

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ**  
**SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

**SISTEMA DE CONTROLE DE POUSO E DECOLAGEM DE VANT  
DO TIPO VTOL QUADRICÓPTERO, BASEADO EM VISÃO  
COMPUTACIONAL**

**GILBERLON RIOS CUNHA OLIVEIRA**

**PICOS  
2016**

**GILBERLON RIOS CUNHA OLIVEIRA**

**SISTEMA DE CONTROLE DE POUSO E DECOLAGEM DE VANT  
DO TIPO VTOL QUADRICÓPTERO, BASEADO EM VISÃO  
COMPUTACIONAL**

Monografia apresentada como exigência  
para obtenção do grau de Bacharelado  
em SISTEMAS DE INFORMAÇÃO da  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ.

Orientador: Prof. Ivenilton Alexandre De  
Souza Moura

**PICOS  
2016**

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí**  
**Biblioteca José Albano de Macêdo**

**O482s** Oliveira, Gilberlon Rios Cunha.

Sistema de controle de pouso e decolagem de vant do tipo vtol quadricóptero, baseado em uma visão computacional / Gilberlon Rios Cunha Oliveira.– 2016.

CD-ROM : il.; 4 ¾ pol. ( 61 f.)

Monografia (Curso Bacharelado em Sistemas de Informação) – Universidade Federal do Piauí, Picos, 2016.

Orientador(A): Prof. Ivenilton Alexandre de Souza Moura

1. VANT. 2. Visão Computacional. 3. Quadricóptero.  
I. Título.

**CDD 005**

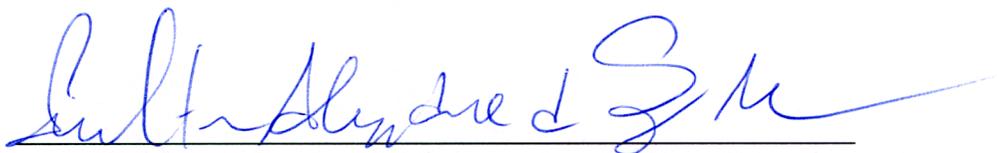
SISTEMA DE CONTROLE DE POUSO E DECOLAGEM DE VANT DO TIPO VTOL  
QUADRICÓPTERO BASEADO EM VISÃO COMPUTACIONAL

GILBERLON RIOS CUNHA OLIVEIRA

Monografia APROVA DA como exigência parcial para obtenção do grau de  
Bacharel em Sistemas de Informação.

Data de Aprovação

Picos – PI, 19 de FEVEREIRO de 2016



Prof. Esp. Ivenilton Alexandre de Souza Moura  
Orientadora



Prof. Me. Frank César Lopes Vêras  
Membro



Prof. Esp. Dennis Sávio Martins da Silva  
Membro

Dedico este trabalho aos meus pais, Givaldo Gomes de Oliveira e Maria Ivoneide Rios Cunha Oliveira, a minha irmã, Saane Rios Cunha Oliveira, aos demais familiares e amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por permitir mais uma conquista e mais um etapa concluída com sucesso.

Aos meus pais, que além de serem as pessoas mais importantes em minha vida, são os principais responsáveis pelo ser humano que me tornei.

A minha irmã que me aconselhava nos momentos difíceis e aos demais familiares que tanto contribuíram financeiramente e com palavras de motivação.

A galera da “depressão”, aos amigos que conquistei ao longo dessa jornada e aos irmãos de pais e mães diferente que conheci e que levarei comigo a onde quer que eu vá.

E aos viajantes de Serrolândia e outras cidades que me deram incontáveis caronas.

Aos professores que foram peças importantes na formação do meu conhecimento, em especial meu orientador Prof. Ivenilton Alexandre De Souza Moura.

E todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para esse momento, um forte abraço e um “Muito Obrigado”.

“Voar é a segunda maior emoção conhecida pelo homem.  
Pousar é a primeira.”

(Autor Desconhecido)

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei  
para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser,  
mas Graças a Deus, não sou o que era antes.”

(Marthin Luther King)

“Inventar é imaginar o que ninguém pensou; é acreditar no  
que ninguém jurou; é arriscar o que ninguém ousou; é  
realizar o que ninguém tentou. Inventar é transcender.”

(Santos Dumont)

## RESUMO

Este trabalho tem por finalidade o desenvolvimento de um sistema de controle de pouso e decolagem, de forma autônoma, para veículos aéreos não tripulados (VANTs) do tipo VTOL (*Vertical Take-Off And Landing* ou traduzido para o português, decolagem e pouso vertical), mais especificamente quadricópteros, com base em técnicas de visão computacional, bem como a montagem do protótipo para a aplicação do sistema.

O sistema proposto visa permitir que aeronaves desse tipo possam realizar missões em locais de difícil acesso e que apresentam relevo irregular ou obstáculos que venham a impedir o pouso/decolagem das mesmas.

Ao longo do trabalho serão apresentadas as técnicas e tecnologias a serem utilizadas para o processamento das imagens, obtenção das informações e retroalimentação do sistema, assim como os componentes necessários para montagem do protótipo, o porquê de cada componente e como funcionam, a dinâmica de voo desse tipo de aeronave e o porquê da escolha desse tipo.

Graças ao grande número de fatores que influenciam diretamente no pouso e decolagem da aeronave, as técnicas de visão computacional não trabalharão de forma isolada, alguns sensores serão utilizados para o melhor desempenho do VANT na realização das tarefas e em sua localização.

Com as soluções para pouso/decolagem que serão apresentadas, novas perspectivas podem surgir, o projeto serve de embasamento para projetos futuros e aplicação da solução apresentada em situações reais, podendo ser utilizado em diversas áreas e setores.

**Palavras-chave:** VANT, Visão Computacional, Quadricóptero

## ABSTRACT

This study aims to develop a landing control system and takeoff autonomously for unmanned aerial vehicles (UAVs) of VTOL type (Vertical Take-Off And Landing or translated into Portuguese, vertical takeoff and landing) more specifically quadricópteros, based on computer vision techniques as well as assembly of the prototype system for implementation.

The system proposed is intended to allow such aircraft can perform missions in remote places and have irregular relief or obstacles that may prevent the landing / take-off of the same.

During the work will be presented techniques and technologies to be used for processing the images, obtaining system information and feedback, as well as the components necessary for assembling the prototype, why each component and how they work, the flight dynamics this type of aircraft and why the choice of this type.

Thanks to the large number of factors that directly influence the landing and takeoff of aircraft, the computer vision techniques will not work in isolation, some sensors will be used for the best performance of the UAV in the tasks and their location.

With solutions for landing / take-off to be presented, new opportunities may arise, the project serves as a basis for future projects and application of the solution presented in real situations and can be used in various fields and sectors.

**Keywords:** UAV, Computer Vision, Quadcopter

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Primeiro VANT da história.....   | 15 |
| Figura 2 - Diagrama tipos de aeronaves .....  | 16 |
| Figura 3 - VANT Asa Fixa.....   | 16 |
| Figura 4 - VANT Asa Rotativas. ....   | 17 |
| Figura 5 - Abordagens de extração da informação visual. ....  | 20 |
| Figura 6 - Técnica de reconstrução de acordo com o número de câmeras.....                             | 20 |
| Figura 7 - Técnicas Não Baseadas em Reconstrução. ....  | 22 |
| Figura 8 - Princípio de um sensor ativo.....  | 23 |
| Figura 9 - Módulo com quatro sensores passivos: Giroscópio, Acelerômetro, Bússola e Barométrico. .... | 23 |
| Figura 10 - Exemplo de sistema de telemetria. ....  | 24 |
| Figura 11 - Transformação de corrente contínua em pulso.....  | 25 |
| Figura 12 - Diferença entre motores inrunner e outrunner. ....  | 27 |
| Figura 13 - Estrutura dos pacotes MAVLink.....  | 30 |
| Figura 14 - Definição dos pontos de interesse no Mission Planner.....                                 | 32 |
| Figura 15 - Modelo de frame utilizado no projeto. ....  | 35 |
| Figura 16 - Especificações técnicas do motor utilizado no projeto. ....                               | 35 |
| Figura 17 - Modelo de hélices utilizada no projeto. ....  | 36 |
| Figura 18 - Detalhes da placa controladora utilizada. ....  | 37 |
| Figura 19 - Circuito do módulo OSD. ....  | 37 |
| Figura 20 - Rádios 3DR para telemetria.....   | 38 |
| Figura 21 - Módulo de Alimentação.....  | 39 |
| Figura 22 - Uma das baterias adquiridas para o projeto.....   | 39 |
| Figura 23 - Carregador de bateria utilizado no projeto. ....  | 40 |
| Figura 24 - Modelo de ESC escolhido para o projeto. ....  | 41 |
| Figura 25 - Distribuidor de energia utilizado. ....   | 41 |
| Figura 26 - Módulo GPS Ublox Neo 6M. ....   | 42 |
| Figura 27 - Diagrama do Projeto. ....   | 44 |
| Figura 28 - Exemplo de estrutura em X do modo radial. ....  | 45 |
| Figura 29 - Exemplo de estrutura em + do modo radial. ....  | 45 |
| Figura 30 - Exemplo de estrutura em X do modo coaxial.....  | 46 |
| Figura 31 - Exemplo de estrutura em Y do modo coaxial.....  | 46 |
| Figura 32 - Exemplo de estrutura do modo linear. ....   | 47 |
| Figura 33 - Sentido de rotação das Hélices.....   | 47 |
| Figura 34 - Estimate Electric Motor & Prop Combo.....   | 50 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 35 - Received Signal Strength Indicator (RSSI).....                   | 51 |
| Figura 36 - Teste dos Sensores. ....   | 51 |
| Figura 37 - Reconhecimento de uma caneta.....                                | 52 |
| Figura 38 - Reconhecimento de uma garrafa térmica. ....                      | 52 |
| Figura 39 - Reconhecimento de moeda de 1 Real.....                           | 53 |
| Figura 40 - Reconhecimento de um copo.....                                   | 53 |
| Figura 41 - Integração entre sistema de visão e <i>Mission Planner</i> ..... | 54 |
| Figura 42 - Corrente recebida pelos motores. ....                            | 54 |
| Figura 43 - Iniciando processo de Decolagem. ....                            | 55 |
| Figura 44 - Quadricóptero decolando.....                                     | 55 |
| Figura 45 - Quadricóptero pousando.....                                      | 56 |
| Figura 46 - Finalizando processo de pouso.....                               | 56 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Descrição dos bytes do pacote. .... | 30 |
|--|----|

## LISTA DE ABREVIATURAS E SILGAS

|         |  |
|---------|--|
| 3D      | Três Dimensões   |
| A       | Amperes  |
| APM     | <i>Arduino Pilot Mega</i>                                  |
| BEC     | <i>Battery Elimination Circuit</i>                         |
| BLDC    | <i>Brush-Less Direct Current</i>                           |
| C       | Taxa De Descarga   |
| CEO     | <i>Chief Executive Officer</i>                             |
| cm      | Centímetro   |
| DoD     | <i>Department of Defense</i>                               |
| EEPROM  | <i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i> |
| ESC     | <i>Electronic Speed Controller</i>                         |
| FPV     | <i>First Person View</i>                                   |
| GB      | Gigabyte   |
| GPRS    | <i>General Packet Radio Services</i>                       |
| GPS     | <i>Global Positioning System</i>                           |
| I2C     | <i>Inter-Integrated Circuit</i>                            |
| IMU     | <i>Inertial Measurement Unit</i>                           |
| Kbps    | Quilobit Por Segundo                                       |
| kV      | Velocidade Constante Do Motor, Medida Em Rpm Por Volt      |
| LiPo    | lítio-polímero   |
| mAh     | <i>Miliampère-Hora</i>                                     |
| MALA    | Média Altitude e Longo Alcance                             |
| MAVLink | <i>Micro Air Vehicle Link</i>                              |
| MB      | Megabyte   |
| mm      | Milímetro  |
| OSD     | <i>On-Screen Display</i>                                   |
| P       | NÚMERO DE PACKS  |
| RAM     | <i>Random Access Memory</i>                                |
| rpm     | Rotações Por Minuto  |
| S       | Número De Células  |
| STOL    | <i>Short Take-Off And Landing</i>                          |
| UAS     | <i>Unmanned Aircraft Systems</i>                           |
| UAV     | <i>Unmanned Aerial Vehicle</i>                             |
| USB     | <i>Universal Serial Bus</i>                                |
| V       | Volt   |
| VANT    | Veículo Aéreo Não Tripulado                                |
| VTOL    | <i>Vertical Take-Off And Landing</i>                       |
| RSSI    | <i>Received Signal Strength Indicator</i>                  |

