

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

NAIRO PEREIRA CAMPELO FILHO

**MODELAGEM DE UM SISTEMA DE RECARGA AUTOMATIZADO
PARA MULTICOPTEROS**

SÃO LUÍS/MA

2017

NAIRO PEREIRA CAMPELO FILHO

**MODELAGEM DE UM SISTEMA DE RECARGA AUTOMATIZADO
PARA MULTICOPTEROS**

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Prof^ª. MSc. Simone Cristina Ferreira. Neves.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO
FINAL DA MONOGRAFIA DEFENDIDA PELO
ALUNO NAIRO PEREIRA CAMPELO FILHO E
ORIENTADA PELA PROF(A) MSC SIMONE
CRISTINA FERREIRA. NEVES



ASSINATURA DA ORIENTADORA

SÃO LUÍS

2017

Campelo Filho, Nairo Pereira.

Modelagem de um sistema de recarga automatizado para multicopteros /
Nairo Pereira Campelo Filho. – São Luís, 2017.
67 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica,
Universidade Estadual do Maranhão, 2017.

Orientador: Profa. Me. Simone Cristina Ferreira Neves.

1. Movimentos automatizados. 2. Bateria. 3. Multicopteros. I. Título.

CDU 623.741:004.78

NAIRO PEREIRA CAMPELO FILHO
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**MODELAGEM DE UM SISTEMA DE RECARGA AUTOMATIZADO PARA
MULTICOPTEROS**

Autor: Nairo Pereira Campelo Filho

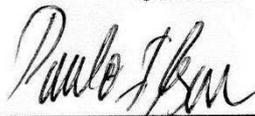
Orientador: Prof. Msc. Simone Cristina Ferreira Neves

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Monografia:



Prof. Msc. Simone Cristina Ferreira Neves

UEMA



Prof. Msc. Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho

UEMA



Prof. Dr. Lúcio Flavio de Albuquerque Campos

UEMA

A Ata de defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

São Luís/MA, 05 de dezembro de 2017.

DEDICATORIA

Dedico este trabalho a Deus pois sem ele eu não teria forças para essa longa jornada. A meus pais e irmãos que dedicaram a vida para cuidar de mim. Aos professores e aos meus colegas que me ajudaram na conclusão da monografia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me dado o saúde, força e sabedoria para superar as dificuldades e criatividade para realizar meus projetos

Ao meus pais por Nairo Pereira e Joselina Pereira por todo o apoio, esforço, compreensão, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A meus irmãos e minha irmã Tatiana pereira sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente!

A professora Simone Neves, orientadora, pela ajuda neste projeto. E aos Denner Guilhon pelo apoio, incentivo e suporte material para testes físicos desse trabalho. Aos demais professores do DEMECP da UEMA pela orientação e ensinamento durante a minha formação.

Agradeço aos meus amigos da minha turma da UEMA, que me acompanharam durante esses 5 (cinco) anos de curso, por todas as horas de estudos e pelas grandes amizades criadas durante esse tempo.

Aos amigos Helma, Gabriel, Wanderson, Diego, Adriano, Wesley pela ajuda neste trabalho.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“E graças a Deus, que sempre nos faz triunfar em Cristo, e por meio de nós manifesta em todo o lugar a fragrância do seu conhecimento. ” 2 Coríntios 2:14

Bíblia sagrada

RESUMO

Neste trabalho estão as etapas adotadas para a confecção de um centro de comando de drone e recarga de suas baterias, controlado remotamente. A base teórica, as análises tecnológicas, o desenvolvimento prático do projeto e os resultados são documentados em seguida. As quatro principais partes são detalhadas de acordo com o plano de execução estabelecido no projeto: estrutura externa, estrutura interna, elétrica/ eletrônica e programação.

Palavras-chave: Movimentos automatizados. Baterias. Multicopteros. Recarga. Plataforma.

ABSTRACT

This report describes the steps taken to make a drone's command center and recharges its batteries, automatically controlled. The theoretical foundation, the technology analysis, the practical development of the project and the results are documented below. The four main components are detailed in accordance with the implementation plan set out in the project: external structure, internal structure, electrical / electronic and programming.

Keywords: Automated movements. Batteries. Multicopteros. Recharge. Platform.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Divisor de tensão.....	18
Figura 2: Bateria	19
Figura 3: ESC	22
Figura 4: UBEC	24
Figura 5: Carregador de baterias	25
Figura 6: Baterias estufadas.....	25
Figura 7: Célula de bateria.....	26
Figura 8: Tipo de corrosão metálica	28
Figura 9: Rolamento linear	29
Figura 10: Fuso de esfera	30
Figura 11: Alguns tipos de engrenagens.....	31
Figura 12: Junta universal dupla.....	32
Figura 13: Tipos de flambagem.....	33
Figura 14: Princípio de funcionamento do quadricoptero. Movimentos translacionais (a, b, c, d), movimento ascendente e descendente (e, f) e movimento de rotação (g e h)	35
Figura 15: Plataforma vista externa versão substrato móvel. Vista frontal (a), vista superior (b), vista isométrica (c) e vista lateral (d).	36
Figura 16: Ensaio aerodinâmico em túnel de vento, vista lateral	38
Figura 17: Ensaio aerodinâmico em túnel de vento, vista isométrica	39
Figura 18: Quadricoptero. (a) vista isométrica do drone, (b) vista inferior, (c) vista lateral inferior, (d) vista lateral e (e) vista frontal.....	42
Figura 19: Montagem da instalação do suporte e carro da bateria	43
Figura 20: Quadricoptero em movimento oscilatório. (a) drone em aproximando da plataforma; (b) momento do engate; (c) alteração do curso do drone; (d) movimento oscilatório do drone; (e) choque entre drone e substrato.....	44
Figura 21: Elevador. a) vista isométrica; (b) vista isométrica inferior; (c) vista superior e (d) vista frontal,	45
Figura 22: Montagem do estabilizador do quadricoptero.....	46
Figura 23: Coroa e o parafuso com rosca sem-fim.....	47
Figura 24: Montagem da sistema de translação horizontal	47

Figura 25: Base das baterias. (a) vista superior; (b) vista inferior, detalhe do par de conectores do cartucho da bateria; (c) vista lateral, trava do cartucho na base e (d) vista isométrica, rolamentos de apoio desta base.	48
Figura 26: Montagem da Base das baterias	49
Figura 27: Cartucho de baterias. (a) guias laterais; (b) pino de fixação (c) dois conectores de pressão e (d) portinhola.	50
Figura 28: Montagem do cartucho de baterias	52
Figura 29: (a) Arduino, (b) Módulos L298N e (c) ULN2003AN	53
Figura 30: (a) Motor Lexmark M42SP, (b) Motor 28BYJ-48.....	54
Figura 31: simulação do divisor de tensão para uma célula.	56
Figura 32: Esquema elétrico	57
Figura 33: Montagem do esquema elétrico	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D - Espaço tridimensional;

2D - Espaço bidimensional;

Vin - Tensão elétrica de entrada;

Vout - Tensão elétrica de saída;

VANT - Veículo Área Não Tripulado;

LiPo - Lithium Polymer Battery = Bateria de Polímeros de Lítio;

NiMh - Níquel-hidreto metálico;

LiIon - Íons de Lítio;

NiCd - Níquel-Cádmio;

LiPo - Polímero de Lítio;

ESC - Electronic Speed Control = Controle de velocidade eletrônico

RC - Radio Controlado;

LVC - Low Voltage Cut-Off = Corte de baixa tensão;

BEC - Battery Eliminator Circuit = circuito eliminador de bateria, “stepdown circuit”;

UBEC - Universal BEC;

NOBEC - Sem BEC;

SBEC - Switching BEC = BEC chaveado;

OPTO - Optical isolator, Optocoupler, Photocoupler, ou PhotoMOS = isolador optico;

CAD - Computer Aided Design = Desenho Assistido por Computador (DAC);

CAE - Computer Aided Engineering = Engenharia Auxiliada por Computador;

CFD - Computational Fluid Dynamics = Dinâmica Dos Fluidos Computacional;

CI - Circuito Integrado;

SPICE - Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis = Programa de Simulação com Ênfase de Circuito Integrado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	16
2.1. Geral.....	16
2.2. Específicos.....	16
3. JUSTIFICATIVA	17
4. REVISÃO TEÓRICA	18
4.1. Esforços Mecânicos.....	18
4.2. Divisor De Tensão	18
4.3. Bateria.....	19
4.3.1. Fatores que determinam a escolha das baterias:	19
4.3.2. Controle de velocidade eletrônico (ESC)	22
4.3.3. Carregador	24
4.4. Escoamento.....	27
4.5. Corrosão	27
4.6. Elementos de maquinas	29
4.6.1. Fuso de esferas	30
4.6.2. Engrenagens	30
4.6.3. Junta universal.....	32
4.7. Flambagem	33
5. MATÉRIAS E MÉTODOS	35
5.1. Multicoptero	35
5.2. Plataforma de recarga	36
5.2.1. Estrutura externa.....	37
5.2.2. Estrutura interna	39
5.2.3. Elétrica/ eletrônica	52

5.2.4. Programação	59
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS	62
8-REFERÊNCIAS	64

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o aperfeiçoamento de novas tecnologias no setor de automação, dirigem-se para uma linha de pensamento mundial que busca a sustentabilidade, eficiência e baixo custo. Uma dessas novas tecnologias são o multicopteros ou multirotores que atualmente e utilizado para diversos fins. Um ponto muito influente nesses projetos é o consumo de energia que está relacionado com a carga, percurso e tempo de recarga. É com o propósito de sanar este último, já que os dois primeiros são imutáveis, entra o estudo da automatização e monitoramentos necessários.

A UEMA vem investindo prudentemente nas áreas de pesquisa em tecnologia, mas especificadamente no Núcleo de automação e controle (NAUCO). Um dos projetos que estão em desenvolvimento se destacou o quadricoptero com o propósito investigar e construir um protótipo, mas no estudo da equipe foi considerado carga e descarga um fator crucial no funcionamento pleno do protótipo. Os multicopteros comerciais atuais geralmente duram de 30 a 35 minutos com uma única carga de bateria. Substituir esta bateria por uma mais robusta não é uma solução viável, pois a mesma teria um peso maior, comprometendo a carga útil do sistema e também aumentaria o consumo de carga da própria bateria. Esta deficiência torna as missões do VANT curtas e/ou com uma carga não muito considerável.

Este projeto foi dividido em três partes: recarga, pouso/decolagem, e vôo. Será discutido nesse trabalho somente os dois primeiros, tendo em vista que o último tópico necessita de ampla discussão sobre estabilidade e programação de drones. O sistema de recarga será subdividido em: eletrônica e mecânica. No sistema de pouso será discutido formas de pouso e alinhamento do drone com a plataforma de recarga.

O protótipo será modelado para permitir a aterrissagem rápida, recarga imediata e decolagem em poucos segundo, dado o sistema eletromecânico do mesmo mantendo assim o drone pronto para retornar a missão.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Modelamento de uma estrutura robótica que seja capaz de expandir a capacidade das missões dadas aos multicopteros, isto é, modelar um sistema de recarga autônoma, sem qualquer influência humana.

2.2. Específicos

- I. Criar um sistema funcional simples e baixo orçamento;
- II. Adaptar o sistema a comandos simples e com poucas peças;
- III. Elaborar um sistema elétrico que recarregue de forma correta as baterias;
- IV. Projetar um sistema de abastecimento não-elétrico para modelos não-elétricos;

3. JUSTIFICATIVA

A difusão da praticidade dos drones para uma diversidade de tarefas resultou em estudo vasto e variado sobre o assunto. Dentre os estudos os mais destacáveis são estrutura, estabilidade, autonomia. Por outro lado, no entanto, as pessoas ainda são necessárias para dar assistência e manutenção aos drones nesse circunstância muito tempo e desperdiçado.

Baseado no contexto descrito, este projeto procura criar um sistema de troca de bateria e manutenção simples que permita a qualquer multicoptero ter uma melhor autonomia de voo, através da modelagem e construção de um protótipo 3D do sistema, considerando um sistema eletromecânico, sem uso de garras, subsistemas pneumáticos ou hidráulicos, tornando-o assim um projeto de baixo custo e fácil manutenção. Também dando suporte para que o mesmo possa se estabelecer para diversos missões. O sistema também deve ser projetado para ter reduzido no adicionamento de suporte adaptável tanto para planos (teto de automóveis, lajes, etc.) ou postes.

Levando em consideração o tipo de missão dada ao drone outros elementos podem ser incorporados ao drone, como por exemplo, sistema de wifi para troca de dados em tempo real, backup para salvar e proteger arquivos da missões, climatizador para manter o funcionamento pleno do sistema em ambientes impróprios, etc.

4. REVISÃO TEÓRICA

4.1. Esforços Mecânicos

A escolha de um material para elementos de máquina, vigas, estruturas, engrenagens, etc. é uma das decisões mais importantes que o engenheiro deve fazer já que os mesmos tendem a deformar ou romper quando submetidos a solicitações mecânicas, logo que estes trabalham constantemente suportando e transmitindo esforços. A resistência dos materiais é a subdivisão da mecânica que estuda as relações entre elementos deformáveis quando estes sofre ação de esforços externas e também a intensidade das forças internas que agem no interior do corpo. (HIBBELER,2010)

4.2. Divisor De Tensão

Em eletrônica o divisor de tensão, é uma técnica utilizada para criar uma tensão elétrica de saída (V_{out}) que seja proporcional à uma tensão de entrada (V_{in}).

O divisor de tensão, consiste em um arranjo de resistores de tal forma a subdividir a tensão total em valores menores. O circuito geralmente possui dois resistores associados em série, alimentados por uma tensão E . (CAPUANO; MARINO,2007).

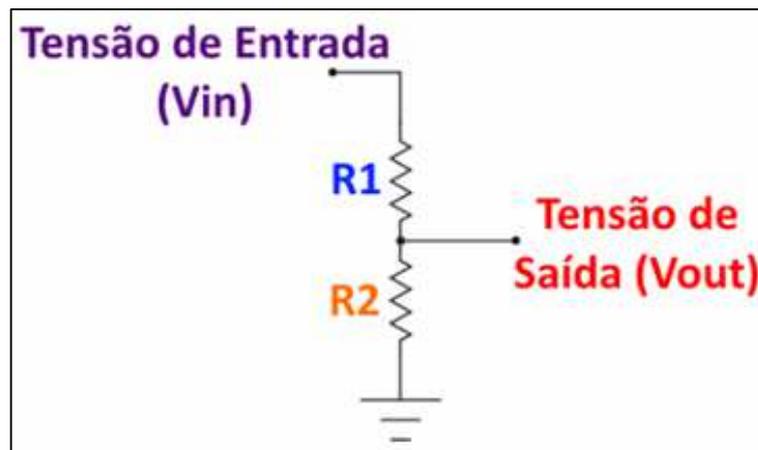


Figura 1: Divisor de tensão

Fonte: Arduinoecia (2016)

4.3. Bateria

Este equipamento tem a capacidade de converter energia química em energia elétrica, e em uso pode converter energia elétrica em energia química. Esta alternância ocorre essencialmente em todas as vezes em que a bateria é utilizada, ou seja, nos processos de carga e no processo de descarga. A finalidade de uma bateria, como já foi dito, é armazenar energia, mas uma outra e liberar essa energia de forma e tempo apropriado, isto é, de maneira controlada, cada bateria possui diferentes características umas das outras, como exemplo, tamanho, capacidade de descarga da bateria, tensão, etc. (E-VOO, 2008)



Figura 2: Bateria

Fonte: Droneg (2016)

4.3.1. Fatores que determinam a escolha das baterias:

4.3.1.1. Razão C

Toda bateria tem uma capacidade de carga e descarga determinada pelo projeto e material de que é composta, geralmente expressa pela unidade “C”, que é a razão entre a corrente que ela pode fornecer e a capacidade da bateria. Essas Taxas “C” são dadas para saber a taxa de carga e descarga de cada bateria, normalmente a capacidade de carga das baterias é

de 1C, mas em alguns casos pode ser maior ou menor (em casos de baterias de baixa qualidade ou sem especificação), esta informação é obtida na parte posterior do invólucro das baterias. A taxa de Descarga pode variar de acordo com cada fabricante e especificações do produto, podendo ser, por exemplo 1C, 20C, 30C, 40C, 100C, 120C, etc. Esta informação deve aparecer na parte da frontal da bateria, caso contrário, é necessário contatar o fabricante. Deve-se ter em mente que a falta dessa informação já denota que a bateria é neste caso de baixa qualidade, e consequentemente não confiáveis. (E-VOO, 2008)

4.3.1.2. Tensão

Outro fator que determina a escolha da bateria é o nível de tensão da mesma. Que por sua vez depende da taxa de consumo dos motores.

