



UNITINS

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DO TOCANTINS
CURSO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

BRUNO SANTOS MORAIS

CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE QUADROTOR
SEMIAUTÔNOMO

PALMAS / TO

2014

BRUNO SANTOS MORAIS

**CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE QUADROTOR
SEMIAUTÔNOMO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Colegiado do Curso de Sistemas de Informação do
Campus I da Universidade Estadual do Tocantins
como parte dos requisitos para obtenção do título
de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. Msc Igor Yepes

PALMAS / TO

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca da Universidade do Tocantins
Campus I

M827 Santos Morais, Bruno
Construção de um Protótipo de Quadrotor Semiautônomo / Bruno Santos Morais. – Palmas, 2014.
59 f.

Monografia (TCC) – Universidade do Tocantins, Curso de Sistemas de Informação, 2014.
Orientador (a): Prof.^(a) Igor Yepes

1. VANT. 2. Quadrotor. 3. Drone. I. Construção de um Protótipo de Quadrotor Semiautônomo.

CDD 003

Bibliotecário: Paulo Roberto Moreira de Almeida
CRB-2 / 1118

Todos os Direitos Reservados – A reprodução parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do código penal.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Msc Igor Yepes (orientador)

Prof. Msc Silvano Malfatti (titular)

Prof. Msc Alex Coelho (titular)

Palmas, ____ de _____ de 2014.

“Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui, nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa.”

Albert Einstein

DEDICATÓRIA

A Deus, que em sua infinita sabedoria guia meus caminhos, proporcionando-me saúde, serenidade e disposição para enfrentar todas as etapas desta árdua caminhada.

À minha mãe, Teresinha de Jesus dos Santos Moraes (in memoriam), que com seu amor infinito é responsável por minha base pessoal e educacional.

Ao meu pai, Antônio Bandeira Moraes (in memoriam), pelo apoio às minhas decisões.

Ao meu amigo João Paulo Souza Paiva, pela presença constante do início ao fim deste caminho.

E à minha esposa, Karine Sousa Silva Moraes, sempre presente, paciente e disposta, mesmo nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Igor Yepes pela atenção, compreensão e sabedoria dispensadas a mim durante o período de elaboração deste trabalho.

Ao Professor Mestre Silvano Maneck Malfatti pelo apoio e dedicação à pesquisa e aos alunos, sempre disponível, não importando dia ou hora.

Ao Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Tocantins pelo apoio ao trabalho e a esta pesquisa.

Ao grupo de pesquisa ICARO pelo incentivo à pesquisa e pelo apoio aos acadêmicos.

RESUMO

Este trabalho trata do desenvolvimento do protótipo de um VANT (Veículo Aéreo não-Tripulado) quadrotor de pequeno porte (abaixo de 5 quilogramas) com características semiautônomas, destinado a auxiliar o serviço de controle ambiental, resgate, fiscalização e preservação da vida humana, sendo capaz de atuar em locais de difícil acesso e efetuar missões de monitoramento e inspeção sem controle humano direto. A montagem do equipamento foi baseada em pesquisas e conhecimentos práticos adquiridos no decorrer do curso; o *hardware* utilizado é composto por componentes de baixo custo e os *softwares* de categoria livre, devidamente adaptados e complementados para atender às especificidades de autonomia desejadas.

Palavras-Chave: VANT, Quadrotor, *Drone*

ABSTRACT

This paper portrays the development of the prototype of a small-sized (less than 5kg) UAV (unmanned aerial vehicle) quadrotor with semi-autonomous features, designed to assist services of environmental control, rescuing, surveillance, and preservation of human life, that is able to work in hard to reach places and perform monitoring and inspection missions with no direct human control. The apparatus was based on research and practical knowledge acquired during the course. Hardware used in its construction is comprised of low-cost components and open-source software, all duly adapted and complemented to meet the expected autonomy.

Key-words: UAV, Quadrotor, Drone

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipo de VANT multirrotor.	17
Figura 2 - Tipo de VANT asa fixa.	18
Figura 3 - Primeiro quadrotor.	19
Figura 4 - Quadrotor de Etienne Oemichen.	19
Figura 5 - VANT quadrotor.	20
Figura 6 - Sentido de rotação das hélices.	21
Figura 7 - Comandos do quadrotor.	21
Figura 8 - Hardware do quadrotor.	24
Figura 9 - Crius All In One pro V1.1.	28
Figura 10 - Como funciona o GPS.	29
Figura 11 - GPS utilizado no quadrotor.	30
Figura 12 - ESC turnigy multistar 30A.	31
Figura 13 - UBEC 3A.	32
Figura 14 - Módulo rádio wireless Apc220.	33
Figura 15 - Motor DT750 Brushless 750Kv.	34
Figura 16 - Par de hélices 10/4.5.	34
Figura 17 - Frame utilizado na construção do quadrotor.	35
Figura 18 - Bateria de LiPo 3S de 2200mAh.	36
Figura 19 - Rádio Controle FUTABA T6J.	37
Figura 20 - Exemplo de montagem de um VANT quadrotor.	38
Figura 21 - Placa de distribuição de energia fixada no frame.....	39
Figura 22 - Fixação dos ESCs no frame.	39
Figura 23 - Fixação do motor no frame.	40
Figura 24 - Conexão receptor RC na placa controladora.	41
Figura 25 - Conexão dos ESCs na placa controladora	41
Figura 26 - Conexões da porta serial.	42
Figura 27 - Montagem completa do quadrotor.	42
Figura 28 - Configuração do rádio controle.	44
Figura 29 - Calibração dos ESCs.	45
Figura 30 - Software MissionPlanner.	46
Figura 31 - Calibração do acelerômetro	46

Figura 32 - Calibração do rádio controle.	47
Figura 33 - Balanceando hélices.	48
Figura 34 - Primeiro teste de voo.	49
Figura 35 - Segundo teste de voo.	50

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

VANT – Veículo Aéreo não-Tripulado

UAV – Unmanned Aerial Vehicle (veículo aéreo não-tripulado)

DRONE – zangão, em inglês

D3 - Dangerous-Dirty-Dull (perigoso, sujo ou monótono)

MEMS – Miniaturização de Sensores

VTOL – Vertical Take-Off and Landing (decolagem e pouso verticais)

RC – Rádio controle

ESC – Electric Speed Control (controle elétrico de velocidade)

BEC – Battery Eliminator Circuit (circuito eliminador de bateria)

IDE – Integrate Development Environment (ambiente integrado de desenvolvimento)

RPM – Rotação por minuto

V - Volts

DC – Direct Current (Corrente Contínua);

GND – Ground (Terra)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA.....	15
4	REVISÃO DA LITERATURA.....	16
4.1	VANT.....	17
4.1.1	QUADROTORES	18
5	MATERIAIS E MÉTODOS	23
5.1	COMPONENTES.....	24
5.1.1	PLACA CONTROLADORA CRIUS ATMEGA 2560	26
5.1.2	MÓDULO GPS	28
5.1.3	ESC.....	30
5.1.4	BEC.....	31
5.1.5	CONJUNTO DE TELEMETRIA RX/TX	32
5.1.6	MOTORES	33
5.1.7	HÉLICE	34
5.1.8	FRAME.....	35
5.1.9	BATERIA.....	35
5.1.10	RADIO CONTROLE	36
6	DESENVOLVIMENTO PRÁTICO	38
6.1	MONTAGEM	38
6.2	CONFIGURAÇÃO	43
6.3	FUNCIONAMENTO	48
6.4	TESTES REALIZADOS E RESULTADOS OBTIDOS	48
7	CONCLUSÕES.....	52
8	TRABALHOS FUTUROS.....	53
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
	ANEXO I.....	56

1 INTRODUÇÃO

Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT, UAV ou *Drone*) é um termo genérico que identifica uma aeronave que pode voar sem tripulação, normalmente projetada para operar em situações perigosas e repetitivas em regiões consideradas hostis ou de difícil acesso. Existe uma grande diversidade de tipos de *Drones*, muitos deles ganhando ênfase na esfera civil e tornando-se uma opção válida no cenário comercial atual (FURTADO, 2008).

Essas aeronaves podem ir desde um veículo em escala controlado via rádio (planadores, helicópteros, dirigíveis, aviões, entre outros) a veículos tão sofisticados como aviões em tamanho real, com seus respectivos equipamentos de navegação (GPS, VOR, Servomecanismos, entre outros). Os *Drones* têm propulsão própria, utilizando forças aerodinâmicas que provocam sua sustentação e não possuem cabine de pilotagem, pois podem ser controlados a distância, ou ainda possuir algoritmos sofisticados de voo que não requerem a intervenção humana (SOUSA, 2011).

Há um grande mercado emergindo a partir de aplicações e serviços potenciais que podem ser oferecidos pelas aeronaves não tripuladas. Mais precisamente, *Drones* podem ser aplicados em missões chamadas de D3 (*Dangerous-Dirty-Dull*), isto é, missões identificadas como perigosas, sujas e/ou enfadonhas. Quando se considera o *Drone* em aplicações civis, há um grande escopo de cenários possíveis para sua utilização. Por exemplo: pesquisa ambiental remota, monitoração e certificação de poluição, gerenciamento de queimadas, segurança, monitoração de fronteiras, oceanografia, agricultura e aplicações de pesca. Em geral, todas estas aplicações podem ser divididas em quatro grandes grupos: aplicações ambientais, aplicações de segurança, aplicações de comunicação e aplicações de monitoramento (PASTOR, 2007).

O trabalho a seguir apresenta uma classe específica de veículos aéreos que possui inúmeras funções: VANT (Veículo aéreo não tripulado). Apesar de existirem várias aeronaves que se denominam VANTs, o trabalho especificará um tipo específico – quadrotor – que possui uma estrutura física peculiar e vantajosa por sua estabilização no espaço.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo central deste trabalho é apresentar o processo de construção de um VANT com características semiautônomas, destinado a auxiliar as forças de segurança, resgate e preservação da vida humana, sendo capaz de atuar em locais de difícil acesso e efetuar missões de monitoramento e inspeção sem controle humano direto. O *hardware* utilizado para a construção é composto por componentes de baixo custo, com utilização de *softwares* livres para controle dos *Drones*, devidamente adaptados e complementados para atender às especificidades de autonomia desejadas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar levantamento do estado da arte em *Drones* da categoria quadrotor;
2. Estudar e compreender os conceitos aerodinâmicos associados a este tipo de aeronave;
3. Realizar estudo sobre os principais componentes utilizados no desenvolvimento da aeronave;
4. Buscar a configuração mais adequada em termos de custo/benefício;
5. Construir um protótipo do *Drone* para testes em campo;
6. Controlar remotamente a aeronave desenvolvida;
7. Realizar a busca e seleção dos softwares necessários para o projeto;
8. Efetuar os testes em campo com o protótipo desenvolvido.

3 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

O cerrado brasileiro é o segundo maior bioma da América do Sul. Sua área abrange os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal. No período de estiagem ele possui uma característica fatídica, pois torna-se seco e propício a eventuais focos de incêndio.

Com uma vegetação rasteira, árvores e arbustos esparsos, alguns lugares tornam-se desafiadores e de alto risco para brigadistas e equipes dos Corpos de Bombeiros, para os quais a visibilidade é mínima. Intervenções destes profissionais visando debelar as chamas exigem o emprego de uma grande logística, com envolvimento tanto de material humano quanto de bombas d'água. Tarefas desta natureza envolvem grande perigo devido à falta de visibilidade e possíveis condições climáticas desfavoráveis: mudanças repentinas na velocidade ou direção do vento, que podem colocar em risco toda a missão.

O uso de aeronaves no auxílio às equipes de combate a queimadas vem crescendo, seja no transporte de água ou no auxílio à visão aérea disponibilizada às equipes. Contudo, colocar uma aeronave no ar gera custos elevados de manutenção, combustível e treinamento de pilotagem, sem citar os custos inestimáveis de risco à vida.

