Using the 3DR Radio for telemetry with APM 1” [Online] <http://code.google.com/p/arducopter/wiki/APM13DRadio>. [acedido a: 15 de julho de 2012].

79. FTDIChip, “D2XX Direct Drivers” [Online] <http://www.ftdichip.com/Drivers/D2XX.htm> [acedido a 15 de julho de 2012].
80. Arducopter, “Using Xbee radios for telemetry with APM 1” [Online] <http://code.google.com/p/arducopter/wiki/APM1Wireless>. [acedido a: 15 de julho de 2012].
81. Arducopter, “Adding a pitch/roll camera mount” [Online] http://code.google.com/p/arducopter/wiki/AC2_Camera. [acedido a: 14 de março de 2012].
82. Arducopter, “Adding an On-Screen Display (OSD) board” [Online] <http://code.google.com/p/arducopter/wiki/OSD>. [acedido a: 14 de março de 2012].
83. Arducam-osd, “MinimOSD - Introduction” [Online] <http://code.google.com/p/arducam-osd/wiki/minimosd> [acedido a 14 de março de 2012].

Anexos

Anexo A-Manual de montagem do Arducopter

A.1-Montagem da placa Arduino

Material necessário para a montagem do núcleo do Arducopter (figura 32) [42]:

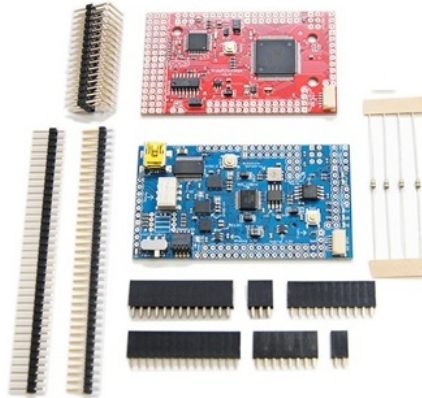


Figura 32- Kit de montagem da placa APM [42]

- ArduPilot Mega
 - ArduPilotMega IMU Shield (Placa Azul)
 - Arduino Compatible UAV Controller w/ ATmega2560 (Placa Vermelha)
 - 3x16 Right Angle Pin Headers
 - 2x Conn Header Male 36. Straight
 - Conn Header Female
 - 02 pos .1
 - 08 pos .1
 - 11 pos .1
 - 14 pos .1
 - 2x03 pos .1
 - 2x13 pos .1
 - 4 Resistências com um valor total de 3.9k ohm

Seguiram-se os seguintes passos [42]:

Começou-se por partir os *headers* macho (Conn Header Male 36. Straight) de forma a encaixar nas fêmeas correspondentes (Conn Header Female), figura 33.

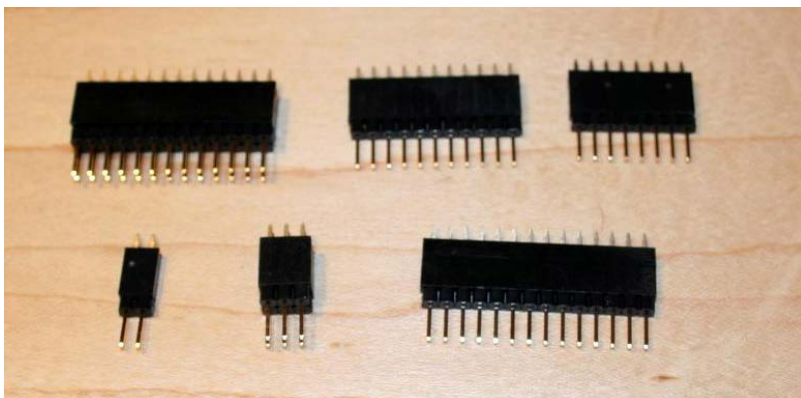


Figura 33 - Headers necessários [42]

Soldaram-se os *headers* de 90° (3x16 Right Angle Pin Headers) na placa vermelha, como apresentado na figura 34.

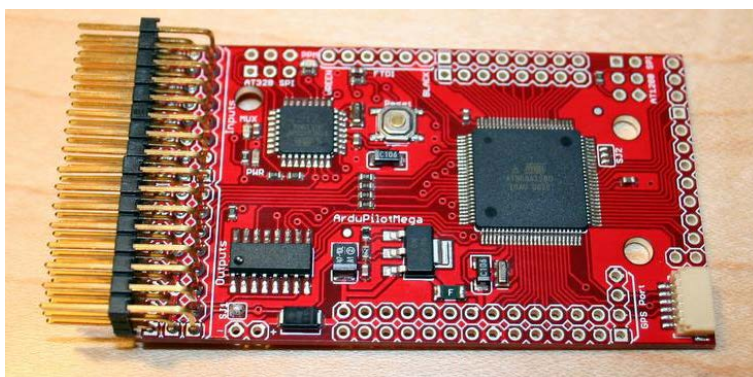


Figura 34 - Placa APM com os *headers* de 90° soldados [42]

Colocaram-se os *headers* macho como apresentado na figura 35.



Figura 35 - Colocação dos restantes *headers* [42]

Uniram-se os *headers* fêmeas aos machos, rodaram-se a placa 180° e soldaram-se os *pins*. Com cuidado de não esquecer nenhum, figura 36.

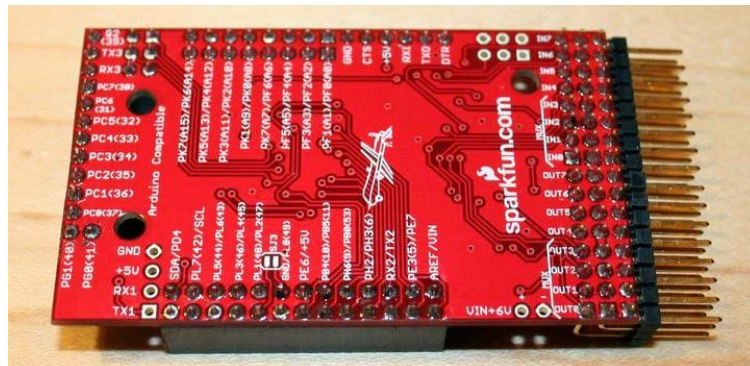


Figura 36 - Headers soldados na placa [42]

Voltou-se novamente a placa 180° e colocou-se a placa azul sobre a vermelha. Em seguida soldaram-se os *pins* à placa azul. Novamente com atenção para não esquecer nenhum dos *pins*. Soldaram-se as resistências nos locais conforme assinalado a vermelho na figura 37, de forma a servirem de divisores de tensão para sensores analógicos.

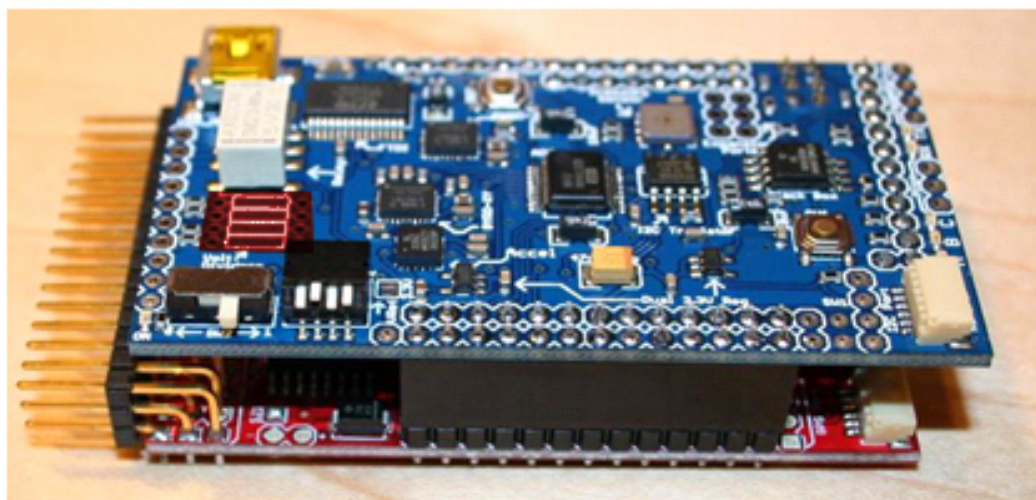


Figura 37 - Placa APM totalmente montada [42]

A.2-Soldagem dos conectores dos ESC (*Electronics speed controls*) (conector fêmea) e os conectores dos motores (Conector macho).

Para realizar esta tarefa foi necessário um ferro de soldar e solda. Para a melhor execução da tarefa deve-se usar uma tábua de madeira com um buraco com a espessura dos conectores. Colocou -se a manga termo retrátil no fio do conector, devem-se preencher os conectores com solda, ligar o fio ao conector e esperar que a solda solidifique [34]. Depois ajustar a manga termo retrátil ao conector, aplicar calor e esperar que a manga aperte. Em caso de dúvidas, recomendasse que se visualize o seguinte vídeo na referência [72].