4.3.1.3. Cálculo da intensidade da corrente

Este cálculo é utilizado para parametrizar quantos ampère uma bateria pode fornecer sem danificar sua estrutura, por exemplo uma bateria de 2200 mAh com 20C, sendo 2200 miliampère hora = 2,2 Ampère hora = 2,2 Ah, multiplicado pela Taxa-C de descarga, temos: $2,2 \text{ Ampere hora (Ah)} * 20 C = 44 \text{ Ampère}$, ou seja se essa bateria tem 20C, então o pico de corrente elétrica fornecida é 44 Ampère. A mesma regra se aplica ao carregamento, se sua bateria aceita carga de 1C, então: $1C * 2,2 \text{ A/h} = 2,2 \text{ Ampère}$, ou seja, a intensidade de corrente máxima que pode ser carregada é de 2,2 Ampère. Daí, temos que o somatório de todos os componentes (motor, BEC, placas controladora, etc.) do VANT deverá ser menor que 44 A/h, levando em consideração que devemos estipular uma porcentagem desta quantia para a corrente de pico, mas se for necessário uma corrente maior que 44 A/h então a bateria terá que ser trocada, caso contrário ocorrerá reações químicas com formações de gases dentro da mesma e posteriormente seu estufamento comprometendo assim seu funcionamento e a segurança do projeto (Figura 6). (Droneg, 2016)

4.3.1.4. Material / Tipo

Existem baterias de diferentes materiais, cada uma com características bem específicas que determinam seu uso.

- I. Níquel-Cádmio (NiCd) são as mais antigas usadas em modelismo. Elas geralmente têm alta capacidade de descarga, mas guardam pouca energia.
- II. Níquel-hidreto metálico (NiMh) são mais recentes e, apesar de terem capacidade de descarga mais baixa, armazenam mais energia com o mesmo peso). Uma bateria de NiMh de 1100mAh a 1500mAh tem o mesmo tamanho de uma NiCd de 600mAh e consegue fornecer uma descarga pouca coisa menor.
- III. Íons de lítio (LiIon) são as mais modernas que as NiCd e NiMh. Muito usadas em notebooks e celulares, estas baterias armazenam muito mais carga com o mesmo peso. Geralmente possuem capacidade de descarga baixa, entre 2C e 6C, funcionando bem em modelos econômicos em que se deseje um vôo de longa duração, mas não recomendadas para modelos muito acrobáticos, 3D ou que utilizem motores de alto consumo. As baterias de LiIon precisam de carregadores específicos e mais cuidado na carga, pois apresentam risco de explosão em casos extremos.
- IV. Polímero de lítio (LiPo) são as mais modernas em uso atualmente. Ao contrário das LiIon, existem LiPo de alta capacidade de descarga, juntando as vantagens das NiCd (descarga) com as LiIon (peso), o que as faz ideais para modelos acrobáticos, assim como para a maioria dos aeromodelos. Como as LiIon, também precisam de carregadores específicos e cuidados na carga e descarga e manipulação, e por serem novidade ainda são um pouco caras, mas tendem a se popularizar cada vez mais. A tensão nominal de cada célula é de 3,7V, atingindo 4,2V quando totalmente carregadas, e não devem ser descarregadas abaixo de 2,8V, sob risco de serem danificadas. As baterias LiPo (Lithium Polymer Battery – Bateria de Polímeros de Lítio) são normalmente utilizadas em VANTs, pois possibilita uma boa autonomia para os drones, e tem uma grande tempo de uso em relação as demais. As baterias de LiPo, tem uma característica diferenciada em relação as demais, que é a capacidade de descarregar altas energias sem sofrer danos a estrutura dentro de suas especificações, mas também possui algumas limitações. (E-VOO, 2008)

4.3.2. Controle de velocidade eletrônico (ESC)

Por questões de segurança, as baterias (LiIon/LiPo) devem sempre ser utilizadas com seus respectivos controladores, Também conhecido como Electronic Speed Control (ESC), para o nosso caso de aerodelismo, o mais versátil e usual é o Controle de velocidade eletrônico, o mesmo possui sistemas internos que auxiliam o uso e o monitoramento da bateria. Ele é simplesmente um circuito eletrônico, e como o próprio nome diz, é ele o principal responsável pelo controle de velocidade do motor. No entanto ele não serve só pra isso, ele também distribui a alimentação para os diversos componentes que compõe o aeromodelo.

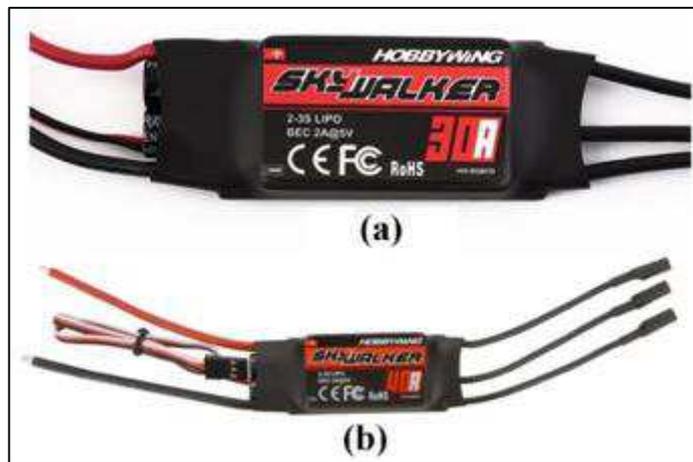


Figura 3: ESC

Fonte: Aliexpress (2017)

Dois dos mais importantes sistema do ESC (figura3) tem como função gerir o gasto de energia entre motores e atuadores e o outro tem a função de desligar o motor quando se atinge o limiar de 3V (LiPo) por célula. Na prática, bem antes deste limite os motores do modelo já estão com baixa potência e este indica visivelmente a necessidade de pousar. (E-VOO, 2008)

O funcionamento do sistema e feito da seguinte forma: o sistema principal, ou programação principal; o sistema de rádio controle (RC), que consiste de um controle remoto utilizado por um piloto e um receptor sendo este último colocado no corpo do sistema em controle; por outro lado a programação principal e realizada pelo sistema embarcado no protótipo, sendo este responsável por envia os comando, estes comando são recebido pelo Receptor que por sua vez o envia para o ESC ou é recebido diretamente pelo ESC, no caso da

programação principal, e dependendo do conteúdo dessas informações (comandos), o ESC manda mais ou menos energia para o motor. Normalmente o ESC divide a energia entre o motor e o receptor (caso RC) ou placa controladora (caso autônomo).

Para a placa controladora (ou receptor no caso de RC), o Speed dependendo do sistema, por exemplo, pode enviar para a placa controladora (ou receptor no caso de RC), no máximo 5V Volts a 2A e para os motores 7,4 Volts ou 11 Volts a 30A. O ESC é um dos componentes mais importante de um VANT, e algumas das características que precisam ser observadas são:

4.3.2.1. Saída do ESC

Essa saída é referente a corrente máxima que o ESC transmite para o motor, e no manual de instrução vem descrita como saída (OUTPUT). No caso de um ESC possuir em seu rotulo “30A”, ele tem corrente de saída de 30A. E no seu manual também está descrito uma outra corrente, que a um pico máximo de corrente que o ESC aguenta por um determinado período, neste caso de 35A por 15 segundos, mas se o ESC for escolhido corretamente, dificilmente chegará a esse corrente.

4.3.2.2. Alimentação do ESC

Essa é a faixa de alimentação que o ESC precisa para funcionar corretamente. Outra informação que estará contida no rotulo será “2-4S”, esse ‘S’ significa o quanto de células compõe a bateria de alimentação, e cada célula é composta por uma determinada carga. (E-VOO, 2008)

4.3.2.3. Circuito Eliminador de Bateria (BEC)

Também chamado de Battery Eliminator Circuit (BEC), é uma função que pode ou não estar no ESC que especifica quanta energia ele suporte transmitir para a placa controladora (ou receptor no caso de RC), pois a mesma também é alimentada pelo ESC e não direto na bateria. A casos em que o BEC pode ser externo (ou standalone) geralmente e chamado de UBEC. Tanto o ESC quanto o BEC externo podem ser ligados a mesma bateria, mas este tipo de ligação traz consigo um aumento de volume e conexões, deixando o modelo pesado e desorganizado.

Existe outro tipo, o SBEC – Switching BEC ou BEC chaveado, estes suportam mais tensão e corrente em relação ao BEC serial (BEC comum). E quando o sistema (ESC) não possui BEC (UBEC ou SBEC) ele é chamado de NOBEC. (MOLINA, 2016)



Figura 4: UBEC

Fonte: Molrc (2016)

4.3.2.4. Corte de Baixa Tensão (LVC)

Geralmente chamado de Low voltage cut-off (LVC). Quando o pack de baterias fica na eminência de descarregado o ESC detecta e corta por alguns momentos a corrente fornecida ao motor, mas mantém a alimentação no BEC (placa controladora ou receptor no caso de RC) após colocar a bateria em repouso por breves instantes ela recupera-se ligeiramente e assim o modelo poderá pousar em segurança antes que o LVC corte definitivamente a energia no motor. Este artifício permite ao sistema (ou aeromodelista no caso RC) nunca deixar de ter controle do aeromodelo pois o LVC guarda sempre energia na bateria suficiente para alimentar o BEC. Depois de saber qual a corrente do motor que você irá utilizar é preciso deixar uma folga ainda para o ESC. Por exemplo: caso seu motor consuma 10A, o ESC deve ser de 12A ou 15A como preferir, isso porque os motores por características de funcionamento, costumam dar alguns picos de consumo principalmente na sua partida, e seu ESC deve estar preparado para isso. (ZACCARELLI, 2011)

4.3.3. Carregador

Um carregador de bateria normalmente possui uma fonte e controle de energia. Este último normalmente é dividido em três partes ou funções:

- I. Função balancear (BALANCE): onde o carregador carrega a bateria e balanceia as células de modo que fiquem com a mesma voltagem (4,2 V por célula).
- II. Função armazenar (STORAGE): esta função deve ser utilizada sempre que você for ficar algum tempo sem utilizar a bateria, ou seja essa função é utilizada para armazenar a bateria. Caso este procedimento não seja utilizado a bateria poderá perder carga, e conseqüentemente capacidade de manter-se carregada, também poderá ocorrer danos físico ou ate incêndios.
- III. Função carga (CHARGE): normalmente utilizada quando o modo BALANCE e o carregador não conseguir completar o balanceamento, isso quer dizer que a bateria já está deteriorada, e não consegue mais manter a mesma tensão para as células em processo de carga, ela só irá carregar e quando chegar a tensão total o carregador finalizara o carregamento, mas o ideal é substituir a bateria. (ARIAS, 2016)



Figura 5: Carregador de baterias

Fonte: Mabairsoft (2017)



Figura 6: Baterias estufadas

Fonte: Droneg (2016)

A bateria de Polímero de Lítio (LiPo) é composta por células (figura 7), e ligadas em série e/ou paralelo para que se tenha a tensão de uso correto. Cada célula tem a capacidade de armazenar 3,7 V nominal, portanto uma bateria 1S tem 3,7V, uma bateria 2S tem $2 \times 3,7V = 7,4V$, e assim sucessivamente, mas quando uma bateria é carregada ela pode reter até 4,2 V por célula, ou seja, uma bateria 1S armazena até 4,2V, uma 2S até 8,4V, e assim sucessivamente, existem também outras agrupamento de tensões que podem ser observadas na tabela 1. (ARIAS, 2016)

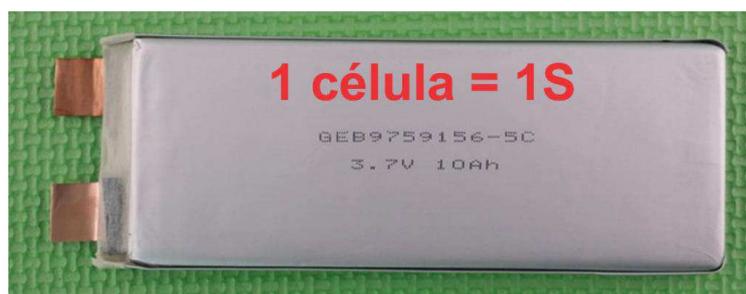


Figura 7: Célula de bateria

Fonte: Droneg (2016)

Tabela 1: Tensão das baterias LiPo (unidade em volts)

Células	1S	2S	3S	4S	5S	6S	8S	10S	12S
Mínimo	3	6	9	12	15	18	24	30	36
Descarregada	3,4	6,8	10,2	13,6	17	20,4	27,2	34	40,8
Nominal	3,7	7,4	11,1	14,8	18,5	22,2	29,6	37	44,4
Armazenada	3,8	7,6	11,4	15,2	19	22,8	30,4	38	45,6
Carregada	4,2	8,4	12,6	16,8	21	25,2	33,6	42	50,4

Fonte: DRONEG (2016)

Na coluna células, a primeira linha, mínimo, faz referência a tensão limite segura em que a bateria pode estar, próximo deste tensão limite o dano estrutural pode ser irreversível. A segunda linha, descarregada, refere-se a tensão em que a bateria é considerada descarregada. Nesta tensão, a bateria não corre riscos de deterioração a curto prazo.

A próxima linha, nominal, descreve a tensão do pack. Esta tensão geralmente está impressa na invólucro externo da bateria. A linha armazenada especifica a tensão de armazenamento, normalmente é viabilizada pela função STORAGE.

A última linha, carregada, esta tensão é utilizada quando a bateria está pronta para utilização nos multicopteros. (ARIAS, 2016)

4.4. Escoamento

Os tipos de escoamento são: externo/interno, compressível/ incompressível, laminar/turbulento e natural/forçado. E podem Ocorrer nos seguintes regime: viscoso/não-viscoso, permanente/não-permanente. Nosso sistema será idealizado com as seguintes características: Escoamento externo, incompressível, turbulento, forçado e viscoso, devido à sua natureza e a sua relação com o ambiente de trabalho. (FOX; McDONALD; PRITCHARD, 2014)

4.5. Corrosão

Reconhecer os tipos (figura 8), mecanismos e causas da corrosão e deterioração causada pela mesma, possibilita coordenar com mais coerência a prevenção desse fenômeno. Os principais tipos de corrosão são:

- I. Uniforme: corrosão eletroquímica que se manifesta de maneira equivalente em toda a superfície;
- II. Galvânica ou Eletroquímica: ocorre quando dois metais ou ligas diferentes estão em contato elétrico e expostos a um eletrólito.
- III. Por frestas: Ocorre devido a diferença de concentração de eletrólito na superfície de uma mesma peça. Ocorre em regiões com frestas ou em cantos.
- IV. Pitting ou Alveolar: corrosão localizada e profunda em direção perpendicular ao plano da superfície.
- V. Intergranular: ocorre ao longo dos contornos dos grãos para algumas ligas e ambientes específicos. Macroscopicamente o material se desintegra ao longo desses contornos.