Diante disso, a utilização de VANTs surge com a finalidade de auxiliar as operações sem a necessidade de um ser humano a bordo e com baixo custo operacional. As aeronaves podem ser equipadas com sensores e câmeras de alta definição, capazes de enviar dados e imagens em tempo real para as equipes em terra. O VANT pode ser empregado em situações que ofereçam risco à vida humana, ou na obtenção de imagens antecipadas do local sinistrado, coletando assim o máximo de informações que possibilitem a definição da melhor estratégia para o sucesso da operação.

4 REVISÃO DA LITERATURA

Com uma gama de conhecimentos difundidos sobre VANT e com a disponibilidade e o baixo custo dos equipamentos, as pesquisas utilizando veículos aéreos não tripulados cresceram e se expandiram para os mais diversos ramos, possibilitando a diminuição do risco à vida humana e a resolução de problemas específicos, sendo que nesses trabalhos são avaliados os requisitos, estrutura e equipamentos, a fim de que o conjunto de dados coletados possibilite a criação de um veículo mais adequado para a resolução do problema proposto.

Souza (2012) apresenta o desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado multirrotor para suporte ao georreferenciamento de imagens, que proporciona o monitoramento de regiões desmatadas na região sul do estado da Bahia. A aeronave possui um nível de flexibilidade, podendo atuar de forma autônoma ou manual (controle remoto). A solução desenvolvida foi um multirrotor provido de 6 rotores, com resultados satisfatórios na obtenção de imagens aéreas de uma determinada área, auxiliares às atividades de monitoramento em terra.

Nascimento (2011) analisa o *hardware* necessário para construção de VANTs do tipo quadrotor para possibilitar a implementação de um exame de VANTs com o foco em aplicações de monitoramento territorial. Foram feitos estudos sobre os aspectos do UAV quadrotor, sistemas embarcados e suas aplicações, comparações e escolhas entre os equipamentos disponíveis e validação da capacidade de processamento do *hardware*. Ao final do trabalho foi proposto um conjunto de equipamentos mais acessíveis e adequados ao problema proposto, servindo de referência para a construção de exames de UAVs.

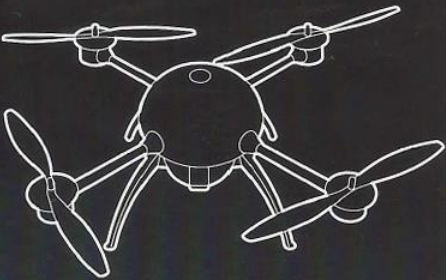
Melo (2010) implementa um VANT em miniatura com quatro rotores, fazendo parte de uma pesquisa mais abrangente. Sua autonomia de decisões foi baseada nos sensores a bordo da aeronave, sistema embarcado, controles inteligentes e tarefas a cumprir. Ao final foi desenvolvido um *firmware*, com uma interface que permite a elaboração de controladores que utilizem as informações pré-processadas. Com isso o protótipo foi elaborado de modo a permitir que as ações de controle de um especialista humano possam ser capturadas e utilizadas posteriormente.

O trabalho descrito aqui segue as mesmas linhas dos trabalhos apresentados anteriormente, baseado nas atividades a serem desenvolvidas pelo

VANT e analisando os requisitos, o veículo será construído, adaptado e configurado para atender à necessidade proposta.

4.1 VANT

As operações com VANTs vêm aumentando em número, tanto em operações militares quanto civis. Conhecidos em todo mundo como *Drones* (zangão em inglês) ou UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) trata-se de um tipo de aeronave que não requer pilotos, podendo voar autonomamente ou ser remotamente controlada em ações de monitoramento, reconhecimento, vigilância ou operações militares (sem, deste modo, colocar a vida das equipes envolvidas em risco) (R. CIANFLONE, 2011).



MULTIRROTOR	
Vantagens	Pouso e aterrissagem automáticos
	Capacidade de pairar
	Operação em áreas confinadas
Desvantagens	Menor autonomia
	Maior custo operacional
	Maior risco de queda
Aplicações Periciais	Mineração pequeno/médio porte
	Acidentes de trânsito
	Local de crime

Figura 1 - Tipo de VANT multirrotor. Fonte: (CERELLO, R.C., MAYRINK, R.R.,2013).

Medeiros (2007) define que “os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) são pequenas aeronaves, sem qualquer tipo de contato físico direto, capazes de executar diversas tarefas, tais como monitoramento, reconhecimento tático, vigilância e mapeamento, entre outras”. No entanto, se comparados com aeronaves tripuladas, os VANTs possuem algumas restrições de autonomia, maior risco de

queda, limitações em termos de capacidade de carga a bordo e condições climáticas. Quando equipado com sensores e sistemas de transmissão de dados, é possível enviar informações em tempo real tais como imagem, altitude, temperatura, dentre outras. Atualmente existem diferentes tamanhos e tipos de VANTs, com finalidades distintas (ver Figuras 1 e 2).



Diagrama de um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) com asa fixa, mostrando a silhueta do veículo com as asas estendidas e o corpo centralizado.

ASA FIXA	
Vantagens	Maior autonomia
	Capacidade de planar
	Menor custo de investimento*
Desvantagens	Restrições de pouso
	Maior dimensão para transporte
	Formação do Operador
Aplicações Periciais	Incêndio Florestal
	Desmatamento
	Construção de estrada

Figura 2 - Tipo de VANT asa fixa. Fonte: (CERELLO, R.C., MAYRINK, R.R.,2013).

A utilização deste tipo de equipamentos robóticos tem se difundido pelo mundo pela possibilidade de uso em aplicações diversas e pelo relativo baixo custo quando comparado ao uso de aeronaves convencionais (STROJNY, 2009).

4.1.1 QUADROTORES

Os quadrotores são aeronaves que possuem quatro asas rotativas (hélices) capazes de realizar pousos e decolagens verticais. As configurações mais comuns são no formato de “x” ou “+”, com um motor em cada uma das extremidades. Esse tipo de estrutura permite voos de baixa velocidade, estacionários e/ou manobras.

Os quadrotores surgiram por volta de 1900, com a ideia de um piloto controlar os quatro motores. O primeiro foi criado por Charles Richet e pelos irmãos Breguet, pesando mais de 500 quilos, com um sistema simples de ligação dos

motores ao piloto. A aeronave não conseguiu subir mais que 1,5m. Apesar dos resultados, Charles Ritcher e os irmãos Breguet introduziram a teoria dos pares de motores com rotação com sentido invertido, que ainda hoje é utilizada (COSTA, S. E. A. P, 2008).

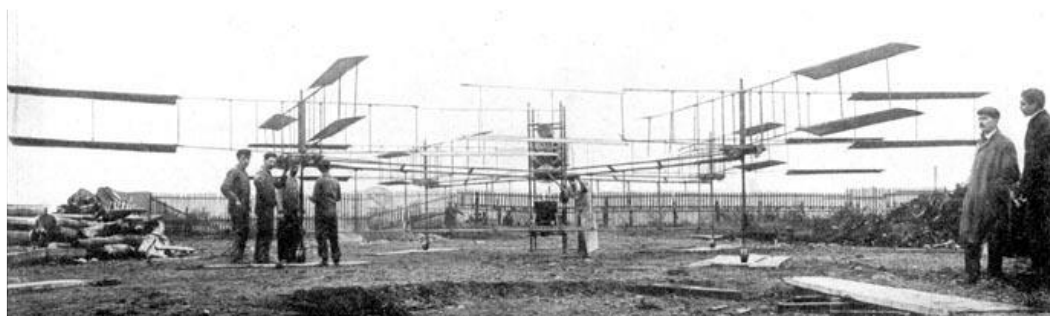


Figura 3 - Primeiro quadrotor. Fonte: (COSTA, S. E. A. P, 2008 apud J.G. LEISHMAN 2002).

Mais tarde, em 1922, o engenheiro da Peugeot Etienne Oemichen projetou uma aeronave com propulsores e 8 hélices pequenas na lateral, com aproximadamente 800 quilogramas e motor de 180 cavalos, batendo os recordes de então, já que a aeronave apresentava alto grau de estabilidade e controle (SKIBA, THIAGO,2012).



Figura 4 - Quadrotor de Etienne Oemichen. Fonte: <http://www.centennialofflight.net> apud *Hiller Aviation Museum*.

Com o passar do tempo os quadrotores ficaram obsoletos devido À dificuldade de implementação e estabilização, aos custos elevados e ao tamanho dos equipamentos, que dificultavam sua evolução. Os Multirrotores voltaram a ganhar força nas décadas mais recentes. Com a tecnologia de miniaturização de

sensores (MEMS), motores e placas foram aprimorados e as tecnologias de armazenamento evoluíram, deixando as baterias cada vez mais leves e com maior tempo de uso.

Os quadrotores da atualidade são muito mais avançados. Com os avanços tecnológicos da eletrônica passou a ser possível construir circuitos que possibilitaram embarcar *software* na aeronave, dispensando assim a necessidade de piloto, diminuindo significativamente as dimensões dos quadrotores, facilitando o uso em situações difíceis (com certa periculosidade para acesso humano), ou quando a vigilância por aeronave tripulada torna-se inviável em decorrência de riscos, custos e/ou outros fatores.



Figura 5 - VANT quadrotor. Fonte: <http://dangerousmagazine.com/>.

Como pode ser visto nas Figuras 5 e 6, o quadrotor é um tipo de aeronave multirrotor (possui mais de um motor) que consegue fazer pousos e decolagens verticais (VTOL, do inglês – *Vestical Take-Off and Landing*). Para que isso seja possível é necessário que dois motores girem em sentido horário e dois em sentido anti-horário para garantir a estabilidade do voo, assim duas das hélices estão na configuração rotativa (sentido horário) e duas na configuração contra-rotativo (sentido anti-horário), proporcionando um voo com estabilidade (NASCIMENTO, D.A, 2011).

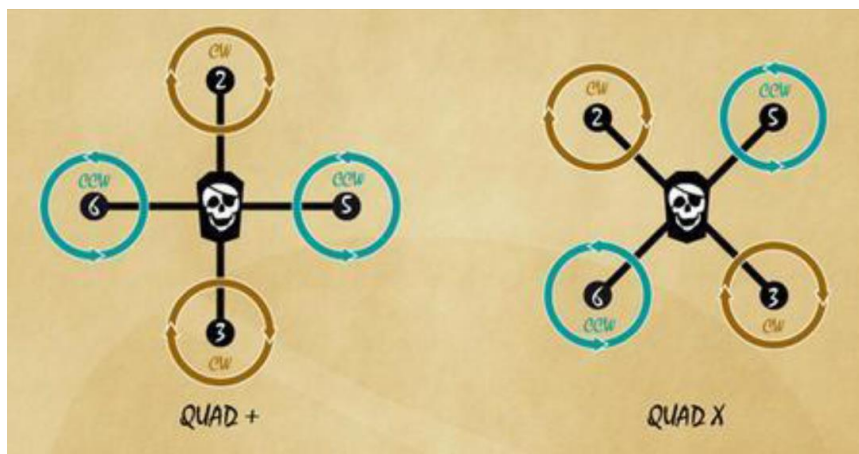


Figura 6 - Sentido de rotação das hélices. Fonte:(JUMPY07, 2012).

Para o quadrotor levantar voo é necessário o controle da velocidade dos quatro rotores. Como a força de levantamento alcançada com quatro rotores é mais uniforme do que a obtida com um único motor, o voo é mais estável do que o que se vê em aeronaves de asa fixa, apresentando também melhor adaptação e, pelo tamanho diminuído, menos requisitos para decolagem (NASCIMENTO, D.A, 2011).