## SUMÁRIO

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1      | INTRODUÇÃO .....  | 13 |
| 1.1    | OBJETIVOS.....  | 13 |
| 1.1.1  | GERAL.....  | 13 |
| 1.1.2  | ESPECÍFICO .....  | 14 |
| 1.2    | ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....                                 | 14 |
| 2      | VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS.....                           | 13 |
| 2.1    | QUADRICÓPTEROS .....  | 17 |
| 2.2    | VANTS AUTÔNOMOS.....  | 18 |
| 2.3    | VISÃO COMPUTACIONAL .....                                     | 19 |
| 2.4    | SENSORIAMENTO.....  | 22 |
| 2.5    | TELEMETRIA.....   | 24 |
| 2.6    | ESTRUTURA .....   | 24 |
| 2.7    | TRANSFORMAÇÃO DA CORRENTE .....                               | 25 |
| 2.8    | MOTORES ELÉTRICOS.....  | 26 |
| 2.9    | PROPULSÃO.....  | 27 |
| 2.10   | CONTROLE DA AERONAVE .....                                    | 27 |
| 2.11   | FONTE ENERGÉTICA.....   | 28 |
| 2.12   | MAVLINK .....   | 29 |
| 2.12.1 | ESTRUTURA DO PACOTE .....                                     | 29 |
| 2.13   | ESTAÇÃO DE CONTROLE EM SOLO .....                             | 31 |
| 2.14   | MISSION PLANNER .....   | 31 |
| 3      | MONTAGEM DO PROTÓTIPO.....                                    | 34 |
| 3.1    | FRAME.....  | 34 |
| 3.2    | MOTORES.....  | 35 |
| 3.3    | CONJUNTO DE HÉLICES .....                                     | 35 |
| 3.4    | PLACA CONTROLADORA .....                                      | 36 |
| 3.5    | MINIMOSD E TELEMETRIA .....                                   | 37 |
| 3.6    | MÓDULO DE ALIMENTAÇÃO .....                                   | 38 |
| 3.7    | BATERIA.....  | 39 |
| 3.8    | CARREGADOR DE BATERIA .....                                   | 39 |
| 3.9    | ESCs .....  | 40 |
| 3.10   | DISTRIBUIDOR DE ENERGIA .....                                 | 41 |
| 3.11   | MÓDULO GPS.....   | 42 |
| 3.12   | DEMAIS COMPONENTES DE HARDWARE.....                           | 42 |
| 4      | SISTEMA DE CONTROLE DE POUSO E DECOLAGEM DE VANT DO TIPO VTOL |    |

|   |    |
|---|----|
| QUADRICÓPTERO, BASEADO EM VISÃO COMPUTACIONAL ..... | 44 |
| 4.1 ESTRUTURA E DINÂMICA DE VOO .....               | 45 |
| 4.2 SISTEMA DE VISÃO COMPUTACIONAL .....            | 48 |
| 4.3 RECONHECIMENTO DE OBJETOS .....                 | 48 |
| 5 RESULTADOS E TESTES DO SISTEMA.....               | 50 |
| 6 CONCLUSÃO.....                                    | 57 |
| REFERÊNCIAS.....                                    | 58 |

## **1 INTRODUÇÃO**

Nos últimos anos, houve uma crescente utilização de VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) no meio civil, embora grande parte dos projetos ainda seja para o meio militar. Atualmente, aqui no Brasil, uma das principais utilizações no âmbito civil é na cobertura de eventos, onde os VANTs mais utilizados são os do tipo VTOL (Vertical Take-Off And Landing), graças a uma certa facilidade de controle e fornecimento de um melhor ângulo de visão para a cobertura dos eventos.

Entretanto, o uso de VANTs não se restringe apenas a isso, esta tecnologia é detentora de um potencial incrível, não existe limite para o que se pode fazer com ela, pois a mesma está em constante mudança e novas ideias surgem a cada dia.

O estudo focará nos VANTs do tipo quadricóptero, visto que o problema que se pretende resolver é com relação ao controle de pouso e decolagem em locais de difícil acesso que podem ou não ser terrenos acidentados ou com obstáculos, aumentando ainda mais o potencial desse tipo de aeronave, tornando-a capaz de futuramente talvez realizar operações de salvamento ou missões de exploração de locais desconhecidos aqui na terra ou até mesmo no espaço.

Para que um dia os VANTs consigam trabalhar de forma completamente autônoma é preciso que se comece com a realização de algumas tarefas de forma autônoma, esse é o pretendido com o projeto, desenvolver um sistema que permita que os VANTs, por meio da visão computacional, identifique estímulos visuais e utilize-os para realizar pousos e decolagens de forma autônoma, esse projeto pretende viabilizar a realização de outros projetos, onde será possível dar continuidade ao processo de autonomia.

### **1.1 OBJETIVOS**

#### **1.1.1 GERAL**

Montagem de um quadricóptero bem como desenvolvimento de um sistema capaz de permitir que a aeronave realize pousos e decolagens de forma autônoma,

utilizando recursos de visão computacional.

### **1.1.2 ESPECÍFICO**

- Montar um quadricóptero
- Compreender e aplicar a dinâmica de voo desse tipo de VANT
- Montar uma estação de controle em solo
- Utilizar recurso de telemetria
- Estudar o protocolo MAVLink
- Compreender e aplicar técnicas de visão computacional
- Integrar os subsistemas do projeto

## **1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Este trabalho está estruturado em seis capítulos:

No Capítulo 1 é apresentada a introdução do trabalho, além dos objetivos geral e específicos.

O Capítulo 2 refere-se ao embasamento que foi necessário para realização do projeto, o referencial teórico, colhido de projetos e estudos relacionados ao tema.

No Capítulo 3 ocorre a descrição detalhada dos componentes de *hardware* necessários e os modelos escolhidos.

O Capítulo 4 discorre a respeito do desenvolvimento do sistema pretendido, com foco maior na parte lógica do sistema, os *softwares*, técnicas e procedimentos utilizados.

O Capítulo 5 apresenta os testes realizados e os resultados obtidos, antes, durante e após o desenvolvimento do sistema.

No Capítulo 6 são apresentadas as considerações finais, abordando aspectos que foram relevantes ao desenvolvimento do projeto e os trabalhos futuros que possam surgir.

## 2 VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS



**Figura 1** - Primeiro VANT da história.

Fonte: [Nonami *et al.* 2010]

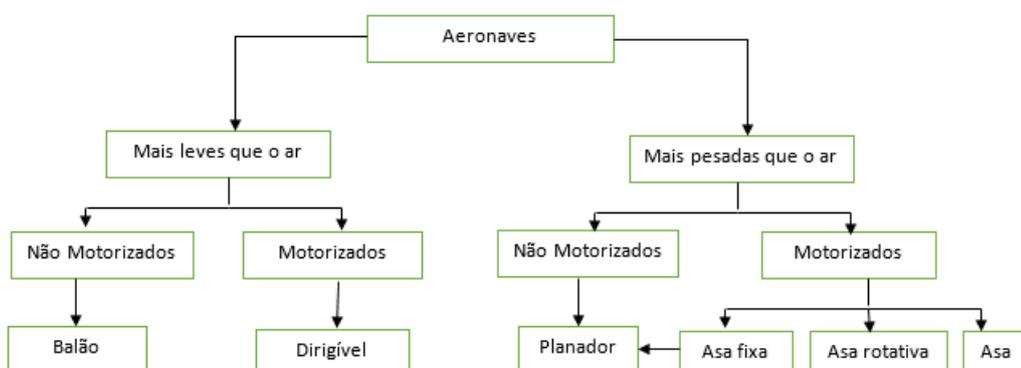
Nota: Construído pelos norte-americanos Lawrence e Sperry em 1916.

O termo VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), que foi originado do inglês *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), é bastante utilizado, embora existam outros como: *Uninhabited Aerial Vehicles* (COX *et al.*, 2004), *Unmanned Aircraft Systems* (UAS). Segundo Longhitano (2010), o termo *Drone* (em português significa zangão) também tem sido aplicado, principalmente nos Estados Unidos.

De acordo com JP (2011), o Departamento de Defesa Americano (*Department of Defense – DoD*) define VANT como “uma aeronave ou um balão que não transporta um operador humano e é capaz de voar sob controle remoto ou autônomo”.

Embora essa tecnologia tenha surgido no meio militar e ainda hoje existir uma grande concentração nesse âmbito, existe uma crescente utilização desse tipo de aeronave para realizar as mais distintas tarefas no campo civil, como por exemplo: controle de doenças, vigilância urbana e de fronteiras, monitoramento de queimadas, dutos (PETROBRÁS, 2011), linhas de transmissão (CEMIG, 2011), serviço de entrega de mercadorias, etc.

Os VANTs podem ser classificados de diversas formas, de acordo com diversas características e variam de autor para autor.



**Figura 2** - Diagrama tipos de aeronaves.

Fonte: Autoria própria.

Nota: Diagrama adaptado de Siegart & Nourbakhsh (2004).

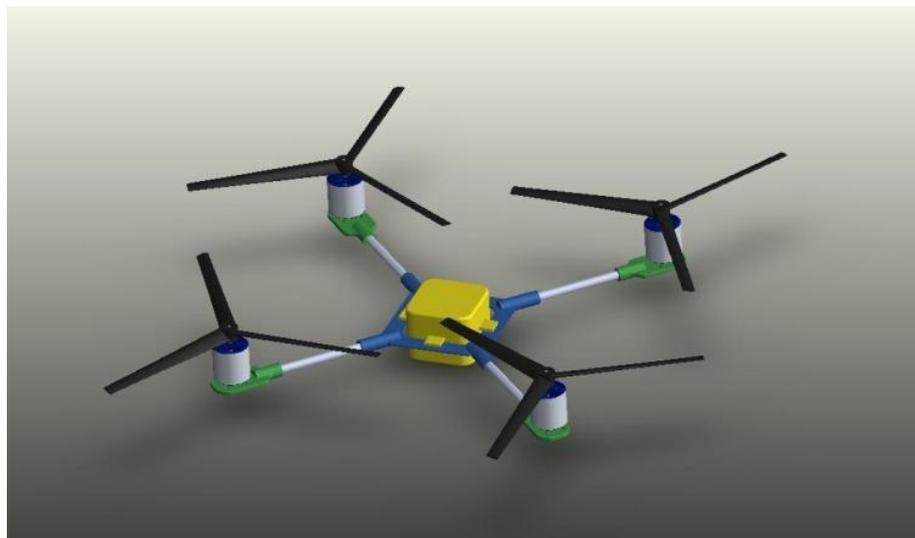
De acordo com Valavanis (2007) podem ser categorizados com base no princípio de voo:

- Asas fixas, ver Figura 3.
- Asas rotativas, ver Figura 4.



**Figura 3** - VANT Asa Fixa.

Fonte: <



**Figura 4** - VANT Asa Rotativas.

Fonte: < <http://diydrone.com/profiles/blogs/quadrotor-chipkit-max32>>

Podem ser classificados de acordo com o tipo de pouso e decolagem:

- Vertical (VTOL - *vertical take-off and landing*).
- Em curto espaço (STOL - *short take-off and landing*).

E ainda outras classificações como:

- MALA (Média Altitude e Longo Alcance).

Segundo Dos Santos (2009), os VANTs do tipo VTOL destacam-se dos demais graças à sua capacidade de voar numa baixa altitude, efetuar voo estacionário, decolar e pousar na vertical. Dos Santos (2009) ainda completa que dentre os VTOLs percebe-se que ultimamente tem existido uma preferência pelos quadricópteros, se comparado com os helicópteros comuns, e isso se dá graças a uma menor complexidade mecânica e maior facilidade no controle da aeronave.

## 2.1 QUADRICÓPTEROS

Os quadricópteros são do tipo VTOL, logo, são capazes de realizar pousos e decolagens verticais além de poder pairar em altitude e posição determinada. Outra classificação recebida pelos quadricópteros é que são aeronaves do tipo mais pesadas que o ar.

Esse tipo de VANT vem se solidificando como plataforma padrão em estudos e trabalhos que envolvem robótica aérea. De acordo com Mahony *et al.* (2012a) o quadricóptero está se tornando plataforma padrão para pesquisas de percepção e mobilidade tri-dimensional, assim como os robôs com rodas se tornaram plataforma para estudo da robótica móvel na década de 90. Isto se dá graças a grande flexibilidade que essa plataforma proporciona à robótica aérea.

Apesar da crescente utilização desse tipo de aeronave, existem dois problemas que ainda dificultam uma maior utilização desse tipo de VANT. O primeiro deles é com relação ao tempo de voo, a grande maioria dos quadricópteros desenvolvidos possuem motores elétricos, logo necessitam de uma fonte de energia, no entanto, as baterias que existem atualmente são bastante limitadas, tornando o tempo de voo também bastante limitado. Claro que existem meios de reduzir esse problema e aumentar o tempo de voo, como por exemplo a utilização de placas solares, que vão recarregar as baterias durante o voo, todavia isso aumentaria os custos de hardware, fazendo com que o quadricóptero perca um de seus grandes atrativos que é justamente o baixo custo, devido a uma mecânica relativamente simples, e traria a tona o segundo problema desse tipo de aeronave que é a carga útil.

Esse tipo de aeronave tende a ser bastante leve, pois os projetistas tentam reduzir o máximo de peso para que o consumo de energia durante o voo seja menor e conseqüentemente aumente o tempo de voo, por isso que os componentes de hardware geralmente são limitados, em contrapartida acaba limitando o desempenho da aeronave e o que ela pode realizar.

## **2.2 VANTS AUTÔNOMOS**

Um sistema autônomo pode ser caracterizado por sua habilidade em executar a tarefa para a qual foi projetado sem que haja qualquer interferência de mecanismo externo de controle (FABRO, 1996).

Como já foi apresentado, existem diversos tipos de VANTs, com diversas características e distinções que os adequam a cada situação ou interesse, no entanto, as últimas pesquisas com relação a robótica aérea, de modo geral trazem uma característica comum, independentemente do tipo de VANT que se pretenda utilizar o

grande atrativo é a sua autonomia.

Apesar da grande maioria dos VANTs ainda possuírem pouca, ou nenhuma autonomia, acredita-se que em breve robôs aéreos sejam capazes de agir autonomamente e de forma colaborativa (VALAVANIS, 2007).

Os sistemas de navegação autônomos devem ser capazes de definir um conjunto de ações a serem tomadas pelos robôs, que possuem um conjunto de sensores limitados, quando expostos a um ambiente externo supostamente desconhecido e tendo que atender de forma simultânea aos objetivos previamente especificados (FIGUEIREDO, 1999).

As pesquisas voltadas para sistemas autônomos são bastante abrangentes e englobam diversas abordagens e técnicas, dentre elas é preciso destacar a utilização da visão computacional em conjunto com diversos sensores que juntos possibilitam ao VANT a realização de tarefas de maneira autônoma. Vale destacar que este trabalho visa utilizar dessa abordagem para desenvolvimento do sistema proposto.