- VI. Lixiviação Seletiva: É encontrada em ligas de solução sólida onde um elemento é preferencialmente removido no processo de corrosão.
- VII. Corrosão Erosão: É uma ação combinada de ataque químico e remoção mecânica gerada por partículas sólidas presentes num fluido.
- VIII. Corrosão sob Tensão: Ação combinada entre corrosão eletroquímica e tracionamento de uma superfície. (Callister, 2007)



Figura 8: Tipo de corrosão metálica

Fonte: Rijeza (2017)

O cobre e as ligas de cobre são muito usados em diversos ambientes e aplicações por causa de suas excelentes características, como exemplo, resistência à corrosão, alta condutividade térmica e elétrica, facilidade de fabricação, grande amplitude de valores de propriedades mecânicas e resistência à degradação por agentes biológicos. O cobre sofre corrosão, porém em taxas muito reduzidas, no ar não poluído, na água e na presença de ácidos não oxidantes em ambientes não areados. As ligas de cobre resistem a muitas soluções salinas, alcalinas e substâncias químicas orgânicas. Entretanto, o cobre é suscetível a um ataque muito mais rápido por ácidos oxidantes, sais oxidantes de metais pesados, enxofre, amônia (NH₃) e alguns compostos de enxofre e de amônia. A relativa facilidade de reação do cobre com o

enxofre e sulfetos para formar sulfetos de cobre (CuS e Cu_2S) impede a utilização do cobre e das ligas de cobre em ambientes contendo enxofre ou seus compostos. (/cobre4vdaiedani,2008)

4.6. Elementos de maquinas

Mancais de elementos rolantes

Estes elementos podem ser agrupados em duas categorias gerais, mancais de esferas e mancais de rolos, ambos com suas variações. Mancais de esferas são mais adequados para aplicações pequenas e de alta velocidade. Para sistemas grandes e de carga pesada, mancais de rolos é preferível. Se há risco de desalinhamento entre eixo e alojamento, rolamentos auto compensadores são utilizados. Rolamentos de rolos cônicos podem lidar com cargas pesadas nas direções radiais e axiais em velocidades moderadas e em caso de alta, rolamentos de esferas de pista profunda são os melhores. (NORTON,2013)



Figura 9: Rolamento linear

Fonte: Irsa (2017)

Dentro da categoria de mancais de esferas temos o rolamento linear (também chamado de bucha de esferas ou guia de eixo) é composto por uma gaiola com segmentos de pista para guiar conjuntos de esferas dentro do sistema (figura 9). São utilizados para ilimitadas aplicações que necessitem de movimento de translação linear, ou seja, avanço e retorno linear.

4.6.1. Fuso de esferas

O fuso de esferas (figura 10) é um dispositivo mecânico de deslocamento linear. O fuso de esferas é responsável pela conversão de energia de rotação, gerada por motores, em movimentação linear. Na aplicação mais comum, um fuso mancalizado nas extremidades recebe movimento de giro de um motor e, por contato direto com esferas de aço que se alojam entre a castanha e o fuso, provoca o deslocamento de uma castanha ou porca (onde está presa a carga a ser movimentada). (KALATEC, 2017)

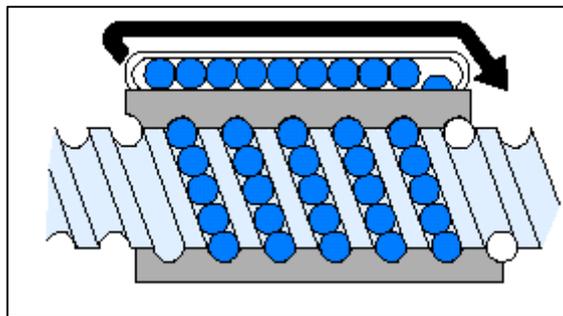


Figura 10: Fuso de esfera

Fonte: Kalatec (2017)

4.6.2. Engrenagens

São usadas para transmitir torque e velocidade angular em uma ampla variedade de aplicações, sendo assim existe uma grande variedade de tipos (figura 11) de engrenagem para se escolher. Alguns tipos são descritos abaixo:

- I. Engrenagens cilíndricas de dentes retos, possuem dentes paralelos ao eixo de rotação e são utilizadas para transmitir movimento de um eixo a outro eixo, paralelo ao primeiro. É o tipo mais simples e, por essa razão, é utilizada para desenvolver as relações cinemáticas primárias na forma de dente.
- II. Engrenagens helicoidais, possuem dentes inclinados com relação ao eixo de rotação, podem ser usadas nas mesmas aplicações que as engrenagens de dentes retos e, quando assim utilizadas, não são tão barulhentas, devido ao engajamento mais gradual dos

dentes durante o engajamento. Este tipo de engrenagem cria forças axiais e conjugados de flexão, que não estão presentes no caso de dentes retos

- III. Engrenagens cónicas, possuem dentes formados em superfícies cónicas e são utilizadas, principalmente, para transmitir movimento entre eixos que se interceptam.
- IV. O par pinhão-coroa sem-fim, representa o quarto tipo básico de engrenagem. Como notamos (Figura 11), o pinhão sem-fim se parece com um parafuso. A direção de rotação da coroa sem-fim, também chamada de roda sem-fim, depende da direção de rotação do parafuso e se seus dentes são cortados á mão direita ou esquerda. (SHIGLEY,2011)



Figura 11: Alguns tipos de engrenagens

Fonte: Bormax (2017)

- V. Cremalheira e pinhão, é uma conjunto formado por essas duas peças mecânicas. A cremalheira consiste numa barra ou trilho dentado, o pinhão nada é que uma engrenagem ajustada na cremalheira. A aplicação mais comum da cremalheira e pinhão é na conversão de movimento rotacional a reto ou vice-versa. (NORTON,2013)

4.6.3. Junta universal

É a junção de acoplamento em par de eixos, muito utilizada para transferir movimento rotacionais em outra direção sem modificar o sentido de giro do eixo, em quase todas as direções. Normalmente é um par de dobradiças que são articuladas, entre si, mas que em um eixo comum, com um ângulo de 90 graus entre si e ambas ortogonalmente posicionadas são capazes de modificar a direção do movimento. Este arranjo permite ao eixo horizontal primário conduzir ao eixo inclinado o movimento rotacional, sem nenhuma fricção indevida ou perda de velocidade ou potencial do sistema. (MECÂNICA INDUSTRIAL, 2012)



Figura 12: Junta universal dupla

Fonte: Disumtec (2017)

Estas juntas (figura 12) são divididas em dois tipos, o acoplamento de Hooke, que tem velocidade variável, e o acoplamento de Rzeppa, com velocidade constante. Os acoplamentos de Hooke são geralmente usados aos pares, cancelando assim seu erro de velocidade. Essa junta é utilizada para corrigir desalinhamentos angulares consideráveis e/ou desalinhamentos paralelos. Normalmente é empregada em eixos de motores em automóveis, um par de acoplamentos de Hooke no eixo motor da tração traseira e Rzeppa (chamado de juntas CV ou homocinética) em automóveis de tração dianteira. (NORTON, 2013)

4.7. Flambagem

Ao sofrer a ação de uma carga axial de compressão crítica, uma coluna de sustentação pode perder a sua estabilidade sem que o material tenha atingido o seu limite de escoamento, sendo assim a flambagem (figura 13) é considerada uma instabilidade elástica. Este colapso ocorrerá sempre na direção do eixo de menor momento de inércia de sua secção transversal. Para caracterizar essa carga crítica Euler determinou a fórmula da carga crítica nas peças carregadas axialmente.

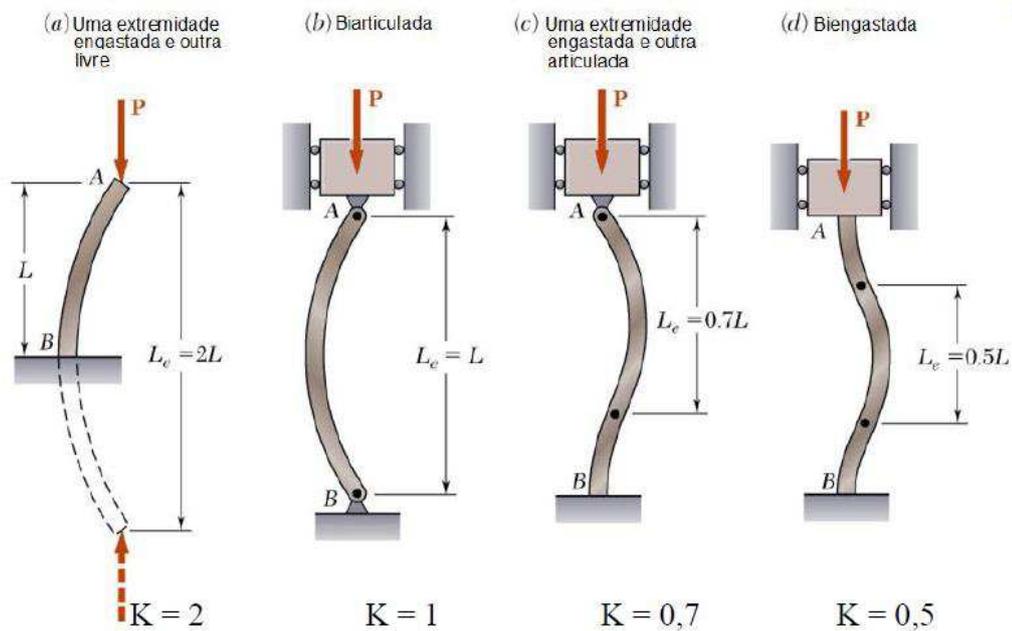


Figura 13: Tipos de flambagem

Fonte: Slideshare (2017)

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{L_f^2} \quad (1)$$

Onde:

- I. P_{cr} - carga crítica [N]
- II. E - módulo de elasticidade (de Young) do material [MPa; GPa; ...]
- III. J (I) - momento de inércia da secção transversal [kg.m²]
- IV. L_f - comprimento livre de flambagem [m] (MELCONIAN, 2000)

Para evitar este fenômeno os quesitos acima podem ser explorados de acordo com o caso trabalhado, tornando assim o sistema livre de flambagem.

Um dos pontos acima a se discutir é o momento de inércia, que é uma medida da resistência de um objeto a mudanças em seu movimento rotacional, assim como a massa é uma medida da tendência de um objeto para resistir a mudanças em seu movimento linear. No entanto, essa massa (m) é uma propriedade intrínseca de um objeto, enquanto momento de inércia (I) depende do arranjo físico dessa massa. (WALKER, 2016)

5. MATÉRIAS E MÉTODOS

5.1. Multicoptero

Também conhecidos por **helicópteros de multirotores**, VANT's, drones, etc. São aeronaves que decola e é impulsionada por motores sem escova (brushless). Estes multicopteros se sustentam através do empuxo gerado por suas hélices acoplado aos motores. E é pela quantidade desses motores de decolagens que é feita a classificação desses VANTs. O controle de movimento e velocidade da aeronave pode ser realizado variando-se a velocidade relativa dos motores, assim alterando o empuxo e o torque produzido por cada um destes.

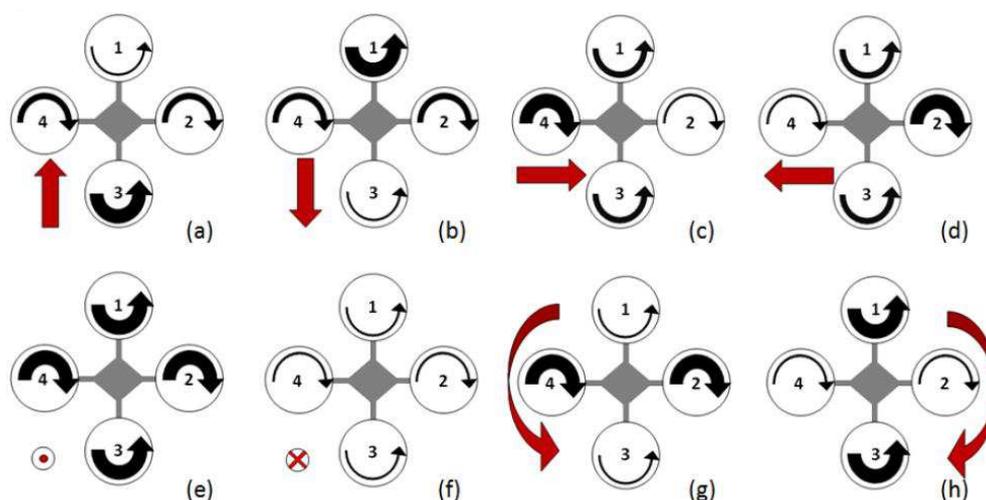


Figura 14: Princípio de funcionamento do quadricóptero. Movimentos translacionais (a, b, c, d), movimento ascendente e descendente (e, f) e movimento de rotação (g e h)

Fonte: (Sa, 2012)

Princípio de funcionamento do multicoptero baseia-se no controle da velocidade de rotação de cada uma das hélices. Cada rotor está disposto de modo a apresentar o sentido de rotação oposto aos rotores adjacentes. Os movimentos possíveis estão resumidamente descritos na figura abaixo (figura 14) para um quadricóptero. As setas vermelhas indicam a direção do movimento da aeronave e as setas pretas exibem a magnitude da velocidade rotacional das hélices. Movimentos translacionais (a, b, c, d), movimento ascendente e descendente (figuras

e, f) e movimento de rotação ao longo do eixo perpendicular ao corpo da aeronave (figuras g e h). (SA, 2012)

5.2. Plataforma de recarga

Drones são aeronaves que possuem limitações em seu plano de voo. Essa limitação é devido a capacidade de suas baterias. Desse modo os multirotores são limitados tanto em distância quanto em carga. Com o intuito de sanar essas limitações estão sendo desenvolvidos plataformas de recarga para os mesmos. Nosso trabalho procura desenvolver uma plataforma para essa problematização. Após a construção de uma plataforma desse tipo, muitos outros sistemas podem ser implantados na mesma, como exemplo conexão via internet para monitoramento em tempo real, sistema de download de arquivos, câmeras, armamentos, sistema de limpeza para ambientes hostis, recarga de combustíveis para drone não elétrico, etc.

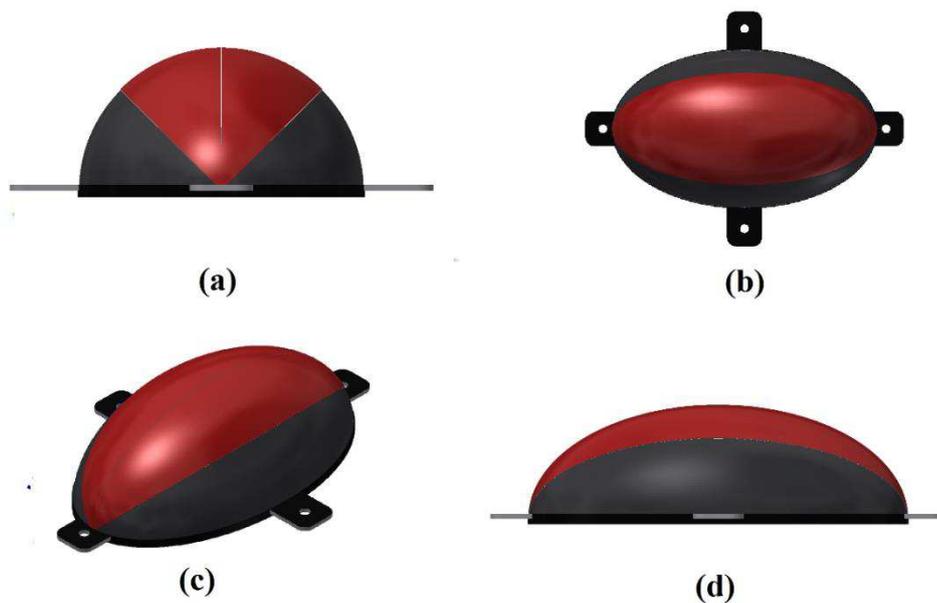


Figura 15: Plataforma vista externa versão substrato móvel. Vista frontal (a), vista superior (b), vista isométrica (c) e vista lateral (d).