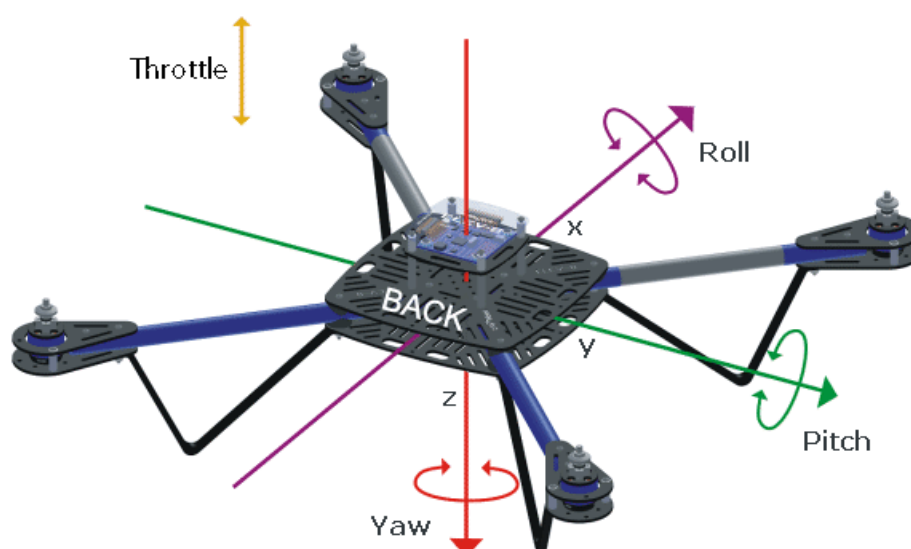


Figura 7 - Comandos do quadrotor. Fonte: <http://learn.parallax.com/multirotor-flying-guide>.

Para que seja possível controlar a aeronave alguns comandos devem ser enviados ao quadrotor, determinando a velocidade de rotação de cada rotor e deste modo movimentando o VANT para o sentido desejado. Os movimentos aceitos são: *Throttle* (Aceleração), que faz a pouso e decolagem do quadrotor no sentido

vertical; *Yaw* (guinada), movimento de rotação no eixo Z; *Roll* (rolagem), movimento de rotação no eixo X; e, *Pitch* (arfagem), ou movimento de rotação no eixo Y. A Figura 7 mostra como funciona a execução desses comandos na prática. Assim, de acordo com os comandos enviados pelo controle do usuário e com os valores capturados pelos sensores a aeronave diminui ou aumenta a rotação de seus motores de acordo com as definições de *Throttle*, *Yaw*, *Roll* e *Pitch* (LIMA JÚNIOR, F.B.L & DE PAULA, L.H.R, 2013).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho contou com o apoio do Grupo de Pesquisa ICARO (Inteligência Computacional, Automação e Robótica) da Fundação Universidade do Tocantins – UNITINS, que financiou os custos do projeto e forneceu a estrutura necessária para o seu desenvolvimento. O projeto foi alocado no laboratório de *Hardware* do Campus I da UNITINS, provido de estrutura física para desenvolvimento de projetos. Também foi disponibilizado acesso à internet via cabo, possibilitando assim que as pesquisas fossem realizadas no próprio laboratório.

A metodologia adotada na construção do protótipo visa a estruturação de uma aeronave leve, com boa capacidade de carga e autonomia de voo suficiente para pequenas missões de monitoramento e reconhecimento. Uma vez definida a localização dos componentes e efetuada a montagem do protótipo, iniciou a fase de configuração e ajustes para voo radio-controlado e semiautônomo. O voo radio-controlado foi realizado por um humano utilizando dispositivo RC de 2.4GHz, podendo, de forma alternativa, realizar o controle diretamente pelo computador ou por dispositivos móveis (funções em desenvolvimento em projetos paralelos). O controle semiautônomo se encarregará da estabilização da aeronave em voo, liberando o usuário de controles mais complexos, não ficando sob sua responsabilidade a compensação individual de cada motor para manter o protótipo em voo regular.

A seguir são elencadas as atividades desenvolvidas no decorrer deste projeto de aplicação tecnológica:

1. Estudar a placa *Crius atmega* ou equivalente, através de artigos científicos ou bibliografia complementar, buscando a configuração ideal;
2. Estudar e definir os motores, posicionamento das hélices e suas configurações, segundo considerações aerodinâmicas para esse tipo de aeronaves;
3. Estudar e definir a forma de instalação e configuração da conexão do rádio comunicador e câmera entre computador e *Drone*;
4. Definir a disponibilização dos componentes do quadrotor levando em conta a distribuição de peso e centro de gravidade;

5. Realizar a montagem da placa, motores, sensores, câmera, bateria e demais componentes no *frame*;
6. Efetuar a aferição do raio de alcance do rádio controle em diversos ambientes;
7. Estudar os sistemas de controle de missão existentes (*MissionPlanner* e *QGroundControl*);
8. Verificar a capacidade de carga máxima sem perda significativa de desempenho e autonomia de voo (duração das baterias);
9. Realizar testes de voo radio controlado, verificando estabilidade, desempenho e tempo de resposta da aeronave.

5.1 COMPONENTES

O equipamento proposto neste projeto, foi construído tendo como base a plataforma Arduino, uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre, projetada com um microcontrolador *Atmel* AVR de placa única, com suporte de entrada/saída embutido e com uma linguagem de programação padrão a qual tem origem em *Wiring* – essencialmente C/C++ (BANZI, 2007). O objetivo dessa plataforma é criar ferramentas acessíveis, com baixo custo, flexíveis e fáceis de usar, como a que pode ser visualizada na Figura 8.

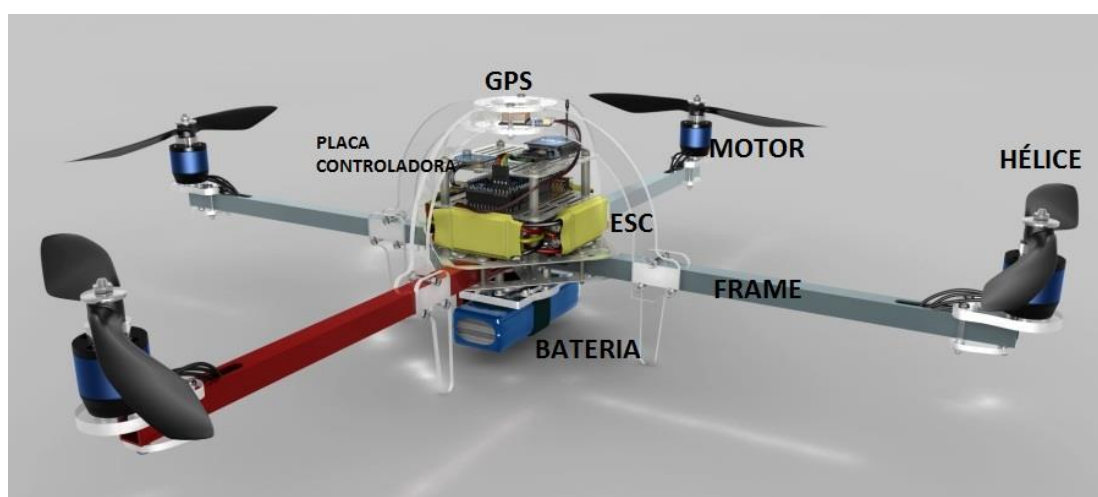


Figura 8 - *Hardware* do quadrotor. Fonte: (ARDUCOPTER, 2014).

Para viabilizar o a execução do projeto foi necessária a aquisição dos seguintes componentes:

1. *Hardware*

- a. 01 Placa controladora de voo;
- b. 01 Módulo de GPS;
- c. 04 Motores *brushless outrunner* de aproximadamente 750kv e ~20A ;
- d. 02 Hélices *nylon-carbono* 10/4.5r CW;
- e. 02 Hélices *nylon-carbono* 10/4.5r CCW;
- f. 04 ESC para controle individual da velocidade dos motores e conexão com dispositivos RC;
- g. 01 BEC ~5A para conectar a placa controladora à bateria;
- h. 01 Conjunto de telemetria composto por RX/TX, com alcance aproximado de 1km;
- i. 01 *Frame* para quadrotor, com aproximadamente 45cm de envergadura;
- j. 01 bateria de polímero de lítio (LIPO) de aproximadamente 2200mAh, de dimensões e peso reduzidos;
- k. 01 rádio controle 2.4GHz com ao menos 6 canais;
- l. 01 placa de distribuição de energia;
- m. 10 conectores *Bullet* 3,5m fêmea;
- n. 12 conectores *Bullet* 3,5m macho.

2. *Software*

- a. Ambiente de programação Arduino IDE;
- b. Sistema de controle e estabilização de voo *MegaPirateNG*;
- c. Sistema de controle de missões *MissionPlanner*.

3. Material Extra

- a. Carregador de bateria LIPO;
- b. Balanceador de hélices;
- c. Medidor de voltagem de bateria.

5.1.1 PLACA CONTROLADORA CRIUS ATMEGA 2560

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica com um microcontrolador, que com uma única placa é capaz de oferecer suporte a várias saídas digitais/analógicas. Estas são capazes de receber informações através dos sensores conectados ou existentes no próprio *hardware*, que interpretam os valores no meio físico e os transformam em sinais elétricos de saída, possibilitando então o acionamento de diversos dispositivos (LIMA JÚNIOR, F.B.L & DE PAULA, L.H.R, 2013).

Sendo o microprocessador o principal componente da inteligência embarcada, nesse trabalho foi utilizado um microprocessador de arquitetura ARM (*Advanced RISC Machine*). Esses processadores são atualmente utilizados em grande escala, quer seja em dispositivos móveis ou microcomputadores. Os comandos do ARM baseiam-se em um conjunto de instruções de 32 *bits* mais utilizadas. Graças a seu baixo custo de desenvolvimento e maior eficiência energética, sua utilização cresceu rapidamente, possibilitando maiores recursos computacionais sem sobrecarga dos recursos energéticos (VASCONCELLOS, C.S.C.C & CUTUNDA, P.R.Y.,2013).

A principal característica de um microcontrolador é possuir uma memória especial: a memória de programa, onde os códigos são armazenados e executados. Graças a seu tamanho reduzido, o microcontrolador é uma solução bastante utilizada em sistemas embarcados, que normalmente possuem recursos limitados de energia e não necessitam de muita capacidade de processamento. Por conta disso possuem pouca memória RAM, ROM e flash, sendo que em alguns microcontroladores mais modernos o armazenamento chega a ser de *Megabytes* (NASCIMENTO, D.A.,2011).

Foi utilizado neste trabalho o controlador de voo *ARM Crius All In One Pro V1.1*, que utiliza o microcontrolador Atmega 2560, devido ao baixo custo da sua

plataforma de desenvolvimento e seu alto poder computacional, que permitiram uma boa margem de segurança para implementação de algoritmos de controle.

A *Crius AIO Pro v1.1* possui as seguintes características:

- Conexão para até 8 motores;
- 8 canais de recebimento de informações;
- 4 portas seriais para conectar *Bluetooth*, *OSD*, *GPS* ou telemetria;
- 2 canais para controlar *gimbal*;
- 6 saídas analógicas;
- Microcontrolador Atmega 2560;
- Regulação de 3.3V ou 5V;
- Processador de giroscópio e acelerômetro MPU6050;
- Magnetômetro HMC 5883L;
- Altímetro MS5611-01BA01;
- *Chip* e micro USB ft232rq USB-UART.

A *Crius AIO Pro v1.1* possui três sensores embarcados: o MPU-6060, o HMC5883 e o MS5611. O MPU-6000 é um rastreador de movimento de seis eixos que integra um giroscópio de três eixos, um acelerômetro de três eixos e um processador digital de movimento. Esses dispositivos são comumente utilizados para o desenvolvimento de sistemas de controle de veículos aéreos não tripulados (SOUZA,G.M.,2012), pois:

- Os giroscópios determinam as velocidades angulares do corpo ao qual estão fixados e, por conseguinte, a orientação do veículo em relação à sua trajetória (FORHAN N, 2010a).
- Os acelerômetro determinam as acelerações do centro de massa do veículo, através das quais se obtém as forças específicas que agem sobre o mesmo (FORHAN N, 2010b).
- O DMP (*Digital Motion Processor*) capta os dados do acelerômetro, giroscópio e sensores adicionais, como magnetômetro, e os processa. Os resultados são lidos pelos registradores do DMP, o que diminui o uso do processador principal e aumenta o tempo de resposta do sistema (SOUZA, G.M, 2012).

- O magnetômetro é feito para ter alta sensibilidade a campos magnéticos. Utilizado como uma bússola de baixo custo para medição e sentido de campos magnéticos e possibilitando cálculos de trajetória para todas as direções (SOUZA, G.M, 2012).
- Outro sensor presente na placa controladora é o barômetro, responsável por medir a pressão atmosférica, assim otimizando os cálculos feitos pelo altímetro, responsável por calcular a altitude do equipamento (SOUZA, G.M, 2012).