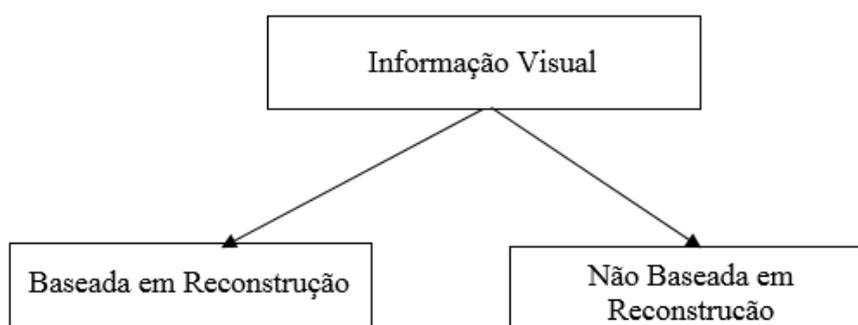
## **2.3 VISÃO COMPUTACIONAL**

O uso da visão computacional em VANTs tem como um dos principais objetivos interpretar as informações capturadas por meio de câmeras e transformá-las em comandos para a retroalimentação do sistema, a fim de que obstáculos sejam detectados e evitados, proporcionando uma navegação segura da aeronave.

Uma característica importante dos sistemas baseados em visão é a necessidade de que as informações sejam extraídas das imagens em tempo real, pois estas informações precisam ativar ações do VANT durante o voo.

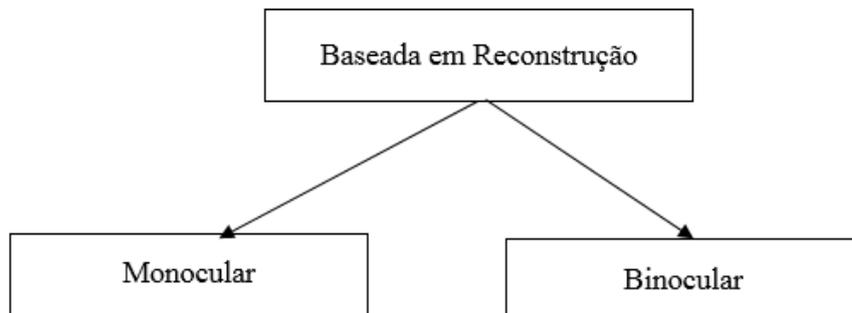
Wangenheim (2001) define visão computacional como um “conjunto de métodos e técnicas através dos quais sistemas computacionais podem ser capazes de interpretar imagens”.

De acordo com Kundur (1998), a extração da informação visual pode ser classificada de duas maneiras, baseada em reconstrução ou não baseada em reconstrução.



**Figura 5** - Abordagens de extração da informação visual.  
Fonte: Autoria própria.

Os métodos baseados em reconstrução obtêm características da imagem e recompõe a cena através da construção e dos objetos que formam a cena. Essas técnicas de reconstrução são decompostas de acordo com o número de câmeras utilizadas (uma ou mais câmeras) (PIO, 2002).



**Figura 6** - Técnica de reconstrução de acordo com o número de câmeras.  
Fonte: Autoria própria.

Um exemplo de técnica binocular bastante conhecida é a estereoscopia, técnica essa que tenta utilizar o princípio de funcionamento da visão humana. A partir dessa técnica é possível extrair informações tridimensionais do ambiente.

Essa técnica vem sendo bastante empregada na robótica móvel, seu funcionamento consiste basicamente na utilização de duas câmeras horizontalmente deslocadas que capturam imagens de um mesmo local, porém com um certo deslocamento entre as posições daquele local na imagem. Sabendo-se a distância entre as câmeras e o local da imagem, bem como a diferença da posição de um ponto

entre as imagens, é possível calcular a profundidade relativa da mesma (MENDES, 2012).

De acordo com Ramos (2006), a visão humana funciona de forma parecida, cada olho fornece imagens de um ângulo diferente, dessa forma o cérebro recebe imagens com uma leve disparidade, com a união das informações das duas imagens essa disparidade gera um efeito tridimensional.

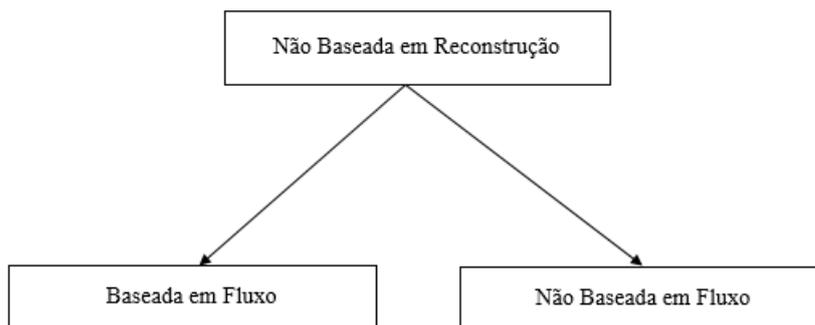
Os sistemas de visão estereoscópica podem ser vistos como sendo dispositivos de captura cuja saída é um mapa de profundidade da cena observada. Este mapa, que pode ser denso ou esparso, é formado pela avaliação do deslocamento relativo na posição de elementos da cena, observados sob os pontos de vista de cada câmera que compõe o sistema. (STIVANELLO, 2008).

Após esse processo de obtenção e adequação das imagens por parte da visão estereoscópica é que a visão computacional entra em cena, afim de analisar e extrair as informações das imagens obtidas.

A maioria das técnicas de navegação de VANTs, baseadas em visão computacional, fazem uso da estereoscopia. Entretanto, apesar de se evidenciar uma certa preferência pelo uso dessa abordagem, ela apresenta fatores limitantes na sua aplicação em VANTs, são eles: custo e carga útil. É em meio a essas limitações que surge uma crescente utilização da visão monocular, utilização de apenas uma câmera, no auxílio da navegação.

A visão monocular caracteriza-se pela percepção e orientação dentro do ambiente em um único plano, tornando difícil a percepção da profundidade do ambiente. No entanto, é possível fazer a junção de imagens obtidas por meio da visão monocular para se alcançar a percepção obtida pela visão binocular. Isso é proposto por Montgomery *et al.* (2006), os autores utilizam em seu projeto um algoritmo de odometria visual para definir o movimento entre dois frames obtidos por meio da visão monocular, essas medidas são utilizadas em conjunto com outros sensores, dentre eles um sensor para calcular a distância entre a câmera e o solo.

As técnicas para a navegação não baseadas em reconstrução não precisam explicitação da estrutura da cena capturada e são classificadas por Kundur (1998) em duas abordagens, baseadas em fluxo e não baseada em fluxo.



**Figura 7** - Técnicas Não Baseadas em Reconstrução.  
Fonte: Autoria própria.

Entende-se as variações sensoriais induzidas na retina de um observador pelo movimento relativo entre tal observador e a cena 3D. Este padrão de variação na retina do observador é usualmente referenciado como padrão de fluxo, fluxo ótico ou fluxo de imagem...As abordagens não baseadas em fluxo incluem a extração de propriedades geométricas como área, forma, tamanho, contorno, etc; propriedades texturais como a densidade, contraste, etc; propriedades da câmera como foco, resolução, zoom, etc. (PIO, 2002).

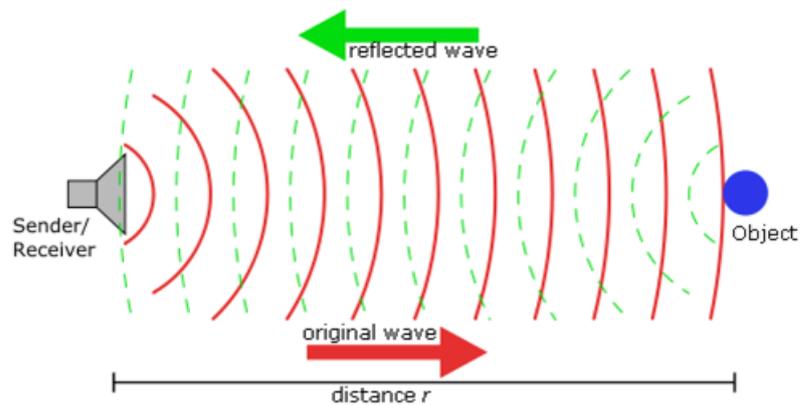
## 2.4 SENSORIAMENTO

Os sensores são dispositivos que possuem a capacidade de detectar ações ou estímulos e em seguida emitir uma resposta. Estes dispositivos podem transformar grandezas químicas ou físicas em grandezas elétricas que serão entendidas pelo sistema. Assim como os seres humanos possuem um sistema sensorial, os sensores surgem como uma forma de fornecer esse tipo de percepção as máquinas, possibilitando que as mesmas possam realizar tarefas que antes não eram capazes.

O sistema de sensores é de fundamental importância para o projeto, pois apesar da utilização da visão computacional ainda é necessário a utilização conjunta desse sistema com outros tipos de sensores que contribuirão para um melhor desempenho da aeronave.

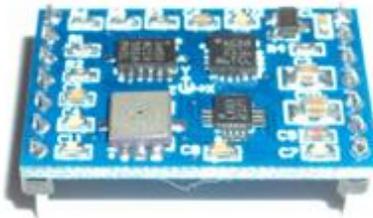
Os sensores normalmente são divididos em dois tipos: sensores ativos e

sensores passivos. Os sensores ativos, como o próprio nome já sugere, interage de forma ativa com o ambiente, emitindo algum tipo de som ou luz, dependendo do tipo de sensor, e realiza a leitura, através de dispositivos receptores, da reflexão desse sinal emitido em determinada superfície ou meio.



**Figura 8** - Princípio de um sensor ativo.  
Fonte: <<http://www.ni.com/white-paper/8220/en/>>

Aqueles sensores ditos passivos não emitem nenhum tipo de sinal, eles apenas fazem a leitura daquilo que é emitido pelo ambiente que o rodeia.



**Figura 9** - Módulo com quatro sensores passivos: Giroscópio, Acelerômetro, Bússola e Barométrico.  
Fonte: <<http://lojabrasilrobotics.blogspot.com.br/2012/10/4x-em-1-giroscopio-acelerometro-bussola.html>>

## 2.5 TELEMETRIA

A telemetria, palavra de origem grega, onde “*tele*” quer dizer remoto e “*metron*” significa medida, pode ser definida como um processo de comunicação que se baseia na ideia de transmitir e receber dados através de tecnologias de comunicação sem fio. Desta forma a telemetria é de grande importância para o desenvolvimento do projeto.

A grande maioria dos sistemas telemétricos no VANTs são utilizados para enviarem os dados dos sensores para a estação de controle que processa e converte esses dados em comandos para a retroalimentação do sistema. Desta forma os comandos enviados pela estação de controle definirá a atitude que o VANT deve tomar.



**Figura 10** - Exemplo de sistema de telemetria.

Fonte: < <http://isape.wordpress.com/2013/09/16/o-sucesso-de-aeronaves-nao-tripuladas-vants-drones-no-brasil> >

## 2.6 ESTRUTURA

No mundo do aeromodelismo a estrutura de sustentação dos *Drones* é

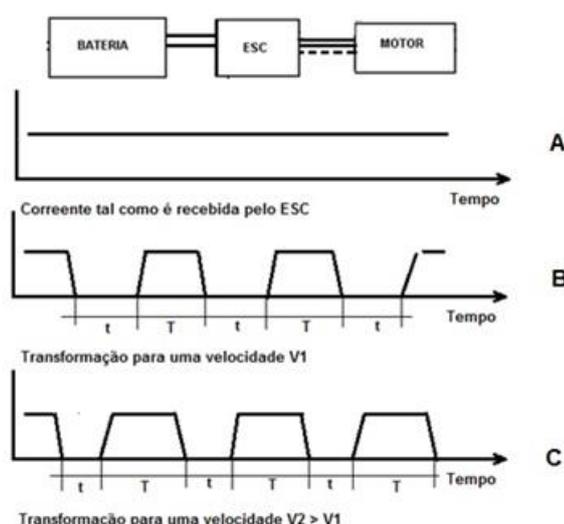
chamada de *Frame*, que nada mais é que o esqueleto da aeronave, é nessa estrutura que todos os demais componentes são fixados.

Além das diversas outras classificações dos VANTs, os multi-rotores ainda podem ser classificados de acordo com o tamanho do *frame*. De modo geral, são considerados pequenos os *frames* com até 100 mm de largura ou medida lateral, os medianos possuem por volta de 300 mm e ficando abaixo de 450 mm, igual ou superior a 450 mm já é considerado grande. O modelo utilizado no projeto é um modelo grande de 600 mm.

## 2.7 TRANSFORMAÇÃO DA CORRENTE

Os ESCs (*Electronic Speed Controller* ou Controlador De Velocidade Eletrônico) são responsáveis por controlar a velocidade dos motores. Os motores recebem apenas eletricidade, desta forma cada ESC precisa controlar a eletricidade que passa para cada motor, conseqüentemente controla a velocidade do mesmo.

De forma mais detalhada pode-se dizer que o ESC transforma a corrente elétrica recebida da bateria em pulsos elétricos, controlando o tempo de duração de cada pulso e o tempo entre cada pulso, por fim esses pulsos são passados para o motor.



**Figura 11** - Transformação de corrente contínua em pulso.  
 Fonte: <<http://jonal300.no.comunidades.net/7-motorizacao-electrica>>

A imagem representa bem essa conversão, no momento A, o ESC recebe da bateria energia na forma de corrente contínua, em seguida temos os momentos B e C que demonstram essa conversão para pulsos onde “t” representa o intervalo entre cada pulso, momento em que o motor não recebe energia, e “T” intervalo de duração de cada pulso, momento em que o motor encontra-se recebendo energia, essa oscilação é que possibilita o controle de velocidade dos motores.

