

Michael Santos Sidi

**Sistema Autônomo de Pouso e Decolagem e Carregamento por
Indução**

MANAUS - AMAZONAS

Julho, 2021

Michael Santos Sidi

Sistema Autônomo de Pouso e Decolagem e Carregamento por Indução

Monografia Submetida à banca avaliadora do Curso de Engenharia de Controle e Automação para a obtenção do título de Engenheiro em Controle e Automação pela Universidade do Estado do Amazonas.

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Escola Superior de Tecnologia
Programa de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

Orientador: Prof. M.Sc. Moisés Pereira Bastos

MANAUS - AMAZONAS

Julho, 2021

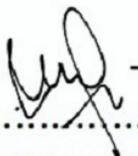
MICHAEL SANTOS SIDI

Sistema Autônomo de Pouso e Decolagem e Carregamento por Indução

Monografia Submetida à banca avaliadora do
Curso de Engenharia de Controle e Automação
para a obtenção do título de Engenheiro em
Controle e Automação pela Universidade do
Estado do Amazonas.



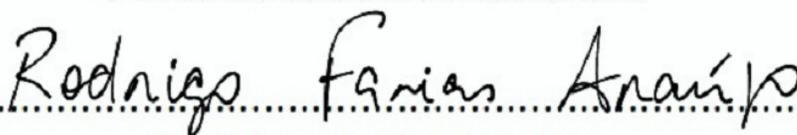
Moisés Pereira Bastos



Israel Mazaira Morales



Cleto Cavalcante De Souza Leal



Rodrigo Farias Araújo

MANAUS – AMAZONAS

Julho, 2021

Agradecimentos

A minha família e amigos pelo apoio, motivação e paciência no decorrer do curso e produção dessa monografia. Ao meu orientador, professor M.Sc. Moisés Pereira Bastos, por ouvir e ajudar com a minha ideia, desde antes do início do desenvolvimento, e ter me guiado na elaboração e redação deste trabalho. Ao professor da disciplina, professor M.Sc. Almir Kimura Junior, que sempre tentou me mostrar o melhor caminho com suas dicas para a escrita desse trabalho. À Universidade do Estado do Amazonas e ao seu corpo docente, que dedicou seu tempo e esforço para me passar os ensinamentos, que fizeram eu me tornar o profissional que sou hoje e amar o que faço. Em especial, ao meu pai, Richard Barretto Sidi, falecido por conta do COVID-19, ele que me engajou a entrar no curso de forma antecipada, que me incentivou durante toda minha caminhada, e me ensinou tudo para me tornar um homem íntegro e com caráter que sou hoje, meu eterno agradecimento a ele. E, por fim, a Deus que me proporcionou todos as bênçãos, saúde e dons para realização do projeto e me guia na minha caminhada.

Resumo

Sabendo que grande parte do enfoque na área de entretenimento e segurança está cada vez mais focado em drones e VANTs (Veículos Aéreos não tripulados), sendo que esses são utilizados em filmagens, como para captura de dados para pesquisas, monitoramento de áreas e outros. Apesar da demanda, esses dispositivos ainda não se tornaram autônomos, com apenas algumas funções que simulam automatização, e os que as tem, são de valores elevadíssimos e para um público específico. Este trabalho teve como objetivo apresentar uma maneira de tornar o drone construído em trabalhos anteriores em um VANT. Para isso, foi proposto usar carregamento por indução para evitar acopladores mecânicos, assim como um pouso autônomo através de LEDs Infra vermelhos, com o objetivo de tornar uma rotina continua possível. Por fim, o uso de programas como *MatLab* para ler informações e criar sistemas de chaveamento de energia via microcontrolador, para economia de energia. Em conclusão, tivemos uma validação positiva sobre os objetivos propostos, já que os testes realizados tiveram resultados otimistas para implementação em um cenário real.

Palavras-chaves: Drones. VANT. Carregamento por Indução. Pouso Autônomo. Rotina Continua.

ABSTRACT

Nowadays, a huge focus in entertainment and security area are on drones and UAVs (Unmanned Aerial Vehicle). Those are used in filming, also for data capture for research, area monitoring and others. Despite the demand, these devices have not yet become autonomous, with only a few functions that simulate automation, and those that have these functions have a very high value and they are exclusive for a specific audience. This work aimed to develop a way to turn a drone built in previous works into a UAV. For this, it was proposed to use induction charging to avoid mechanical couplers, as well as an autonomous landing through Infrared LEDs, in order to make a continuous routine possible. Finally, the use of programs like MatLab to read information and create power switching systems via microcontroller, for saving energy proposals. In conclusion, it has a positive validation of the proposed objectives, as the tests had optimistic results for implementation in a real scenario.