A.3-Montagem da placa de distribuição de energia

Para a montagem da placa de distribuição de energia (*power distribution board*) é necessário soldar os *Right Angle Pin Headers* como mostra a figura 38.

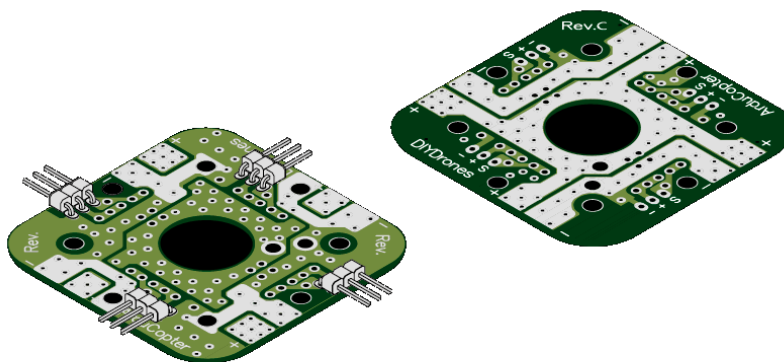


Figura 38 - Imagem ilustrativa de como soldar os *header pins* [73]

Recomenda-se que se Preencha a área assinalada a cinzento, da figura 39, com uma grossa camada de solda.

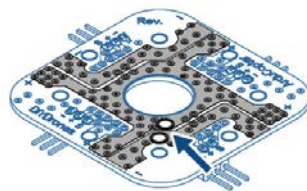


Figura 39 - Imagem ilustrativa de como preencher a placa com solda [73]

Em seguida foram soldados os cabos da alimentação da bateria, como apresentado na figura 40.

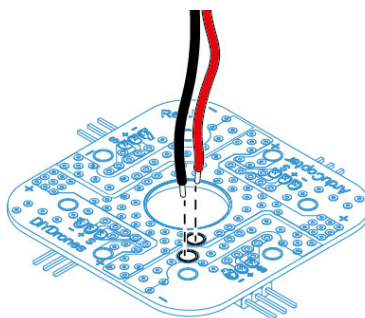


Figura 40 - Imagem ilustrativa de como conectar os cabos de alimentação da bateria [73]

De seguida soldaram-se os cabos que recebem os sinais dos controladores, tendo em atenção a orientação de como ligá-los, na figura 41 está assinalado correta de como ligar os cabos através as iniciais das direções (“t” para trás, “f” para frente, “e” para esquerda e “d” para direita).

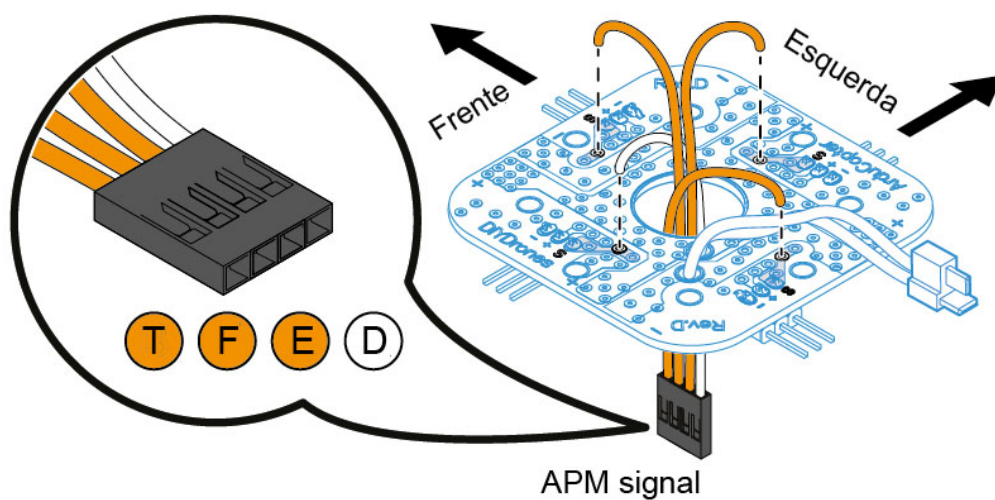


Figura 41 - Imagem ilustrativa de como soldar os cabos de sinal à placa de distribuição de energia [73]

Soldou-se depois os cabos de alimentação da placa APM, como pode ser observado pela figura 42.

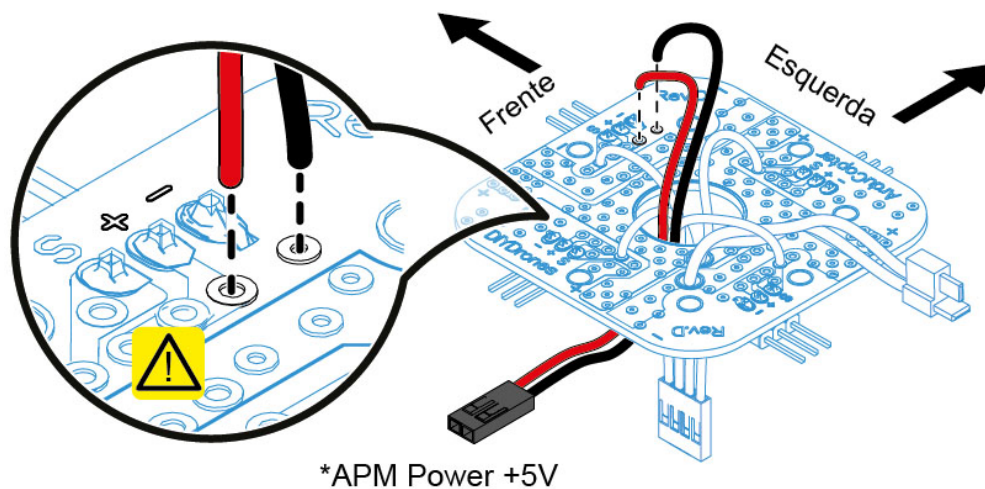


Figura 42 - Imagem ilustrativa de como soldar a alimentação da placa APM [73]

Finalmente, soldam-se os cabos dos controladores ESC à placa de distribuição de energia, como apresentado na figura 43.

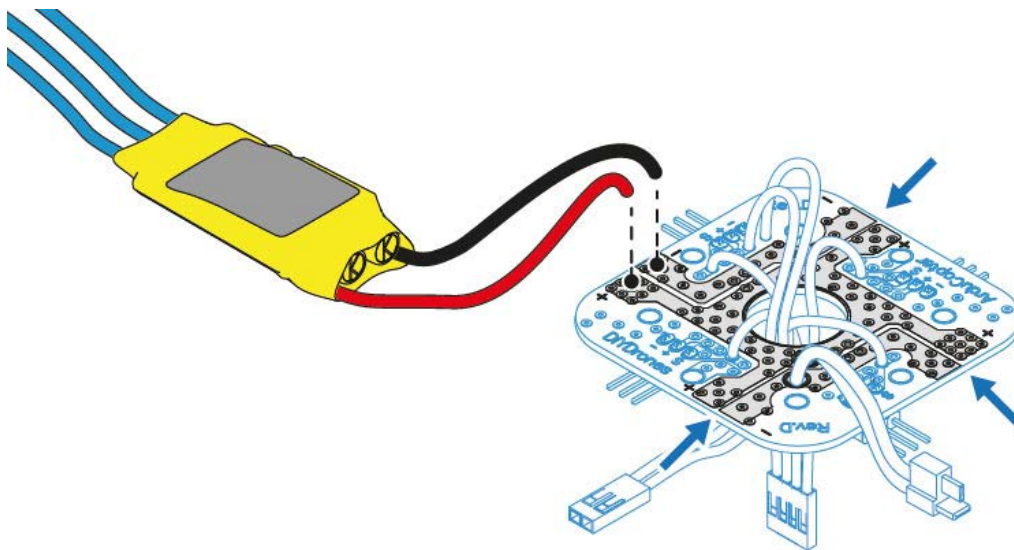


Figura 43 - Imagem ilustrativa de como soldar os conectores dos ESC à placa APM[73]

O resultado final desta etapa pode ser observado na figura 44.