Fonte: Autoria Própria (2017)

A plataforma tem a função de orientar o drone ao pousar, depois desse processo o sistema corrigira o pouso milimetricamente e assim abrindo o VANT, em seguida é realizada a troca de baterias, este processo foi idealizado sem auxílios de mecanismos complexos, como exemplo garras mecânicas, para que o sistema não necessite de reparo constante. Após esse procedimento o drone é liberado para retornar à missão.

Na figura 15 temos a idealização da estrutura externa deste trabalho. Vista frontal (a), vista superior (b), vista isométrica (c) e vista lateral (d). A versão acima é idealizada para substratos moveis, como exemplo, automóveis, trens, barcos, etc. A versão para locais fixos como torres, prédios, residências, etc. não terá o uso obrigatório desta cúpula ou formato.

5.2.1. Estrutura externa

Utilizando o software Flow Design, que é um Simulador (versão mais simplificada de um CFD's - Computational Fluid Dynamics) de túneis de vento, que possibilita visualizar a interação do vento com várias estruturas e assim, providencia um conhecimento de onde podem estar os riscos de aumento de velocidade dos ventos ou até mesmo onde pode haver áreas estagnadas, sem vento, no qual afetariam a funcionalidade correta do sistema. (MAPDATA,2014)

A primeira discussão feita neste subsistema, foi escolher a forma da estrutura e como esta seria usada pelo drone. Então dentre muitas, a forma escolhida para os primeiros testes foi a elipsoidal, a mesma possui uma perfil serial, facilitando assim a dispersão gradativa das camadas de ar sobre a estrutura. Estas camadas de ar e a influência nas áreas adjacentes do protótipo estão visíveis nas simulações abaixo (figura 16) feitas no software Flow design. A figura 13 mostra também a camada de ar sobre a superfície superior, a mesma possui a menor velocidade em relação ao fluxo de ar que é conhecida por camada limite, e o seu deslocamento está intimamente ligado com a geometria do corpo que atravessa o fluído.

A camada-limite laminar é caracterizada por ser um fluxo que ocorre em camadas muito finas deslizando suavemente sobre a superfície.

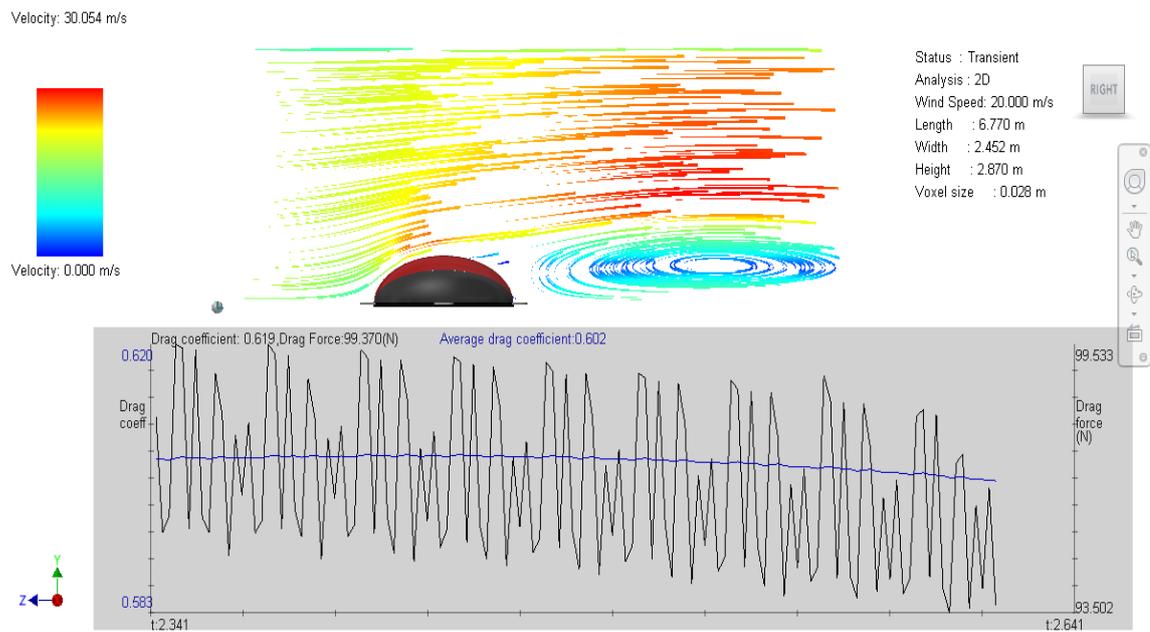


Figura 16: Ensaio aerodinâmico em túnel de vento, vista lateral

Fonte: Aatoria Própria (2017)

Logo esta estrutura procura retardar o máximo possível a transição do fluxo laminar para o turbulento, reduzindo ao mínimo o arrasto de atrito. Para isto, devesse estar atento ao material, rugosidade e a forma da cúpula. (FILHO, 2012)

5.2.1.1. Cúpula

A plataforma possuirá um subsistema de proteção do multicoptero, a mesma terá seu acionamento iniciado logo que o drone se aproxime da plataforma. Este subsistema terá o auxílio do elevador (figura 23). Sendo percebido a aproximação do drone as tampas superiores serão abertas o elevador se projetara para fora da plataforma, após o acoplamento do drone, o elevador é abaixado, em seguida a troca é feita e o drone liberado. Este subsistema tem por finalidade eliminar ou reduzir drasticamente o efeito do vento (turbilhões) no momento da aproximação tanto no pouso quanto decolagem do drone.

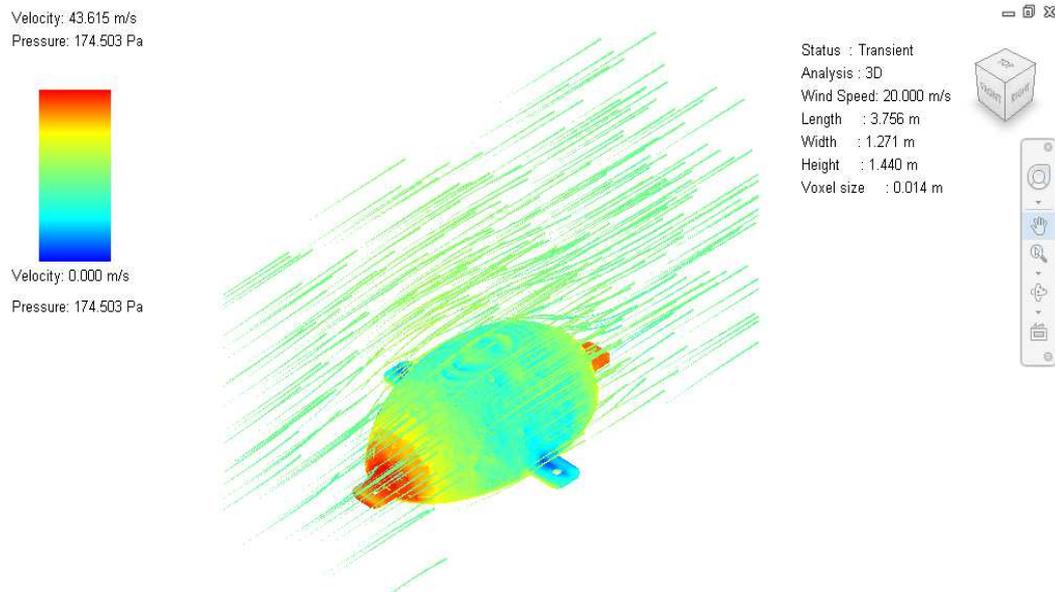


Figura 17: Ensaio aerodinâmico em túnel de vento, vista isométrica

Fonte: Autoria Própria (2017)

A figura 17 nos mostra a relação de pressão e velocidade sobre a estrutura. A área em vermelho nos remete a uma área de alta esforço mecânico por parte da estrutura, evidenciando assim a necessidade de um melhor dimensionamento nesta área.

5.2.1.2. Suporte externo

Este suporte trata do local em que a plataforma será instalada. De acordo com o propósito de curto e longo prazo deste projeto. Inicialmente foi formulado um substrato fixo, e logo depois um substrato móvel. Devido ao custo elevado de construir um protótipo para cada superfície, percebeu-se a necessidade um substrato multifuncional, que possa ser adaptável a qualquer superfície, então a partir desse momento foi projetado um substrato único, de forma a padronizar uma futura construção em massa. Facilitando a manutenção e tornado o projeto de baixo custo.

5.2.2. Estrutura interna

Este subsistema tratará do funcionamento direto do plataforma. O mesmo foi inicialmente modelado do software Inventor® 3D CAD é um programa desenvolvido pela

companhia de software Autodesk que permite criar protótipos virtuais tridimensionais, o mesmo foi utilizado para avaliar a possível estrutura final (figura 18) e avaliar seu funcionamento. Juntamente com este esquema os primeiros ensaios notou-se a praticidade no uso de Shields para controle do motor, facilitando a parte elétrica e juntamente com a placa eletrônica arduino colaboraram entre si para um melhor solução da programação.

Após análises bibliográficas constatou-se que para se obter maior eficiência dos suportes mecânicos, devemos dispor a maior parte do material (área da seção) o mais afastado possível da linha neutra, ou seja, os binários de forças formados pelas resultantes das tensões de cisalhamento na seção é que equilibram o momento torçor. (RABELLO,2000)

O mesmo esquema geral é mostrado a seguir (figura 19), este também exhibe as conexões elétricas e estrutura para o sistema em questão.

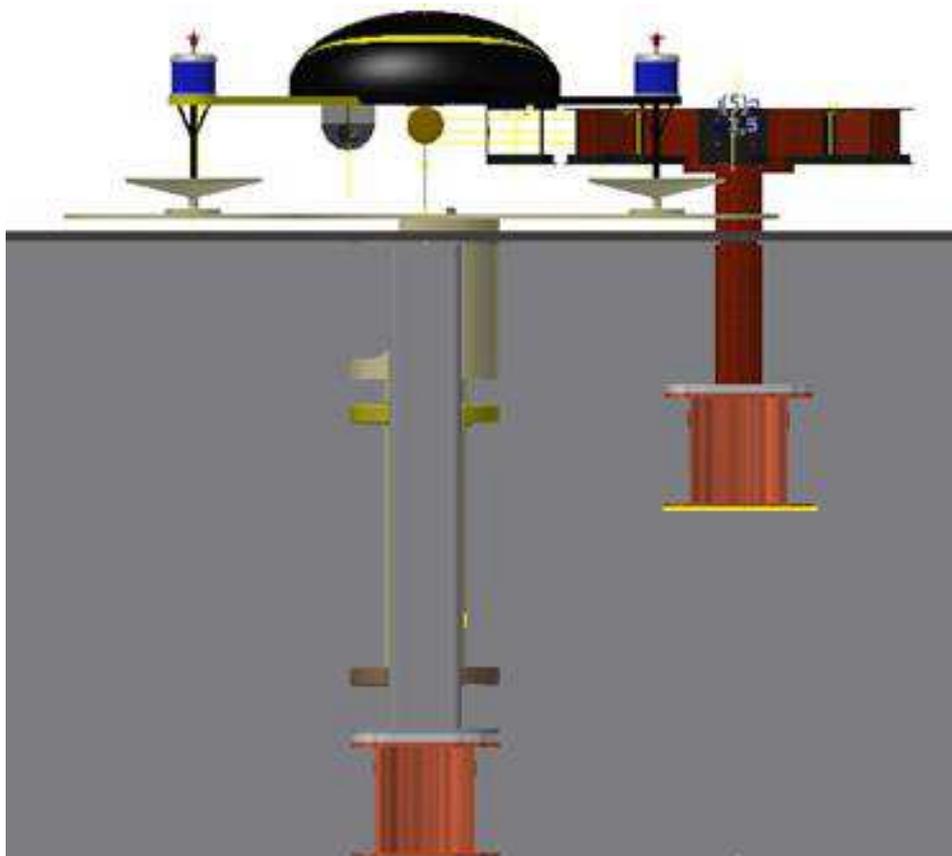


Figura 18: Plataforma vista lateral

Fonte: Aatoria Própria (2017)

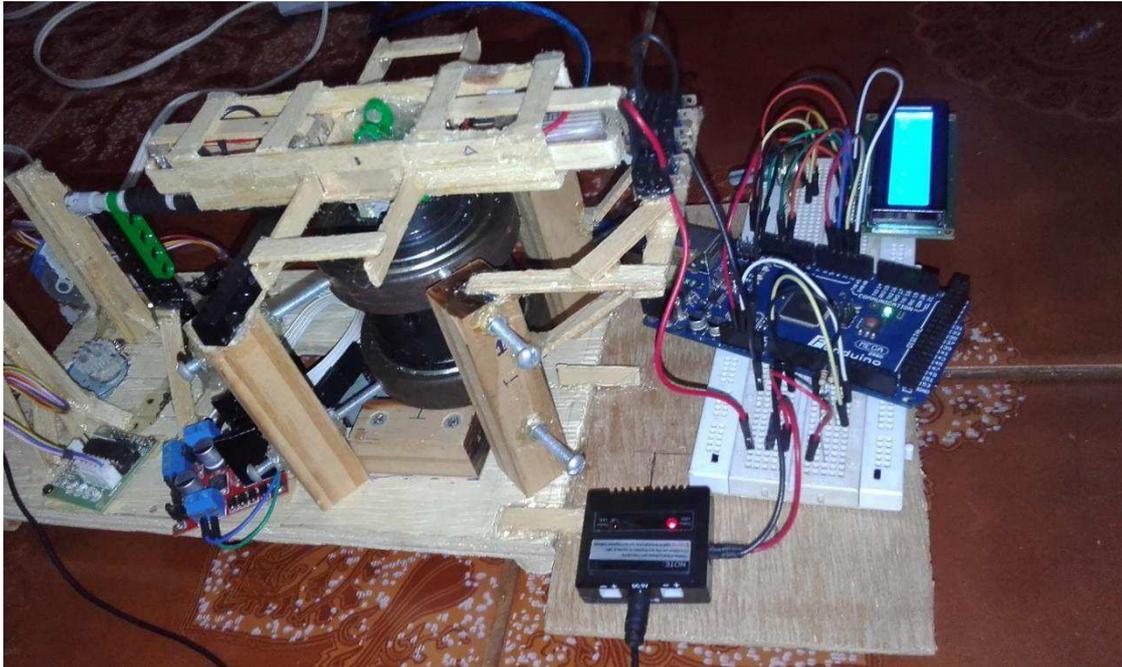


Figura 19: Montagem da plataforma

Fonte: Aatoria Própria (2017)

5.2.2.1. Sistema de engate

Utilizando o software Working model é uma ferramenta CAE 2D mais popular do mundo, ou seja, é uma ferramenta de design conceitual que permite criar simulações que substituem cálculos vagos, demorados e também serve para criar e analisar sistemas mecânicos da vida real (DST, 2006). Com base nesses conceitos foi elaborado nesse software, um dos possíveis sistemas de engate do drone na plataforma (figura 22), o mesmo é formado por cabo, que se encontra sob o drone, dentro de um compartimento, quando solicitado um motor adjacente o libera ou recolhera mediante pouso e decolagem (figura 20).