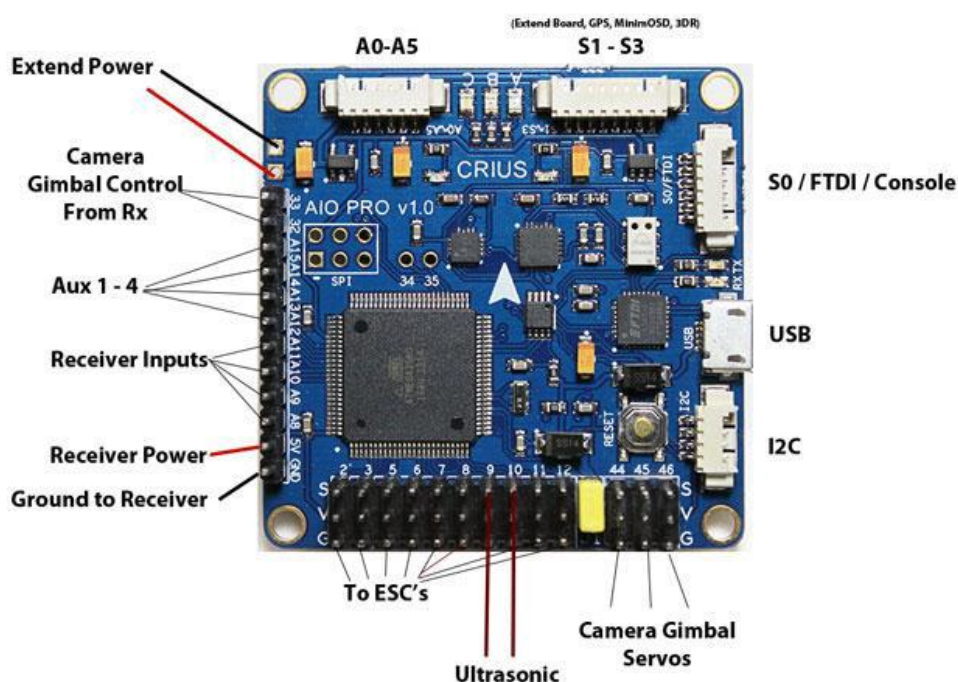


Figura 9 - Crius All In One pro V1.1. Fonte: (JUMPY07,2012).

5.1.2 MÓDULO GPS

O GPS, ou mais precisamente NAVSTAR-GPS (*Navigation System With Time and Ranging Global Positioning System*), é um Sistema de rádio navegação desenvolvido e controlado pelo departamento de defesa dos Estados Unidos com o objetivo de ser o principal sistema de navegação das forças armadas. Sua radionavegação é baseada em satélites que orbitam ao redor da terra, enviando sinais de radiofrequência. Através dessas informações os receptores GPS calculam a distância de um determinado ponto até os satélites, determinando desta forma a

respectiva posição no globo, Processamento e precisão dependem da capacidade do processamento do receptor GPS (SOUZA, G.M, 2012).

O cálculo é feito por um método chamado de triangulação, que determina a distância entre o receptor e os satélites. A distância de ao menos 3 satélites é considerada e é através da intersecção destas 3 circunferências que a distância medida é determinada, como visto na Figura 10 (NASCIMENTO, D.A., 2011).

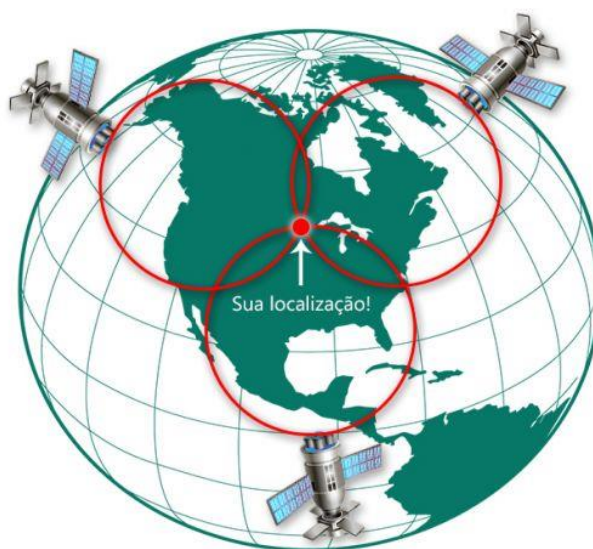


Figura 10 - Como funciona o GPS. Fonte: <http://www.oficinadanet.com.br/post/12406-como-funciona-o-gps>.

Levando em consideração o custo do equipamento e a necessidade de uma boa precisão, o receptor GPS escolhido para ser acoplado à placa controladora foi o *U-blox GPS NEO-6* módulo NEO-6M-0-001. Tal receptor possui uma capacidade de processamento relativamente alta e também apresenta alta precisão quando comparado aos demais GPS suportados.

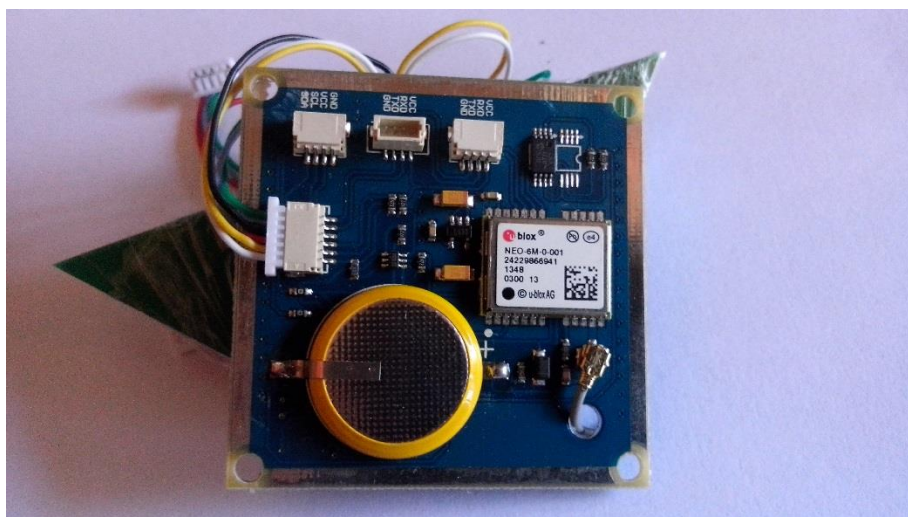


Figura 11 - GPS utilizado no quadrotor. Fonte: Autor.

5.1.3 ESC

A função dos ESC (*Electronic Speed Controllers*) é de grande relevância, visto que eles são responsáveis por fornecer a tensão necessária para aceleração dos motores, realizando também o controle da velocidade de rotação, de modo a manter a aeronave no ar.

O controle de rotação acontece através de um microcontrolador interno, que realiza o controle do motor, e de um conjunto de FETs (*Field-Effect Transistor* ou Transistores de Efeito de Campo), que acionam os motores. O ESC escolhido para este trabalho foi o *Turnigy Multistar 30A Multi-rotor 2-4s* (Figura 12), que oferece:

1. Controle de aceleração suave e linear;
2. Corrente constante de 30 A;
3. Suporte 480Hz;
4. Tensão de entrada e saída de 2 a 4 células;
5. Suporte a 240.000 rpm para *Brushless Motor* de dois polos;
6. Peso de 29 gramas;
7. PWM: 8 KHz.



Figura 12 - ESC turnigy multistar 30A. Fonte: Autor.

5.1.4 BEC

Segundo Souza (2012) BEC do inglês *battery eliminator circuit* é um circuito que transforma a tensão de entrada em tensões mais baixas para possibilitar a alimentação de outros circuitos ou dispositivos que trabalham em faixas de tensão menores que as dos motores. Em geral, a tensão de saída é de 5v, porém a capacidade de alimentação varia de acordo com o BEC.

Contudo, neste trabalho foi utilizado o UBEC de 3A (Figura 13) que possui a mesma tecnologia do BEC no entanto mais moderna, pois utiliza uma tecnologia de comutação para ganhar uma eficiência maior do que a de um BEC linear, isso significa menos calor e maior vida útil da bateria. O UBEC Oferece:

1. Proteção de calor;
2. 300KHz de frequência;
3. Saída de 5v / 3A ou 6v;
4. Entrada de 5.5V-23V;
5. Segurança contra ligação de polaridade invertida;
6. Redutor de ruídos.



Figura 13 - UBEC 3A. Fonte: <https://www.hobbyking.com/hobbyking/store>.

5.1.5 CONJUNTO DE TELEMETRIA RX/TX

Devido à necessidade de se obter informações do voo da aeronave em tempo real, enviar comandos, localizar a aeronave e realizar configurações sem a necessidade de fios, optou-se pela inclusão de um sistema de telemetria ao VANT. O sistema escolhido foi o módulo de rádio APC220, que fornece uma solução simples e econômica para comunicações de dados *wireless*. Tal sistema trabalha com:

- uma frequência que varia de 418 a 455 Mhz;
- modulação GFSK;
- alcance de 1000 metros a 9600bps em área aberta;
- *buffer* de 256 *bytes* com interface UART/TTL.

O *transceiver* APC220 é compatível com o *software* de controle de missão em solo utilizado, o *MissionPlanner*. Assim, possibilita que as configurações sejam feitas através do *kit* de telemetria. Além disso o *firmware* que é utilizado no projeto é *OpenSource*, o que possibilita a inclusão de melhorias e aumenta o aprendizado para o desenvolvimento de outras versões.



Figura 14 - Módulo rádio *wireless* Apc220. Fonte: <http://produto.mercadolivre.com.br/>.

5.1.6 MOTORES

Para este trabalho foram utilizados motores *brushless* (sem escova), por sua maior oferta e preços mais acessíveis. Os motores *brushed* (com escova) são cada vez menos utilizados por sua baixa eficiência, por apresentarem maior consumo, esquentarem mais e terem vida útil menor por desgaste natural. Os motores *brushless* oferecem maior vida útil pela ausência de desgaste da escova, faíscas e interferência magnética, e também maior eficiência, uma vez que não há perda de energia e o consumo da bateria é menor. Contudo, motores *brushless* necessitam da utilização de um ESC para controlar o fluxo de energia, o que pode torná-los caros (EVANDRO,2014).

Após vários estudos ficou evidente o tipo de motor a ser utilizado, decidindo-se pela aquisição do motor *DT750 Brushless 750kv* (Figura 15), por ser o modelo que melhor se adapta a aeronaves de pequeno porte, com as seguintes configurações:

- Voltagem de 11.1V;
- Bateria mínima de 1300mAh;
- Consumo de 18A;
- Máx. impulso de 1000 gramas;
- Peso de 78 gramas;
- Diâmetro de 41 milímetros;
- 750 rpm / V.



Figura 15 - Motor DT750 *Brushless* 750Kv. Fonte: <http://www.hobbyking.com/hobbyking/store>.

5.1.7 HÉLICE

Foram utilizados 2 pares de hélices rotativas e contra-rotativas (com o ângulo de incidência das pás invertido), do tipo *nylon-carbono* 10/4.5r, que oferecem uma maior resistência e maior empuxo em relação à outra hélice testada 8/4 (de 8:4), além de serem mais adequadas para os motores de 750Kv utilizados no trabalho.



Figura 16 - Par de hélices 10/4.5. Fonte: Autor.

5.1.8 FRAME

Considerando o número de motores e o tamanho das hélices, o *frame* escolhido para o trabalho foi o modelo *Hj450 V3*. Composto por materiais de alta resistência, com 900 milímetros de envergadura, 282 gramas e capacidade de carga de até 1.2 quilogramas, este *frame* garante segurança de voo para a aeronave, além de ser de fácil aquisição, podendo ser encontrado em lojas nacionais.



Figura 17 - *Frame* utilizado na construção do quadrotor. Fonte: <http://produto.mercadolivre.com.br/>.