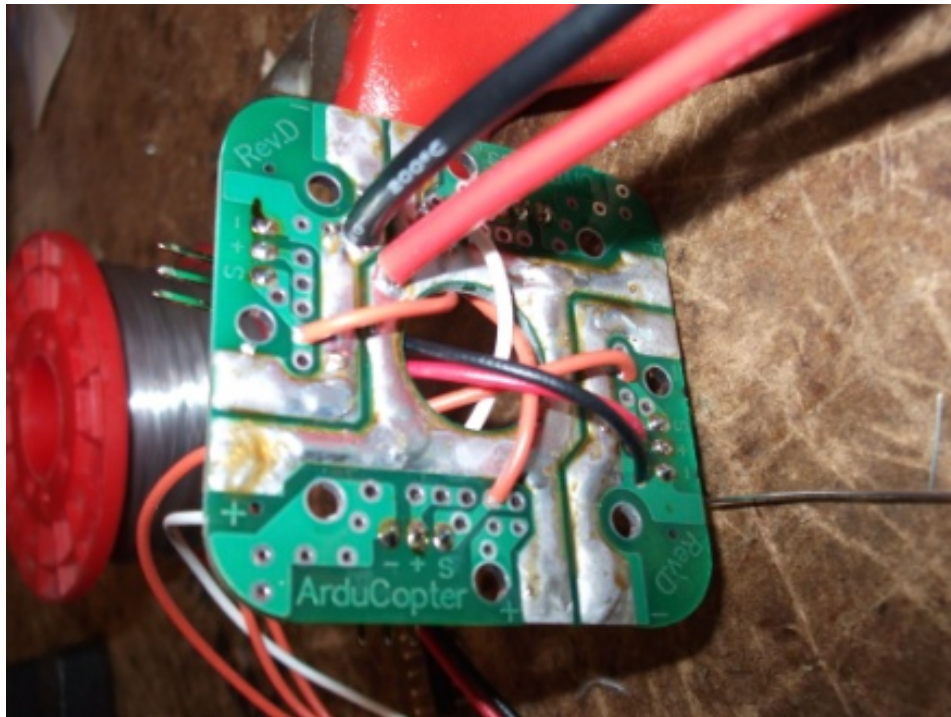


Figura 44 - Resultado final da instalação da placa de distribuição de energia

Anexo B-Montagem da estrutura do Arducopter

Material necessário para montagem da estrutura [24]:

- 2 Placas da estrutura base
- 2 Placas da estrutura eletrónica
- 4 Braços (de alumínio de 21,5cm ou de 28cm)
- Placa da bateria
- Proteção de aterragem.
- 8 Espaçadores Macho-Fêmea M3 x 25mm
- 8 Parafusos M3 x 6mm de Nylon
- 4 Parafusos M3 x 20mm de aço
- 4 Espaçadores M3 x 12mm Macho-Fêmea
- 8 Parafusos M3 x 20mm de Nylon
- 20 Porcas M3 de Nylon
- 4 Porcas M3 de aço

B.1 – Montagem da secção central

Existem dois tipos de configurações para o *quadcopter*, em cruz (+) e em x (x). Neste anexo seá apenas descrita a configuração em cruz. Quanto à configuração em x será apresentada a diferença na montagem. Na configuração em + os parafusos devem ficar como são apresentados na figura 45. Ou seja os 4 espaçadores Macho-Fêmea M3 x 25mm devem ficar na placa superior da estrutura base, dispostos em cruz nas extremidades e presos com os parafusos M3 x 6mm de *Nylon*, tal como mostra a figura 45. Da mesma forma os 4 espaçadores M3 x 12mm Macho-Fêmea devem ser colocados nos buracos mais ao centro, novamente em cruz e presos com as 4 porcas M3 de *Nylon*. Os parafusos M3 x 20mm de aço devem ser colocados no centro, mas em x em vez de cruz, atravessando as duas placas, como apresenta a figura 45.

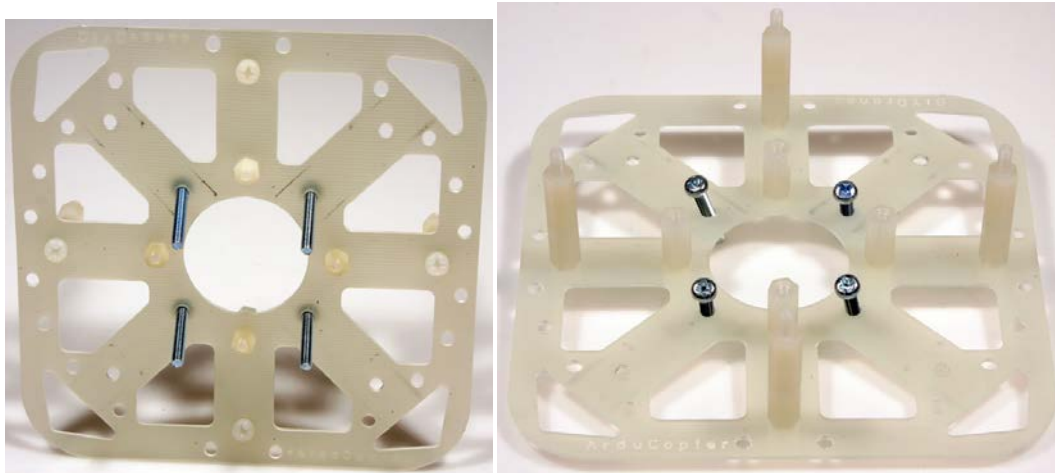


Figura 45 - Montagem das placas da estrutura base [24]

Por fim colocam-se os 8 parafusos M3 x 20mm de *Nylon*, como se apresenta na figura 46, prendendo com as 8 porcas M3 de *Nylon*.



Figura 46 - Parte final da montagem da estrutura base

Os braços devem ser colocados na estrutura como está representado na figura 47 (entre os dois parafusos de 20mm de *Nylon*).



Figura 47 - Montagem dos braços à estrutura

O suporte para a montagem da bateria deve ser montado rodando a estrutura 180° (ficando a estrutura invertida). Na parte superior prende-se o suporte de montagem da bateria apertando os parafusos de alumínio com 4 porcas M3 de aço, como se mostra na figura 48.



Figura 48 - Montagem do suporte de bateria

A placa de distribuição de energia deve ser colocada no centro da estrutura e afixada com 4 parafusos M3 x 6mm de *Nylon*. De seguida a placa APM deve ser colocada na plataforma superior e orientada para a frente do Arducopter como é apresentado na figura 49.

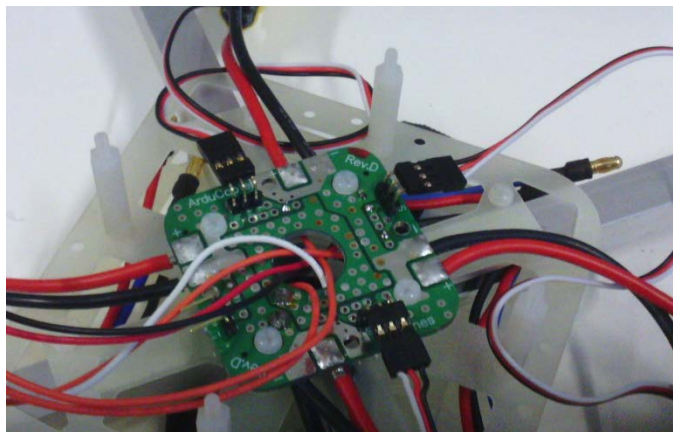


Figura 49 - Montagem da placa de distribuição de energia à estrutura

Após o passo anterior, prende-se a placa ATmega2560 à estrutura com 3 parafusos M3 x 6mm de *Nylon* e 3 porcas M3 de *Nylon*, tal como se pode ver na figura 50.

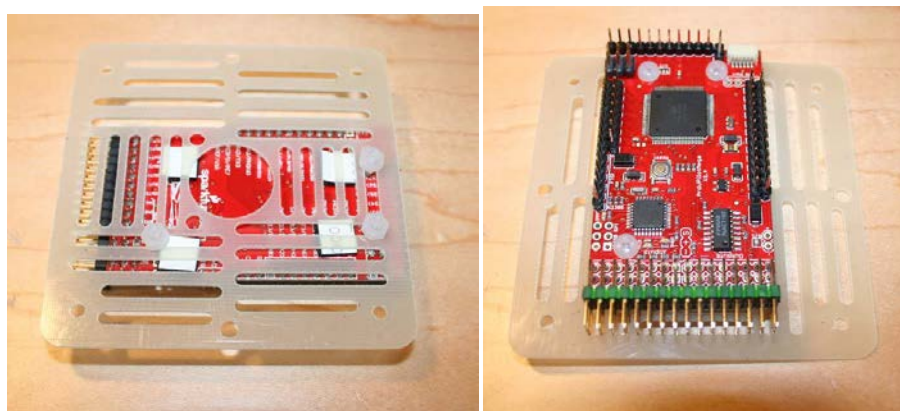


Figura 50 - Montagem da placa APM à estrutura [24]

Em seguida monta-se a *IMU Shield* sobre a placa ATmega2560 como é apresentado na figura 51. No caso da configuração ser em x, a placa deverá ser rodada a 45° para a direita, de forma a que se encontre virada para a frente do Arducopter.