Outro sistema possível de engate está em elaboração, por esse mesmo motivo e por sua alta complexidade não será abordado neste trabalho. Este segundo esquema foi idealizado devido os possíveis problemas que podem ocorrer devido os turbilhões de ar na decolagem ou

pouso do drone, sem do o mesmo pode a vir a enrolar ou deslocar o cabo de seu curso original, mesmo com o auxílio do elevador.

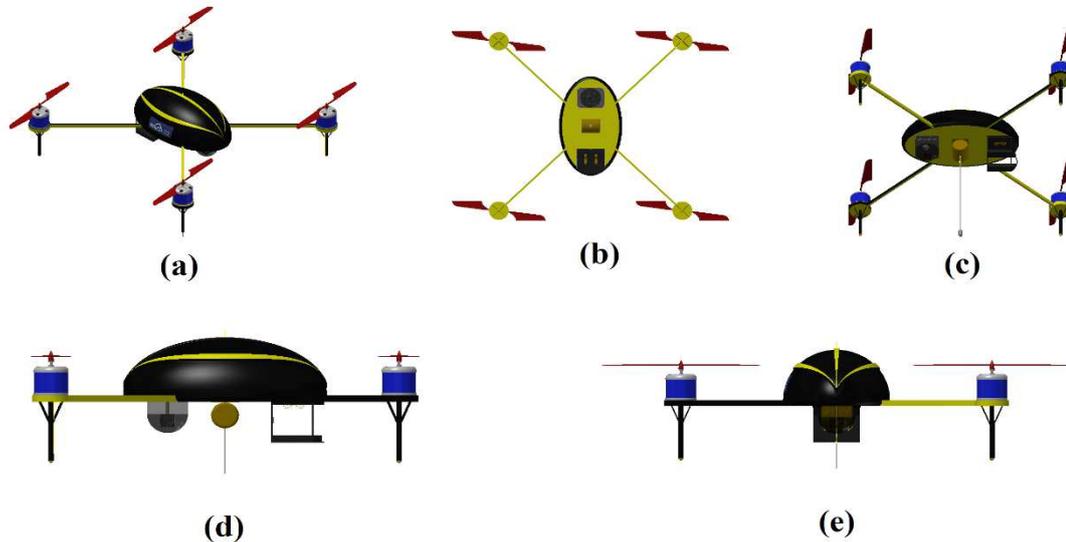


Figura 18: Quadricoptero. (a) vista isométrica do drone, (b) vista inferior, (c) vista lateral inferior, (d) vista lateral e (e) vista frontal.

Fonte: Autoria Própria (2017)

A figura mostra cinco as vistas principais do drone discutido neste trabalho. (a) vista isométrica do drone, o mesmo foi projetado com a mesma aerodinâmica da cúpula, buscando assim o melhor rendimento de deslocamento e combustível para o VANT; (b) vista inferior, no sentido cima para baixo, temos: uma câmera, que pode representar a função principal de um drone de vigilância; o compartimento do cabo e o suporte externo da bateria; (c) vista lateral inferior, nesta vista podemos perceber o momento de atuação do sistema de guia do cabo (d) vista lateral, além dos itens já mencionados também é visível o prolongamento abaixo dos motores do VANT, estes servem para auxílio no alinhamento do drone, quando este se aproxima da plataforma do elevador e (e) vista frontal, mostra o perfil das hélices o disposição da mesma em relação ao conjunto.

Levando em consideração o que foi discutido, foi modificado um quadricoptero (figura 21) para inicialmente discutir o arranjo do sistema e as possíveis ligações no drone. Para tanto foi removida a bateria do mesmo e deslocada de sua posição original, em seguida refeito as

ligações elétricas. Com isto foi possível analisar os arranjos físicos do drone, como os itens já mencionados e o sistema de translação.

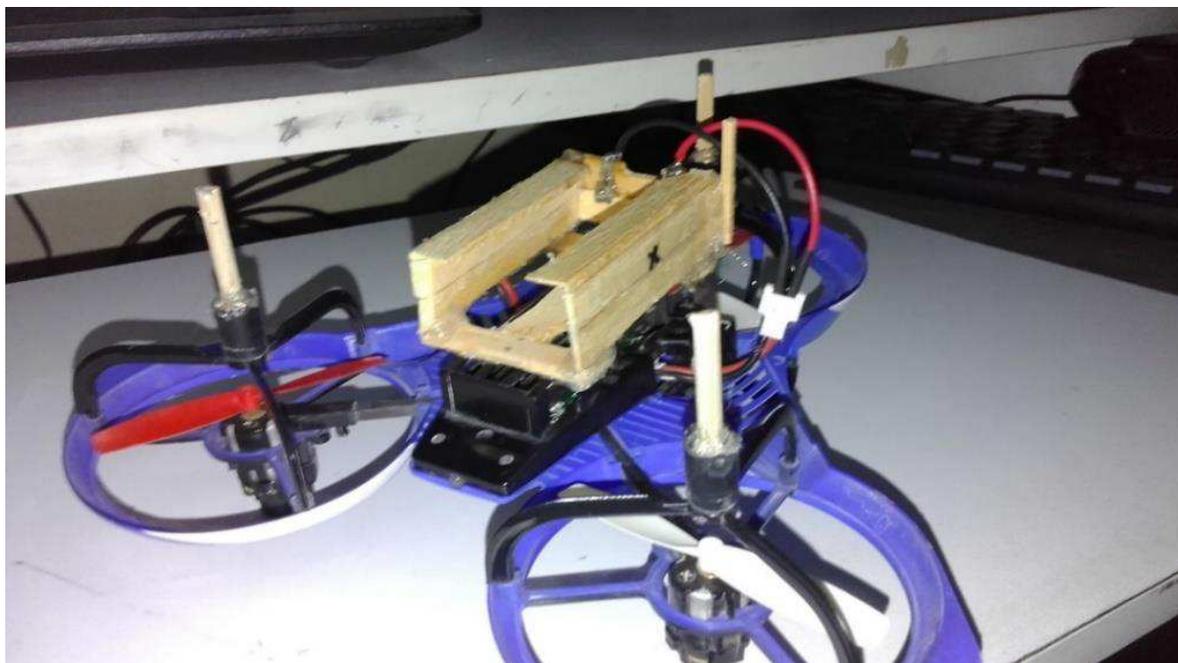


Figura 19: Montagem da instalação do suporte e carro da bateria

Fonte: Aatoria Própria (2017)

O esquema da figura 22, mostra cinco situações em que o multicoptero, utilizando o sistema de cabo retrátil, pode se encontra no momento a acoplagem, isso acontece devido a diferença de velocidade entre o substrato e o drone. A figura 22 possui os itens: (a) referisse ao drone se aproximando do sistema de acoplagem; (b) mostra o exato momento do engate; (c) demonstra o momento em que o drone tem parte de seu curso alterado devido a tração provocado pelo cabo, após este movimento podemos ter os esquemas: (d) e (e); (d) relativo ao lado oposto do movimento oscilatório do drone discutido em (c) que por ventura é o movimento ideal ao sistema; (e) este trata de uma situação que deve ser evitada, a mesma se refere a um cenário de em que o drone devido a um alta diferença de velocidade choca-se com o substrato, levando em consideração o não rompimento do cabo.

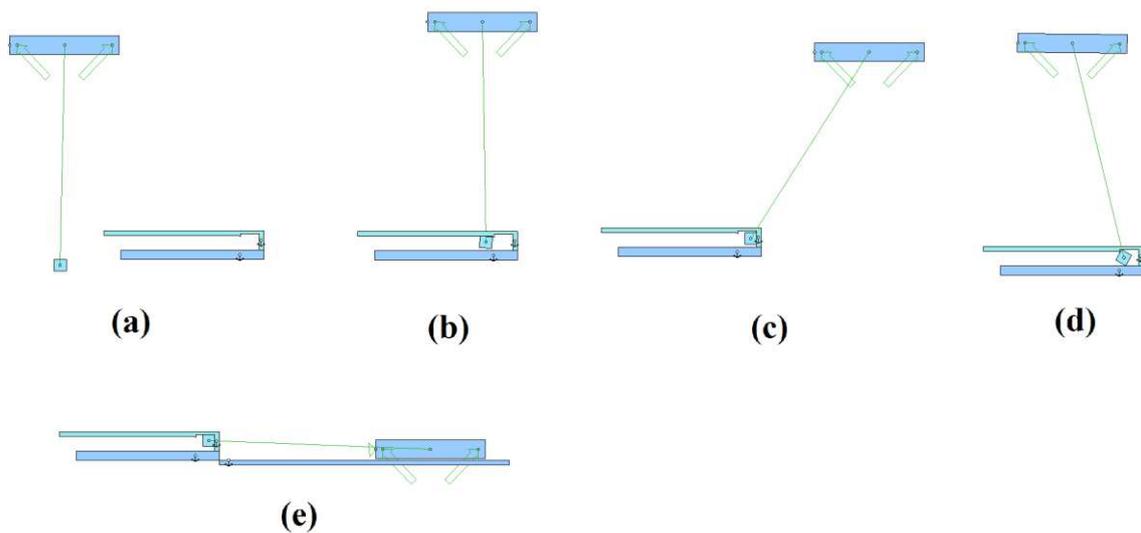


Figura 20: Quadricoptero em movimento oscilatório. (a) drone em aproximando da plataforma; (b) momento do engate; (c) alteração do curso do drone; (d) movimento oscilatório do drone; (e) choque entre drone e substrato.

Fonte: Autoria Própria (2017)

5.2.2.2. Elevador

Nesse contexto, como já mencionado, para o sistema obter mais eficiência no suporte mecânico, quanto mais distante do centro de gravidade estiverem essas resultantes, menos sobrecarregada será a seção, portanto as seções que apresentem material longe do centro de gravidade e uniformemente afastados em todas as direções tornará o suporte mais efetivo. Desse modo as seções de tubo circular são as mais eficientes para absorver esforços externos, como exemplo, torção, flambagem, momento fletor, etc. Caso esta seja inviável, deverão ser projetadas seções que se aproximem da forma circular vazada (RABELLO, 2000). Desse modo optou-se pela confecção da estrutura com o tipo de seção circular com rosca interna. Desta forma o elevador poderá se transladar verticalmente, facilitando o encaixe da base das baterias e suporte do drone.

O movimento circular gerado pelo motor, faz com que o elevador esteja submetido a um movimento de rotação forçado, para sanar tal movimento involuntário, foi projetado junto ao mesmo, que mantem o elevador em sua trajetória correta enquanto o motor de elevação ou o motor de translação horizontal de bateria estão acionados.

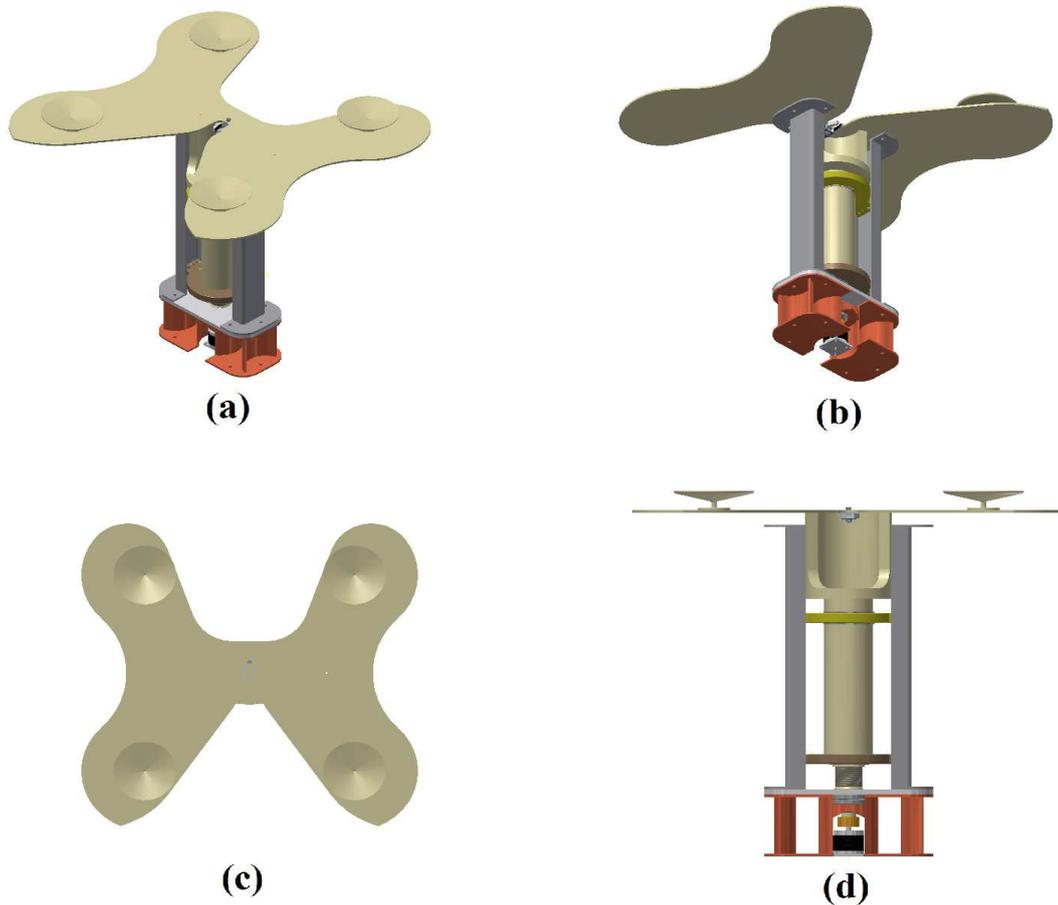


Figura 21: Elevador. a) vista isométrica; (b) vista isométrica inferior; (c) vista superior e (d) vista frontal,

Fonte: Autoria Própria (2017)

Na figura 23, temos: (a) vista isométrica do elevador; (b) vista isométrica inferior, destaca-se a conexão das guias verticais e da canaleta, necessário para o alinhamento do sistema; (c) vista superior, nesta vista pode-se notar a estrutura responsável por estabilizar o multicoptero, esta possui quatro cones que orientam os suportes inferiores do drone para se posicionarem de forma alinhada com sistema de translação horizontal da bateria e (d) vista

frontal, destaca-se o tubo vazado que sustenta diretamente o drone e seu suporte de alinhamento, outro ponto a se destacar é a abertura neste tubo para o sistema de fixação do cabo guia.