A grosso modo podemos dizer que a placa controladora envia a informação para os ESCs, a respeito da velocidade desejada de cada motor, e cada ESC converte essa informação em rotações do motor.

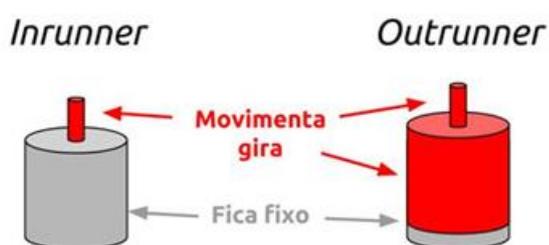
## 2.8 MOTORES ELÉTRICOS

Os motores elétricos são classificados em motores *brushed* (com escova) e motores *brushless* (sem escova). Nos motores são chamadas de escovas as partes condutoras de energia que ligam as bobinas ao rotor.

Os mais utilizados nos VANTs são os do tipo *brushless*, também conhecidos como motores BLDC (*Brush-Less Direct Current*), pois possui algumas vantagens como maior confiabilidade, maior vida útil, ruído reduzido, redução total de interferência eletromagnética e consumo energético mais eficiente, ou seja, esse tipo de motor se adequa melhor ao mundo dos VANTS.

A grande desvantagem dos motores *brushless* é o custo mais elevado, graças a necessidade de ESCs para controle de velocidade.

Os motores *brushless* ainda se subdividem em *Inrunner*, onde apenas a haste principal do motor gira, e *outrunner*, mais potentes, toda a parte externa do motor gira e são mais utilizados nos VANTS.



**Figura 12** - Diferença entre motores inrunner e outrunner.

Fonte: <<http://reidofpv.com/blogs/tutoriais/50518405-drones-para-iniciantes-ep-2-sistema-helice-motor-esc-bateria>>

## 2.9 PROPULSÃO

A hélice (conjunto de pás com um mesmo centro), é a responsável por causar a propulsão necessária para que o quadricóptero saia do chão e se desloque. As hélices são acopladas aos motores que rotacionam essas hélices, esse movimento converte energia rotacional em translacional, criando uma diferença de pressão entre a parte inferior e a superior da hélice, empurrando o ar para baixo que consequentemente empurra a aeronave para cima, obedecendo a 3ª lei de Newton. “Para toda interação, na forma de força, que um corpo A aplica sobre um corpo B, dele A irá receber uma força de mesma direção, intensidade e sentido oposto.” (Isaac Newton)

## 2.10 CONTROLE DA AERONAVE

A placa controladora é o componente principal dos VANTs, é o cérebro da aeronave, sendo responsável por processar os sinais de entrada e gerar os sinais de saída, como o próprio nome já sugere, faz o controle da aeronave assim como o cérebro controla o corpo humano.

São diversos os modelos e marcas de placas controladoras existentes, desde modelos mais simples e baratos que possuem apenas funções básicas de voo, controlando altitude, velocidade e direção, até placas mais sofisticadas com sensores internos, como acelerômetro, magnetômetro e giroscópio por exemplo, e compatíveis

também com outros sensores externos, GPS, sonar, que fornecerão informações que subsidiarão decisões tomadas pela placa no controle de estabilidade da aeronave e realização de missões em alguns modelos de placa. Essas informações ainda podem ser enviadas para uma estação em terra e serem utilizadas para diversos fins.

Outra diferenciação que pode ser feita é com relação ao tipo de *software* das placas, podendo ser de código aberto, onde é possível realizar alterações nos algoritmos que controlam o *hardware*, e as de código fechado que não permitem alteração nos algoritmos.

## 2.11 FONTE ENERGÉTICA

No mundo dos veículos não tripulados, as fontes energéticas mais utilizadas são as baterias de LiPo (*lítio-polímero*), geralmente são mais seguras e não prejudicam tanto o meio ambiente. As baterias de LiPo são de alto desempenho, seus eletrólitos são constituídos de sais de lítio armazenados em um polímero sólido, geralmente o óxido de polietileno e o poliácrlonitrilo, ao invés de utilizar solventes, possibilitando assim altas taxas de descarga.

Existem algumas características importantes sobre as baterias que precisam ser observadas para escolha da bateria adequada ao projeto e também para manuseio correto das mesmas. A primeira delas é a carga elétrica informada em miliampère-hora(mAh), em seguida temos a tensão, informada em volts(V), taxa de descarga representada por (C), número de *packs* (P) e número de células (S).

A carga elétrica pode ser definida como a quantidade de carga ou corrente constante capaz de ser fornecida por uma bateria a cada uma hora. Enquanto que a taxa de descarga é a capacidade da bateria em fornecer corrente, na teoria podemos dizer que uma taxa de 1C significa que a bateria é capaz de liberar uma corrente igual a sua carga elétrica, descarregando-a em uma hora, todavia uma bateria de 2C é capaz de fornecer o dobro de corrente, embora levaria metade do tempo para descarregar. Na prática existem outros fatores que influenciam nesse tempo de descarga, por exemplo quando a taxa de descarga é elevada, a bateria pode aquecer muito podendo ocasionar até mesmo incêndio, portanto deve ser evitado a utilização da taxa máxima de descarga e quando utilizada não deve ser por um longo período.

A tensão da bateria é expressa em volts, essa tensão é calculada por meio da

diferença de potencial elétrico entre os polos positivo e negativo, essa diferença faz com que os elétrons se movimentem formando a corrente elétrica.

As baterias de LiPo são compostas por uma ou mais células. Cada célula possui uma tensão nominal de 3,7V e essas células são ligadas internamente na bateria, somando-se as tensões para formar a tensão total da bateria, esse grupo de células unidas é chamado de *pack*. A tensão máxima que uma célula de bateria de LiPO pode atingir é de 4,235V.

## 2.12 MAVLINK

MAVLink (*Micro Air Vehicle Link*) é um protocolo de comunicação a princípio desenvolvido para micro veículos aéreos, mas que se difundiu em meio os diversos tipos de veículos não tripulados.

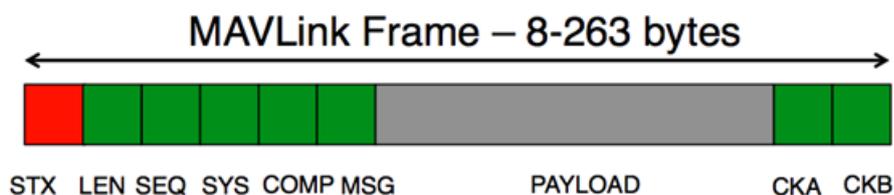
Sua principal utilização é na comunicação entre o veículo e a estação de controle, sendo possível transmitir diversas informações do veículo para a estação, como por exemplo a sua localização, orientação, velocidade do GPS, dentre outras, bem como transmitir comandos da estação para o veículo.

O protocolo funciona por meio de transferências de pacotes, suportando diversos canais para envio, podendo ser USB, frequência de rádio, GPRS, Wi-Fi, dentre outros. Cada pacote é constituído por uma sequência de bytes criptografados que são organizados em uma estrutura de dados que vai fornecer outras informações, como somas de verificação e número de sequência, a estrutura pode ser verificada com mais detalhes na imagem abaixo.

Este protocolo foi planejado com intuito de garantir duas grandes características: velocidade e segurança na transmissão. O mesmo permite verificar a área de conteúdo da mensagem para detectar eventuais perdas, sem a necessidade de utilizar muitos bytes de sobrecarga.

### 2.12.1 ESTRUTURA DO PACOTE

Os pacotes MAVLink são estruturados como mostra a imagem abaixo:



**Figura 13** - Estrutura dos pacotes MAVLink.  
 Fonte: <<http://qgroundcontrol.org/mavlink/start>>

Tabela adaptada com descrição dos bytes do pacote:

**Tabela 1** - Descrição dos *bytes* do pacote.

| <i>Byte Index</i> | Conteúdo                              | Valor                            | Explicação  |
|-------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---|
| 0                 | Sinal de início do pacote             | v1.0:<br>0xFE<br>(v0.9:<br>0x55) | Indica o início de um novo pacote.  |
| 1                 | Tamanho do <i>payload</i>             | 0 – 255                          | Indica o tamanho do conteúdo.   |
| 2                 | Sequência de pacotes                  | 0 – 255                          | Número, de 0 a 255. Cada componente tem uma sequência de envio. Pode detectar a perda de pacotes.   |
| 3                 | Sistema ID                            | 1 – 255                          | ID do sistema de envio. Permite diferenciar diferentes MAV na mesma rede.   |
| 4                 | Componente ID                         | 0 – 255                          | ID do componente de envio. Permite diferenciar os diferentes componentes do mesmo sistema, por exemplo, a IMU e o piloto automático.  |
| 5                 | Mensagem ID                           | 0 – 255                          | ID da mensagem (por exemplo, 0 = pousar.) - Define o significado do conteúdo e como ele deve ser decodificado.  |
| 6 a (n+6)         | Dados                                 | (0 - 255) bytes                  | Conteúdo da mensagem.   |
| (n+7) a (n+8)     | <i>Checksum (low byte, high byte)</i> |                                  | Soma de verificação de todo o pacote, excluindo-se o sinal de início do pacote. A soma de verificação inclui também um MAVLINK_CRC_EXTRA (número calculado a partir de campos de mensagem, decodificado a partir de uma versão diferente do mesmo pacote, mas com diferentes variáveis) |

Fonte: <<http://qgroundcontrol.org/mavlink/start>>

## 2.13 ESTAÇÃO DE CONTROLE EM SOLO

A estação de controle em solo funciona como o centro de controle de todo o sistema. É onde os dados enviados pela aeronave são tratados e de onde são enviados os comandos de controle para a aeronave (ANDERSON, 2002).

Ainda de acordo com ANDERSON (2002), de modo geral uma estação de controle em solo possui três funções principais:

- Planejar missão: Por meio dessa função são identificados e priorizados os alvos, identificadas as comunicações disponíveis e gerado um mapa de ameaças potenciais. É através dessas informações é gerado o plano de voo;
- Controle de missões: Essa função abrange toda a operacionalização enquanto a aeronave estiver em solo, ou seja, o controle de pouso e decolagem, além de ser responsável por recalcular a rota de voo caso haja obstáculos;
- Manipulação de dados: De modo geral durante as missões utilizando VANT dados são recebidos da aeronave, logo é preciso recolher esses dados afim de processá-los, podendo ainda explorá-los e armazená-los até mesmo durante o voo ou em alguns casos após o voo.

A estação de controle em solo é muito importante durante o voo. A mesma é responsável por monitorar o estado e controlar o voo da aeronave. Possibilita a alteração dos parâmetros de *way points* (pontos de passagem) durante o voo, permite ainda habilitar e desabilitar malhas de controle do piloto automático. Para que tudo isso seja possível é preciso um *link* de comunicação entre a estação de controle e a aeronave (HAN, 2009).

## 2.14 MISSION PLANNER

De acordo com as informações contidas no próprio site do desenvolvedor, o *Mission planner*, criado por Michael Osborne, pode ser definido como sendo uma aplicação de estação de controle em solo para aviões, helicópteros e outros veículos aéreos e terrestres, que utilizam o projeto piloto automático *open source ArduPilot*.

O *Mission Planner* é compatível apenas com o sistema operacional *Windows*, podendo ser usado como um utilitário de configuração ou como um suplemento de

controle dinâmico para veículos autônomos. Existem outros *softwares* equivalentes, também desenvolvidos para o projeto *ArduPilot*, o principal deles é o *APM Planner*, sendo uma boa opção para quem necessita ou prefere utilizar outro sistema operacional que não seja *Windows*, pois o mesmo também está disponível para outras plataformas. Por possuir algumas funções inexistentes no *APM Planner*, o *Mission Planner* foi escolhido para ser utilizado no projeto.

O *Mission Planner* possibilita ao usuário pré-programar o percurso de voo de um VANT simplesmente clicando e definindo os pontos de interesse em um mapa do *Google* ou outros mapas disponíveis. Um VANT pode ser programado para decolar e pousar de forma autônoma, embora isso não seja o pretendido, com o projeto, o pouso e a decolagem são de forma autônoma, mas com uso da visão computacional.



**Figura 14** - Definição dos pontos de interesse no *Mission Planner*.

Fonte: <<http://planner.ardupilot.com/>>

Uma missão pode ser pré-programada no VANT antes da decolagem, mas mesmo quando o mesmo já está no ar novas missões podem ser enviadas por meio do sistema de telemetria.

Outra possibilidade permitida pelo *Mission Planner* e o voo em modo guiado, onde as instruções vão sendo dadas em tempo real, ou seja, ao clicar nos pontos de interesse o VANT vai se deslocando em direção ao ponto escolhido no mapa.

Boa parte do projeto foi realizada no *Mission Planner*, desde a montagem do quadricóptero, onde foi utilizado para instalação do *software* na placa controladora e

calibragem dos componentes, até o processo final onde o mesmo em conjunto com o sistema de visão computacional formam o sistema de controle de pouso e decolagem.

Outra função importantíssima disponível no *Mission Planner* é o diagnóstico de problemas usando *logs* (registros). Existem dois tipos de *logs* utilizados pelo sistema, *dataflash* e *tlogs*.

No tipo *dataflash* os dados ficam armazenados na memória *onboard* da placa controladora e podem ser baixados após o voo, enquanto que no tipo *tlogs* ou *logs* de telemetria, os dados são registrados a partir do momento em que a placa controladora é conectada a estação de controle por meio do sistema de telemetria.