5.1.9 BATERIA

Atualmente existem quatro tipos de baterias mais frequentemente utilizadas: Bateria de Li-Ion, Bateria NiMH, Bateria NiCd e Bateria de LiPo. Comparativamente melhor, a bateria de LiPo apresenta maior densidade de energia, não possui efeito memória, conta com maior capacidade de descarga e carga e maior ciclo de vida. Adicionalmente, é largamente utilizada no desenvolvimento de veículos aéreos não tripulados, fato esse que aumenta sua oferta e incentiva os avanços tecnológicos na área (SOUZA, G.M., 2012).

O tipo de bateria utilizada no trabalho foi a de LiPo, modelo *Zippy Flightmax* 2200mAh 3S1p 30C, com 3 células em paralelo de 3,7V cada, capaz de gerar um total de 11,1V e com peso de 190 gramas. Essa bateria é responsável por alimentar

toda a placa controladora, ESCs, com uma autonomia de voo de aproximadamente 10 minutos, variando de acordo com o peso da aeronave e a rotação dos motores.



Figura 18 - Bateria de LiPo 3S de 2200mAh. Fonte: <https://www.hobbyking.com/hobbyking/store/>

5.1.10 RADIO CONTROLE

A comunicação com o VANT se faz através de um rádio controle, com uso de ondas de rádio frequência para transmissão de dados apesar de vários dispositivos utilizarem essa tecnologia, tais como motores de portão, helicópteros, alarmes etc. Tais equipamentos possuem tecnologia distinta, mas compartilham o mesmo princípio de uso de um transmissor responsável por enviar as ondas de rádio para o receptor. O receptor fica acoplado no circuito e recebe os dados enviados pelo transmissor, transformando-os em sinais elétricos, enquanto os atuadores executam os comandos recebidos pelo receptor.

O sistema de rádio controle escolhido é composto pelo rádio *FUTABA T6J* (Figura 19) e o receptor FUTABA, ambos com 6 canais de comunicação. O sistema trabalha a uma frequência de 2.4Ghz, com alcance de até 2 quilômetros em campo aberto.

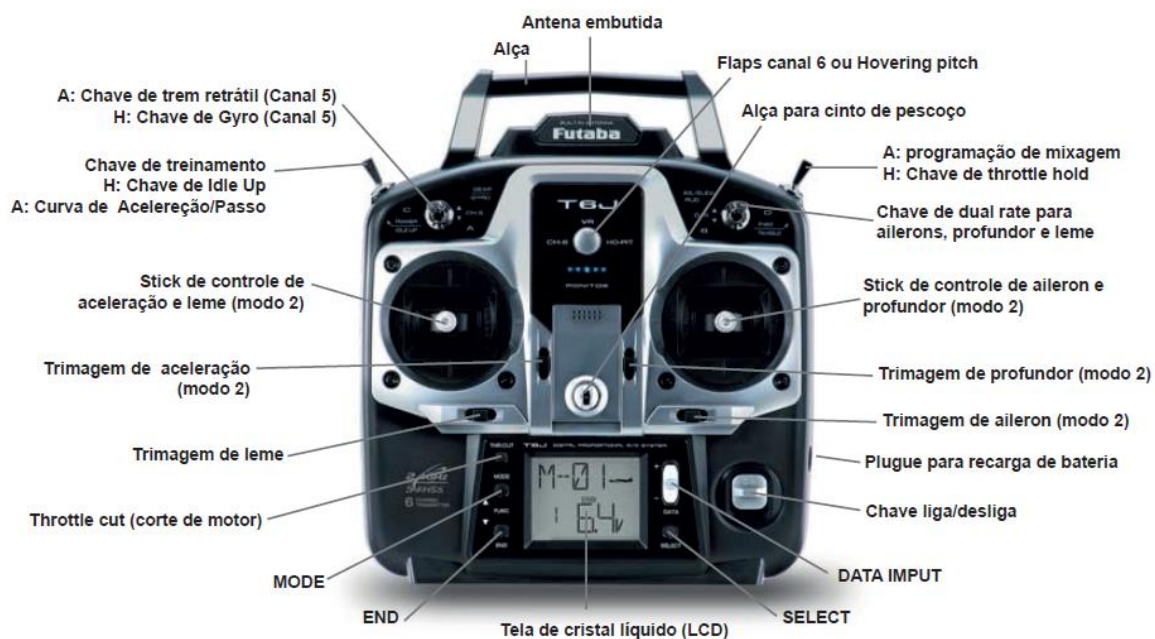


Figura 19 - Rádio Controle FUTABA T6J. Fonte: (FUTABA, 2011).

6 DESENVOLVIMENTO PRÁTICO

Após vários estudos de caso optou-se pelo método demonstrado na Figura 20 para montagem e configuração do VANT quadrotor.

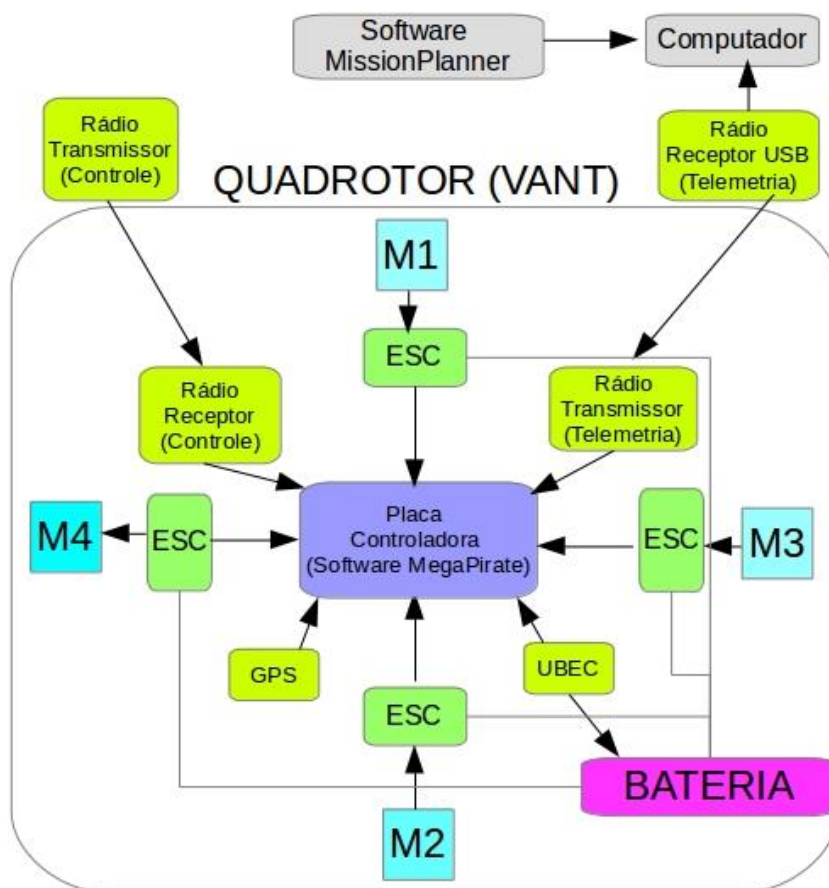


Figura 20 - Exemplo de montagem de um VANT quadrotor. Fonte: Autor.

No esquema da figura anterior é possível visualizar as conexões físicas e lógicas adotadas no protótipo construído para este trabalho, sendo M1, M2, M3 e M4 os motores do quadrotor.

6.1 MONTAGEM

Para a construção do protótipo inicialmente procedeu-se à preparação do *frame*, já que por questões de segurança e facilidade de transporte ele é fornecido embalado e desmontado. Uma chave em formato de “L” e os parafusos necessários acompanham a embalagem do produto.

Antes de posicionar a tampa inferior do frame foi necessário soldar 4 pares de fios de 3,5mm na placa de distribuição (alimentação dos ESCs), soldando nas

pontas dos fios os conectores *Bullet* 3,5mm fêmea que facilitarão o encaixe e a manutenção dos ESCs posteriormente.

Houve necessidade também de acoplar conectores *Bullet* 3.5mm macho em dois pares de fios da placa de distribuição, assim como nos motores, visando facilitar a conexão da placa de distribuição à bateria e ao UBEC, e a conexão entre motores e ESCs.

Após realizada a solda dos fios na placa de distribuição, esta foi fixada no *frame* com utilização de suportes de plástico, conforme visto na Figura 21.

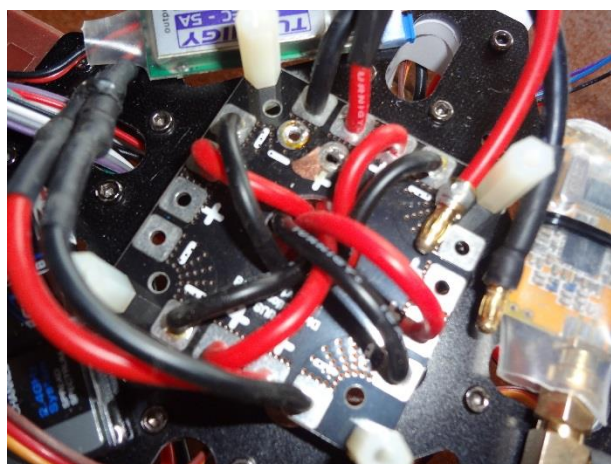


Figura 21 - Placa de distribuição de energia fixada no *frame*. Fonte: Autor.

Com a placa de distribuição fixada no *frame*, o próximo passo são os ESCs, que foram fixados na parte inferior do *frame* com abraçadeiras de *nylon*, deixando-os mais próximos da placa controladora, de forma a evitar excesso de fios perto dos motores. Vide figura 22.

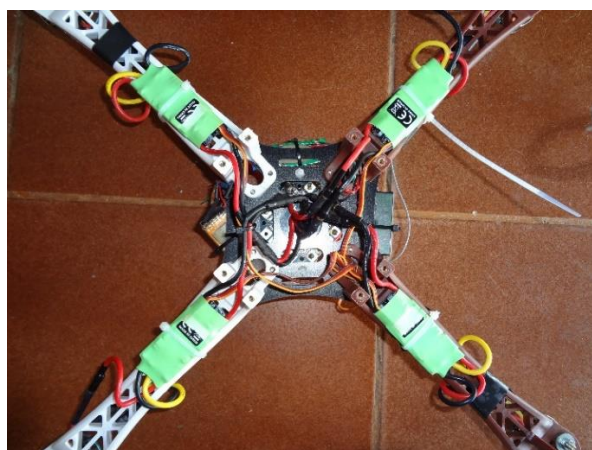


Figura 22 - Fixação dos ESCs no *frame*. Fonte: Autor.

Para fixação dos motores no *frame* foram utilizados oito parafusos, oito arruelas e oito porcas de 6mm, respectivamente. Importante lembrar que os motores três e quatro giram no sentido anti-horário (vide capítulo 4.1.1); dessa forma, faz-se necessária a ligação do fio positivo do motor ao fio negativo do ESC, e do fio negativo do motor ao fio positivo do ESC. Tal configuração só se aplica aos motores três e quatro. Motores um e dois seguem a configuração padrão (positivo com positivo, negativo com negativo). Por fim, material termo retrátil foi utilizada para evitar curto-circuito



Figura 23 - Fixação do motor no *frame*. Fonte: Autor.

Para fixar a placa de telemetria, o UBEC, o receptor do RC e o GPS foram utilizadas fita dupla face na parte que fica em contato com o *frame* e uma abraçadeira de *nylon* para cada dispositivo. Todos foram fixados próximo ao local onde ficará a placa controladora, de modo a obter uma melhor divisão de peso no *frame*. Por último fixou-se a placa controladora, com auxílio de parafusos de *nylon*, mantendo a seta do centro da placa apontando para a frente do quadrotor. Uma boa sugestão é a utilização de um quadrado de E.V.A. (Espuma Vinílica Acetinada) embaixo da placa controladora, visando amenizar a propagação de vibrações dos motores para os sensores da placa.

Para o funcionamento dos periféricos da placa é necessário seguir um padrão de conexão.

Para a placa controladora receber os comandos do RC, conecta-se um canal do receptor do rádio controle em uma porta de entrada da placa controladora: canal 1 na porta A09, canal 2 na A10, canal 3 na porta A08, canal 4 na porta A11, canal 5 na porta A12 e canal 6 na porta A13. Para alimentação do receptor liga-se 5V e o GND da placa controladora no receptor, conforme Figura 24.