Keywords: Drones. UAVs. Induction Charging. Autonomous Landing. Continuous Routine.

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Valores de queda de tensão com e sem switch.....	75
Tabela 2 – Tabela de Distância dos LEDs a câmera Pixy.....	82
Tabela 3 - Tempo de carregamento com carregador comum.....	83
Tabela 4 - Carregamento pelo carregador indutivo	86
Tabela 5 - Distância dada pelo MatLab.....	91
Tabela 6 - Tabela de distância Real x Medida.....	92

Lista de Figuras

Figura 1 - Diagrama de ligação comum de um VANT	20
Figura 2 - Posicionamento de motores em VANT	20
Figura 3 - configurações por comando em pares	21
Figura 4 - Intercepção das três regiões para geolocalização	23
Figura 5 - Emissão de fótons no semicondutor	26
Figura 6 - Espectro de luz para cada semicondutor	27
Figura 7 - Led comum e Led de alta potência	27
Figura 8 - Pixycam e AVRcam	28
Figura 9 - Esquema de acoplamento transmissor – receptor	30
Figura 10 - Demonstrativo de campos gerados em solenoide	32
Figura 11 - Catodo e anodo de uma bateria	33
Figura 12 - Bateria Li-Po	34
Figura 13 - ligação básica de uma bateria Li-Po	35
Figura 14 - Bateria com aparência de tufada (Puffed)	36
Figura 15 - Imagem do VANT retirada de apresentação final do PAIC	37
Figura 16 - Diagrama de Arquitetura	38
Figura 17 - Estrutura física do Drone	40
Figura 18 - Fluxograma de Rotina	42
Figura 19 - Ligação elétrica do VANT	43

Figura 20 - ArduPilot e configuração de hardware	45
Figura 21 - Tela Inicial do Mission Planner	46
Figura 22 – ESC SIMONK 30A	47
Figura 23 - Motor Ready Tosky 2212-920kv	47
Figura 24 - Perna do VANT em PLA	50
Figura 25 - Conector Xt-60 macho e fêmea, e conector XT-60 a um dos ESCs	50
Figura 26 - Ligações elétricas e comunicação do sistema	52
Figura 27 - Encaixe entre servo motor e switch	53
Figura 28 - Primeiro encaixe projetado	54
Figura 29 - Suporte para relé em PLA	55
Figura 30 - Parte traseira da Pixy	56
Figura 31 -Luminosidade 7, identificação do objeto e imagem	57
Figura 32 – Mesmo objeto, luminosidade 20, identificação de objeto e imagem	57
Figura 33 - Conector Pixy para PixHawk	58
Figura 34 - Parâmetros Mission Planner	59
Figura 35 - Montagem da câmera pixy no VANT	60
Figura 36 - Esquema elétrico receptor	61
Figura 37 - Receptor Indutivo e Step-Up	61
Figura 38 - BMS, Receptor indutivo e Step-Up	62
Figura 39 - Conexões do carregamento desde fonte até bateria	63

Figura 40 - Conexão Elétrica AC da base	63
Figura 41 - Circuito Elétrico do Transmissor Indutivo	64
Figura 42 - Transmissor Indutivo	65
Figura 43 - Ligação dos LEDs	65
Figura 44 - LEDs de alta potência, Fonte e dissipadores de calor	66
Figura 45 - Código em MatLab para Aquisição de Longitude e Latitude	67
Figura 46 - Latitude, longitude e altura no HTML local	68
Figura 47 - LEDs IR comuns e Rele de controle e seu desenho em Inventor	69
Figura 48 - Impressora 3D ANET A8 e posicionamento de filamento	70
Figura 49 - Interface exemplo do AutoDesk Inventor	71
Figura 50 - Exemplo da interface do Ultimaker Cura	72
Figura 51 - Programa de acionamento do servo motor	73
Figura 52 - Teste com o throttle em 50%	76
Figura 53 - Serial display do Arduino mostrando carga entrando na bateria	77
Figura 54 - Sistema de rele e Arduino para desligamento de fonte dos LEDs e carregador	78
Figura 55 - Externo da base, com a bobina transmissora e LEDs	78
Figura 56 -Distância máxima entre LEDs e câmera pixy	79
Figura 57 - Exposição configurada no PixyMon	79
Figura 58 - Identificação de Objeto pelo pixyMon	80
Figura 59 - Imagem mostrando o borrão que a lente capta	80