Através da estrutura da figura 24 montada com: cano pvc, palitos, plásticos e rosca interna, pode-se averiguar a disposição das peças e possíveis desalinhamento do sistema

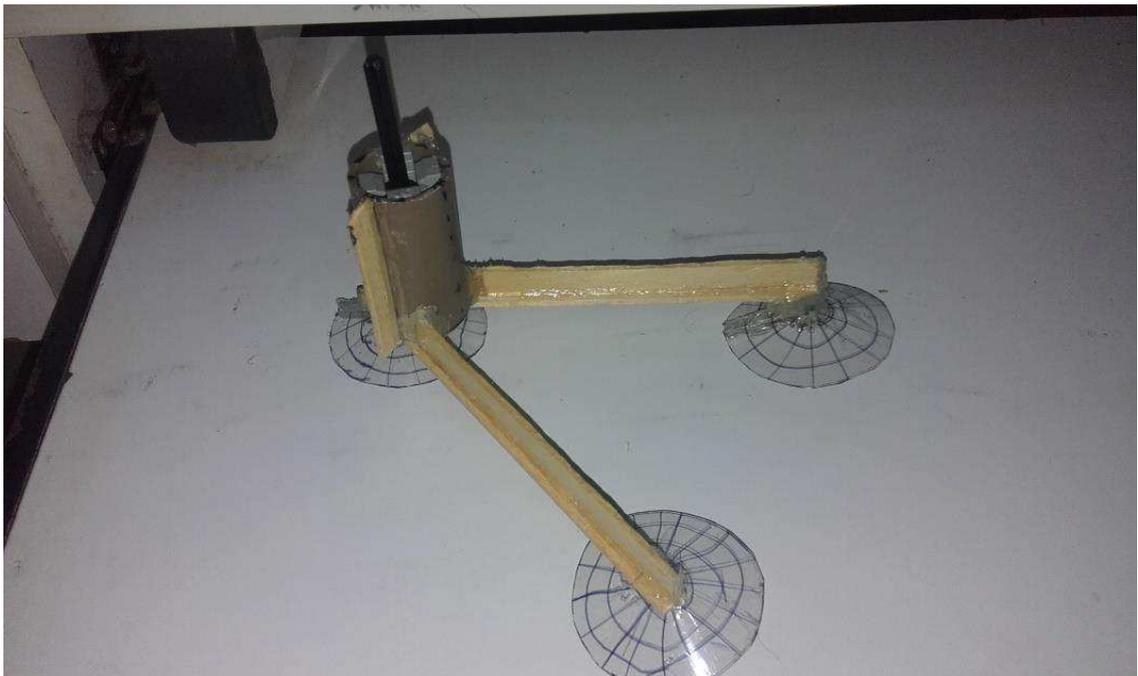


Figura 22: Montagem do estabilizador do quadricoptero

Fonte: Aatoria Própria (2017)

5.2.2.3. Sistema de translação

A coroa e o parafuso com rosca sem-fim compõem um sistema de transmissão muito utilizado na mecânica, principalmente nos casos em que é necessária redução de velocidade ou um aumento de força (FERREIRA; GORDO, 1997).



Figura 23: Coroa e o parafuso com rosca sem-fim

Fonte: Ipojuca (2017)

Para o nosso caso, um outro motivo de sua utilização foi que o pinhão pode mover a coroa, mas a inversão de acionador não é possível facilitando o travamento do compartimento da bateria, deste modo não sobrecarregamos os módulos de controle. No entanto, o escorregamento deste sistema provoca perda de eficiência, daí utilização de lubrificantes para melhorar tal característica é recomendável. A figura 25 mostra um esquema de acoplamento deste elementos.



Figura 24: Montagem da sistema de translação horizontal

Fonte: Autoria Própria (2017)

A figura 26 mostra o sistema de cremalheira e rosca sem fim, este último é acionado por um conjunto de barras e juntas universais, que por sua vez é acionado por um motor de passo.

5.2.2.4. Base bateria

Este subsistema está relacionado com a estrutura de apoio das baterias, ou seja, esta base tem a função de sustentar as baterias em recarga e auxiliar na translação horizontal do cartucho da bateria, no momento em que este é desconectado do drone.

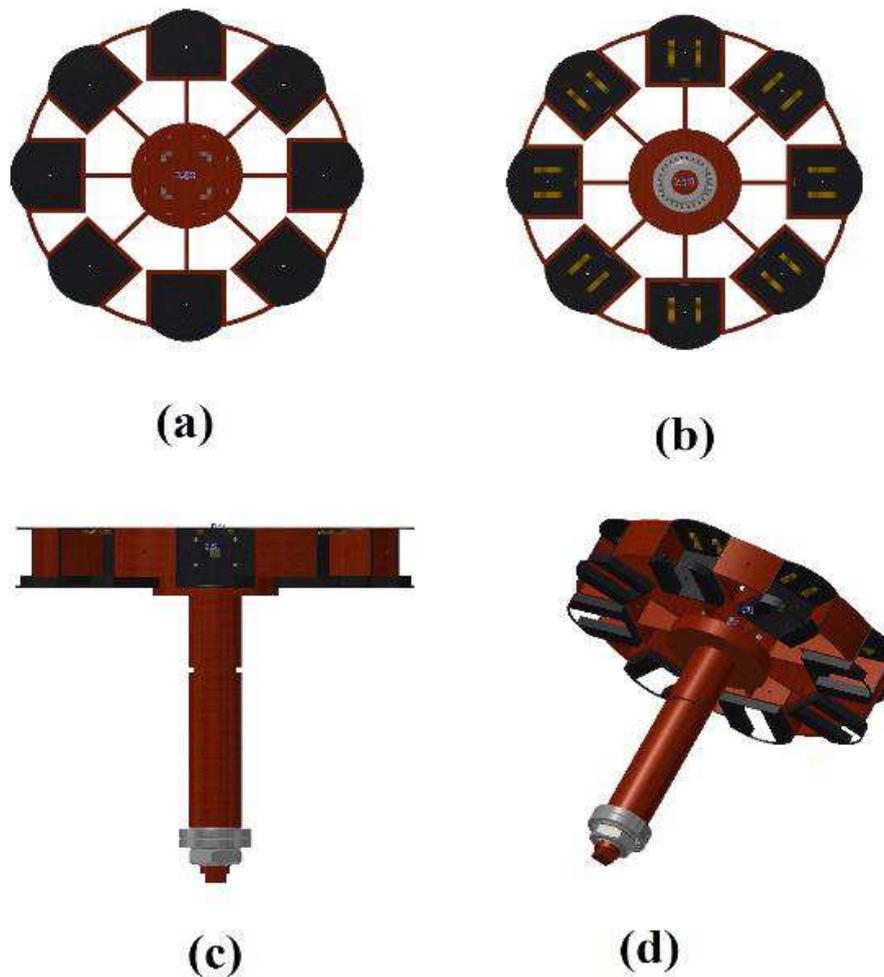


Figura 25: Base das baterias. (a) vista superior; (b) vista inferior, detalhe do par de conectores do cartucho da bateria; (c) vista lateral, trava do cartucho na base e (d) vista isométrica, rolamentos de apoio desta base.

Fonte: Autoria Própria (2017)

A base das baterias também tem como fundação um tubo vasado, com o mesmo princípio de manter o rendimento e evitar danificações, da fundação do elevador já mencionado. Nesta base também encontra-se os carros de cartuchos dispostos radialmente em relação ao tubo mencionado. Em sua extremidade inferior encontra-se um motor de passo, responsável por sua rotação, sendo esta necessário para o correta disposição das baterias ao longo do terminal elétrico.

Podemos observar na figura 27 que: (a) vista superior, exhibe oito carros de cartucho igualmente dispostos na base; (b) vista inferior, revela os mesmos cartucho descritos em (a), mas como detalhe do par de conectores do cartucho da bateria; (c) vista lateral, destaca-se o pino horizontal de travamento do cartucho na base e (d) vista isométrica, detalha os rolamentos de apoio desta base.



Figura 26: Montagem da Base das baterias

Fonte: Autoria Própria (2017)

A figura 28 retrata a base em discussão, sendo a mesma possuidora de somente dois carros de baterias. O tubo de sustentação foi confeccionado em uma impressora 3D, o mesmo

possui diâmetros diferentes para que os rolamentos de apoio se encaixem perfeitamente, em sua base pode ser notado uma protuberância em formato de engrenagem, onde é encaixado o motor de passo para se ter o acionamento de rotação deste base.

Alguns testes foram feitos em relação a estabilidade e acoplagem. A acoplagem mais eficaz ocorreu após separar o conector elétrico e o pino de fixação, quando juntos as desconexões elétricas eram inevitável.

5.2.2.5. Cartucho de bateria

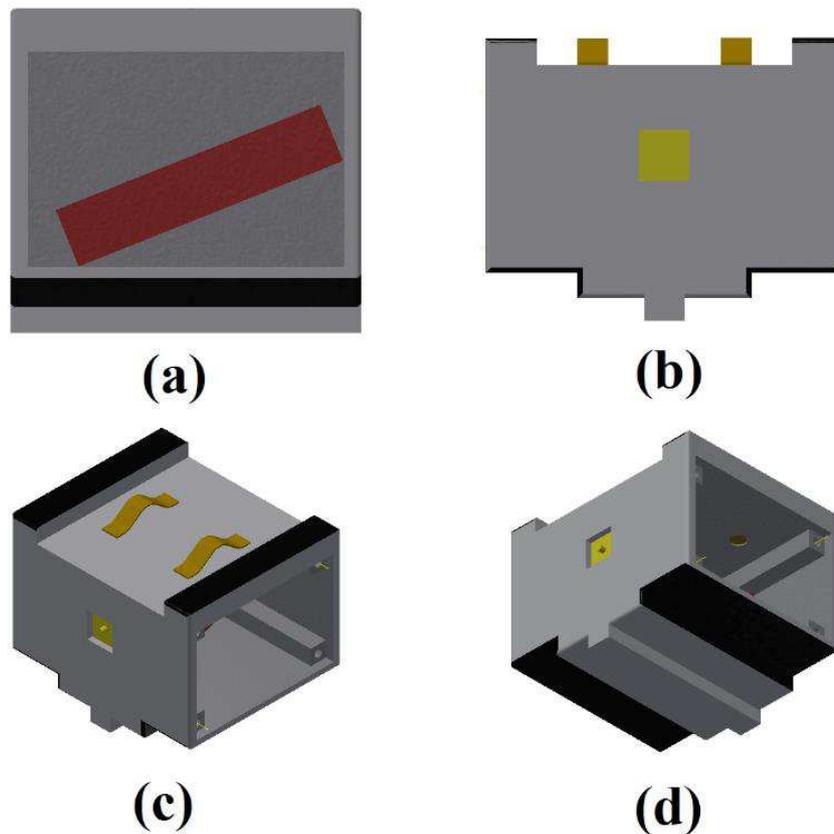


Figura 27: Cartucho de baterias. (a) guias laterais; (b) pino de fixação (c) dois conectores de pressão e (d) portinhola.

Fonte: Autoria Própria (2017)

O cartucho aqui mencionado, referisse ao compartimento em que estará alojado a bateria. Os mesmos estarão conectados através de um junper, em que uma das extremidades

estará conectada aos conectores da baterias e a sua outra extremidade esta conectados aos bornes do cartucho pela parte interna do mesmo (figura 29).

Na parte externa temos dois itens a mencionar: as guias laterais e a cremalheira (a); as guias laterais são responsáveis por manter o alinhamento do cartucho, ao sair do drone em direção ao carro de bateria ou do carro em direção ao drone. Na parte frontal do cartucho encontrasse o pino de fixação (b), este tem por finalidade manter o cartucho imóvel, durante a recarga a bateria dentro do carro da mesma ou dentro do suporte de baterias do drone quando o mesmo está em missão. Na parte superior do cartucho temos dois conectores de pressão (c), responsáveis por circular a corrente elétrica no sistema de alimentação do drone ou de circular a corrente de recarga proveniente do carregador. Em uma de suas laterais temos uma portinhola (d), esta e necessária para fazer possíveis manutenções das baterias ou do cartucho em geral.

Podemos notar em (a) também, a bateria em vermelho dentro do cartucho, o mesmo foi idealizado devido a bateria possuir variadas formas, como não tem existe um tamanho padronizado, o sistema apresentou diversas variações, então optou-se por modelar uma capsula que abriga-se qualquer tipo de bateria. Objetivando reduzir o custo deste item vários itens tem múltiplas funções, assim foi possível reduzir a quantidade e peças e também amassa desse cartucho.

Na figura 30 pode-se notar a distribuição de itens no cartucho, cremalheira, jumper e conectores o mesmo está vazio para facilitar a visualização. Esta versão desta figura tem os conectores laterais já que o mesmo e referente a uma versão de conectores de mola. Esta versão mostrou –se inapropriada pois o sistema e forçado na conexões e desconexões, por esse motivo a nova versão e por contato de pressão e separado do pino de engate (figura 29). A versão inicial também era formada por um sistema de mono cremalheira e escorregamento (figura 30), o mesmo também apresentou conflitos devido ao escorregamento, dessa forma a nova versão apresenta um sistema de cremalheira dupla e opostas, dessa forma o escorregamento não será tão solicitado e o travamento reduzido.

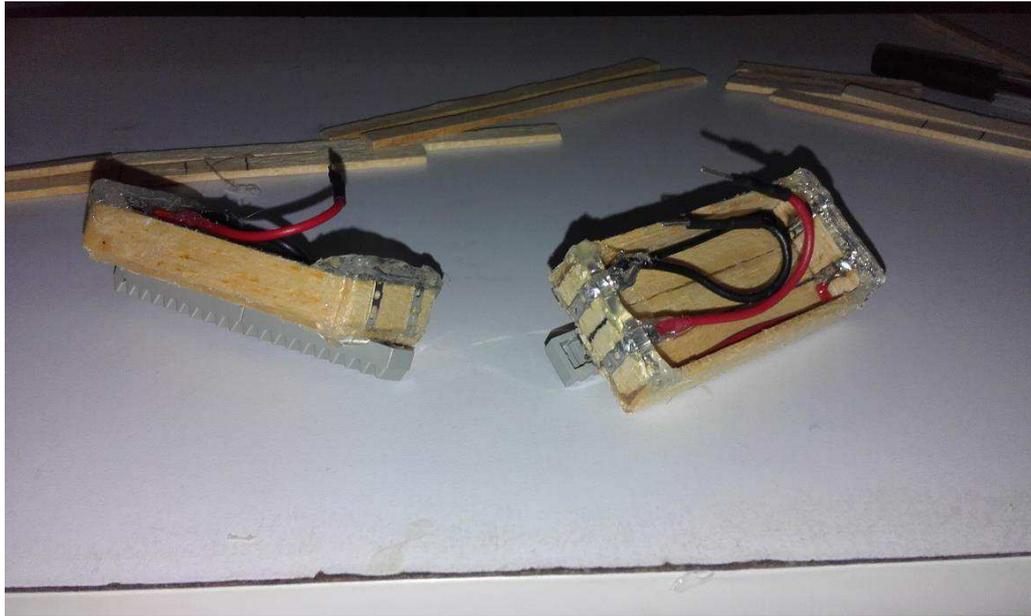


Figura 28: Montagem do cartucho de baterias

Fonte: Aatoria Própria (2017)

5.2.3. Elétrica/ eletrônica

Nesta seção trataremos das conexões elétricas e dispositivos eletrônicos necessário para a construção da plataforma. A plataforma principal utilizada foi a arduino, esta é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar. Estas são capazes de ler entradas (leitura de sensores, acionamento de um botão, etc.) e transformá-lo em uma saída (ativação de motor, acendimento de LED, etc.). (ARDUINO,2017)

5.2.3.1. Conexões de contato

Um dos sistema de conexão elétrica da plataforma é formado por uma chapa delgada e estreita e junto a ela um rolamento de mesma matéria, esse conexão estará exposta ao meio ambiente já que deve permitir a passagem de corrente elétrica, por esse motivo foi necessário um prévio estudo de algumas possibilidades para a corrosão do sistema. Como os conectores são do mesmo material torna o sistema robusto em relação algum tipos corrosões, como por exemplo, a galvanização mediante o aparecimento de um eletrólito qualquer.

Também pode se notar que como não temos escoamento de fluido nesse contato também são excluídos vários tipos de corrosão, como por exemplo Corrosão por erosão e cavitação.

Resumidamente afim de se evita a corrosão no sistema devem ser tomadas medidas de proteção a fim de se evitar ou diminuir a ação corrosiva do sistema. Outras medidas tomadas foi atentar para o isolamento do sistema e também o uso de inibidores de corrosão, como exemplo, óleo limpa contato elétrico este tipo de material Restaura a condutividade elétrica; Lubrifica, limpa e protege contra corrosões.

5.2.3.2. Shields

Para o acionamento desses elementos usamos a eletrônica. Orientada pelo Ambiente de Desenvolvimento Integrado (Integrated Development Environment, IDE) do arduino, foi possível executar alguns dos movimentos principais da plataforma. Dessa forma foi permitido diagnosticar alguns conflitos entre mecânica e programação, podendo assim, reestruturar para a performance esperado.