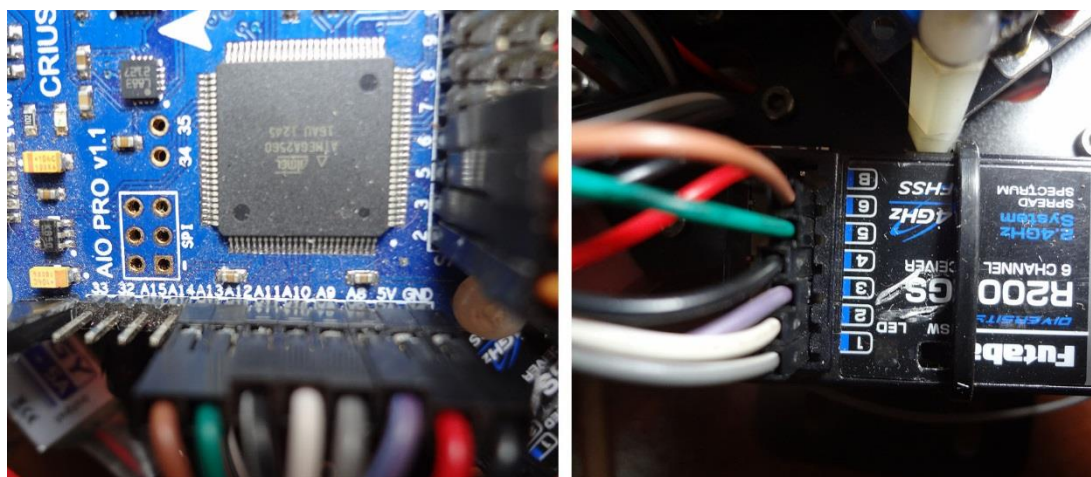


Figura 24 - Conexão receptor RC na placa controladora. Fonte: Autor.

Para os ESCs receberem os comandos do rádio controle é necessário que estejam conectados à placa controladora, seguindo o modelo proposto na Figura 6, com o quadrotor no formato "+". Assim sendo, o motor 1 conecta-se na porta 2, o motor 2 na porta 3, o motor 3 na porta 5 e o motor 4 na porta 6, conforme figura 25.

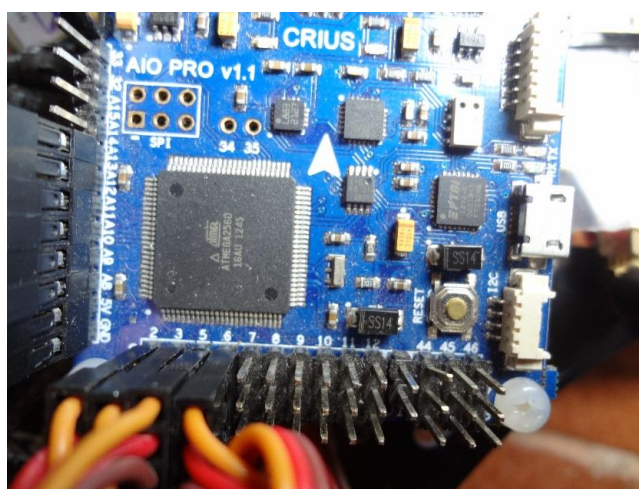


Figura 25 - Conexão dos ESCs na placa controladora. Fonte: Autor.

Para conectar a placa de telemetria e o GPS foi feito o uso das portas seriais da placa controladora, sendo que a placa de telemetria utiliza as portas TX3 e RX3 e o GPS utiliza TX2 e RX2. Ambas as placas são alimentadas pelos fios da própria porta serial, sendo o fase e o terra, normalmente são nas cores vermelho e preto, respectivamente, conforme Figura 25

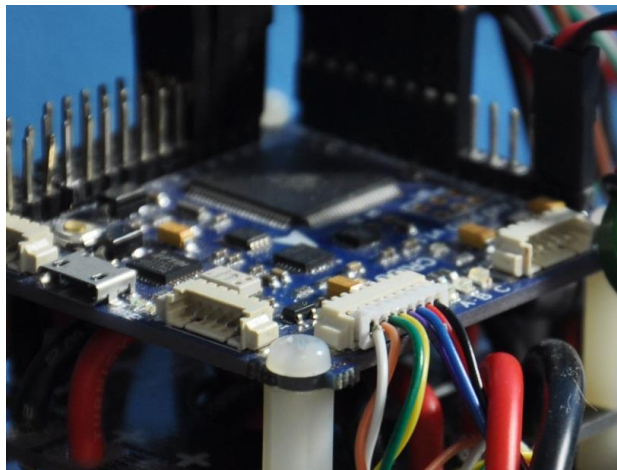


Figura 26 - Conexões da porta serial. Fonte: Autor.

O UBEC conecta-se à porta 5V e ao GND, que fica próximo à porta 33 de entrada, lembrando que o UBEC é o responsável por fornecer alimentação para a placa controladora

Por fim, conectam-se as hélices nos motores, lembrando sempre que dois pares giram em sentido horário e dois pares em sentido anti-horário, conforme já foi visto na figura 6. Para fixação foram utilizadas quatro porcas de pressão e quatro arruelas ambas de 6 polegadas.

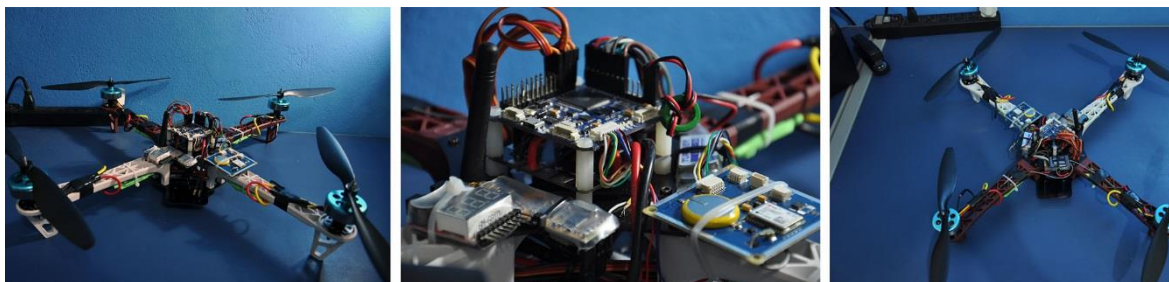


Figura 27 - Montagem completa do quadrotor. Fonte: Autor.

Ao final da montagem do quadrotor, com todos os itens de hardware devidamente fixados ao frame e conectados à controladora (Figura 27), inicia o procedimento de configuração da aeronave.

6.2 CONFIGURAÇÃO

Para a aeronave conseguir levantar voo e pousar são necessárias algumas configurações, dentre as quais:

1. Editar o *firmware* e fazer *upload* para a placa controladora;
2. Configurar o rádio controle;
3. Fazer calibração dos ESCs;
4. Fazer calibração do acelerômetro;
5. Calibração do rádio controle;
6. Fazer balanceamento das hélices.

Para fazer as devidas alterações e *upload* do *firmware* para a placa controladora foram utilizados os seguintes *softwares*: Arduino IDE, drive da placa controladora que pode ser obtido no site da empresa *ftdichip*, o *firmware MegaPirateNG 2.8 R3* e um cabo USB mini.

Com o cabo USB conectado à placa controladora e o Arduino IDE aberto, seleciona-se o tipo de *Board Arduino Mega 2560*, depois deve ser aberto o código fonte do *firmware* e selecionado o arquivo *APM_Config.h*. Para o correto funcionamento da aeronave foram necessárias algumas alteração nesse arquivo, a saber:

1. Selecionar o tipo da placa

```
#define PIRATES_SENSOR_BOARD PIRATES_CRIUS_AIO_PRO_V1
```

2. Selecionar o Barômetro

```
#define CONFIG_BARO AP_BARO_MS5611_I2C
```

3. Selecionar o GPS

```
#define GPS_PROTOCOL GPS_PROTOCOL_UBLOX
```

4. Selecionar o tipo de *frame*

```
#define FRAME_CONFIG QUAD_FRAME
```

5. Selecionar o tipo de orientação do *frame*

```
#define FRAME_ORIENTATION X_FRAME
```

Feitas as alterações no código, deve ser realizada a compilação e *upload* para a placa controladora. Ao final, se tudo ocorrer bem, aparecerá a mensagem *upload done*.

Para o rádio controle (RC) funcionar corretamente com o quadrotor algumas configurações precisam ser realizadas dentro do próprio RC. Pressionando o botão *mode* por alguns segundos é possível realizar algumas destas alterações:

1. Selecionar o tipo de aeronave “TYPE HELI”
2. Reverter a posição do servo canal 3 “REVR CH 3 VER

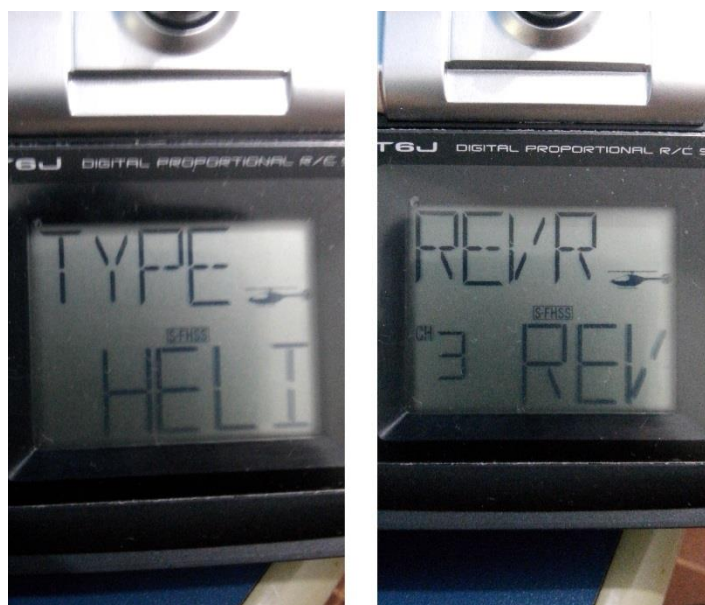


Figura 28 - Configuração do rádio controle. Fonte: Autor.

O canal 3 no quadrotor (*Throttle*) é responsável pela decolagem e pouso da aeronave. Ao acioná-lo, a rotação dos quatro motores é simultaneamente aumentada.

Para calibrar os ESCs é necessário colocar o *throttle* na posição máxima (conforme figura 29), antes de ligar a bateria na aeronave. Depois conecta-se a bateria no VANT, espera alguns segundos e aguarda a aeronave emitir um som mais longo. Quando isso ocorrer deve-se retornar o *throttle* para a posição mínima e esperar a emissão do som novamente. Ocorrendo isso, desconecta-se a bateria no quadrotor, pois ele estará com os ESCs calibrados.



Figura 29 - Calibração dos ESCs. Fonte: Autor.

O acelerômetro, em conjunto com o giroscópio, são responsáveis pelo nivelamento da aeronave. Caso apresentem algum nível de inclinação, a placa controladora envia comandos para o motor específico a fim de aumentar a sua rotação e nivelar a aeronave. Para calibrar o acelerômetro conecta-se a placa controladora no computador pelo cabo USB e utiliza-se o *software MissionPlanner* v1.3.12 que oferece suporte à configuração de vários periféricos da aeronave, além de acompanhar a aeronave com informações de telemetria em tempo real (Figura 30).

Dentro do programa seleciona-se o ícone *TERMINAL* e automaticamente será efetuada a conexão com a placa controladora. Após isso basta digitar *setup* e depois *level*, lembrando que a aeronave deve estar em uma superfície plana.

Após alguns segundos o acelerômetro estará calibrado conforme pode ser visto na Figura 31.



Figura 30 - Software MissionPlanner. Fonte: Autor.



Figura 31 - Calibração do acelerômetro. Fonte: Autor.