Figura 60 - Imagem dos LEDs a 1 metro	81
Figura 61 - Imagem captada pela lente a 50 centímetros dos LEDs	81
Figura 62 - Gráfico de carregamento, tensão sobre tempo	84
Figura 63 - Carregador usual a uma taxa de 2.2A	85
Figura 64 - Corrente do Carregamento da bateria por indução	86
Figura 65 - Parte principal do programa de desligar e ligar os LEDs	89
Figura 66 - Dados adquiridos pelo programa do MatLab	89
Figura 67 - Variância de distância com o VANT parado	90
Figura 68 - Local de Teste de distâncias	92
Figura 69- Representação dos locais de testes feitos	93
Figura 70 - Gasto de corrente pelos LEDs ligados	94
Figura 71 - Corrente de entrada no carregador indutivo	95
Figura 72 - VANT pendurado por barbante, ponto de equilíbrio	96
Figura 73 - Acoplamento da bobina na perna do VANT	97
Figura 74 - Localização do Servo Motor	98

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1.1. PROBLEMÁTICA.....	16
1.2. OBJETIVOS.....	16
1.2.1. <i>Objetivo Geral</i>	16
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	17
1.3. HIPÓTESE E JUSTIFICATIVA.....	17
1.3.1. <i>Hipótese</i>	17
1.3.2. <i>Justificativa</i>	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1. <i>Configuração e Organização de VANTs</i>	19
2.2. <i>Sistema de Posicionamento Global (GPS)</i>	22
2.3. <i>Geração e Emissão de Luz Infravermelho por Led</i>	25
2.4. <i>Sensor de visão</i>	28
2.5. <i>Carregamento por Indução (Wireless)</i>	29
2.6. <i>Bateria</i>	33
3. METODOLOGIA	37
3.1. VISÃO GERAL DO DRONE	39
3.1.1. <i>Descrição do Drone desenvolvido no Programa de Iniciação Científica</i>	39
3.2. ABORDAGEM INICIAL DO VANT	41
3.2.1. <i>Sequência de Funcionamento do VANT</i>	41
3.2.2. <i>Abordagem Geral do Hardware</i>	42
3.2.3. <i>Estrutura física do VANT</i>	49
3.3. CHAVEAMENTO DE ENERGIA DO VANT	51
3.3.1. <i>Programa do Arduino Pro-Mini e Sensor de Tensão</i> Erro! Indicador não definido.	
3.3.2. <i>Ligação Elétrica</i>	52
3.3.3. <i>Encaixe servo motor e switch</i>	53

3.3.4. <i>Tentativa Iniciais de Desligar e Ligar através de Relé</i>	54
3.4. POUSO AUTÔNOMO	55
3.4.1. <i>Câmera Pixy e Programa PixyMon</i>	56
3.4.2. <i>Ligação Ao VANT e Configuração no Mission Planner</i>	58
3.4.3. <i>Montagem Pixy no VANT</i>	59
3.5. CARREGAMENTO AUTÔNOMO	60
3.6. BASE DE POUSO E DECOLAGEM.....	63
3.6.1. <i>Carregador Indutivo da Bateria na base</i>	64
3.6.2. <i>Circuito de LEDs</i>	65
3.7. IMPRESSORA 3D USADA NO PROJETO	69
3.7.1. <i>AutoDesk Inventor</i>	70
3.7.2. <i>Ultimaker Cura</i>	71
4. RESULTADOS FINAIS E DISCURSÃO.....	73
4.1. CHAVEAMENTO DO VANT	73
4.1.1. <i>Durante Carga</i>	74
4.1.2. <i>Programa do Arduino Pro-Mini e ligação.....</i>	Erro! Indicador não definido.
4.2. POUSO AUTÔNOMO	77
4.2.1. <i>Ângulo de identificação e distancia de identificação</i>	79
4.2.2. <i>Distância entre LEDs e Pouso</i>	82
4.3. CARREGADOR AUTÔNOMO	82
4.3.1. <i>Carregamento Fora do VANT</i>	83
4.3.2. <i>Carregamento no VANT com Todas as Ligações</i>	88
4.4. BASE DE POUSO E DECOLAGEM.....	88
4.4.1. <i>Captura de Dados do Mission Planner</i>	88
4.4.2. <i>Potência Gasta na Base</i>	93
4.4.2.1. <i>Led</i>	93
4.5. ACOPLAMENTO DOS EQUIPAMENTOS NO DRONE	95
4.5.1. <i>Carregador, Step Up e Arduino</i>	96
4.5.2. <i>Servo Motor e Switch</i>	98