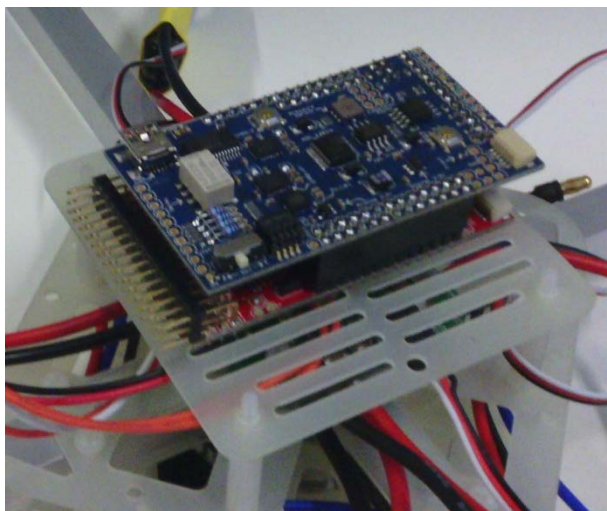


Figura 51 - Montagem da placa APM à estrutura

Finalmente deve ser montada a estrutura de aterragem, assim como a estrutura que protege o núcleo do helicóptero. A estrutura existente não muito resistente.

NOTA: devido ao tipo de material usado neste *quadcopter* é possível que, ao apertar-se e desapertar-se os parafusos de *nylon* ou de plástico, estes venham a partir-se devido à sua natureza frágil.

B.2-Trem de Aterragem

O trem de aterragem está diretamente ligado ao protetor do circuito principal do Arducopter. Primeiro ligam-se as duas peças superiores do *dome protetor* como mostra a figura 62 e prendem-se as duas peças centrais, com parafusos de 20mm de plástico e duas porcas M3. Os parafusos devem ser postos de forma a que sejam presos com as porcas na parte superior para terem mais espaço. Na parte inferior dos arcos de plástico pode-se ver uma saliência, no fundo do arco, onde irão juntar-se os braços de alumínio.

Consoante o tamanho do cabo do GPS deve-se pôr o GPS em cima (caso o cabo seja suficientemente comprido) ou pô-lo na placa que se encontra sobre a placa APM, prendendo com uma abraçadeira de serrilha, como se pode ver na figura 52.

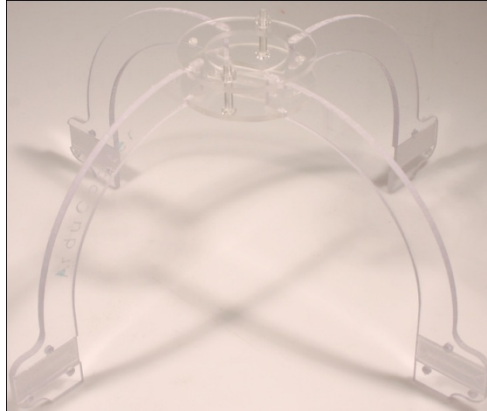


Figura 52 - Dome protetor dos componentes de *hardware* [24]

No que diz respeito às pernas do trem de aterragem, basta prender o *dome protetor* à estrutura (nomeadamente aos braços), prendendo cada peça que foi anteriormente impressa na impressora 3D, com 3 parafusos de 20mm e 3 porcas M3, tal como se pode ver na figura 53.

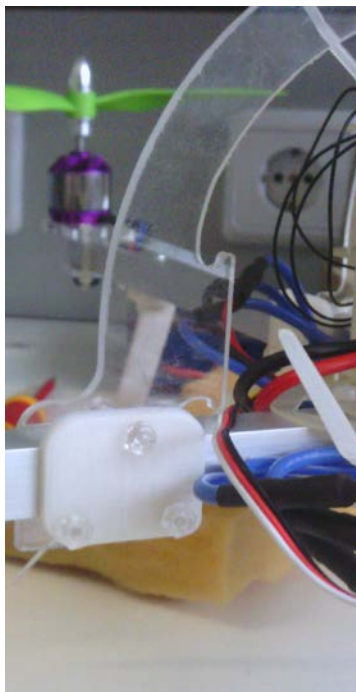


Figura 53 - Peça substituta às pernas existentes no *kit* de montagem

Para instalar as pernas basta prender com um parafuso e uma porca cada perna a cada um dos braços, como mostra a figura 54.

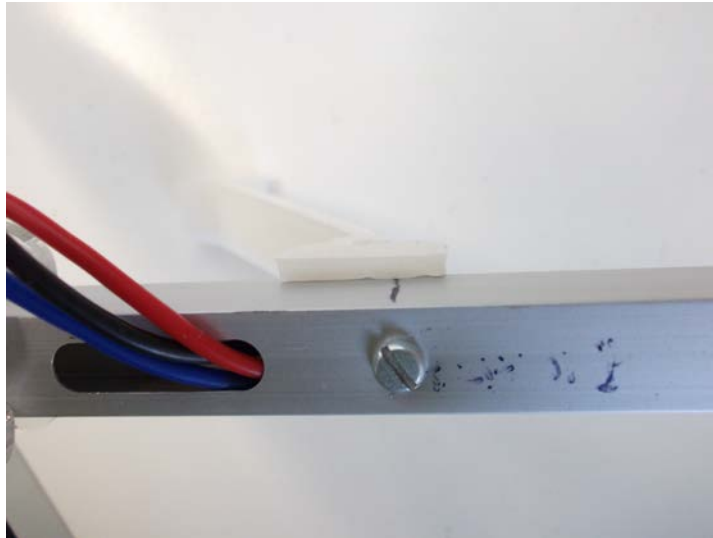


Figura 54 - Novas pernas criadas na impressora 3D

B.3-Montagem dos motores nos braços

Para se montar os motores nos braços do helicóptero utiliza-se as peças de acrílico apresentadas na figura abaixo, prendendo-as com dois parafusos e duas porcas em plástico, mas deixando espaço suficiente para prendê-las ao braço. Prende-se os motores as estas peças com os 3 parafusos que se encontram juntamente com as peças do motor [74].



Figura 55 - Montagem dos motores nos braços

Para finalizar prende-se o motor ao braço do helicóptero apertando as duas peças de acrílico com a ajuda dos parafusos de plástico, finaliza-se prendendo um parafuso de metal e um batente em borracha ao buraco disponível no motor como mostra a figura 55.

Os fios do motor devem ser postos como demonstra a figura seguinte [74].

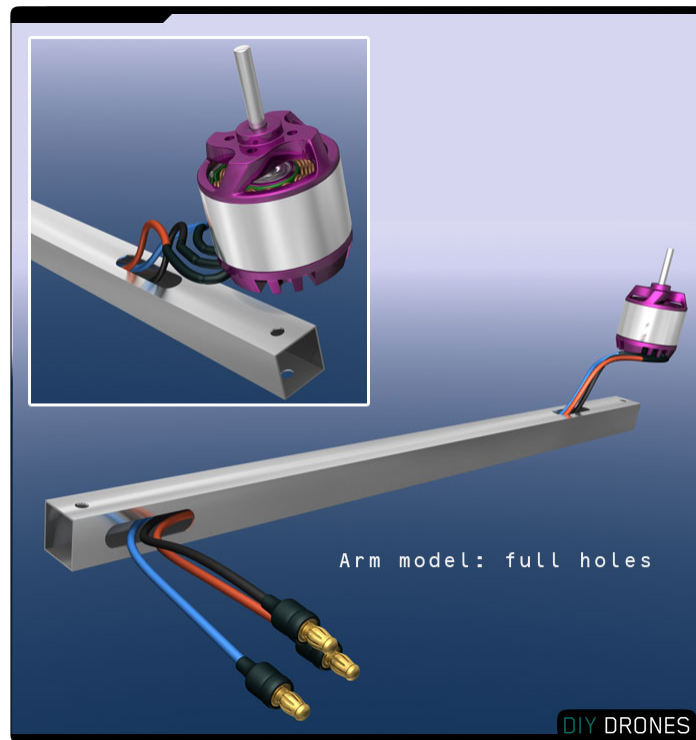


Figura 56 - Passagem dos fios do motor pelos braços do Arducopter [33]

Aos motores é necessário prender as hélices. Na montagem das hélices monta-se primeiro as peças que se apresentam na figura 57 [74].

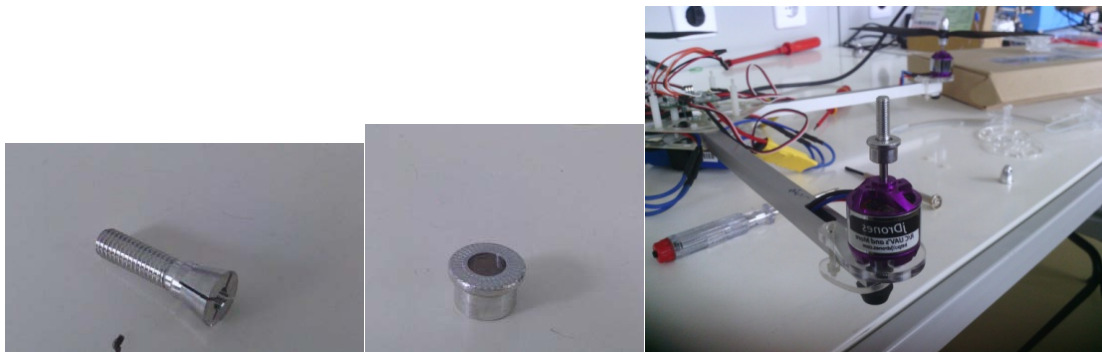


Figura 57 - Passos para montar as hélices no motor

De seguida monta-se a hélice utilizando estas peças pela ordem que se apresenta na figura 58 [74].