Os principais problemas que afetam os VANTs do tipo *copter* e que são diagnosticados pelo *Mission Planner* são:

- Falhas mecânicas: Falhas ocorridas nos componentes de *hardware* como motor, ESC, etc.
- Vibrações: Altas vibrações podem causar problemas, principalmente com relação a altitude da aeronave, pois alguns sensores captam dados distorcidos devido as altas vibrações.
- Interferência na bússola: A distribuição de energia, motores, bateria, ESC e outros dispositivos elétricos perto da placa controladora podem causar interferência eletromagnética causando problemas na identificação da direção correta que a aeronave deve seguir.
- Problemas de energia: Geralmente falhas na alimentação de energia ou alterações de tensão podendo danificar ou até mesmo queimar algum componente.
- Erros inesperados: Quando um comportamento inesperado do controlador de vôo ocorre, geralmente ocorre quando a aeronave não responde a entrada fornecida pelo usuário ou pelo sistema.

### 3 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

Para montagem do protótipo é necessário reunir os componentes de *hardware* que melhor se adequem ao projeto.

O Dicionário da Língua Portuguesa da Porto Editora (2002) define *hardware* como o conjunto dos componentes que compõem a parte material (física) de um computador, entretanto o conceito de *hardware* costuma ser bem mais amplo. O termo é usado para se referir a todos os componentes físicos de um tecnologia qualquer.

Os componentes de *hardware* utilizados no projeto serão apresentados ao longo desse capítulo.

#### 3.1 FRAME

A escolha adequada do modelo de *frame* a ser utilizado é de extrema importância para o projeto, pois essa escolha vai influenciar na escolha dos motores, hélices e demais componentes. O tipo de *frame* também vai influenciar no tipo do multi-rotor, podendo ser tricóptero, quadricóptero, pentacóptero, hexacóptero e assim por diante. O quadricóptero é o mais comum e foi o escolhido por se adequar melhor ao projeto.

O *frame* pode ser construído ou comprado, existem diversos modelos no mercado, fabricados de diversos materiais, os mais adequados são os de fibra de carbono por ser um material de muita resistência e extremamente leve. Contudo, os preços são elevados fazendo com que outras alternativas sejam utilizadas, destacando-se o alumínio e a fibra de vidro, por possuir características parecidas com a fibra de carbono e com custo mais acessível.

Neste projeto foi utilizado o *Frame X525*, formado por tubos de alumínio quadrado de alta rigidez, centro, suportes dos motores e garras de aterrissagem feitos de fibra de vidro, conciliando leveza e resistência.



**Figura 15** - Modelo de frame utilizado no projeto.

Fonte: < <http://www.pyramidmodels.com/shop/shopimages/x525frame.jpg> >

### 3.2 MOTORES

Os motores são do tipo *brushless outrunner*, modelo Angel A2212, com potência de 800 kV (rpm/v), alimentação 10 V, peso de 50 g. A escolha do mesmo foi baseada na capacidade de carga, com baixo kV de potência, os mesmo possuem mais força e menor velocidade de rotação, consequentemente suportando mais peso.

| Motor: A2212 KV: 800          |            |                        |              |            |
|-------------------------------|------------|------------------------|--------------|------------|
| Technical Datas               |            | Recommended Prop(inch) |              |            |
| KV                            | 800        | Standard               | 2S-1245      | Max thrust |
| Configuration                 | 12N14P     |                        | 3S-1038/1045 |            |
| Stator Diameter               | 22mm       |                        |              |            |
| Stator Length                 | 12mm       |                        |              |            |
| Shaft Diameter                | 3mm        |                        |              |            |
| Motor Dimension(Dia. x Len)   | Φ27x30mm   |                        |              |            |
| Weight(g)                     | 50         |                        |              |            |
| Idle current(10V)(A)          | 0.3        |                        |              |            |
| No. of Cells(Lipo)            | 2-3S       |                        |              |            |
| Max Continuous current(A)180S | 10.5A      |                        |              |            |
| Max Continuous Power(W)180S   | 115W       |                        |              |            |
| Max. efficiency current       | (3-8A)~81% |                        |              |            |
| Internal resistance           | 158mΩ      |                        |              |            |

**Figura 16** - Especificações técnicas do motor utilizado no projeto.

Fonte: <[http://www.himodel.com/img\\_sub/rc\\_img/11/09/8344-te2.jpg](http://www.himodel.com/img_sub/rc_img/11/09/8344-te2.jpg)>

### 3.3 CONJUNTO DE HÉLICES

As hélices selecionadas foram as recomendadas para os motores de 800kV

que são as de 10 x 4,5 cm, 6,0 milímetros de diâmetro do eixo, 9,7 milímetros de espessura do centro. Sendo necessário para o projeto dois pares, duas para girar no sentido horário e duas para girar no sentido anti-horário.



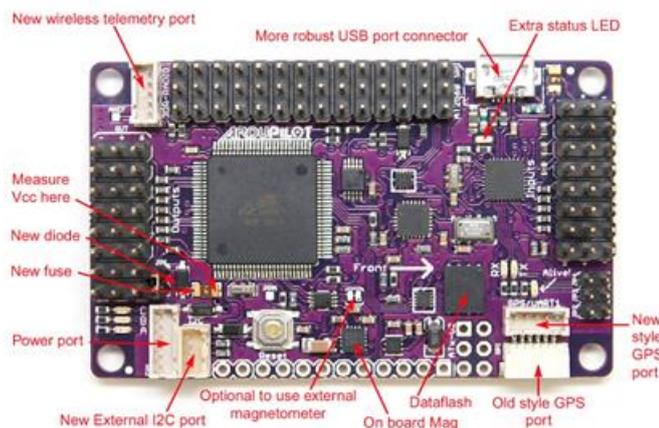
**Figura 17** - Modelo de hélices utilizada no projeto.  
Fonte: <<http://ecx.images-amazon.com/images/I/41KJnORytBL.jpg>>

### 3.4 PLACA CONTROLADORA

A placa controladora definida foi o APM 2.6, é de código aberto e bastante difundida dentre os aeromodelistas, por ser uma placa bastante completa. Ela possibilita transformar qualquer veículo, seja ele aéreo, aquático ou terrestre, em um veículo totalmente autônomo.

A placa possui diversos sensores internos, acelerômetro, barômetro, magnetômetro e giroscópio de 3 eixos, além de possuir memória interna de 4 MB para armazenamento de dados. É possível conectar até oito motores à placa, ou seja, é possível controlar até um octocóptero.

A comunicação da placa com um computador pode ser feita de duas formas, por meio da porta USB, ou por meio de algum sistema de telemetria. A placa possui ainda uma porta I2C, duas portas GPS, uma porta para o módulo de alimentação, oito pinos de entrada, oito pinos de saída e doze pinos analógicos.

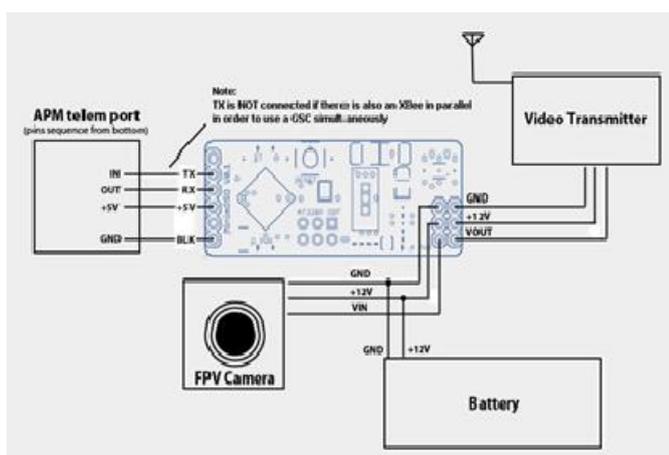


**Figura 18** - Detalhes da placa controladora utilizada.

Fonte: <<http://copter.ardupilot.com/wiki/common-apm25-and-26-overview/>>

### 3.5 MINIMOSD E TELEMETRIA

Foi utilizado o MAVLink-OSD V2.0 que é um MinimOSD (projeto *On-Screen Display* ou *OSD*, de tamanho reduzido) baseado em Arduino e compatível com o APM 2.6. Sua principal função é atuar como saída dedicada de vídeo por meio do sistema de telemetria, além de ler as mensagens do protocolo MAVLink enviadas pela estação em terra e informar a placa controladora.



**Figura 19** - Circuito do módulo OSD.

Fonte: <[http://code.google.com/p/arducam-osd/wiki/How\\_to\\_start\\_minim\\_Telemetria](http://code.google.com/p/arducam-osd/wiki/How_to_start_minim_Telemetria)>

Para estabelecer uma conexão de telemetria entre a placa controladora e a

estação terrestre foi utilizado o kit de Rádio 3DR 915MHz. O equipamento é de código aberto, compatível com o APM 2.6 e utiliza o protocolo MAVLink.

O sistema funciona com duas placas, uma USB que será acoplada a estação terrestre e outra conectada ao módulo OSD na aeronave, possibilitando assim a comunicação entre a estação e a aeronave. A taxa de transferência de dados pode chegar a 250Kbps.



**Figura 20** - Rádios 3DR para telemetria.

Fonte: <<http://i.ytimg.com/vi/ZooogJNdDE4/maxresdefault.jpg>>

### 3.6 MÓDULO DE ALIMENTAÇÃO

O módulo de alimentação é o APM *Arduflyer Power Module V1.0*, módulo esse projetado especificamente para a placa APM. O mesmo é responsável por fornecer energia limpa e regulada a placa controladora, 5.3V de saída, por meio de um cabo de seis pinos, sendo capaz também de medir os níveis atuais da bateria de LiPo. Suporta uma tensão máxima de entrada de até 30V.



**Figura 21** - Módulo de Alimentação.

Fonte: <<http://pt.aliexpress.com/item/APM2-5-2-APM2-6-Flight-Control-Board-Pixhawk-Power-Module-V1-0-Output-BEC-3A/32367282535.html>>

### 3.7 BATERIA

Após análise de todas essas informações e com base nos componentes do projeto e testes em simuladores chegou-se à conclusão que a melhor opção de bateria seria uma bateria de LiPO de 2200mAh, 11.1V, 20-30C, 3S, 1P.



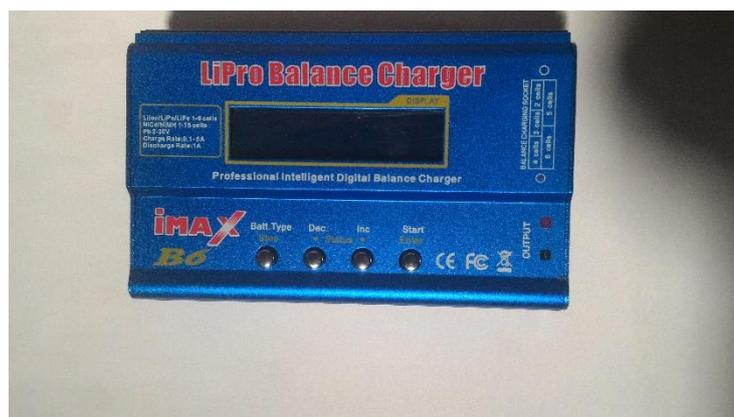
**Figura 22** - Uma das baterias adquiridas para o projeto.  
Fonte: Autoria própria.

### 3.8 CARREGADOR DE BATERIA

Para carregar baterias LiPO é preciso utilizar um carregador de bateria

especial, capaz de realizar o balanceamento de carga entre as células da bateria.

Portanto, foi adquirido o LiPro *Balance Charger* IMAX B6, carregador especializado em diversos tipos de bateria e com *software* específico para cada uma delas, sendo capaz de carregar e descarregar células de diferentes tamanhos, além de fazer o balanceamento, equilibrando a carga enviada para cada célula.



**Figura 23** - Carregador de bateria utilizado no projeto.  
Fonte: Autoria própria.

### 3.9 ESCs

Existem três características importantes a serem observadas no momento de escolha do ESC mais adequado aos motores escolhidos e ao projeto como um todo, a corrente suportada pelo ESC, a tensão máxima e a existência de BEC (*Battery Elimination Circuit*).

A corrente suportada pelo ESC aparece em destaque, sendo apresentada em amperes(A), como mostra a figura 24, esse será o valor máximo de corrente que o ESC poderá fornecer, embora alguns ESCs utilizem o conceito de *max burst*, que é o máximo de corrente suportada pelo ESC no intervalo de dez segundos ou menos.

Outra informação contida nos ESCs é o número de células suportadas, ou seja, a tensão da bateria que o ESC suporta.

Por fim a existência de BEC, essa informação também está contida nos ESCs, o BEC é responsável por oferecer uma alimentação de 5V ao componentes da aeronave, podendo alimentar a placa controladora ou receptor de rádio por exemplo.

O ESC escolhido para o projeto foi o *SimonK Mystery 30A M-30*, considerado

adequado para quadricópteros de até 2,5 kg, o mesmo suporta corrente de até 30 amperes, é compatível com bateria LIPO de 2 a 4 células e possui BEC.

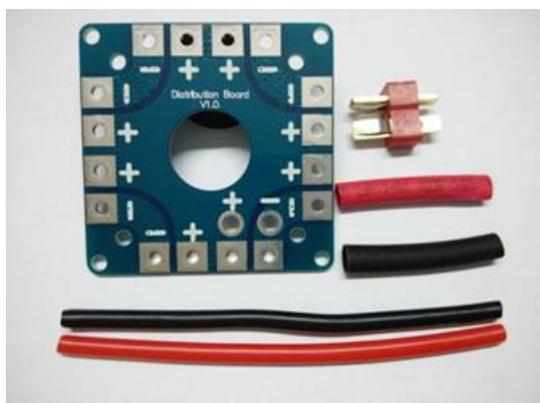


**Figura 24** - Modelo de ESC escolhido para o projeto.  
Fonte: <[http://img.alibaba.com/img/pb/048/359/893/893359048\\_403.jpg](http://img.alibaba.com/img/pb/048/359/893/893359048_403.jpg)>

### 3.10 DISTRIBUIDOR DE ENERGIA

As baterias não mantêm a carga por muito tempo quando utilizadas, por isso precisam ser carregadas para que sejam reutilizadas, frente a isso surge a necessidade de um distribuidor de energia que é utilizado para facilitar a troca da bateria da aeronave.