4.5.3. <i>Autonomia</i>	99
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
5.1. TRABALHOS FUTUROS	101
REFERÊNCIAS.....	103

INTRODUÇÃO

É cada vez mais comum, o mercado crescente de tecnologias oferecer para o público em geral produtos que vão desde produtos para belezas até tecnologia de ponta. Com a alta demanda de entretenimento, fotografia e/ou vigilância, temos os drones e VANTs.(GIONES; BREM, 2017)

Levando em conta as tecnologias e demandas, podemos ver que os produtos que hoje estão presentes para o público se limitam, geralmente, a voos controlados por um humano e com poucas utilidades puramente autônomas, como afirma Maria de Miguel Molina (BRIEFS; LAW, [s.d.]) Dessa forma, pode-se verificar que muitas instituições públicas ou privadas necessitam de um sistema de vigilância de áreas, de forma autônoma, assim evitando uso excessivo de mão de obra humana, sejam essas vigilâncias para segurança de uma praça ou segurança de uma área verde, ou qualquer outro ambiente a ser controlado

Em relação aos parágrafos anteriores, podemos citar que a questão energética de carregar e manter a vida útil de baterias, seja a maior dificuldade de criar um sistema totalmente autônomo de um VANT. (CHOI et al., 2017).

Dessa forma, muitas pesquisas atuais procuram solucionar esse problema, sendo elas implementando sensoriamento na base, ou modificando a matriz energética do sistema. (CAMPI et al., 2017) Porém, os trabalhos mais promissores tem sido os que pesquisam sobre carregamento por indução que, trazem consigo, a dificuldade de pousar e alinhar as bobinas carregadores, de forma a ser o mais eficiente possível.

Portanto, uma ideia seria criar uma forma de automatizar o sistema geral, incluindo o VANT, usando tecnologias mais atuais possíveis, desde monitoramento remoto, carregamento por indução e até mesmo processamento de imagem, para criar um produto que possa ser interessante para um mercado mais exigente.

1.1. PROBLEMÁTICA

A partir do estudo de drones de mercado, percebeu-se a possibilidade de o mesmo realizar voos totalmente autônomos, compreendendo tanto pouso e decolagem, como também o carregamento automático de suas baterias que, por si próprio, já é um empecilho, pois há muita dificuldade em serem carregadas sem um carregador próprio e de forma segura.

Dessa forma, levanta-se os seguintes questionamentos que embasam o propósito do projeto:

- Como carregar baterias Li-Po, de forma segura e por indução, sem diminuir a vida útil da mesma, com mínimo risco ao ambiente?
- Como aplicar processamento de imagem ao controlador já embarcado no VANT, para que o mesmo faça pouso e decolagem autônoma e de forma precisa?
- Possível integrar as duas novas tecnologias pensadas sem diminuir a autonomia de voo?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Desenvolvimento e integralização de sistema autônomo de pouso e decolagem, incluindo seu carregamento de baterias sem fio em VANT.

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Realizar levantamento bibliográfico
2. Desenhar via software, peças individuais
3. Projetar esquema elétrico do sistema de carregamento
4. Desenvolver sistema de carregamento sem fio e base de pouso
5. Criar rotina de voo e verificar limites do sistema
6. Integralização de todo o sistema de VANT, base, carregador e rotina autônoma
7. Testar a eficiência e aplicabilidade do sistema

1.3. HIPÓTESE E JUSTIFICATIVA

1.3.1. Hipótese

Esse TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) busca provar que é possível, entre vários desafios: carregar baterias (Li-Po especificamente) de forma segura, podendo ser usado um sistema supervisor para controlar a tensão e corrente do circuito, assim como não deixar que se sobreaqueçam e nem receber mais carga que o necessário.

Em relação ao carregamento por indução, a proposta é fazer um levantamento de como carregar, com o princípio de indução, sendo que uma das bobinas do carregador esteja na base e outra acoplada ao VANT. Para aplicar o processamento de imagem e integrar ao controlador, será necessário programar um padrão de imagem para que uma câmera (com processamento interno ou com um embarcado), identifique imagem com luz infravermelha, evitando interferência de outros espectros de luz, e assim tornando possível controlar o pouso.

1.3.2. Justificativa

Levando em conta a construção de um VANT por um dos projetos de iniciação científica do aluno, percebeu-se a possibilidade de ele ser aprimorado em questão de automatização. Dessa forma, observou-se que apesar dele, durante o projeto, já conseguir manter a altura e a posição de forma autônoma, ambas as utilidades necessitam de um ser humano para serem ativadas e monitoradas. Então surgiu a proposta de torná-lo totalmente autônomo para decolar, realizar um voo com rotina e pousar no mesmo ponto com o mínimo de variância no pouso, que atualmente é de até 10 metros, compreendendo desde seu carregamento até o seu monitoramento de parâmetros.