É necessário também calibrar o rádio. A placa controladora precisa saber qual é o máximo e o mínimo de cada uma das chaves do radio controle. Para isso, deve-se conectar a placa controladora ao computador com o cabo USB e, através do *software MissionPlanner*, pressionar o ícone *Connect*. Após a conexão ser estabelecida, basta clicar no ícone *INITIAL SETUP*, acessar o item *Mandatory Hardware* e, na sequência, *Radio Calibration*. Com o RC ligado deve-se pressionar o botão *Calibrate Radio* e mover as chaves do rádio controle para todas as direções nos pontos máximos e mínimos. Após isso, é só pressionar o botão *Click when Done* para encerrar o processo de calibração.

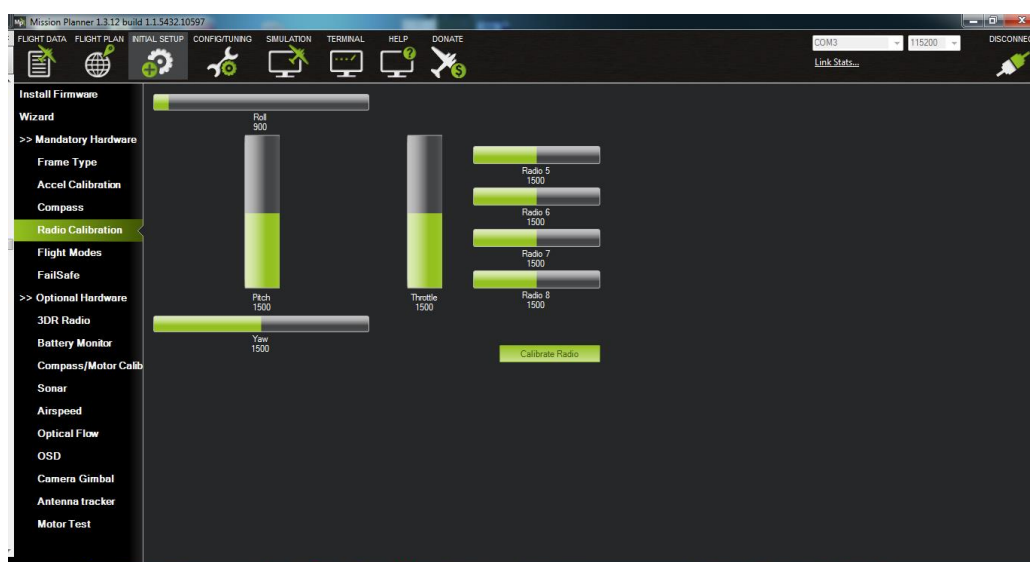


Figura 32 - Calibração do rádio controle. Fonte: Autor.

Para se evitar vibrações na aeronave é importante fazer o balanceamento das hélices, esse procedimento é efetuado através de uma lixa d'água fina que é passada levemente na parte inferior do lado que apresenta mais peso da hélice, coloca-se novamente a hélice no balanceador (Figura 33) para verificar se o peso está uniforme, se não, continua o processo de lixar e testar até alcançar um peso uniforme.



Figura 33 - Balanceando hélices. Fonte: <http://produto.mercadolivre.com.br/>.

6.3 FUNCIONAMENTO

Para colocar a aeronave em funcionamento, primeiramente armam-se os motores, o que significa que a aeronave está pronta para receber os comandos de aceleração. O receptor do controle, por sua vez, recebe o comando e repassa para a placa controladora, que interpreta as instruções e solicita o aumento de alimentação da tensão dos pinos da placa controladora, pino 2, pino 3, pino 5 e pino 6, que correspondem a conexão dos ESCs que controlam a velocidade de rotação de cada um dos motores.

A medida que o VANT levanta voo, as funções de estabilização e controle do *firmware MegaPirateNG* começam a funcionar, de forma que se algum lado estiver mais pesado ou sofre alterações devido a situações do tempo os motores compensam, buscando manter a aeronave controlada e nivelada, sem a necessidade da intervenção humana para isso. Esse processo só é possível devido ao fato da placa controladora possuir alguns sensores que ficam em constante monitoramento, a fim de proporcionar uma melhor usabilidade.

6.4 TESTES REALIZADOS E RESULTADOS OBTIDOS

Inicialmente foram realizados dois testes de voo que demonstraram as funcionalidades do sistema.

O primeiro teste foi realizado no pátio do Campus I da UNITINS, que tinha limitação de espaço. No entanto como o objetivo era testar e verificar o sistema de propulsão, a limitação de espaço não foi grande empecilho. A aeronave levantou voo e foi a uma altura de 5 metros e aterrissou, fazendo uso sempre no modo de voo em *stabilize* para facilitar o manuseio. Contudo devido a uma descalibração do acelerômetro, ao levantar voo a aeronave deslocou levemente para o lado esquerdo, todavia não acarretou danos a aeronave. As Imagens do voo podem ser vista na Figura 34.



Figura 34 - Primeiro teste de voo. Fonte: Autor.

O segundo teste foi realizado em um local mais adequado e seguro. O local escolhido foi o estacionamento do Centro de Convenções da cidade de Palmas-TO, pois possui uma grande área aberta, permitindo um voo mais amplo sem a preocupação com acidentes. Nesse dia, todos os equipamentos foram embarcados. No entanto, no dia do teste, as condições climáticas não estavam favoráveis: havia rajadas de ventos em sentidos aleatórios. Logo, foi uma bom cenário para verificar o comportamento da aeronave em situações adversas.

O equipamento alcançou altitude superior a 25 metros. Demonstrou instabilidade ao diminuir a rotação devido ao ESC do pino 6 apresentar problema de energização do motor, a qual deixou o motor 4 com rotação inferior aos demais, fator esse que foi limitante para continuidade dos testes, além da ausência de um sensor de bateria, que permitisse a verificação da bateria a longas distancias,

através do *kit* de telemetria. No momento o VANT conta apenas com um sensor sonoro, o qual é conectado diretamente na bateria. Algumas imagens desse voo podem ser vistas na Figura 35.



Figura 35 - Segundo teste de voo. Fonte: Autor.

Apesar dos problemas detectados já terem sido resolvidos, a aeronave ainda apresenta alguns problemas de estabilidade que já estão com solução prevista, aguardando apenas a chegada de componentes, entre os quais, algumas melhorias para o VANT, como a substituição da placa controladora pela controladora ArduPilot, que oferece uma melhor experiência de voo.

Após a conclusão deste trabalho, o protótipo continuará sendo aperfeiçoado pelo grupo de pesquisa ICARO, em parceria com Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Tocantins, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e o Instituto Federal do Estado do Tocantins, os quais possuem interesse em expandir o projeto, com a finalidade de facilitar e proteger a vida humana.

Dentro do contexto do presente trabalho, houve uma série de publicações científicas e divulgação na mídia (revista especializada e televisão), que demonstraram e repercutiram a importância do trabalho, sendo:

1. MORAIS, B. ; SILVA, A. A. C. ; CAMARGO, O. K. O. ; YEPES, I. . Protótipo de Veículo Aéreo Não Tripulado para Monitoramento Ambiental e Apoio a Missões USAR. In: *Computer on The Beach*, 2014, Florianópolis. *Computer on The Beach* 2014. Itajaí/SC: UNIVALI, 2014.
2. MORAIS, B. ; YEPES, I.. VANT com Características Autônomas para Monitoramento Ambiental. In: Seminário de Informática e Tecnologia, 2013, Bandeirantes/PR. VII SITE - Seminário de Informática e Tecnologia. Bandeirantes: UENP, 2013. v. 1.
3. PAIVA, J. P. S. ; MORAIS, B. ; Malfatti, S. M. ; SOUSA, M. A. F. ; YEPES, I. . Câmera de VANT Controlada a Partir da Detecção Automática de Objetos Utilizando Visão Computacional. In: *XXI International Conference on Electrical Eng. Electronics Eng. and Computer Science* (INTERCON 2014), 2014, Arequipa/Peru. *Proceedings of XXI INTERCON*. Arequipa/Peru: Universidad Católica San Pablo - IEEE Sección 9, 2014. v. 1. p. 335-340.
4. REVISTA EMERGÊNCIA, Nº 63 Junho/2014, pag 16, Inteligência Artificial.
5. TV ANHANGUERA-TO, Alunos desenvolvem robô para ajudar no combate a incêndios, exibido em: 02 de abril de 2014. Disponível em: <http://globo.tv.globo.com/tv-anhanguera-to/bom-dia-tocantins/v/alunos-desenvolvem-robo-para-ajudar-no-combate-a-incendios/3254780/>

7 CONCLUSÕES

Após estudos realizados neste trabalho ficou claro que a escolha do *hardware* adequado para o quadrotor deve se basear nos critérios especificados pela demanda de aplicação para que, dessa forma, seja possível chegar à configuração ideal.

De acordo com a quantidade de dados a serem lidos pelos sensores, pode ser necessária a aquisição de uma nova placa controladora para uma melhor experiência e estabilização da aeronave.

Para escolha dos motores deve-se levar em conta o tamanho do VANT, o peso e equipamentos acoplados, para que dessa forma o motor tenha quantidade de torque e empuxo suficientes para alcançar voo e não sobrecarregar os motores ou consumir energia desnecessariamente.

Os ESCs são responsáveis por controlar a rotação dos motores sendo assim, eles devem ser escolhidos com uma potência superior ao dimensionamento de potência utilizado. Dessa forma os motores não sobreaquecem evitando redução de sua vida útil.

Ao escolher a bateria devem ser levados em consideração alguns aspectos como amperagem dos ESCs, o tempo de voo desejado para a aeronave e o peso total do VANT, pois quanto mais pesado for o conjunto, maior será a necessidade de rotação dos motores ou deverá ocorrer a opção por um motor mais potente, que por sua vez consumirá mais energia. Deve-se então tentar encontrar um equilíbrio para alcançar uma maior autonomia de voo.

Sendo assim é possível concluir que o VANT aqui desenvolvido pode ser perfeitamente utilizado para auxiliar o serviço do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Tocantins no controle ambiental, resgate e preservação da vida humana, monitoramento de focos de incêndio, sendo capaz de chegar em locais de difícil acesso e efetuar missões sem a necessidade de um rádio controle (uso de *way-points*), além de ser um equipamento com baixo custo de aquisição e manutenção, se comparado a uma aeronave tripulada.

Em um futuro próximo, os VANTs poderão oferecer um maior suporte as forças de segurança, de forma que cada vez mais sejam diminuídos os riscos aos agentes de segurança pública, os quais todos os dias trabalham por um bem maior: Salvar vidas.

8 TRABALHOS FUTUROS

A curto prazo, o grupo de pesquisa ICARO já trabalha com uma câmera com visão computacional que identifica focos de calor ou cores específicas. Com ela acoplada no VANT será possível uma melhor abordagem das equipes de segurança no combate às queimadas no cerrado, uma vez que no estado do Tocantins o bioma predominante é o cerrado, o qual todos os anos é acometido por vários focos de incêndio.

Com intuito de apoiar a pesquisar e proteger a vida humana, o Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Tocantins, está adquirindo por meio de parceria, dois VANTs comerciais do tipo quadrotor, com a finalidade de monitorar áreas de desastre e queimadas, dispensando assim ingresso direto de humanos para inspeção em regiões colapsadas, diminuindo o risco a vida do bombeiro militar. Tais equipamentos poderão ser usados pelo grupo de pesquisa ICARO, o qual dará suporte técnico, treinamento e desenvolverá sistemas computacionais para os equipamentos.

A longo prazo, pela natureza aberta do projeto, espera-se um estudo mais aprofundado de todos os componentes, de forma que no futuro possibilite o desenvolvimento do próprio *firmware* com inteligência artificial, deixando a aeronave mais autônoma e permitindo um trabalho de monitoramento de 24hs por dia, 7 dias por semana. O projeto tem potencial e nichos de mercado promissores.

Por ter sido utilizada uma plataforma aberta, além dos trabalhos previstos é possível adicionar mais sensores na aeronave, o que abrirá novas possibilidades de uso. Auxiliar operações da polícia, encontrar pessoas desaparecidas, realizar monitoramento climático e monitorar focos de dengue são algumas dessas aplicações.