Figura 58 - Montagem das hélices nos motores

Ao montarem-se as hélices é de ter em conta a configuração que se deseja para o *quadcopter* (configuração em x ou em +). Pois de acordo com a configuração deve-se escolher a forma correta de colocar cada hélice, de acordo com a sua rotação (no sentido dos ponteiros do relógio ou no sentido contrário) com mostra a figura 59.

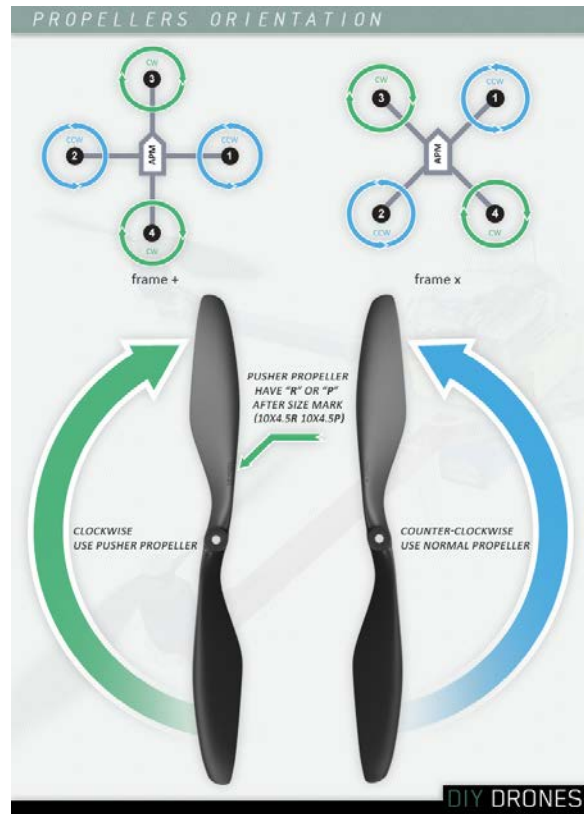


Figura 59 - Escolha correta das hélices segundo o tipo de estrutura em + ou em x [37]

B.4-Conexão dos ESC aos motores

Os controladores de velocidade ESC devem ser conectados de acordo com o seu sentido de rotação, tal como mostra na figura 60. Caso a rotação seja no sentido dos ponteiros do relógio deve-se ligar os conetores que derivam do motor da seguinte maneira:

- A- O conetor de cor azul
- B- O conetor de cor preta
- C- O conetor de cor vermelha

Caso a rotação seja no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio deve-se ligar os conetores que derivam do motor da seguinte maneira:

- A- O conetor de cor vermelha
- B- O conetor de cor preta
- C- O conetor de cor azul

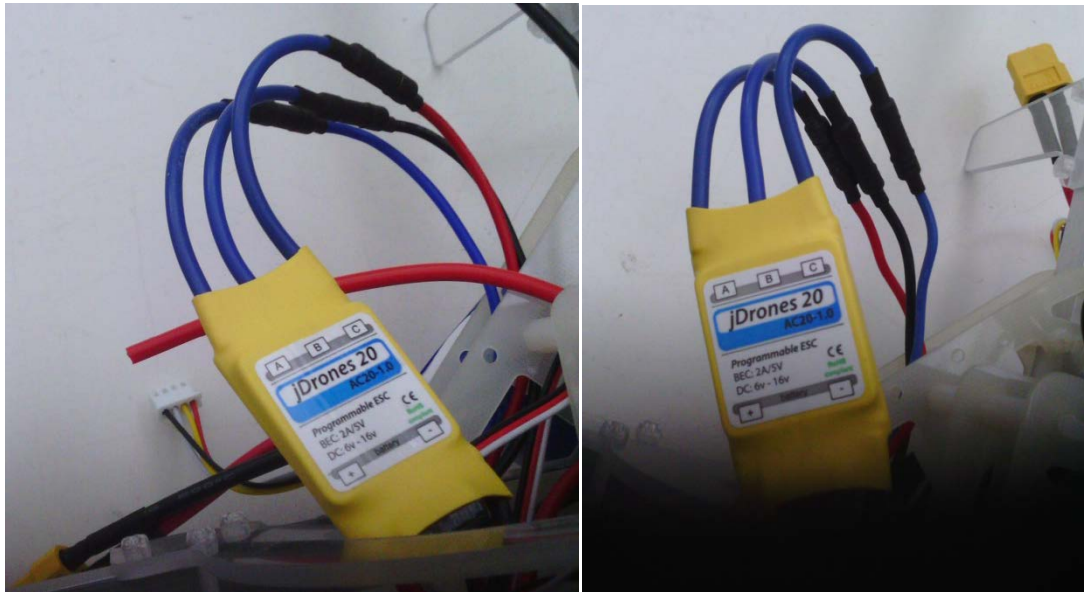


Figura 60 - Configuração da conexão dos ESC aos motores

B.5-Ligação do controlo de rádio à APM

Ligam-se dois fios de 5v da PDB (*Power Distribution Board*) à placa APM. Após este passo ligam-se os 4 fios que vêm da placa distribuidora de energia, como se mostra na figura 61. De seguida ligam-se os 6 fios para ligarem o recetor do controlo remoto à APM, e por fim ligam-se os dois fios de corrente do recetor como mostra a figura 61 [66].

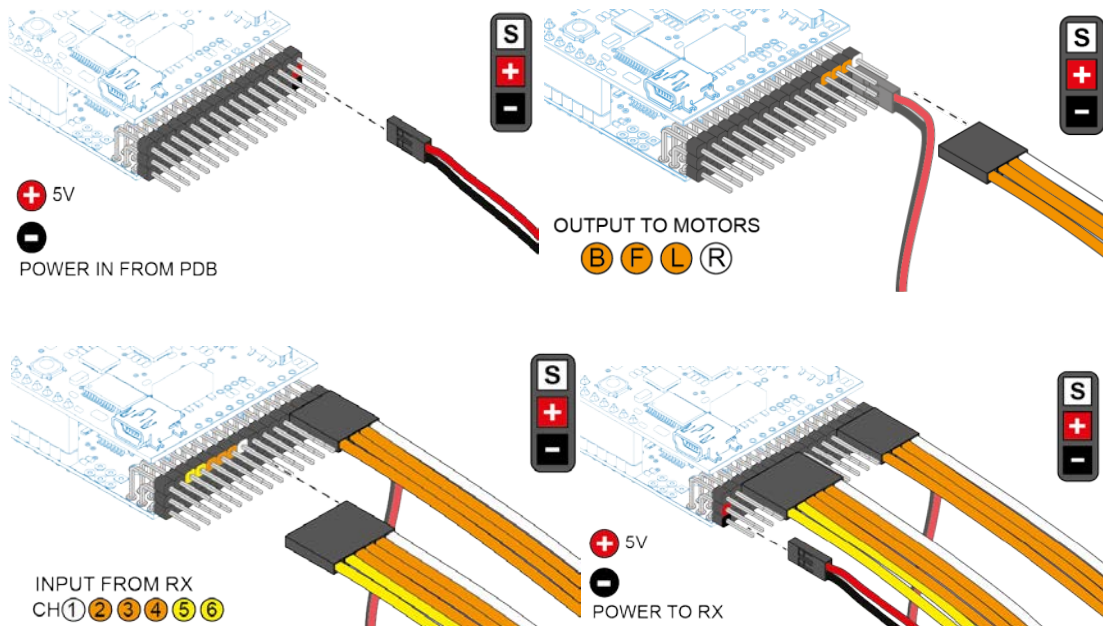


Figura 61 - Instalação do controlo de rádio à placa APM [66]

B.6-Ligação do controlo remoto

O que é necessário [66]:

- Deve-se ter no mínimo 5 canais na unidade de controlo remoto, mas 7 ou mais canais são altamente recomendados.

Visto o Arducopter ser um helicóptero não deve-se usar o transmissor de controlo remoto em modo helicóptero, mas configurado em modo de avião normal. Em alguns rádios este modo é chamado “Acro” ou “fixed wing”. A eletrónica e o *software* do Arducopter encarregar-se-ão de todas as misturas necessárias e não o rádio. É necessário saber como estão configurados os comandos (verificando que interruptor corresponde a que canal). Em muitos transmissores isto é algo que pode ser configurado. O canal 5 deve corresponder ao botão de 3 posições (*toggle switch*). Existe uma correspondência dos controlos aos canais, feita da seguinte forma [66]:

- Os canais de 1 a 4 – controlos de voo básicos (*roll, pitch, throttle* e *yaw*)
- O canal 5 – seleção do modo de voo (manual, auto, altitude hold, etc.)
- O canal 6 – Não é usado atualmente mas é reservado para controlos de câmara
- O canal 7 – não é atualmente usado, mas é reservado para fazer *trimming* dos valores de rádio.
- O canal 8 – não é usado. Este canal é usado para voos de aviões e é muito perigoso quando usado em *quadcopters* visto estes perderem a estabilização quando usado.