Em relação ao contexto do curso, o projeto vai testar as capacidades de interligar três sistemas diferentes, sendo eles: um processamento de imagem, um controlador de voo de livre programação, um sistema de carregamento automático com supervisão, de forma a eliminar a interferência humana do processo.

Sobre a razão de pesquisar sobre a automatização de um VANT, tem-se como principal foco desenvolver um produto para ser usado para diversas aplicações, como monitoramento de área para segurança, monitoramento de áreas verdes via PDI, entretenimento.

Já sobre o monitoramento de áreas verdes, por exemplo, fiscalizar áreas remotas ou de difícil acesso com o equipamento. Dessa forma, o projeto pode ser tornar um ótimo produto de mercado já que, em geral, o custo é mais baixo que um VANT comercial sem essas utilidades.

2.REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico do trabalho foi estruturado em seis tópicos principais, envolvendo: configuração e organização de um VANT; sistema de posicionamento global (GPS); geração e emissão de luz infravermelho; sensor de visão; carregamento por indução(*wireless*); bateria;

2.1. Configuração e Organização de VANTs

2.1.1. Definição

Um quadrotor ou quadricóptero pertence ao gênero dos veículos aéreos não tripulados (VANT), e basicamente constituído de dois pares de rotores e hélices localizados em suas vértice de moldura quadrada. É capaz de realizar pousos e decolagens verticais, semelhante aos helicópteros. (JUNAID; LEE; KIM, 2016)

2.1.2. Organização

Um quadricóptero básico é formado por 2 pares de motores e hélices, 2 pares de controladores de velocidade, um controlador de voo (que realiza todos os cálculos com as informações dos sensores), bateria e receptor de rádio e frequência. Geralmente, dentro dos controladores de voo já se tem sensores de bússola e pressão. Os quadricópteros mais atuais acompanham ou são implementados com um modulo GPS (sistema de posicionamento global), módulo de transmissor de vídeo, câmera para gravação e transmissão de vídeo, como mostra a figura 1. (E퍼플, 2019)

Figura 3 - configurações por comando em pares

Acelerador				Rotação(ϕ)				Inclinação θ				Mudança de bordo (ψ)			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

Fonte:(Autoria Própria)

2.1.3. Modelo Matemático

Levando em consideração os sistemas de coordenadas, e considerando que cada eixo de rotação movimentará em sentidos diferentes, correspondentes a x, y e z do eixo cartesiano tradicional para formar um movimento em três direções, podemos então definir:

$$R_y(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{pmatrix}$$

(1)

$$R_x(\phi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\phi) & -\sin(\phi) \\ 0 & \sin(\phi) & \cos(\phi) \end{pmatrix} \quad r = \begin{pmatrix} \cos(\psi) & -\sin(\psi) & 0 \\ \sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

(2)

(3)

$$F^v(1) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

(4)

$$R_{\psi}^v(\psi, \theta, \phi) = \begin{pmatrix} C\psi C\theta; & C\psi S\theta S\phi - S\psi C\theta; & C\psi S\theta C\phi + S\psi S\phi \\ S\psi C\theta; & S\psi S\theta S\phi + C\psi C\theta; & S\psi S\theta C\phi - C\psi S\phi \\ -S\theta; & C\theta S\phi; & C\theta C\phi \end{pmatrix}$$

(5)

Considerando (1), (2) e (3) sendo os movimentos angulares em cada eixo, e (4) o vetor direção de forças na estrutura do veículo, podemos representador todas as direções por (5) (onde $C(x) = \cos x / S(x) = \sin x$). (BURGGRAF et al., 2019)

A ideia por trás de um modelo matemático e tornar possível o desenvolvimento do controle do sistema, porém o modelo pode ser muitas vezes complexos, como demonstra (ELIKER et al., 2018). Para os modelos complexos existentes, podemos então assumir algumas

simplificações sem afetar o nosso sistema e sem prejudicar a nossa precisão de voo de maneira significativa.