.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARDUCOPTER. **The Full-Featured Multicopter UAV**. Disponível em: <http://code.google.com/p/arducopter>. Acesso em 01 de novembro de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724: informação e documentação; trabalhos acadêmicos, apresentação**. Rio de Janeiro: ABNT 2002.

BANZI, M., **Getting started with Arduino**. O'Reilly & Associates, 2007.

COSTA, S. E. A. P, **Controle e Simulação de um Quadrirotor Convencional**, 2008. 103f, Tese (mestrado em engenharia aeroespacial), Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

CERELLO, R.C., MAYRINK, R.R., **VANT A nova arma pericial**, 2013, Brasília, ano XIV, n. 32, p. 8-13, nov. 2013.

EVANDRO, **O que significa brushed?**, Disponível em: <http://evandro.net/aeromodelismo/aeromodelismo-significado-motor-brushed.html> acessando em: 12/11/2014

FORHAN N. **Giroscópios MEMS**. Relatório técnico-científico de pesquisa. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2010.

FUTABA, Futaba Corporation, **Manual de Instruções**, Japão, 2011, 32 p.

FURTADO, V H. et al. **Aspectos de Segurança na Integração de Veículos Aéreos não Tripulados (VANT) no Espaço Aéreo Brasileiro**. Simpósio de Pesquisa em Transporte Aéreo, 2008, Rio de Janeiro. Anais do VII SITRAER. Rio de Janeiro: E-Papers, 2008.

J.G. LEISHMAN. The Bréguet-Richet Quadroter Helicopter of 1907, 2002.

JUMPY07, **Crius AIO V1.0 & V1.1 & MegaPirateNG**, 2012, 36p.

LIMA JÚNIOR, F.B.L & DE PAULA, L.H.R, **Controle de um Veículo Aéreo não Tripulado Utilizando a Plataforma Arduino**, Trabalho de Conclusão de Curso. 45 f (Curso de Ciências da Computação – Universidade UNIRG) Gurupi, 2013.

MEDEIROS, F.A. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão**, 2007. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MELO, A.S., **Implementação de um Quadroter como plataforma de Desenvolvimento para Algoritmos de Controle**. 114 f., Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Espírito Santo), Vitória, 2010.

NASCIMENTO, D.A., **Análise de Requisitos de Hardware em Projeto de UAV quadrotor**, 2011, 72 f, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia da Computação da Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco) Recife, 2011.

PASTOR, E; LOPES, J and ROYO, P. **UAV Payload and Mission Hardware/Software Architecture**. IEEE A&E Systems Magazine. Jun 2007.

R. CIANFLONE. **VANTs: a nova tendência em aeronaves**. 15 de junho de 2011, Disponível em: <http://www.aereo.jor.br/2011/06/15/vants-a-nova-tendencia-em-aeronaves/> . Acesso em 10 de outubro de 2014.

SKIBA, THIAGO. **Desenvolvimento de um protótipo quadrotor utilizando lógica reconfigurável como plataforma de estudos para técnicas de controle**. 2012. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica com ênfase em Eletrônica do Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná). Curitiba, 2012

SOUZA, G.M., **Desenvolvimento e um Veículo Aéreo Não Tripulado para Monitoramento de Regiões Desmatadas Através do Georreferenciamento de Imagens**, Monografia. 71 f., (Curso em ciências da computação – Universidade Estadual de Santa Cruz), Ilhéus, 2012.

SOUZA, J D A de. **Development of Unmanned Aerial Four-Rotor Vehicle**. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Automação. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal: 2011.

STROJNY, B. A, **Integration of conformal GPS and VHF/UHF communication antennas for small UAV applications**, Antennas and Propagation. EuCAP 2009. 3rd

VASCONCELLOS, C.S.C.C & CUTUNDA, P.R.Y., **Projeto, Construção e controle de um Protótipo de um Quadrirrotor**, Projeto (Departamento de Eletrônica e de Computação - UFRJ), Rio de Janeiro, 2013.

ANEXO I

Código fonte APM_Config.h firmware MegaPirateNG 2.8 R3

```
// -*- tab-width: 4; Mode: C++; c-basic-offset: 4; indent-tabs-mode: nil
-*-
#ifndef __ARDUCOPTER_APMCONFIG_H__
#define __ARDUCOPTER_APMCONFIG_H__
// Example config file. Take a look at config.h. Any term define there
can be overridden by defining it here.

// Select your sensor board
#define PIRATES_SENSOR_BOARD PIRATES_CRIUS_AIO_PRO_V1
/*
    PIRATES_ALLINONE
    PIRATES_FFIMU
    PIRATES_FREEIMU
    PIRATES_BLACKVORTEX
    PIRATES_FREEIMU_4 // New FreeIMU 0.4.1
with MPU6000, MS5611 and 5883L
    PIRATES_DROTEK_10DOF_MPU // MPU6000, MS5611 and 5883L
    PIRATES_CRIUS_AIO_PRO_V1 // Crius AllInOne Pro v1(1.1)
    PIRATES_CRIUS_AIO_PRO_V2 // Crius AllInOne Pro v2
*/

// RC configuration

// PPM_SUM(CPPM) Signal processing
#define SERIAL_PPM SERIAL_PPM_DISABLED
/*
    SERIAL_PPM_DISABLED
    SERIAL_PPM_ENABLED // For all boards, PPM_SUM
pin is A8
    SERIAL_PPM_ENABLED_PL1 // Use for CRIUS AIOP Pro v2,
*/

#define TX_CHANNEL_SET TX_mwi
/*
    TX_set1 //Graupner/Spektrum

    PITCH,YAW,THROTTLE,ROLL,AUX1,AUX2,CAMPITCH,CAMROLL
    TX_standard //standard PPM layout
Robbe/Hitec/Sanwa ROLL,PITCH,THROTTLE,YAW,MODE,AUX2,CAMPITCH,CAMROLL
    TX_set2 //some
Hitec/Sanwa/others
    PITCH,ROLL,THROTTLE,YAW,AUX1,AUX2,CAMPITCH,CAMROLL
    TX_mwi //MultiWii layout

    ROLL,THROTTLE,PITCH,YAW,AUX1,AUX2,CAMPITCH,CAMROLL
*/

// Select your baro sensor
#define CONFIG_BARO AP_BARO_MS5611_I2C
/*
    AP_BARO_BMP085_PIRATES
    AP_BARO_MS5611_I2C
*/
```

```

// Warning: COPTER_LEDS is not compatible with LED_SEQUENCER, so enable
only one option
//#define COPTER_LEDS_ENABLED // New feature coming from ArduCopter
//#define LED_SEQUENCER_ENABLED // Old Oleg's LED Sequencer, see
leds.pde for more info

#define MAX_SONAR_RANGE 400

// This OSD works on the Serial1 port
#define OSD_PROTOCOL OSD_PROTOCOL_NONE
/*
    OSD_PROTOCOL_NONE
    OSD_PROTOCOL_SYBERIAN
    OSD_PROTOCOL_REMZIBI // Read more at:
    http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=921467
    OSD_PROTOCOL_FRISKY // FrSky Telemetry protocol
*/

// For BlackVortex, just set PIRATES_SENSOR_BOARD as PIRATES_BLACKVORTEX,
GPS will be selected automatically
#define GPS_PROTOCOL GPS_PROTOCOL_UBLOX
/*
    GPS_PROTOCOL_NONE without GPS
    GPS_PROTOCOL_NMEA
    GPS_PROTOCOL_SIRF
    GPS_PROTOCOL_UBLOX <<< Select this for UBLOX LEA-6 (CRIUS GPS
boards and others)
    GPS_PROTOCOL_MTK16
    GPS_PROTOCOL_BLACKVORTEX
    GPS_PROTOCOL_AUTO auto select GPS
*/

#define SERIAL0_BAUD 115200 // Console port
#define SERIAL2_BAUD 38400 // GPS port
#define SERIAL3_BAUD 57600 // Telemetry (MAVLINK)
port

// New in 2.0.43, but unused in MegairateNG
// MPNG: Piezo uses AN5 pin in ArduCopter, we uses AN5 for CLI switch
#define PIEZO DISABLED
#define PIEZO_LOW_VOLTAGE DISABLED
#define PIEZO_ARMING DISABLED

#define FRAME_CONFIG QUAD_FRAME
/*
    QUAD_FRAME
    TRI_FRAME
    HEXA_FRAME
    Y6_FRAME
    OCTA_FRAME
    OCTA_QUAD_FRAME
    HELI_FRAME
*/

#define FRAME_ORIENTATION X_FRAME
/*
    PLUS_FRAME
    X_FRAME
    V_FRAME
*/

```

```

# define CH7_OPTION                CH7_DO_NOTHING
/*
    CH7_DO_NOTHING
    CH7_SET_HOVER
    CH7_FLIP
    CH7_SIMPLE_MODE
    CH7_RTL
    CH7_AUTO_TRIM
    CH7_ADC_FILTER (experimental)
    CH7_SAVE_WP
    CH7_MULTI_MODE
*/

// #define TOY_EDF_ENABLED
// #define TOY_MIXER TOY_LOOKUP_TABLE

// #define RATE_ROLL_I    0.18
// #define RATE_PITCH_I   0.18
// #define MOTORS_JD880
// #define MOTORS_JD850

// agmatthews USERHOOKS
// the choice of function names is up to the user and does not have to
// match these
// uncomment these hooks and ensure there is a matching function un your
// "UserCode.pde" file
// #define USERHOOK_FASTLOOP userhook_FastLoop();
// #define USERHOOK_50HZLOOP userhook_50Hz();
// #define USERHOOK_MEDIUMLOOP userhook_MediumLoop();
// #define USERHOOK_SLOWLOOP userhook_SlowLoop();
// #define USERHOOK_SUPER_SLOWLOOP userhook_SuperSlowLoop();
// #define USERHOOK_INIT userhook_init();

// the choice of includeed variables file (*.h) is up to the user and
// does not have to match this one
// Ensure the defined file exists and is in the arducopter directory
// #define USERHOOK_VARIABLES "UserVariables.h"

// to enable, set to 1
// to disable, set to 0
// #define AUTO_THROTTLE_HOLD 1

// if PIRATES_SENSOR_BOARD == PIRATES_CRIUS_AIO_PRO_V2
//     #define LOGGING_ENABLED    ENABLED
// else
//     #define LOGGING_ENABLED    DISABLED
// endif

// Custom channel config - Expert Use Only.
// this for defining your own MOT_n to CH_n mapping.
// Overrides defaults (for APM1 or APM2) found in config_channels.h
// MOT_n variables are used by the Frame mixing code. You must define
// MOT_1 through MOT_m where m is the number of motors on your frame.
// CH_n variables are used for RC output. These can be CH_1 through CH_8,
// and CH_10 or CH_12.
// Sample channel config. Must define all MOT_ channels used by
// your FRAME_TYPE.
// #define CONFIG_CHANNELS CHANNEL_CONFIG_CUSTOM

```

```

// #define MOT_1 CH_6
// #define MOT_2 CH_3
// #define MOT_3 CH_2
// #define MOT_4 CH_5
// #define MOT_5 CH_1
// #define MOT_6 CH_4
// #define MOT_7 CH_7
// #define MOT_8 CH_8

// ***** EXPERIMENTAL FEATURES *****

// Alt hold with accelerometer
#define ACCEL_ALT_HOLD 0 // disabled by default, work in
progress

#define INERTIAL_NAV DISABLED

#if INERTIAL_NAV == ENABLED
    #define ALT_HOLD_P 3
    #define ALT_HOLD_I 0
    #define ALT_HOLD_IMAX 300

    // RATE control
    #define THROTTLE_P 5 //
    #define THROTTLE_I 0.4 //
    #define THROTTLE_D 0.0 //

    #define LOITER_P 0.50
    #define LOITER_I 0.0
    #define LOITER_RATE_P 5 //
    #define LOITER_RATE_I 0.1 // Wind control
    #define LOITER_RATE_D 0.0 // try 2 or 3 for
LOITER_RATE 1
#endif

// Enabling this will use the GPS lat/long coordinate to get the compass
declination
// #define AUTOMATIC_DECLINATION ENABLED

// #define CLI_ENABLED DISABLED

// #define FAILSAFE

#endif // __ARDUCOPTER_APMCONFIG_H__

```