Os valores de *output* correspondem a estes canais do rádio são [66]:

- Canal 1- *Roll* para a esquerda -> o valor mais baixo de PWM, *roll* para a direita -> o valor mais alto de PWM.
- Canal 2- *Pitch* para a frente -> o valor mais baixo de PWM, *pitch* para trás -> o valor mais alto de PWM. (É preferível inverter o sentido deste controlo)
- Canal 3- Pouco *throttle* -> o valor mais baixo de PWM, muito *throttle* -> o valor mais alto de PWM.
- Canal 4- *Yaw* para a esquerda -> o valor mais baixo de PWM, *yaw* para a direita -> o valor mais alto de PWM.
- Canal 5- Configurável (geralmente usado para escolha do modo de voo).
- Canal 6- Configurável.
- Canal 7- Desligado-> o valor mais baixo de PWM, ligado -> o valor mais alto de PWM.

B.7-Instalação do recetor de controlo remoto

Ligam-se os cabos fêmea-fêmea do recetor à APM, usando-se um cabo para cada canal que se pretende controlar através da APM tal como se apresenta na figura 62 [66].

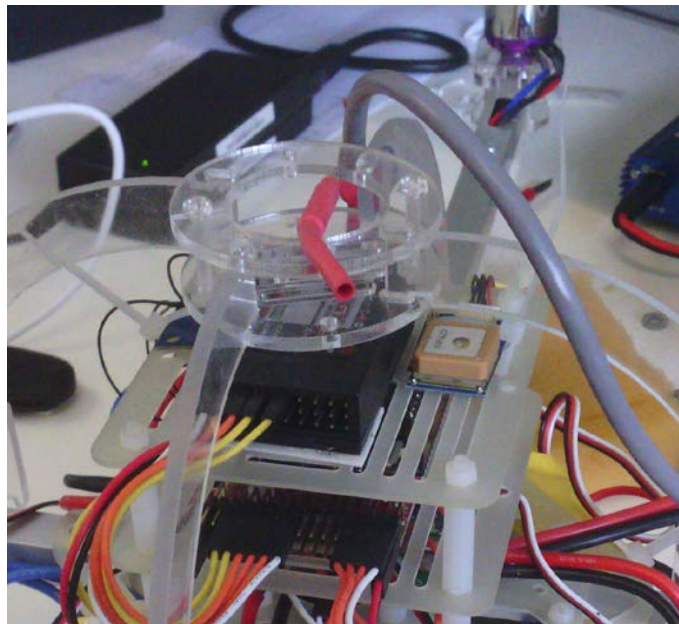


Figura 62 - Ligação dos canais do recetor à placa APM

Anexo C-Montagem de sensores opcionais

C.1-Sensor de infravermelhos

Este sensor é utilizado na detecção de obstáculos para voos no interior. [10] O modelo de sensor de infravermelhos compatível com o Arducopter é o SharpGP2Y (figura 63). Para medir a altura, o sensor deve ser colocado de forma semelhante ao sonar, para tentar manter a altura. O seu alcance é muito curto, o uso de infravermelhos pode causar ruído quando é utilizado em voos ao ar livre, devido à luz solar ter em parte luz infravermelha. Por causa dessa limitação é normalmente utilizado em voos no interior [10].



Figura 63- Sensor infravermelho SharpGP2Y [75]

C.2-Sensor ótico de fluxo (*optical flow*)

Este sensor serve para ter uma melhor performance quando utiliza-se o modo Loiter (modo em que se mantém a posição em voo) com o Arducopter e baseia-se no sensor de ótico de fluxo ADNS-3080. [76].

C.2.1-Como ligar o sensor à placa

Solda-se diretamente os fios da placa azul (figura 64) e instala-se deixando a lente virada para baixo e os *pins* apontando para a frente do Arducopter.

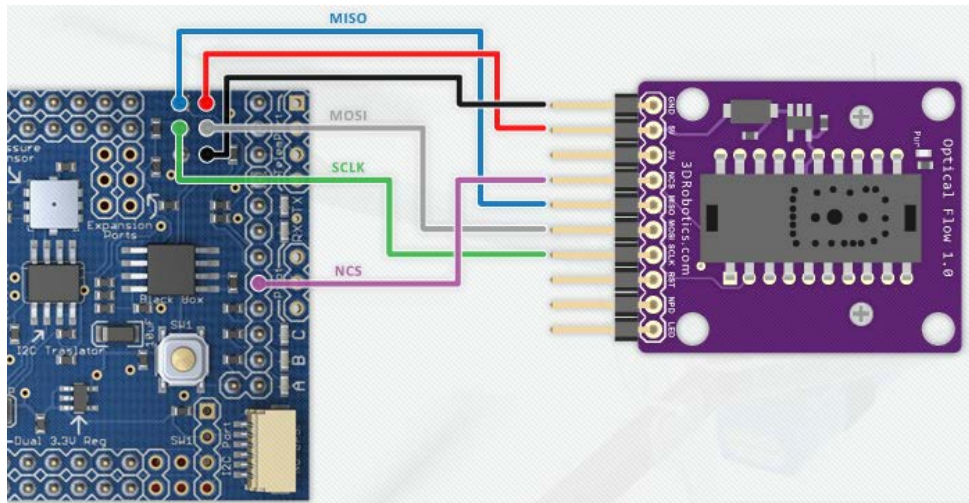


Figura 64- Instalação do *optical flow* na placa APM1 [76]

Pode-se testar o sensor seguindo os seguintes passos [76]:

- Carrega-se o ficheiro AP_OpticalFlow_test.pde na APM.
- Liga-se a placa APM com o *serial monitor* ou *APM Mission Planner terminal*.
- Escreve-se “c” para garantir que o sensor responde à placa APM.
- Escreve-se “m” para mover o sensor para a frente e para trás e verifica-se se os valores de x e y mudam. Caso não mudem deve-se focar a lente para a esquerda ou para a direita.

C.2.2-Como manter a posição do Arducopter em voo

Tal como num rato do computador, o sensor devolve o valor da média do movimento em x e y da superfície visualizada num único movimento de um *pixel*, no sensor de *optical flow*, o valor é referido numa escala, ou seja, os valores x e y do sensor podem ser convertidos em distâncias reais baseando-se na altitude. Para converter os valores do sensor para distâncias reais, é necessário saber a que altitude o Arducopter se encontra, pois se existirem dois *quadcopters* que se movem à mesma distância, mas a diferentes altitudes, quanto maior a altitude menos movimento será detetado, o que resultará em maiores valores quando o helicóptero encontra-se a uma menor altitude [76].

Existem dois movimentos possíveis no Arducopter para que este se desloque no espaço. O movimento *roll* (faz com que este se desloque para a esquerda ou para a direita inclinando-

se segundo a direção estipulada), e o movimento *pitch* (faz o Arducopter deslocar-se para a frente e para trás inclinando-se nas respetivas direções). Ao efetuar o *roll* ou o *pitch*, fará com que os valores de *x* e *y* se alterem, pois é necessário inclinar o helicóptero influenciando os valores. Ao contrário do problema anterior a altitude não tem influência neste movimento.

Ao trabalharmos com este tipo de sensor deve-se ter em conta os seguintes aspetos [76]:

- O sensor apenas funciona em ambientes bem iluminados;
- É usada uma lente de foco-fixo, o que faz com que não se consiga focar objetos mais perto que 30 cm;
- Fazer *yaw* (rotação do Arducopter para a esquerda e para a direita), fará com que o sensor fique confuso, não conseguindo manter a posição.

C.3-Telemetria sem fios

Este tipo de dispositivo serve essencialmente de plataforma de comunicação entre o pc (dispondo de um transmissor/recetor) e o Arducopter (dispondo também de um transmissor/recetor). Essa comunicação é feita utilizando um software GCS (descrito na secção 6), que é capaz de mandar dados para o Arducopter em pleno voo, assim como receber dados provenientes dos sensores do Arducopter. Este tipo de sistema não se encontra disponível no Arducopter existente na Universidade da Madeira, mas é muito útil pois facilitará as missões de voos autónomos, quer para alterar o percurso de voo ou para verificar o estado dos sensores em tempo real (quando este se encontra em voo). Apresenta também outras funcionalidades como a transmissão de vídeo para o computador em tempo real [77].