Assumindo que ϕ e θ são ângulos pequenos, a velocidade angular do sistema é descrita sendo:

$$\begin{pmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p \\ q \\ r \end{pmatrix}; F^i \quad (6)$$

$$\rightarrow \begin{pmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{J_y - J_z}{J_x} qr \\ \frac{J_x - J_z}{J_y} pr \\ \frac{J_x - J_y}{J_z} pq \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{J_x} \tau_\phi \\ \frac{1}{J_y} \tau_\theta \\ \frac{1}{J_z} \tau_\psi \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\rightarrow \begin{pmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{J_x} \tau_\phi \\ \frac{1}{J_y} \tau_\theta \\ \frac{1}{J_z} \tau_\psi \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{pmatrix} \ddot{\phi} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\psi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{J_x} \tau_\phi \\ \frac{1}{J_y} \tau_\theta \\ \frac{1}{J_z} \tau_\psi \end{pmatrix}; F^v \quad (9)$$

Onde p, q, r são a velocidade angular do sistema (6). Derivando a velocidade para obter a aceleração angular, temos (7), e considerando que os termos de Coriolis qr, pr e oq são desprezíveis por serem muito pequenos, podemos simplificar (7) em (8), obtendo dessa forma (9), onde τ é o torque aplicado e F^i a soma de todas as forças, temos então a aceleração aplicada na estrutura do veículo. Para a aceleração linear, podemos considerar que os efeitos de Coriolis da equação (10) não haverá influência, e também podemos identificar cada força na estrutura sendo (11), obtemos (12): (BURGGRÄF et al., 2019)

$$\begin{pmatrix} \dot{v}_x^b \\ \dot{v}_y^b \\ \dot{v}_z^b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_y^b r - v_z^b q \\ v_z^b p - v_x^b r \\ v_x^b q - v_y^b p \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -g \sin \theta \\ g \cos \theta \sin \phi \\ g \cos \theta \cos \phi \end{pmatrix} + \frac{1}{m} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \sum F \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$\begin{pmatrix} \dot{v}_x^v \\ \dot{v}_y^v \\ \dot{v}_z^v \end{pmatrix} = R_b^v \begin{pmatrix} v_x^b \\ v_y^b \\ v_z^b \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$\begin{pmatrix} \ddot{v}_x^v \\ \ddot{v}_y^v \\ \ddot{v}_z^v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{pmatrix} + \frac{F}{M} \begin{pmatrix} -\cos(\psi) \sin(\theta) \cos(\phi) + \sin(\psi) \sin(\phi) \\ -\sin(\psi) \sin(\theta) \cos(\phi) - \cos(\psi) \sin(\phi) \\ -\cos(\theta) \cos(\phi) \end{pmatrix}; F^v \quad (12)$$

2.2. Sistema de Posicionamento Global (GPS)

2.2.1. Definição de GPS e Seu Funcionamento

GPS é um tipo sistema de navegação por satélite (GNSS), o qual é o tipo de sistema satelital que entrega as informações de localização para o receptor em terra. O GPS que tem a

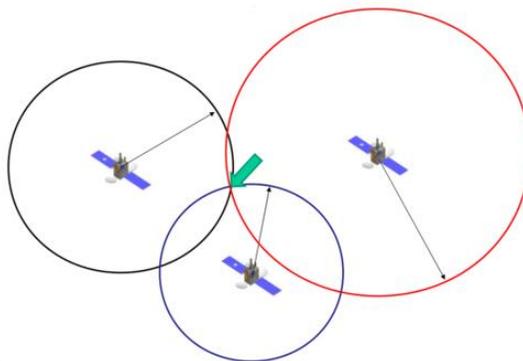
sigla definida por *Global Positioning System*. De acordo com (MISRA; ENGE, 2011), GPS consiste em um sistema com 31 satélites orbitando a Terra a uma altura de 20.200km, a uma velocidade de 14.000km/h.

Os satélites transmitem de forma contínua e simultânea um número pseudorrandômico (PRN) usando sequência de acesso múltiplo por divisão de código (CDMA) em duas frequências distintas: 1575.42(L1) e 1227.60 Mhz(L2). Eles fazem o *broadcast* de dados astronômicos onde é possível calcular posição e hora de transmissão, de acordo com a interferência e as informações transmitidas. (DANA, 1997)

O receptor no solo se localiza por triangulação, combinando e medindo por cálculo os PRN dos diferentes satélites. A velocidade é computada pelo efeito Doppler de cada onda de frequência transmitida pelo satélite, de acordo com que fala Marath Gowda(GOWDA et al., 2016).