A bateria precisa distribuir energia para todos os ESCs, com o uso do distribuidor a bateria não precisa estar conectada aos mesmos, basta conectar a bateria e os ESCs ao distribuidor.

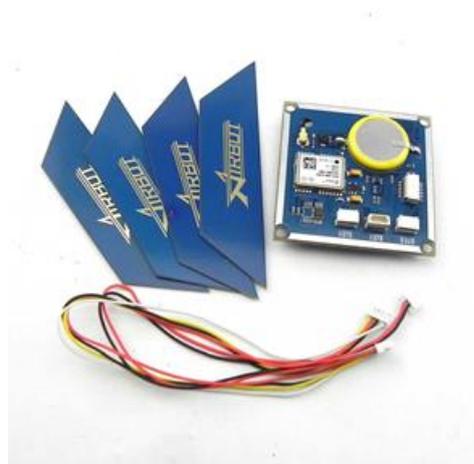


**Figura 25** - Distribuidor de energia utilizado.  
Fonte: <<http://i.ebayimg.com/images/g/oysAAOSwmlUvjVD/s-11600.jpg>>

### 3.11 MÓDULO GPS

Outro componente importante utilizado no projeto é o GPS (Global Positioning System), Sistema de Posicionamento Global em português, o mesmo é responsável por fornecer a placa controladora informações de localização, sendo de fundamental importância para o controle do quadricóptero.

O Ublox Neo 6M GPS *Module Aircraft Flight Controller* foi o módulo GPS escolhido, o mesmo possui alto desempenho graças a sua antena de cerâmica, sua memória EEPROM salvaguarda os dados obtidos e o módulo ainda possui proteção contra inversão de polaridade.



**Figura 26** - Módulo GPS Ublox Neo 6M.

Fonte: <[http://i1184.photobucket.com/albums/z328/G-sun1/G-SUN-2012-07-09/3-electronic%20parts/1037F01/01-1000\\_zpsf07b6ebe.jpg](http://i1184.photobucket.com/albums/z328/G-sun1/G-SUN-2012-07-09/3-electronic%20parts/1037F01/01-1000_zpsf07b6ebe.jpg)>

### 3.12 DEMAIS COMPONENTES DE *HARDWARE*

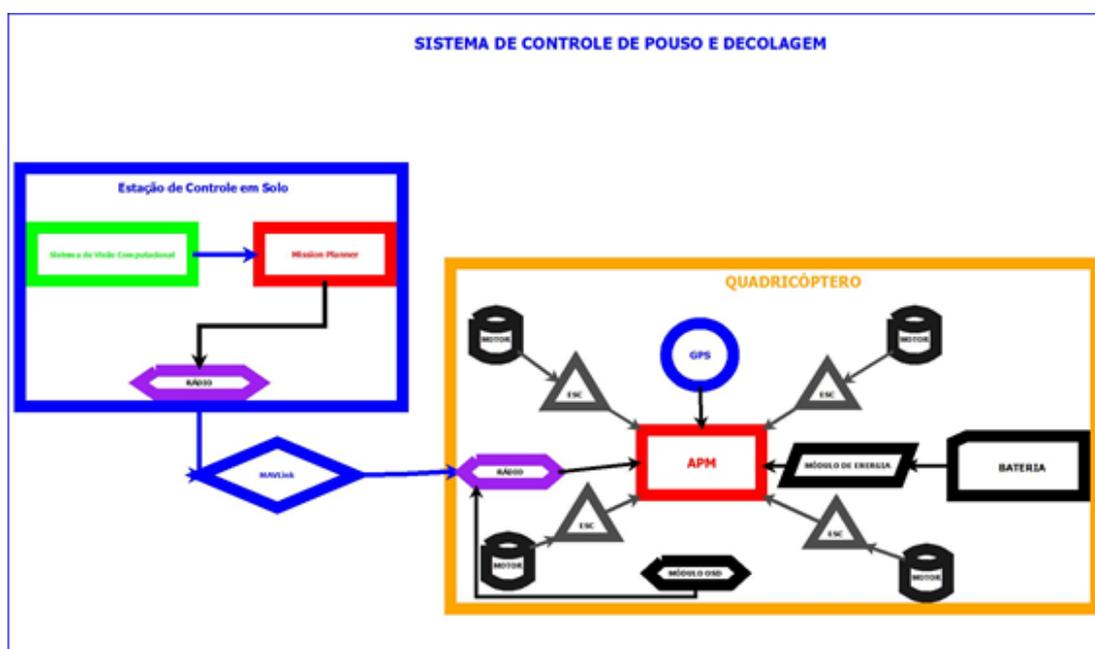
Para desenvolvimento do projeto foram utilizados outros componentes de *hardware*. Foi necessário um *notebook* para montar a estação terrestre responsável pelo processamento das informações enviadas pelo quadricóptero e retroalimentar o sistema.

A princípio pretendia-se utilizar uma câmera embarcada no quadricóptero e um sistema FPV (*First Person View*), entretanto observou-se que o custo financeiro seria

bastante elevado e que existiam outras alternativas para desenvolvimento do protótipo e que não trariam prejuízo ao objetivo proposto no projeto. Portanto decidiu-se utilizar a *webcam* do próprio *notebook* para compor o sistema de visão computacional.

#### 4 SISTEMA DE CONTROLE DE POUSO E DECOLAGEM DE VANT DO TIPO VTOL QUADRICÓPTERO, BASEADO EM VISÃO COMPUTACIONAL

O sistema completo é constituído por um conjunto de subsistemas que trabalham de forma integrada. O mesmo é dividido em estação de controle em solo, que se subdivide em sistema de visão computacional e *Mission Planner*, e quadricóptero, ambos se comunicam por meio do rádio, contido nos dois subsistemas, utilizando o protocolo MAVLink.



**Figura 27** - Diagrama do Projeto.  
Fonte: Autoria própria.

No sistema desenvolvido todo o processamento de informações inerentes a tomada de decisões, sobre qual ação deve ser executada pela aeronave, ocorre na estação de controle em solo. Essas informações são extraídas dos dados recebidos, neste caso, no sistema de visão ocorre a tomada de decisão e essa decisão é transmitida para a parte embarcada do sistema, que realiza a ação pretendida.

Por se tratar de um sistema autônomo, onde a aeronave constantemente troca informações com a estação de controle, a fim de receber as ações que devem ser executadas, o *link* de comunicação não pode ser interrompido, pois a aeronave não saberia qual ação executar.

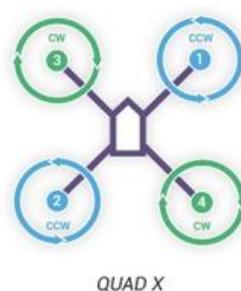
## 4.1 ESTRUTURA E DINÂMICA DE VOO

Para desenvolvermos um sistema de controle de pouso e decolagem, precisamos a princípio compreender a dinâmica de voo do tipo de aeronave que se pretende controlar.

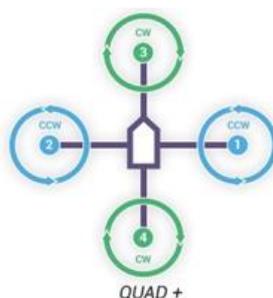
O comportamento necessário para que um quadricóptero voe vai depender da estrutura em que o mesmo foi montado, as mais comuns são os formatos X, +, H e Y, que representa a forma como o *frame* está estruturado e como os motores estão distribuídos.

Apesar de não ser muito utilizada na literatura, existem três classificações que segmentam os formatos e disposição dos motores, podendo ser do tipo radial, linear ou coaxial.

Grande parte dos projetos, inclusive este, utiliza o tipo radial caracterizado por possuir um eixo central onde as hastes são distribuídas e os motores são posicionados nas hastes em um mesmo plano horizontal, as estruturas geralmente são em X ou +.

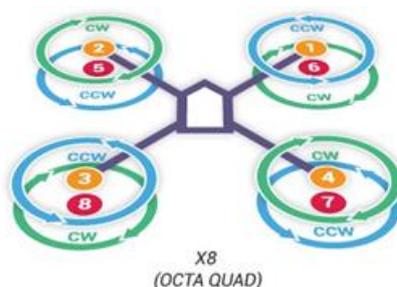


**Figura 28** - Exemplo de estrutura em X do modo radial.  
Fonte: <<http://copter.ardupilot.com/wiki/connect-escs-and-motors/>>

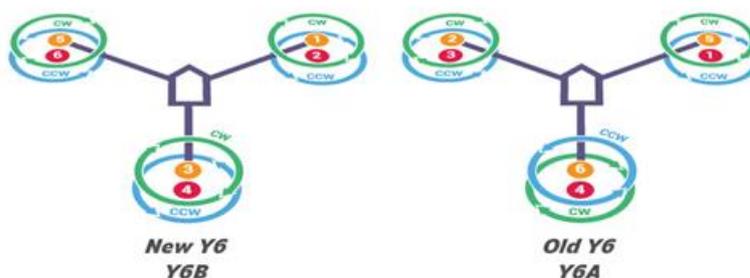


**Figura 29** - Exemplo de estrutura em + do modo radial.  
Fonte: <<http://copter.ardupilot.com/wiki/connect-escs-and-motors/>>

A principal diferença do modo coaxial para o modo radial está na disposição dos motores, no modo coaxial os motores são organizados em retas verticais, ou seja, dois motores ou mais vão gerar propulsão sob um mesmo eixo, esse modo é mais comum entre os octocópteros e sua estrutura pode ser em X, +, H ou Y.

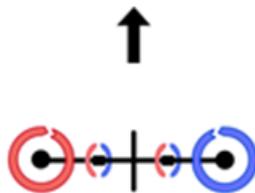


**Figura 30** - Exemplo de estrutura em X do modo coaxial.  
Fonte: <<http://copter.ardupilot.com/wiki/connect-escs-and-motors/>>



**Figura 31** - Exemplo de estrutura em Y do modo coaxial.  
Fonte: <[http://4.bp.blogspot.com/-hwHpZvEMm4U/Ugmz2Z\\_zxII/AAAAAAAAALA/UMQMy7Ne0iU/s1600/frame+modes+\(Y6\).png](http://4.bp.blogspot.com/-hwHpZvEMm4U/Ugmz2Z_zxII/AAAAAAAAALA/UMQMy7Ne0iU/s1600/frame+modes+(Y6).png)>

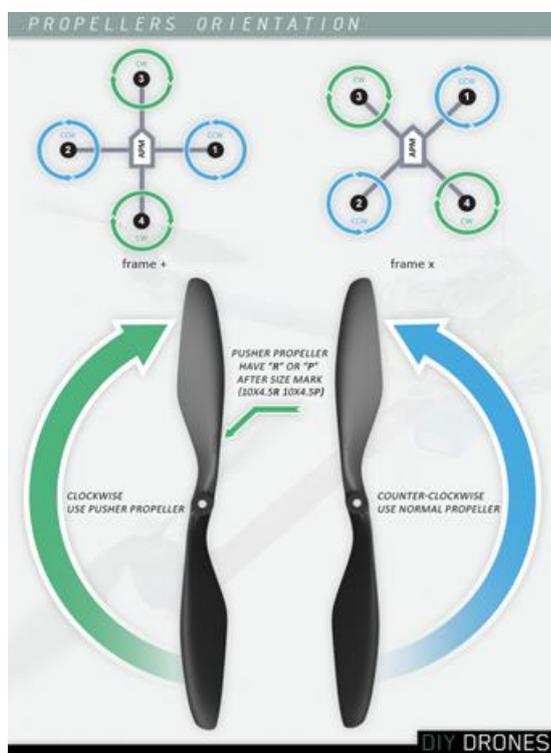
Por fim, temos o modo linear, pouco utilizado em comparação os demais modos, mas tem sua importância, sua principal característica é o posicionamento dos motores em linhas retas.



**Figura 32** - Exemplo de estrutura do modo linear.

Fonte: <[http://4.bp.blogspot.com/-pd5fAHwT9rs/Ugr98t2H2dl/AAAAAAAAALs/yqO\\_BHWp5MQ/s1600/frame+modes+\(BI\).png](http://4.bp.blogspot.com/-pd5fAHwT9rs/Ugr98t2H2dl/AAAAAAAAALs/yqO_BHWp5MQ/s1600/frame+modes+(BI).png)>

É possível observar que da Figura 28 à Figura 32 não são representados apenas as estruturas e seus respectivos modos, são representados o tipo de vant, quadricópteros nas Figuras 28 e 29, octocóptero na 30, hexacóptero na 31 e bicóptero na 32, além de mostrar o sentido de rotação de cada motor, verde para o sentido horário e azul para o sentido anti-horário representado com mais detalhes pela figura 33 a seguir, necessário para que cada tipo possa voar.



**Figura 33** - Sentido de rotação das Hélices.

Fonte: <<http://copter.ardupilot.com/wiki/connect-escs-and-motors/>>

## 4.2 SISTEMA DE VISÃO COMPUTACIONAL

O sistema de visão computacional do projeto é constituído por um conjunto de *hardware* e *software* que juntos são capazes de reconhecer estímulos visuais interpreta-los e fornecer informações que vão servir de subsídio para a tomada de decisão, qual ação deve ser executada, de forma autônoma, pelo quadricóptero.

A função da visão computacional dentro do projeto é o reconhecimento de um objeto qualquer e o reconhecimento dos movimentos produzidos por esse objeto, de acordo com o movimento realizado o sistema realiza a tomada de decisão de qual ação deve realizar, neste caso a decisão de pousar ou decolar e então o quadricóptero realiza essa ação de forma autônoma.