Para estabelecer uma ligação entre o computador e o Arducopter através de uma telemetria sem fios, é necessário utilizar o programa *APM Mission Planner*. A descrição de como criar a ligação encontra-se na secção 6. A tarefa de adicionar uma telemetria sem fios não é muito difícil e estende imenso a capacidade do UAV. Existem dois modelos de telemetria para o APM1 e para o APM2, esses modelos são o 3DR Radio e o Xbee.

C.3.1-3DR Radio

Esta secção apresenta a informação relativa ao sensor de telemetria 3DR Radio.

O 3DR Radio tem como vantagens [78]:

- Ser pequeno;
- Barato;
- Com melhor alcance de sinal ao dispositivo Xbee;
- Ter um *firmware open-source* com o qual pode ser programado, tornando-o mais personalizado.

A sua configuração é feita da seguinte forma [78]:

- São precisos dois 3DR Radio, um para o Arducopter e outro para a GCS;
- Um dos dispositivos contém uma porta USB para melhor ligação. No caso da GCS o dispositivo utiliza o D2XX FTDI *driver*, que pode ser obtido nesta ligação [79]

O dispositivo usado no Arducopter dispõe de uma ligação de 6 *pins* FTDI (mas apenas utilizamos os 4 fios como se pode observar através da figura 65) que liga-se facilmente à porta de telemetria do Arducopter [78]. O dispositivo vem configurado com o *baud rate* de 57600. Esse valor pode ser alterado, através do *Mission Planner* [78].

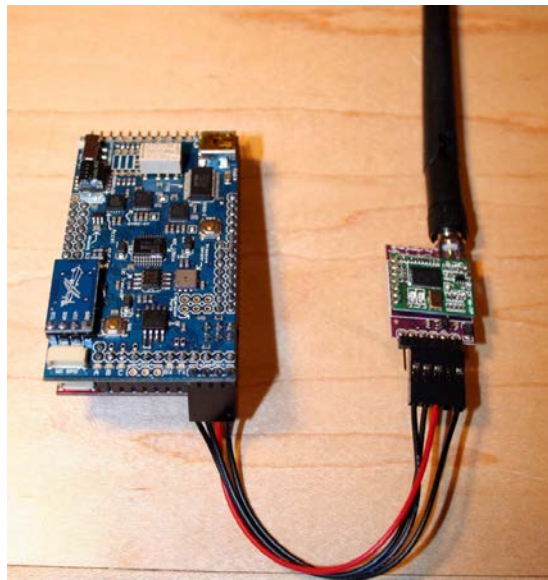


Figura 65- Ligação do 3DRadio à placa APM [78]

Para se configurar o sensor através do programa *Mission Planner*, após o dispositivo estar conectado pelo *Mission Planner*, deve-se carregar nas teclas *control+a*, e aparecerá uma janela onde se deve clicar no botão “load settings”. Isto fará com que sejam carregados os dados de configuração necessários para o funcionamento do dispositivo de telemetria. O parâmetro que controla o alcance dos rádios é o *AIR_SPEED*, este tem como valor padrão de 64kbps, o que dará um alcance de cerca de um quilómetro. Quanto mais baixo for o valor do *AIR_SPEED* maior será o alcance, mas a quantidade de dados pode ser transmitida de uma só vez torna-se menor [78].

O 3DR Radio tem 2 *leds* de estado, um vermelho e outro verde. O significado desses led é o seguinte [78]:

- *Led Verde* intermitente - Procurando o rádio.
- *Led Verde* ligado - Foi feita a ligação com o rádio.
- *Led vermelho* intermitente -Está transmitindo dados.
- *Led Vermelho* ligado - Está em modo de update do *firmware*.

C.3.2-Xbee

Na Europa não é permitido utilizar o Xbee de 900MHz, deve ser então utilizado o de 2.4GHz [80].

Liga-se o XstreamBee ao APM1, no XstreamBee existe um pequeno *switch* no qual podemos definir o modo: master ou slave. O adaptador deve estar em modo master para esta ligação. De seguida liga-se à placa, através da porta de telemetria como se encontra ilustrado na figura 66 [80].

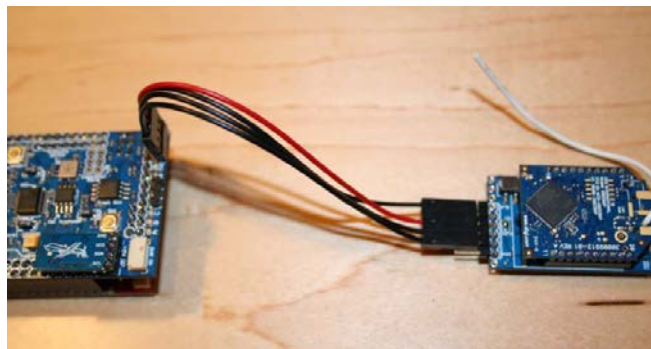


Figura 66 - Ligação do Xbee à placa APM V1 [80]

No caso de se utilizar um XstreamBee com adaptador USB basta apenas ligá-lo ao computador. Caso se esteja a utilizar um adaptador XstreamBee, deve-se conectá-lo com um cabo FTDI e ligá-lo à porta USB do computador [80]. O adaptador deve estar no modo MASTER, em seguida deve-se conectar ao *Mission Planner*, como está descrito na secção 6.

C.4-Gymbal da câmara

Este sistema faz com que a câmara se mantenha estável, independentemente dos movimentos efetuados pelo Arducopter. O sistema funciona da seguinte forma: quando existe uma variação do ângulo de voo, é feita também uma variação no ângulo da câmara, com amplitude contrária, para que a câmara mantenha-se estável durante o voo [28]. O Arducopter usado, não tem atualmente este sistema, contudo ele é facilmente configurável tal como se explica de seguida.

C.4.1-Instalar o gymbal da câmara

Na instalação do *gymbal*, é preferível a configuração da estrutura em “x”, pois como foi referido na secção 4.2.1, deve-se utilizar uma estrutura em “x” quando usamos uma câmara. Para usar uma plataforma de montagem da câmara no Arducopter, recomenda-se a instalação de uma estrutura hobbyking com pernas longas. Estas pernas são grandes o suficiente para que ao aterrar, o Arducopter proteja a câmara de impactos, como podemos verificar na figura 67 [81].

Para a montagem do *gymbal* segue-se os seguintes procedimentos:

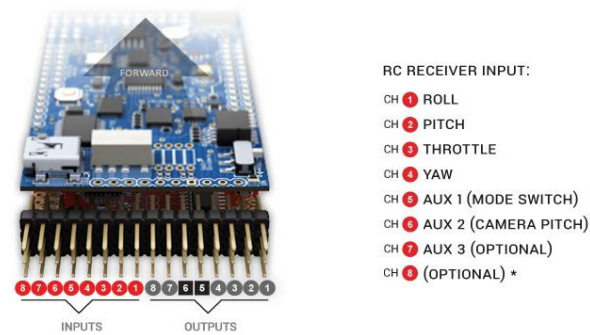
- Nos braços do Arducopter, devem ser feitos dois furos para ligar as pernas de carbono e devem ser cortadas as pernas existentes no *kit* inicial do Arducopter.
- De seguida fazem-se 4 furos sobre o suporte de montagem da bateria e no suporte da câmara, prendendo-a onde fica a bateria.
- Posiciona-se o sonar numa das 4 pernas, no encaixe entre as pernas e os braços, usando uma braçadeira de serrilha aperta-se o sonar para que esteja a apontar corretamente para o chão.



Figura 67 - Exemplo da montagem do *gymbal* da câmara

C.4.2-Como ligar os servos do *gymbal*

Através da figura 68, observamos que no conjunto de *pins* de *output* da placa APM, utiliza-se as saídas PWM 5 e 6 para os movimentos do servo da câmara. Usa-se o canal 5 para o *pitch* da câmara, e o canal 6 para o *roll*. Isso faz com que os servos auto estabilizem a câmara, sem ser necessário programar qualquer linha de código [81].



Servo Output Channels

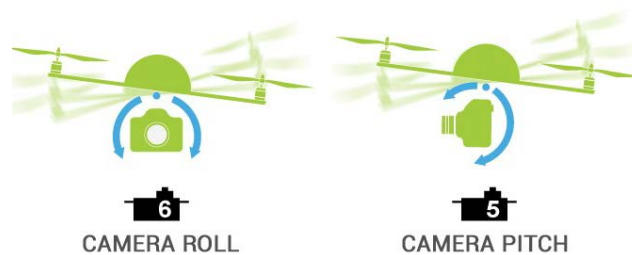


Figura 68 - Canais de *output* para *roll* e *pitch* da câmara [81]

C.5-Placa *On-Screen Display* (OSD)

Na placa APM pode-se adicionar uma placa OSD (figura 69), chamada MinimOSD. Esta placa lê todos os dados do MAVLink do *stream* de telemetria e carrega o *stream* do vídeo proveniente de uma câmera no Arducopter, e através de um transmissor de vídeo sem fios transmite o *stream* do vídeo em tempo real. É útil no caso de fazermos um voo em *First Person View* (FPV), ou se queremos utilizar outro dispositivo sem ser o portátil para visualizar os dados do *Mission Planner* [82].