Dessa forma, a triangulação requer três sinais para determinar a posição de um receptor GPS de forma mais precisa. O sinal de apenas um satélite permite que você determine que você está em uma determinada região circular do globo. Um segundo sinal de outro satélite em outra região, que se intercepta com o primeiro, onde a interceptação dos dois são os prováveis pontos onde o receptor estará. Um terceiro sinal restringe a localização a dois pontos na região, como mostra a figura 4. (DANA, 1997)

Figura 4 - Intercepção das três regiões para geolocalização



Fonte:(COUNCIL, 1995)

Para ficar ainda mais precisa a posição, um quarto satélite pode ser usado, porém geralmente um dos dois pontos já pode ser rejeitado por estar muito longe do globo ou se mover em uma velocidade não provável. No entanto, uma quarta medição ainda é geralmente usada, por motivos de caso um dos satélites saiam da visada e também caso um dos pontos não possa ser descartado. (COUNCIL, 1995)

2.2.2. Pseudodistância e Solução do Erro

Quando um satélite transmite o sinal, ele inclui a data de transmissão (de um dos seus quatro relógios atômicos, que geram em torno de 1 s de variância em 100.000 anos). O receptor em solo grava o horário de recepção usando um relógio não sincronizado, porém que servirá de base para os cálculos. (ANANDA et al., 1990) Dessa forma, ao calcular a diferença de tempo de voo (DTV) vezes a velocidade da luz (velocidade de ondas eletromagnéticas), teremos a pseudodistância:

$$\text{Pseudodistância} = \text{DTV} * (\text{velocidade da luz}) \quad (13)$$

Porém, como afirmado anteriormente, o horário do GPS não é sincronizado com o do satélite, e o erro pode ser de até 300km. E também temos que a onda, ao entrar na atmosfera terrestre, diminui sua velocidade, já que o meio não é mais o vácuo. Podendo então ser modelado, acrescentando os erros, da seguinte maneira: (ANANDA et al., 1990)

$$P_i^s = \rho_i^s + ct_i - ct^s + A + M_i + \epsilon_i^s \quad (14)$$

Onde temos que P_i^s será nossa pseudodistância, e ρ_i^s a distância real. C é a velocidade da luz, e T_i o tempo no receptor e T^s o horário do satélite. "A" representa o erro por

refração das ondas na atmosfera. Sendo a possível somatória de ondas resultantes do ambiente e ϵ é a interferência do sistema físico do receptor. Dessa forma, com os valores de distâncias já bem modelados, o receptor em solo consegue realizar a triangulação de forma correta, e com menor erro de medida. (DANA, 1997)

2.3. Geração e Emissão de Luz Infravermelho por LED

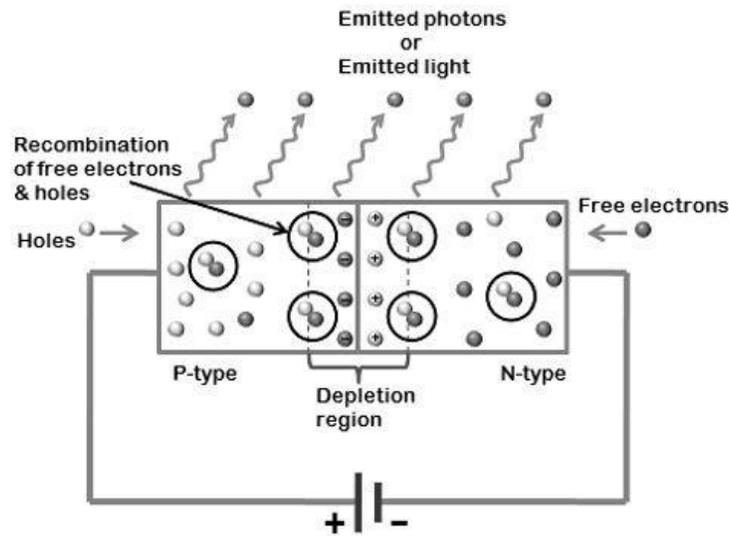
2.3.1. Definição de Luz Infravermelho

Esta energia é parcialmente refletida ou absorvida por corpos ou partículas, possibilitando que seja usada como recurso óptico, como uma câmera e sensores infravermelhos.

2.3.2. Geração de luz infravermelho por LED

Os diodos emissores de luz(LED) são basicamente formados de um semicondutor situado sobre uma superfície reflexiva. O comprimento de onda da luz produzida depende da composição do semicondutor. O LED IR é um tipo de diodo ou semicondutor simples. A corrente elétrica somente flui em apenas uma direção nos diodos. Conforme a corrente flui, os elétrons preenchem o espaço vazio do semi-condutor, e para fazerem essa transição, depois de energizados, precisam liberar energia na forma de ftons, que geram as ondas de luz, como mostra a figura 5. (FIGUEIRO et al., 2007)