Apesar de não ter sido utilizado uma câmera embarcada no projeto, em virtude do custo financeiro, o princípio do sistema de visão não se alterou, seria possível utilizar o mesmo sistema com a câmera embarcada e um sistema FPV (*First Person View* ou traduzido para português que significa Visão em Primeira Pessoa).

## 4.3 RECONHECIMENTO DE OBJETOS

Para reconhecimento de objetos e seus respectivos movimentos foi utilizado o aplicativo *CamSpace*, *software* desenvolvido por Yaron Tanne, fundador e CEO da *CamTrax Technologies*, empresa detentora dos direitos sobre o *software*.

O *CamSpace* é uma solução de *software* capaz de reconhecer objetos, rastrear seus movimentos nos eixos x, y e z além da possibilidade de transformar esses objetos em dispositivos de entrada, tais como, mouse, teclado, *joystick*, etc.

De acordo com matéria divulgada no G1 (2010), a princípio o projeto *CamSpace* pretendia controlar jogos educativos utilizando os objetos reconhecidos pelo *software*. A medida que o *software* foi sendo melhorado foram surgindo novas possibilidades de uso, sendo possível programar a emulação, onde é escolhido qual dispositivo de entrada pretende-se emular e quais estímulos visuais o mesmo será capaz de receber. Por exemplo, um usuário pode programar um volante para um jogo de corrida, onde movendo a roda no eixo Z muda as engrenagens para cima e para

baixo.

Para que o *CamSpace* fosse utilizado no projeto foi necessário programar uma emulação específica para o projeto, a mesma recebeu o nome de *Drone*, nessa emulação foi definido o *joystick* como dispositivo de entrada a ser emulado. Os estímulos visuais programados para reconhecimento foram os de movimentação no eixo y, como o pretendido é controlar pouso e decolagem e devido o quadricóptero se tratar de uma aeronave do tipo VTOL, apenas o reconhecimento no eixo y é necessário.

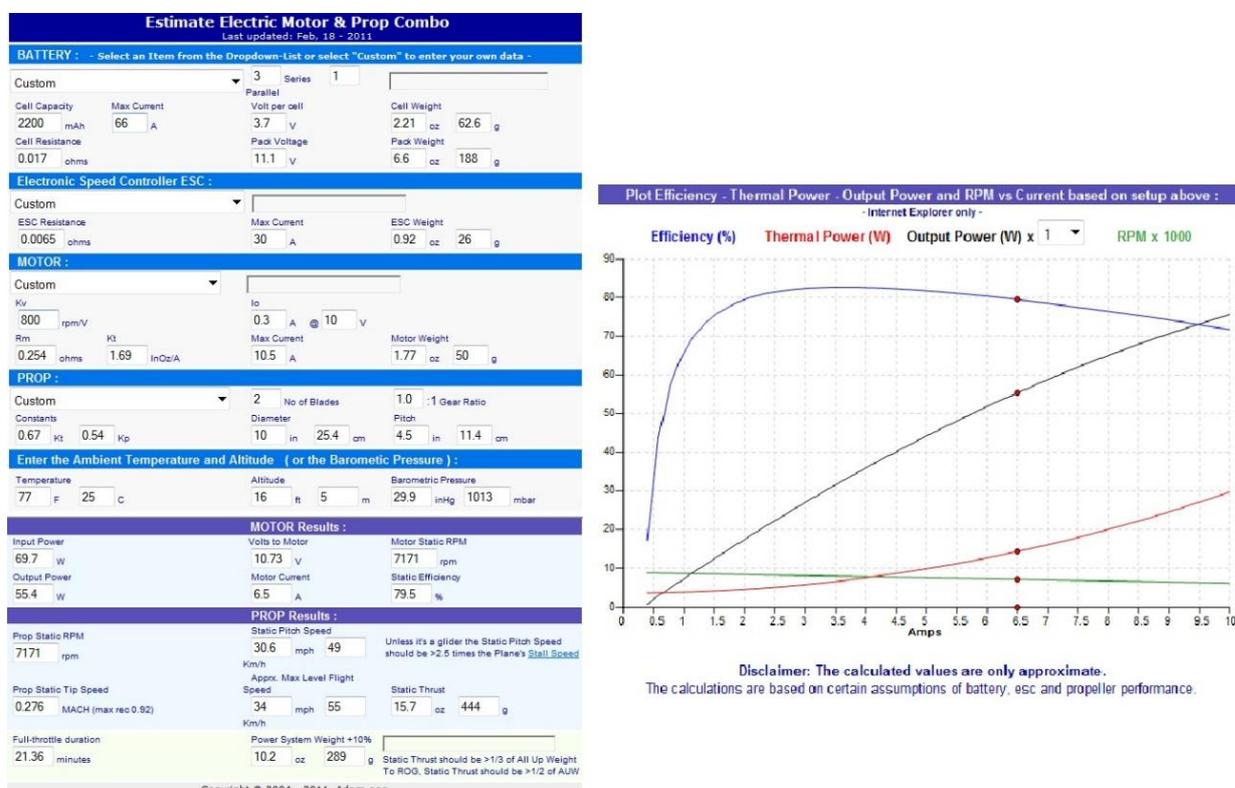
Após a programação do *CamSpace*, também foi necessário configurar o *Mission Planner* para receber as informações fornecidas pelo *CamSpace*. As informações recebidas são enviadas para a placa controladora que por sua vez transforma essas informações em comandos para os demais componentes de *hardware* do quadricóptero, executando assim a ação.

## 5 RESULTADOS E TESTES DO SISTEMA

Os primeiros testes realizados foram para escolha dos componentes de *hardware*, foi utilizado um simulador para saber se os componentes escolhidos eram adequados ao projeto.

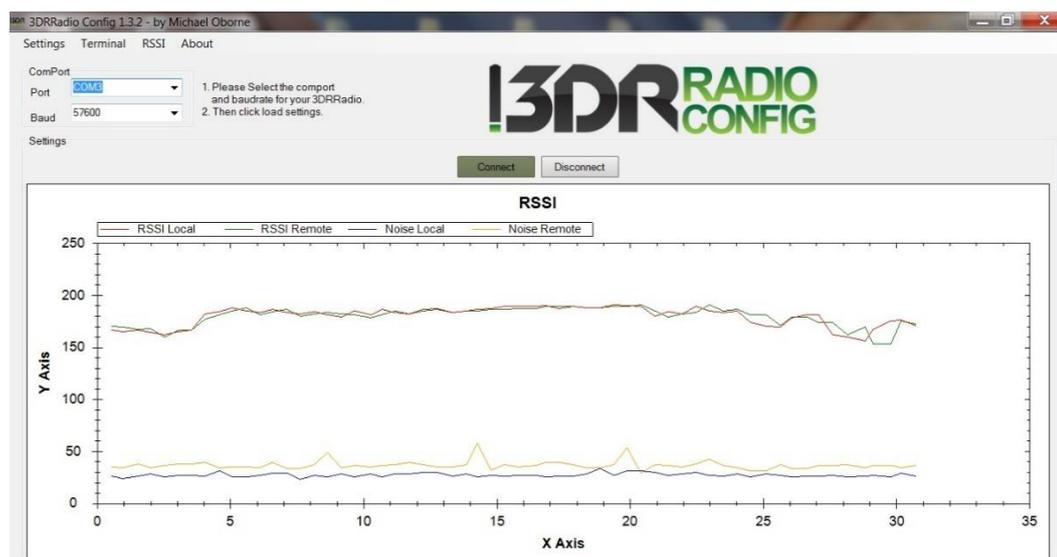
Para a realização do teste foram informados os dados de entrada, informações sobre a bateria, o ESC, motor, hélice, temperatura ambiente e altitude, com base nessas informações o simulador calcula informações relevantes para o projeto, como eficiência do motor, desempenho das hélices, impulsão, potência, velocidade máxima aproximada de rotação das hélices, dentre outras informações.

Com base no resultado apresentado pelo simulador foi possível perceber que os componentes escolhidos seriam satisfatórios ao sistema pretendido, com aproximadamente 79,5 % de eficiência dos motores, impulsão de 444 gramas, capacidade aproximada de voo 21,36 minutos.



**Figura 34 - Estimate Electric Motor & Prop Combo.**  
 Fonte: <[http://www.adamone.rchomepage.com/calc\\_motor.htm](http://www.adamone.rchomepage.com/calc_motor.htm)>

Outro teste realizado foi o sistema de telemetria, após configuração dos rádios, foi testado a comunicação entre estação de controle e quadricóptero, observou-se uma boa intensidade do sinal, indicado em RSSI (*Received Signal Strength Indicator* ou Indicador de Intensidade do Sinal Recebido), tanto da antena local quanto da antena remota, além da intensidade de ruídos.



**Figura 35** - Received Signal Strength Indicator (RSSI).

Fonte: Autoria Própria

Também foram testados os diversos sensores, como GPS, Giroscópio, Acelerômetro, Bússola e Barométrico.



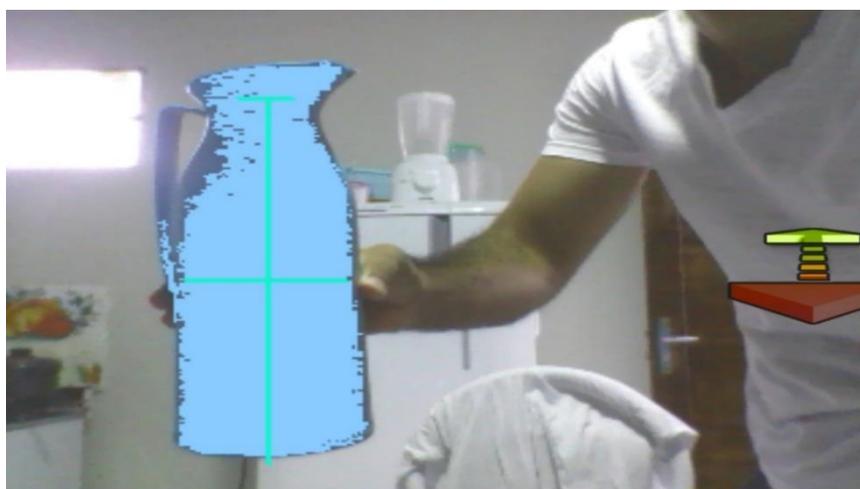
**Figura 36** – Teste dos Sensores.

Fonte: Autoria Própria

Em seguida foram realizados teste no sistema de visão computacional, onde foram utilizados diversos objetos que foram reconhecidos de forma satisfatória ao projeto, como mostra as imagens a seguir:



**Figura 37** – Reconhecimento de uma caneta.  
Fonte: Autoria Própria



**Figura 38** – Reconhecimento de uma garrafa térmica.  
Fonte: Autoria Própria



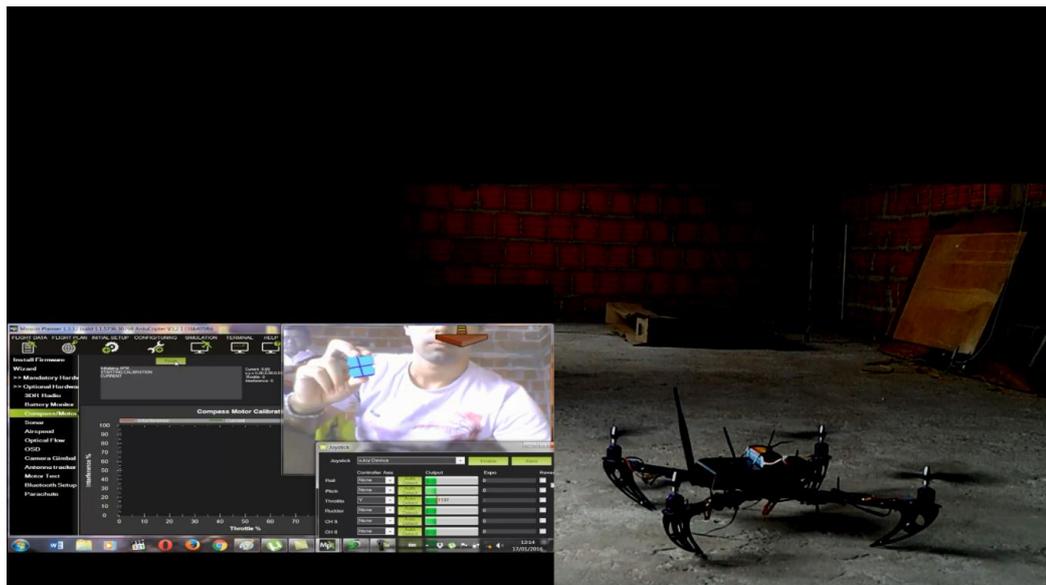
**Figura 39** – Reconhecimento de moeda de 1 Real.  
Fonte: Autoria Própria



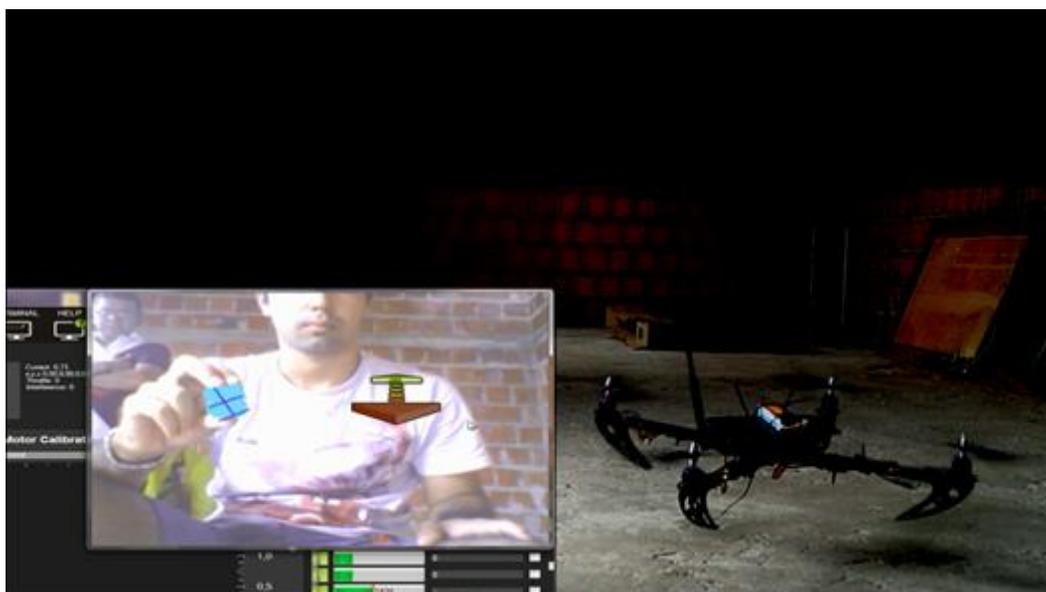
**Figura 40** – Reconhecimento de um copo.  
Fonte: Autoria Própria

Após testado o funcionamento do sistema de visão foram testados a integração entre o sistema de visão e o *Mission Planner*, como mostra a Figura 41, além das variações de corrente recebida pelos motores, de acordo com o percebido pelo sistema de visão, como mostra a Figura 42, controlando dessa forma a ação do quadricóptero.