Figura 69 - Exemplo de um OSD (*on screen display*) [82]

A montagem e instalação do equipamento estão na referência [83]. Este dispositivo instala-se montando-o na porta de telemetria da placa APM, deve ser instalado juntamente com um transmissor de vídeo de forma a poder enviar o que está a ser capturado pela câmera em tempo real diretamente para o portátil.

C.6-Monitor de bateria

Um dos sensores opcionais que não se encontra no Arducopter usado na Universidade, é o monitor de corrente da bateria. Este sensor é importante pois pode-se perder a noção do tempo de voo do helicóptero e este ao ficar com pouca bateria e eventualmente cair. Uma vez configurado o sensor de monitorização de voltagem e corrente da APM1, este irá providenciar tanto dados de corrente e voltagem, como o consumo em miliamperes por hora [35].

Conecta-se o sensor *AttoPilot* para a APM como mostra a figura 70. Devem-se usar os *pins* AN0, AN1 e o *pin* GND.

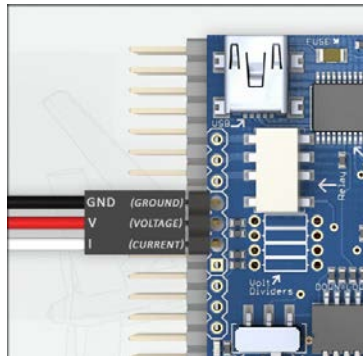


Figura 70 - Imagem ilustrativa de como conectar o sensor *AttoPilot* [35]

O sensor é ativado pelo *Mission Planner* através do separador “configuration”. Os dados da voltagem aparecerão no separador “flight data” do *Mission Planner* são os de “battery voltage calced” [35].

Anexo D-Afinações dos termos PID

É possível afinar os valores de PID através do *Mission Planner* no separador “configuration”. Estes valores servem para tornar o voo do helicóptero de acordo com a nossa preferência, por exemplo quando queremos um voo que os comandos sejam mais dinâmicos, ou por exemplo quando queremos que o helicóptero tenha um voo mais estável. Ao altera-se os parâmetros pode-se personalizar o seu controlo de voo de acordo com o desejado.

O parâmetro *Stabilize* é usado em todos os modos de voo exceto o Acro. Está feito para ser simétrico no eixo de *pitch* e *roll*, mas os eixos podem ser afinados separadamente. Por exemplo, quando existe mais peso sobre um dos eixos, tornando um dos eixos com maior momento de inércia do que o outro, então torna-se desequilibrado tendo que ser afinado separadamente.

Os parâmetros que podem ser afinados são [69]:

- *Stabilize_P* -> rácio de rotação, quanto maior o seu valor mais rapidamente será atingido o valor desejado.
- *Stabilize_I* -> usado para compensar as variações do centro de gravidade.
- *Stabilize_IMAX* -> valor máximo que a aeronave pode compensar as variações.
- *Rate_P*-> Valor mais importante, este termo controla quanta potência é necessária para fazer uma rotação. Quanto maior o peso e a força de potência do Arducopter a ser utilizado, menor será o seu valor.
- *Rate_I* -> Usado para ajudar a aeronave a atingir o Roll rate desejado. Deve ser normalmente definido como 0 visto o seu ajustamento ser difícil.
- *Rate_IMAX* -> valor máximo que o parâmetro *RATE_I* pode ter.

Quanto ao parâmetro *YAW* é utilizado para manter o ângulo de *yaw* específico, para isso, é necessário configurar os seguintes parâmetros [69]:

- *Stabilize_YAW_P*-> Serve para que a aeronave faça uma rotação sem oscilações para o alvo desejado. Se o parâmetro for muito alto causará oscilação.

- *Stabilize_YAW_I* -> Funciona como um corte do excesso de balanço do helicóptero. Indica a rapidez que se leva até atingir o valor desejado, quanto mais alto o valor mais rápido.
- *Rate_YAW_P* -> Serve para ter mais controle sobre o rácio de rotação, se for baixo nunca parará de rodar, se for muito alto fará com que oscile.
- *Rate_YAW_I* -> não é utilizado.

O parâmetro *Loiter* é usado para controlar a inclinação da aeronave em direção ao local de *loiter* enquanto esta mantém a posição [69].

- *Loiter_P* -> é o rácio com que o Arducopter irá mover-se em direção ao ponto de *loiter*. Se não for suficientemente alto ele irá desviar-se do local onde deve manter a posição e se for muito alto irá oscilar perto da localização desejada.
- *Loiter_I* -> Permitirá o Arducopter voar com ventos com o menor erro. Mas deve ser usado com cuidado pois se o valor for alto demais fará com que ele oscile.
- *Loiter_IMAX* -> Valor máximo de do parâmetro *Loiter_I*.

O parâmetro *Nav_WP* é usado para controlar o rácio de velocidade desde a aeronave ao *waypoint* pretendido [69].

- *Nav_WP_P* -> Visto a velocidade máxima ser de 4m/s quanto maior for o parâmetro maior será o *pitch* para atingir tal velocidade.
- *Nav_WP_I* -> Permite voar frente a ventos. Quanto maior o valor mais frente faz ao vento.
- *Nav_WP_IMAX* -> quantidade de *pitch* que podemos adicionar para superar o vento.

O parâmetro *Alt Hold* é usado para manter a sua altitude usando o sensor de pressão [69].

- *Altitude hold P* -> É usado para converter o erro da altitude no ritmo de subida. Quanto maior o seu valor mais rápido ele subirá.
- *Altitude hold I* -> É usado quando o Arducopter tem dificuldade em manter a posição quando dispõe de pouca bateria.
- *Altitude hold IMAX* -> É a quantidade de *throttle* que pode ser ajustada.

O parâmetro *Throttle Rate* é usado para ajustar o ritmo de subida [69].

- *Throttle Rate P* -> Quantidade de *throttle* usado para alterar o ritmo de subida.
- *Throttle Rate _I* -> Compensa o erro necessário para atingir o ritmo de subida necessário.
- *Throttle Rate _IMAX* -> Quantidade de *Throttle Rate _I*, pode-se adicioná-la ou removê-la para atingir o ritmo de subida desejado.

Existem várias formas de afinação, para cada afinação implica um melhoramento no voo do helicóptero, mas estas afinações devem sempre ser feitas com cuidado, pois uma má afinação implica o voo descontrolado e a consequente queda do Arducopter [69].

Em baixo encontram-se descritas várias resoluções segundo os problemas do Arducopter em voo [69].

- O Arducopter oscila lentamente com longos movimentos quando estabilizado, então deve-se baixar o parâmetro *Stabilize Roll P*.
- O Arducopter oscila rapidamente com movimentos curtos quando estabilizado, então deve-se baixar o parâmetro *Rate Roll P*.
- O Arducopter sofre oscilações quando desce rapidamente, então aumenta-se o parâmetro *Rate Roll P*, este parâmetro pode ser corrigido, mas é praticamente impossível chegar a ótimos valores para tais oscilações.
- O Arducopter é muito lento, então aumenta-se o parâmetro *Stabilize Roll P*.
- Ao descolar o Arducopter faz *yaw* uns 15° para esquerda ou à direita, então os motores não se encontram direitos ou os ESC não estão calibrados, um dos dois deve ser corrigido.
- Depois de voos agressivos o Arducopter inclina-se para um lado cerca de 10° a 30°, então deve-se arranjar maneira de remover as vibrações e esperar que a APM corrija.
- O Arducopter não fica totalmente quieto no ar, então tenta-se correr o teste de nível com o Arducopter numa superfície plana, ou voar em modo *auto-trim* num ambiente sem vento.

- O Arducopter voa bem, mas quando está a pairar um dos motores começa a falhar por 1 segundo, então um dos motores pode estar estragado ou os seus conetores entre eles e os ESC podem estar com falhas. Deve-se tentar arranjá-lo ou substituí-lo por outro.
- A aeronave está constantemente a subir ou a descer em Alt Hold, então o parâmetro *Throttle P* está muito alto ou muito baixo. Uma maneira de configurar o seu valor é de pensar quantas vezes mexemos o *stick* de *throttle* para que ele pare perfeitamente. Essa quantidade de tempo é proporcional ao valor necessário para o parâmetro *Throttle P*.
- O Sonar não está a funcionar, então deve ser devido ao ruído elétrico dos ESC, deve-se afastá-lo dos ESC ou utilizar cabos blindados. Pode também ser devido às temperaturas serem muito baixas e o sonar parar de trabalhar.

Ao fazer *Loiter* a aeronave faz um círculo no sentido dos ponteiros do relógio ou ao contrário, então deve-se ajustar a declinação da bússola até que helicóptero pare de circular.