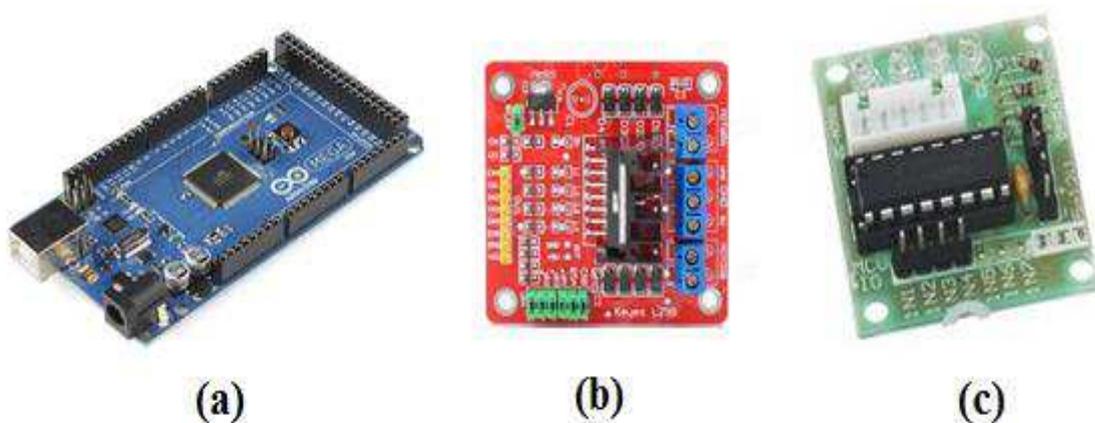


Figura 29: (a) Arduino, (b) Módulos L298N e (c) ULN2003AN

Fonte: Eletrodex (2017)

A figura 31 exibe os três shields testados nesta versão inicial: (a) placa arduino, que é um software que tem por finalidade facilitar a criação de códigos e carregá-lo na placa controladora principal, esta recebe a programação que irá gerenciar a plataforma, a placa possui várias portas de entrada, mas estas tem limitações de corrente e tensão; (b) Módulos L298N, esta shield

possui um Circuito Integrado (CI) que tem por finalidade controlar motores, o mesmo possui dois circuitos de ponte H internos que facilita a inversão da rotação destes motores e (c) ULN2003AN, também possui ponte H internamente, mas este placa é para uso estrito do motor 28BYJ-48.

5.2.3.3. Motores

Foi discutido Também o melhor motor para tal aplicação na qual se resume em servos, DC e motores de passo. Tal discussão levou a exclusão dos motores de corrente contínua (DC), devido o mesmo não possuir precisão em sua rotação, ou seja não poderia ser usado em alinhamentos finos pois o mesmo não pode ter sua posição controlada, quando este está em funcionamento. Os servos por sua vez, possuem este controle de posição, mas estão bloqueados para rotações contínuas, por esse motivo também foram excluídos.

Logo, o motor utilizado foi o motor de passo. O mesmo possui tanto controle de posição quanto rotação 360° contínuos. Os motores de passo (Figura 32) que foram selecionados para este projeto foram: 1 motor de impressora Lexmark M42SP series, 2 motores de passo pequenos 28BYJ-48 (acompanhados de redução interna) e seus respectivos Shields.



Figura 30: (a) Motor Lexmark M42SP, (b) Motor 28BYJ-48

Fonte: Eletrodex (2017)

Devido os pros e o contras os mesmos foram testados na plataforma, o motor Lexmark M42SP é mais robusto ficou melhor alocado nas bases da plataforma, mas o 28BYJ-48 por ter redução interna, ser mais leve, ser mais facilmente encontrado e programável, foi selecionado para todas as solicitações de motores da plataforma. Devemos nos atentar que para multicopteros maiores devemos readaptar tal seleção.

5.2.3.4. Leitor de tensão

Os carregadores de baterias atuais mostra a tensão e dependendo do modelo a corrente de carga das baterias para o operador, no entanto a plataforma deste trabalho temo intuito de trabalhar em maior parte do tempo sem um operador, logo esta leitura deve ser lida e utilizada pela placa controladora. Infelizmente muitos carregadores atuais não fornecem essa saída analógica.

Outro fator importante e já mencionado é que a placa controladora arduino tem limitações de tensão e corrente em suas portas. Levando esses fatos em questão, foi introduzido na ligação de recarga da bateria, um sistema de divisão de tensão.

O mesmo tem a função de reduzir uma tensão em função de seu resistores, basicamente um divisor de tensão é quase uma conexão em curto, o sistema não entra em pane elétrica devidos os resistores do divisor de tensão, e é por meio desse resistores que podemos controlar a corrente que flui entre os terminais da tensão de entrada (V_{in}), esta tensão deve ser a mais baixa possível, no entanto diferente de zero.

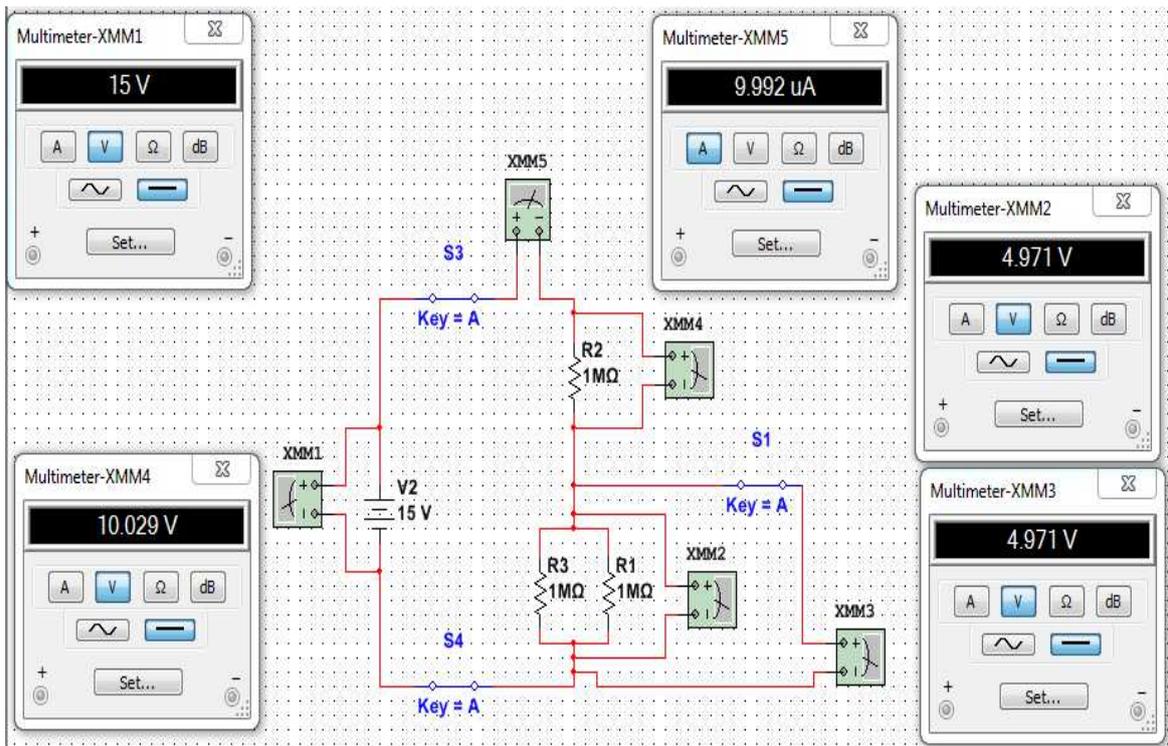


Figura 31: simulação do divisor de tensão para uma célula.

Fonte: Autoria Própria (2017)

A tensão máxima no terminal de saída (V_{out}) deve ser 5V, pois é esta a tensão máxima suportada pelas portas do arduino. Essa tensão e corrente limites são alcançadas pela interação entre os resistores mencionados. Alguns testes foram feitos (figura 33) para chegar nos valores mencionados, para tanto foi utilizado o MULTISIM, este é um programa de simulação de circuitos elétricos com ênfase de circuito integrado, o mesmo possui uma interface simples e organizada para se trabalhar se comparado com outras plataformas similares.

Na figura 33 pode-se notar que aplicando uma tensão máxima 15V no terminal V_{in} e três resistores de $1M\Omega$ em uma ligação mista de série e paralelo, tem-se uma saída máxima de 4,971V no terminal V_{out} e uma corrente de saída muito baixa. A associação feita nos resistores foi disposta desta forma por não se ter valores menores para testes reais. A tensão limite de 15V não será em hipótese alguma atingida, pois a tensão máxima utilizada na plataforma é de 7,4V, tensão de uma em baterias de 3S. logo a tensão em V_{out} também é menor que 4,971V.

5.2.3.4. Circuito elétrico esquemático

Baseado nestas discussões foi elaborado um circuito elétrico geral, com o intuito de orientar os futuros circuitos elétricos da plataforma.

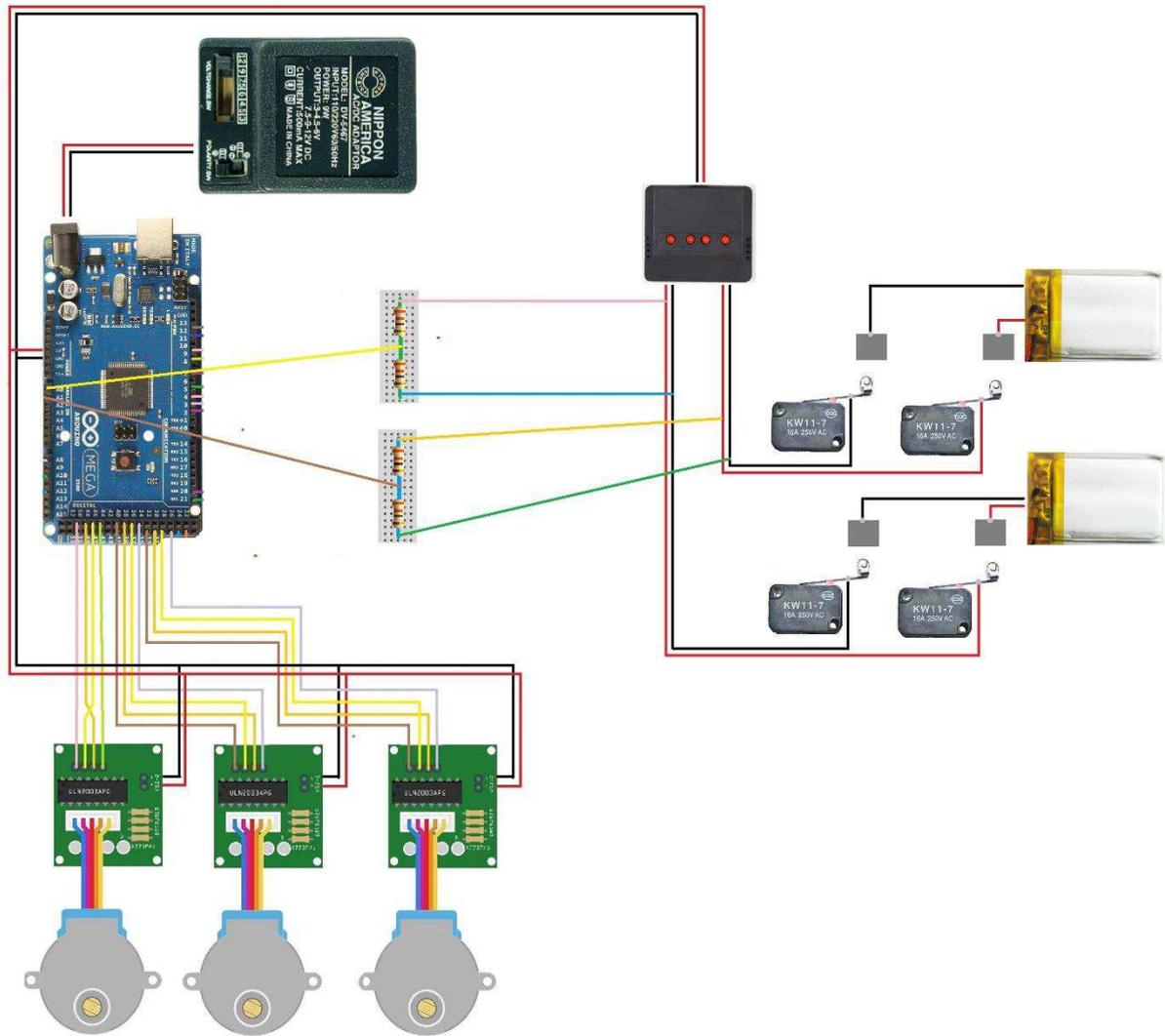


Figura 32: Esquema elétrico
Fonte: Autoria Própria (2017)

O circuito da figura 34 é idealizado para duas baterias 1S, para baterias com mais potência deve-se alterar o divisor de tensão. Também nesta figura podemos notar o carregador das baterias, o mesmo possui LED's indicadores de cargas, que foram usados para criar o parâmetro de tensão e carregamento para o sistema.

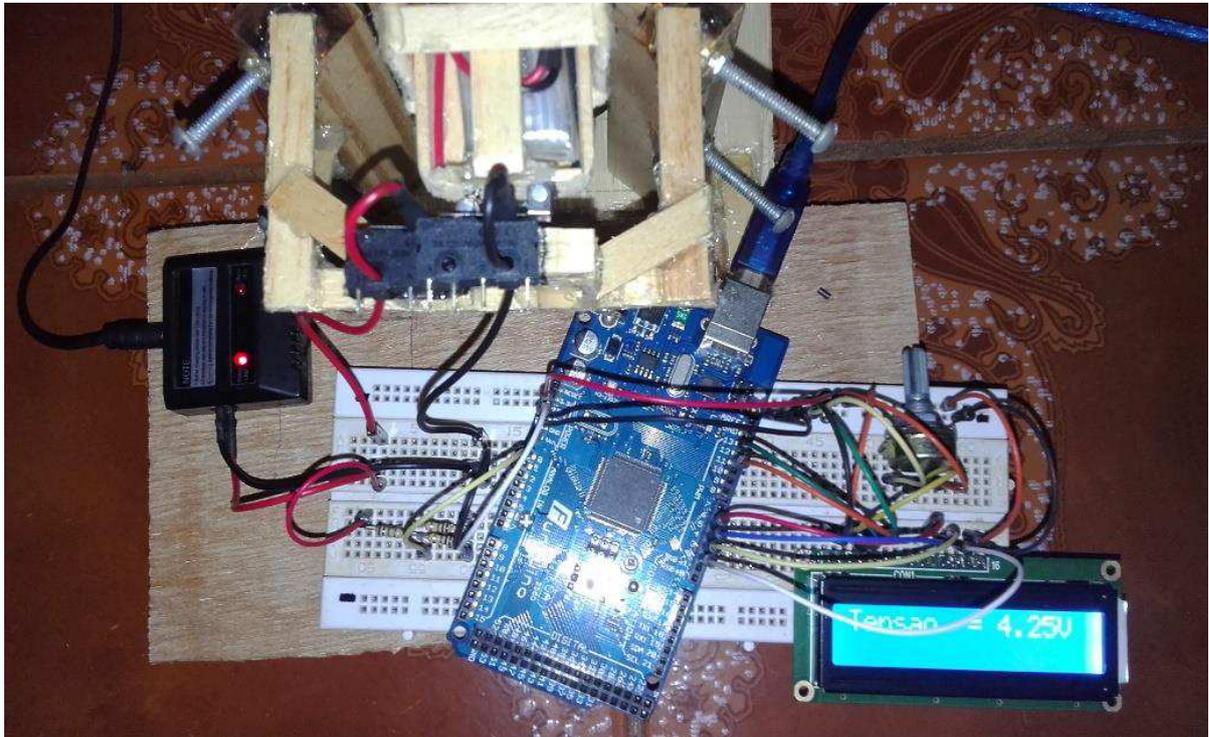


Figura 33: Montagem do esquema elétrico

Fonte: Autoria Própria (2017)

O circuito da figura 35, mostra o circuito indicado na figura 34 em funcionamento. Foi colocado na montagem um LCD para averiguar o valor de entrada real e o medido. Devido taxa de tolerância dos resistores tivemos uma variação menor que 5% entres tais valores.