**Figura 43** – Iniciando processo de Decolagem.  
Fonte: Autoria Própria

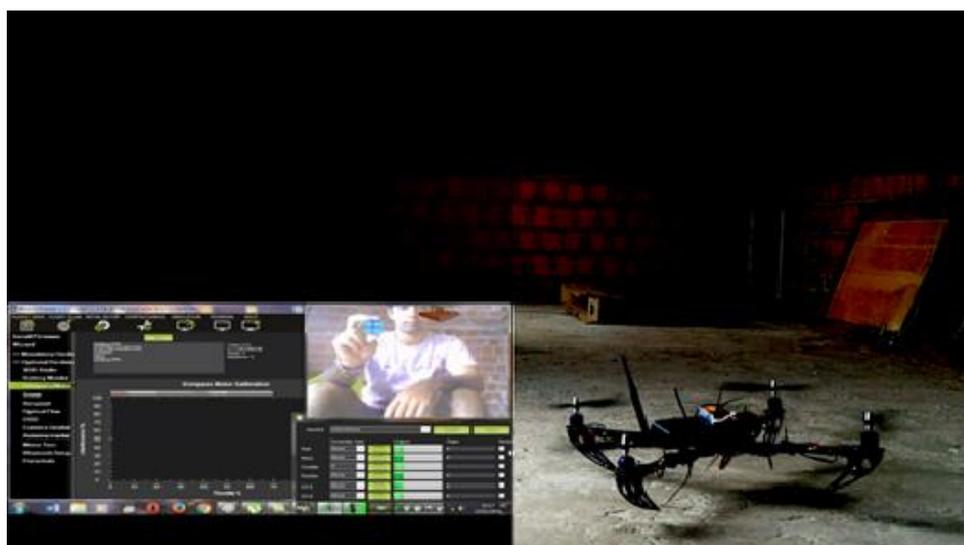


**Figura 44** – Quadricóptero decolando.  
Fonte: Autoria Própria

Nas Figuras 43 e 44 é exibido o controle de decolagem do sistema, onde o quadricóptero recebe o estímulo visual e entende que deve ser realizada a decolagem.



**Figura 45** – Quadricóptero pousando.  
Fonte: Autoria Própria



**Figura 46** – Finalizando processo de pouso.  
Fonte: Autoria Própria

Enquanto que nas Figuras 45 e 46 ocorre o processo de pouso, envolvendo o mesmo princípio da decolagem, é percebido um estímulo e esse estímulo é convertido em ação.

Embora não seja o foco do projeto, também foram realizados testes em ambiente *outdoor*, entretanto o sistema não apresentou a mesma eficiência do ambiente *indoor*, foi observado que fatores externos, principalmente ação do vento, interferem bastante o sistema de controle, tornando o quadricóptero bastante instável e mais suscetível a falhas.

## 6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram apresentados assuntos bastante debatidos na atualidade, existe uma crescente utilização de VANTs em diversos setores da sociedade e a busca pela autonomia dos mesmos também cresce a cada dia.

Para realização do projeto foi necessário muita pesquisa principalmente em áreas relacionadas a visão computacional, aeromodelismo, protocolos de comunicação e microeletrônica.

A proposta apresentada de se utilizar técnicas de visão computacional para propiciar autonomia às ações de pouso e decolagem do quadricóptero apresentou os resultados esperados.

Apesar do sistema proposto apresentar uma possível solução apenas para ações aparentemente simples, como pouso e decolagem, o projeto abre caminho para novas possibilidades, tanto de aperfeiçoamento quanto de expansão do trabalho realizado.

Em trabalhos futuros pretende-se aumentar o número de ações realizadas de forma autônoma e aperfeiçoar o processo de visão, possibilitando assim o deslocamento e o desvio de obstáculos.

## REFERÊNCIAS

- ALTUG, E. **Control of a Quadrotor Helicopter Using Visual Feedback**. Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics & Automation, Washington, USA, maio, 2002.
- ANDERSON, P. S. **Development of a UAV ground control station**. 2002. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Linkoping University, Estocolmo.
- AZINHEIRA, José R. et al. **Visual Servo for the Hovering of na Outdoor Robotic Airship**. Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics & Automation, Washington, USA, maio, 2002.
- BLANC, G., Y.Mezouar & P. Martinet (2005), **Indoor navigation of a wheeled mobile robot along visual routes**, em 'Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation', Barcelona, Spain, pp. 3354–3359.
- CABALLERO, FERNANDO et al.. **Improving vision-based planar motion estimation for unmanned aerial vehicles through online mosaicking**. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION, 2006, Orlando. Proceedings... Orlando: IEE, 2006. P. 2860-2865.
- CAMSPACE, Disponível em: <<http://g1.globo.com/tecnologia-e-games/noticia/2010/04/programa-permite-usar-objetos-do-dia-dia-como-controle-de-videogame.html>>. Acesso em 12/01/2016.
- COELHO, L. S. E CAMPOS, M.F. M. **Navegação de Dirigíveis Autônomos Baseados em Visão Computacional**, 1998.
- COX, T. H. et al. **Civil UAV Capability Assessment**. NASA; CSM, Inc. [S.l.]. 2004.
- DA LÍNGUA PORTUGUESA, **Dicionário**. Porto Editora. Dicionários Editora, 2002.
- DOS SANTOS, Tiago Fernando Couto Sarmiento, **Sistema de Visão para Percepção e Navegação de um UAV Quadrotor**. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2009.
- FABRO, J. A., 1996, **Grupos neurais e sistemas nebulosos: aplicação à navegação autônoma**, tese de mestrado, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Unicamp, Campinas, SP.
- FIGUEIREDO, M., 1999, **Navegação Autônoma de Robôs**, VII Escola de Informática da SBC - Regional Sul, pg. 74 - 106, maio.
- HAN, Y. **Na autonomous unmanned aerial vehicle-based imagery system development and remote sensing images**. 2009. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Utah State University, Utah.

INDELMAN, VADIM et al.. **Navigation aiding using on-line mosaicking**. In: IEEE/ION POSITION, LOCATION AND NAVIGATION SYMPOSIUM, 2008, Monterey. Proceedings... Monterey: IEEE, 2008. V.1 p. 779-791.

JP. **Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms**. [S.l.]: Joint Education and Doctrine Division, J-7, Joint Staff, 2011.

KAISER, M. K.; GANS, N. R. ; DIXON, W. E. **Vision-based estimation for guidance, navigation, and control of an aerial vehicle**. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, v. 46, n. 3, p. 1064-1077, 2010.

KIM, JIM H. **FLYING ROBOTS: Modeling, Control and Decision Making**. ICRA, 2002.

KUNDUR, S. e RAVIV, Daniel, **A Vision-Based Pragmatic Strategy for Autonomous Navigation**. Pattern Recognition, Elsevier Science, Vol. 31, N. 9, pg. 1221-1239, 1998.

LACROIX, S. ET AL. **Towards Cooperative Air/Ground Robotics: Issues Related to Digital Elevation Map Building**. LAAS/CNRS, França, 2002.

LONGHITANO, George Alfredo. **VANTs para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. São Paulo, 2010. 148p.

MAETA, S.M. **Desenvolvimento de Infraestrutura Embarcada do Projeto AURORA**. Dissertação MSc. UNICAMP, Julho, 2001.

MAHONY, R., V. Kumar & P. Corke (2012a), **Multirotor aerial vehicles: Modeling, estimation, and control of quadrotor**, Robotics Automation Magazine, IEEE 19(3), 20–32.

MEINGAST, M.; GEYER, C.; SASTRY, S. **Vision based terrain recovery for landing unmanned aerial vehicles**. In: IEEE CONFERENCE ON DECISION AND CONTROL, 43., 2004. Bahamas. Proceedings ... Bahamas: IEEE, 2004. v. 2, p. 1670- 1675.

MEJIAS, LUIS et al.. **Stereo visual system for autonomous air vehicle navigation**. In: IFAC SYMPOSIUM ON INTELLIGENT AUTONOMOUS VEHICLES, 6, 2007, Toulouse. Proceedings... Toulouse: Elsevier, 2007. P. 203-208.

MENDES, Caio César Teodoro Mendes. **Navegação de robôs móveis utilizando visão estéreo**. USP, São Carlos, 2012, Dissertação de mestrado.

MONTGOMERY, JAMES F. et al.. **The jet propulsion laboratory autonomous helicopter testbed: a platform for planetary exploration technology research and development**. Journal of Field Robotics, v. 23, n. 3-4, p. 245-267, 2006.

NONAMI, K., F. Kendoul, S. Suzuki, W. Wang & D. Nakazawa (2010), **Autonomous Flying Robots: Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles**, Springer. URL: <http://books.google.com.br/books?id=6H-ANYxUKzwC>

PEREIRA, C.S. ET AL **Formulação de um Sistema de Navegação Inercial para um Dirigível Não-tripulado: Primeiros Resultados**. XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica – COBEM, 2001.

PIO L. **Navegação Robótica Aérea Baseada em Visão - Requisitos de Processamento de Imagens para Projeto e Implementação**. III Workshop em Tratamento de Imagens. 2002

RAMOS, André. **Fisiologia da Visão, um estudo sobre o “ver” e o “enxergar”**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-RIO, 2006.

RAMOS, J.J.G. ET AL. **Project AURORA: A Status Report**. 3rd International Airship Convention and Exhibition, 2000.

REMAZEILLES, A. & F. Chaumette (2007), **Image-based robot navigation from an image memory**, Robotics and Autonomous Systems 55(4), 345–356.

SHAKERNIA, OMID et al . **Multiple view motion estimation and control for landing an unmanned aerial vehicle**. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION, 2002. , Washington, DC. Proceedings ... Washington D. C.: IEEE Press, 2002. v. 3, p. 2793- 2798.

SIEGWART, R. & R.S.I.R. Nourbakhsh (2004), **Intro to Autonomous Mobile Robots, Intelligent Robots and Autonomous Agents Series**, Mit Press. URL: [http://books.google.com.br/books?id=gUbQ9\\_weg88C](http://books.google.com.br/books?id=gUbQ9_weg88C)

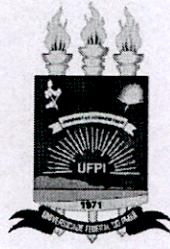
STIVANELLO, Mauricio Edgar. **Desenvolvimento de uma biblioteca para sistemas de visão estereoscópica para robótica móvel**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

TAO, W.; LEI, Y. **UAV aerotriangulation with flight-control data support**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MECHANIC AUTOMATION AND CONTROL ENGINEERING, 2., 2011. Inner Mongolia. Proceedings... Inner Mongolia: IEEE Press, 2011. p. 2801- 2804.

VALAVANIS, K. P. **Advances in Unmanned Aerial Vehicles: State of the Art and the Road to Autonomy**. Tampa, Florida, USA: Springer, 2007.

WANGENHEIN, Aldo Von. **Introdução à visão computacional**. Seminário Introdução à Visão Computacional para a disciplina Introdução à Visão Computacional junto à Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2001. Disponível em: <http://www.inf.ufsc.br/~visao/>. Acesso em: 12/01/2016.

WANGENHEIM, Aldo Von. **Técnicas de Visão Estéreo**. Disponível em <<http://www.inf.ufsc.br/~visao/estereo.html>>. Acessado em: 23 de junho de 2014.



TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DIGITAL NA BIBLIOTECA  
“JOSÉ ALBANO DE MACEDO”

Identificação do Tipo de Documento

- ( ) Tese  
( ) Dissertação  
 Monografia  
( ) Artigo

Eu, GILBERLON RIOS CUNHA OLIVEIRA,  
autorizo com base na Lei Federal nº 9.610 de 19 de Fevereiro de 1998 e na Lei nº 10.973 de  
02 de dezembro de 2004, a biblioteca da Universidade Federal do Piauí a divulgar,  
gratuitamente, sem ressarcimento de direitos autorais, o texto integral da publicação  
SISTEMA DE CONTROLE DE POUSO E DECOLAGEM DE VANT DO TIPO VTOL  
QUADRICÓPTERO, BASEADO EM VISÃO COMPUTACIONAL  
de minha autoria, em formato PDF, para fins de leitura e/ou impressão, pela internet a título  
de divulgação da produção científica gerada pela Universidade.

Picos-PI 02 de MARÇO de 2016.

Gilberlon Rios Cunha Oliveira  
Assinatura