5.2.3.5. Extras

O arduino mega, selecionado para este experimento, possui várias portas de controle, por esses motivos podemos adaptar vários outros sistemas ao mesmo sem ter que alterar muito o sistema inicial, como exemplo: wifi, bluetooth, leitores de velocidade do ar, pressão, umidade, etc. Esta escolha irá depender da missão dada ao drone.

5.2.4. Programação

A programação feita para o projeto foi idealizada na plataforma do arduino, após a plataforma detectar o multicoptero, o sistema a acionara a cúpula. Após esse procedimento o elevador inicia seu movimento ascendente até o fim do seu curso. Em seguida o drone fara um movimento retilíneo paralelo a linha central da plataforma, isso garantira o acoplamento do cabo guia no elevador. Imediatamente a base envia um sinal para o drone e o mesmo recolhe o cabo guia para seu compartimento. Nesse momento o drone se mantem paralelo a linha central da plataforma, inicia um movimento de decida ao mesmo tempo em que o cabo guia é recolhido. Ao chegar aos cones de alinhamento o drone é reposicionado com mais precisão. Em seguida o elevador inicia seu movimento descendente até o final do seu curso. Posteriormente o sistema de translação horizontal é acionado removendo a bateria do drone e a colocando dentro do carro de bateria. Logo após, a base de baterias faz um rotação para que a bateria entre em contato com os terminais de recarga e medição. Imediatamente o sistema inicia a recarga e monitoria da bateria. Nesta mesma rotação uma bateria em carga plena é posicionada na em direção ao drone, o sistema de translação horizontal é acionado e removendo a bateria do carro e colocando a dentro do drone. Após esse procedimento o elevador novamente inicia seu movimento ascendente. O cabo guia e desconectado e o drone decola, retornado assim para sua missão de origem. Esse método tem a finalidade de assegurar uma troca de baterias em segundos. Possibilitando o drone a retornar a seu função em tempo hábil.

Alguns itens estão sendo analisados para as novas versões desta plataforma, por esses motivos não serão amplamente discutidos nesta versão. Esses novos itens são: o GPS, O sistema de posicionamento global, é um sistema de posicionamento por satélite, como o mesmo temos várias informações, como exemplo, posições, altura, velocidade, etc. o outro será o Kinect que é um sensor de movimentos desenvolvido para o Xbox 360 e Xbox One, que por sua vez é um console de jogos da sétima geração de consoles de videogames produzido pela Microsoft, junto com a empresa Prime Sense. Este sensor faz análises de superfícies e objetos próximos dando sua posição e forma. Os mesmos serão base de estudos para as novas versões para o pouso sobre a plataforma, já que o sistema de cabo guia possui algumas deficiências em relação ao turbilhão de vento. O GPS será necessário para aproximações de longo alcance e em seguida entra em ação o Kinect ou outro sistema de aproximação de curta distância.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a utilização dos esquemas em softwares de modelagem mecânica, foi possível analisar melhor os parâmetros de construção da mesma, visando assim, o melhor uso dos componentes da plataforma podendo desse modo obter um melhor rendimento e um custo relativamente baixo de construção da plataforma, além disso esta modelagem possibilitou estudar, perceber e compreender as influências da interação entre os mecanismos que constituem o próprio sistema mecânico e a influência destes com as demais áreas, programação e elétrica, dando a possibilidade de facilitar na parte da programação, pois a continuidade dos movimentos evitam erros na programação gerando posteriormente erro no funcionamento do sistema e na recarga do drone.

Com a utilização dos softwares de modelagem e simulação eletrônica foi possível discutir e testar ideias que inicialmente estavam apenas baseadas em teorias, trazendo para o projeto uma dinâmica e mais entusiasmo, confiança e um respaldo teórico sólido, mas que ainda deve ser lapidado para a sua confecção final. Os testes práticos corresponderam ao que foi estabelecido como parâmetro obrigatório, ou seja, a medição correta e contínua, em tempo real, do circuito montado, para recarga e medição das tensões necessárias para o correto funcionamento do sistema.

Com isso foi possível notar com mais clareza os movimentos lineares e rotacionais da plataforma e seus subsistemas podendo, assim, trazer uma melhor concepção na resolução de falhas e erros do projeto. Portanto, esses parâmetros como apoios, atritos nas juntas e conexões, a elasticidade do material da estrutura, alinhamentos internos e a redução mecânica são pontos cruciais no desenvolvimento desse projeto e devem ser analisados e discutidos com grande atenção, pois suas atuações errôneas ameaçam a estabilidade do projeto.

Em se tratando da parte da programação, a utilização da plataforma arduino foi de grande ajuda, na parte de acionamento dos sistemas, pois a mesma possui uma interface e estrutura de apoio no site da respectiva plataforma, que auxilia na utilização de seus produtos e ferramentas. Outros itens que auxiliaram a parte elétrica são os shields dos motores que trabalharam como ponte entre o arduino e os atuadores, que neste caso são os motores de passo.

Os shields por sua vez trouxeram a facilidade de trabalhar com eletrônica devido a sua praticidade, como são placas pré-montadas, descartou-se a necessidade de uma revisão aprofundamento em eletrônica mantendo só no básico, como exemplo temos associações de componentes elétricos, teorias básicas de resistência e medições elétricas, no entanto, para solucionar alguns problemas e utilizar os módulos de forma correta houve a necessidade do estudo dos mesmos e de sua forma de funcionamento tanto externamente quanto internamente, neste caso circuito integrado (CI).

Alguns dos elementos de máquinas utilizados neste trabalho são de pouco conhecimento por parte de algumas pessoas, por serem itens relativamente novos se comprados com os utilizados em grande escala no mercado. No entanto os mesmos foram de grande ajuda na parte dinâmica da plataforma, logo a constante busca e atualização dos desenvolvimentos tecnológicos nesta área e em outras áreas, devem ser realizados com frequência e afinco.

A respeito do multicoptero que será utilizado na plataforma, alguns pontos foram notados e devem ser narrados, ou seja, no estudo para modelar a plataforma, foi possível distinguir alguns itens importantes para a confecção do multicoptero, como por exemplo, arrasto, sustentação a razão CL/CD , no entanto, pelo motivo deste trabalho não discutir a confecção do mesmo, não entramos no tema mencionado, mas os mesmos devem ser verificados e modelados corretamente quando estes forem analisados.

7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS

O sistema de plataforma se mostrou um projeto bem robusto, abrangente e interessante de se realizar, pois o mesmo possui várias áreas a se estudar, como exemplo, mecânica, programação, eletrônica, etc. logo, algumas áreas da plataforma ficaram por ser modeladas, como este trabalho se focou no compartimento recarga, sistemas como a acoplagem, abrangência do circuito para baterias 2S ou superior, envio de dados, dentre outros, ficaram por ser modeladas em definitivo. Os mesmos serão posteriormente analisados após novas consultas e discussões bibliografias por parte da equipe.

Para futuras medições e versões, deve-se atentar a alguns fatores de segurança na parte elétrica, para tanto deve-se estruturar o esquema elétrico para receber estruturas de proteção, como exemplo, diodos, outros divisores de tensão, optacoladores, mantendo e elevando assim segurança e confiabilidade do circuito da plataforma.

Com o desenrolar do desenvolvimento deste projeto, existiu situações em que alguns problemas ocorreram, como exemplo alinhamento, translação do carro de bateria e engate tiveram alguns desalinhamentos em se tratando do deslocamento provocado pelo sistema de translação, os mesmos foram resolvidos, mas deve-se fazer uma ressalva sobre os mesmos pois são parte integrantes principais do mecanismo, logo o alinhamento deve ser de suma importância para o correto funcionamento do aparato.

Em se tratando de baterias, as mesmas como muito já mencionado, são de extrema periculosidade caso usados incorretamente. E as mesmas devem ser armazenadas e em sua tensão correta de armazenamento e devem estar em frequência de manutenção dentro do prazo, evitando intervalos prolongados. O uso de carregadores específicos é essencial, pois do contrário acidentes não poderão ser evitados. Curto circuito deve ser evitado pois o Lítio quando aquecido ao extremo pode entra em combustão e conseguintemente a bateria também. Ao iniciar os trabalho com as baterias deve-se verificar a amperagem e corrente consumida em seu conjunto. Para que mesma não seja danificado permanentemente, e caso seja perceptível algum tipo de dano na bateria, como exemplo na embalagem, na célula ou nos conectores a mesma deve ser eliminada em ambiente correto e controlado. No geral, o operador deve estar

familiarizado com o manual de todos os seus equipamentos, para que o mesmo possa extrair todo o potência dos mesmos.

Com o conhecimento obtido, pode-se sugerir alguns aprimoramentos para trabalhos futuros:

1. Revisão do sistemas de acoplagem, para que o mesmo esteja livre de falhas ou pelo menos tenha seu percentual reduzido ao máximo.
2. Abrangência do circuito para baterias 2S ou superior, possibilitando ao sistema maior cobertura por parte da plataforma.
3. Inserção de sistema de comunicação de envio e recebimento de dados em tempo real ou não.
4. Adição de um sistemas de limpeza dos elementos primordiais da missão, ou seja, para um sistema de captura de vídeo, a plataforma a poderia possuir um sistema de limpeza da lente da câmera.
5. Implantação de um sistema de recarga de combustível liquido para VANT's ou qualquer outro combustível. Observe que o mesmo não foi inserido neste projeto por motivo de segurança, como o a modelagem é inicial, o mesmo apresentou foco na segurança da parte elétrica no contexto da correta ligações elétricas. A partir disso, tomando os devidos cuidados no isolamento elétrico e no isolamento do fluido pode-se chegar em uma estrutura ótima.

8-REFERÊNCIAS

ALIEXPRESS. **Hobbywing Skywalker**. Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/cheap/cheap-40a-hobbywing.html>>. Acesso em: 27 set. 2017.

ANTUNES, IZILDO E MARCOS A.C. FREIRE. **Elementos de Máquinas**. São Paulo: Érica, 1997.

ARDUINO. **Arduino Mega**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega>> Acesso em: 26 de junho de 2017.

ARDUINOECIA. **Calculadora Online** Disponível em: <<http://www.arduinoecia.com.br/p/calculador-divisor-de-tensao-function.html>>. Acesso em: 27 set. 2017.

ARIAS, Anderson. **O que você deve saber sobre Baterias LiPo, o combustível do VANT**. Droning, 16 ago 2016. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/baterias-lipo/>> Acesso em: 23 ago. 2017.

BORMAX. **Engrenagens**. Disponível em: <<http://www.correiasindustriais.com.br/engrenagens>>. Acesso em: 28 set. 2017.

CAPUANO, Francisco Gabriel; MARINO, Maria Aparecida Mendes. **Laboratório de eletricidade e eletrônica**. 24. ed. São Paulo: Érica, 2007.

DST, **Working Model**. Disponível em: <<http://www.design-simulation.com/wm2d/>>. Acesso em: 26 set. 2017.

ELETRODEX. **Motores e shields**. Disponível em: <<http://www.eletrodex.com.br/>>. Acesso em: 28 set. 2017.

E-VOO.COM. **Bateria para leigos**. Disponível em: <<http://www.evoo.com/viewtopic.php?t=63>> Acesso em: 15 ago. 2017.

FERREIRA, Joel; GORDO, Nívia. Telecurso 2000 Profissionalizante. **Elementos de máquinas**. São Paulo. 1997.

FOX, R. W.; McDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 8. ed. LTC, 2014.

HALLIDAY D.; RESNICK R. e WALKER J. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo**. Volume 3. 8ª Edição. Editora LTC, 2009.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 7. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

IRSA. **Rolamento Linear SKF**. Disponível em: <<http://www.irsa.com.br/rolamento-linear-skf.php/>>. Acesso em: 28 set. 2017.

KALATEC. **Fuso de Esferas Aplicação: Tudo que você precisa saber**. Disponível em: <<http://www.kalatec.com.br/fusos-de-esferas-aplicacao/>>. Acesso em: 26 set. 2017.

MABARSOFT. **Carregador balanceador** Disponível em: <<http://www.mabairsoft.com.br/carregador-balanceador-bateria-lipo-imax-b6-ac-c-mini-tamya-airsoft-pr-152-359236.htm/>>. Acesso em: 27 set. 2017.

MAPDATA. **Um túnel de vento para o Autodesk Revit**. Disponível em: <<http://blog.mapdata.com.br/mapdata/2014/02/um-t%C3%BAnel-de-vento-para-o-autodesk-revit-projeto-falcon-se-torna-agora-o-autodesk-flow-design.html>>. Acesso em: 26 set. 2017.

MCROBERTS, MICHAEL. **Arduino básico** – São Paulo: novatec, 2011.

MECANICA INDUSTRIAL. **O que é uma junta universal**. Disponível em: <<https://www.mecanicaindustrial.com.br/277-o-que-e-uma-junta-universal/>>. Acesso em: 12 ago. 2017.

MELCONIAN, Sarkis. **Mecânica Técnica e Resistência dos Materiais**. 10ª edição. São Paulo: Editora Érica, 2000.

MOLINA, Marcelo. **ESC com BEC, UBEC, SBEC e OPTO. O que significam esses termos**. Molrc, 30 mar 2016. Disponível em: <<http://www.molrc.com/?p=1044>> Acesso em: 22 ago. 2017.

NORTON, R., **Projeto de máquinas**, Bookman, Porto Alegre, 2013.

REBELLO, Yopanan C. P. “**A Concepção Estrutural e a Arquitetura**”. Zigurate Editora. São Paulo 2000.

RIJEZA. **Tipos de Corrosão metálica**. Disponível em: <<http://www.rijeza.com.br/novidades/tipos-de-corrosao-metalica-conheca-suas-formas-e-veja-como-evita-las/>>. Acesso em: 27 set. 2017.

SÁ, R. C. **Construção, Modelagem Dinâmica e Controle PID para Estabilidade de um Veículo Aéreo Não Tripulado do Tipo Quadrirotor**. 2012. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia em Teleinformática, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

SHIGLEY, Joseph E., Mischke, C. R. e Budynas, R. G., **Projeto de Engenharia Mecânica**, Bookman, Porto Alegre, 2011.

SLIDESHARE. **Flambagem**. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/bruhungaro/201553-22238-7flambagem-48072531>>. Acesso em: 28 set. 2017.

VIEIRA, Marcelo Ribeiro. **A função do BEC**. Aeromodelismoeassim, 07 Dez 2014 Disponível em: <<http://www.aeromodelismoeassim.com/2014/09/a-funcao-do-bec.html>> Acesso em: 21 ago. 2017.

WALKER, Jearl. **Fundamentals Of Physics**. 8th, 2016.

WIKIPÉDIA. **Parafuso rosca sem fim**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Parafuso_rosca_sem_fim>. Acesso em: 28 set. 2017.

William D. Callister, Jr. **Materials Science and Engineering**, 7th edition, 2007.

ZACCARELLI, Leandro Cardoso. **O Eletronic Speed Control (ESC)**. Aeromodelismo Elétrico RC, 02 jan 2011. Disponível em: <<http://aeromodelismoiniciante.blogspot.com.br/2011/01/o-eletronic-speed-control-esc.html>> Acesso em: 22 ago. 2017.

IPOJUCA. **Eixo rosca sem fim**. Disponível em: <<http://www.engrenagensipojuca.com.br/eixo-rosca-sem-fim>> Acesso em: 22 ago. 2017.