Figura 5 - Emissão de fótons no semiconductor



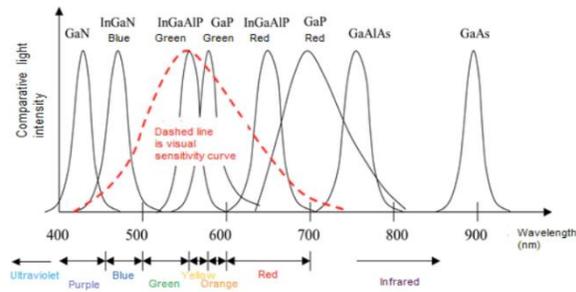
Fonte:(FIGUEIRO et al., 2007)

O comprimento de onda, ou seja, a cor que será emitida pelo LED depende diretamente do material de semiconductor que está sendo usado. Cada material possui o gap de energia, que seria a energia que o elétron precisa para efetuar a transição. O comprimento de onda de emissão é expresso pela seguinte equação usando o gap de energia (E_g) do material semiconductor composto. (TOSHIBA ELECTRONIC DEVICES & STORAGE CORPORATION, 2018):

$$\lambda(nm) = \frac{1240}{E_g} (eV) \quad (15)$$

Logo, quanto maior o gap de energia, menor será o comprimento de onda e quanto menor o gap maior o comprimento de onda. Para luz infravermelho, é usado o GaAs (Arsenieto de gálio) como semiconductor nos LEDs, normalmente. Mostrado na figura 6, a emissão de cada semiconductor de mercado. (TOSHIBA ELECTRONIC DEVICES & STORAGE CORPORATION, 2018)

Figura 6 - Espectro de luz para cada semiconductor

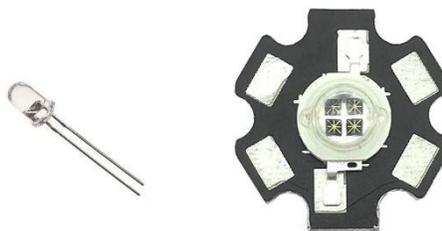


Fonte:(TOSHIBA ELECTRONIC DEVICES & STORAGE CORPORATION, 2018)

2.3.3. Tipos de LEDs

Existem no mercado dois tipos de LEDs que são comumente usados, o LED de alta potência e o ordinário, veja figura 7. O de alta potência refere-se a um diodo com uma potência que vai desde 1W até dúzias de Watts, podendo usar mais de 3.5A. Já o mais comum, geralmente usa apenas 0.05W e sua corrente de trabalho chega a 20mA. Pelo fato de LEDs de alta potência terem maior fluxo de luz, maior custo e melhor eficiência, o mesmo é usado para situações mais robustas, enquanto o LED comum é usado geralmente em aulas de robóticas, protótipos, ou equipamentos de baixo consumo de energia. (ALONSO et al., 2012)

Figura 7 - Led comum e Led de alta potência



Fonte: (Autoria própria,2020)

2.4. Sensor de visão

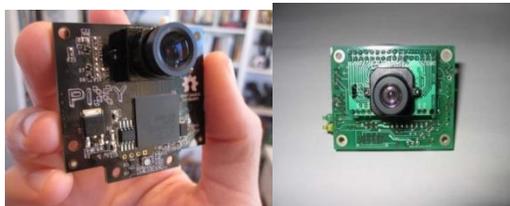
Os sensores de visão capturam imagens e as usam determinando a presença, orientação e precisão das peças. Esses sensores são diferentes dos sistemas de inspeção de imagem, pois a câmera, a luz e o controlador estão integrados em uma só placa, o que simplifica a instalação e a operação do sensor. (MOHAMAD; ZHU, 2016)

A tecnologia de sensoriamento de imagem infravermelho detecta os raios modulado na frequência de 30Hz de forma a eliminar objetos refletidos pela luz de sol, o qual pode ser feito ajuste de sensibilidade para detecções precisas.

Os sensores atuais são de alta velocidade de visão, capaz de ser programado para procurar por padrões de cores e imagens, o qual se conecta diretamente em qualquer microcontrolador. O rápido processador programável interno da placa, é instruído para enviar apenas as informações desejadas da imagem, de forma que o microcontrolador não se sobrecarregue. (MOHAMAD; ZHU, 2016) O mesmo não pode ser perturbado pela luz e nem de exposição, pois o mesmo usa a matriz de cores e saturação como principal meio de detecção de imagem. Esses sensores devem ser programados e podem conseguir detectar até 7 padrões de imagem diferentes, e processar até 50 frames por segundo.

Os sensores podem ser configurados para identificar cores, objetos e padrões. Podendo ser modificados as suas câmeras e filtros para cada necessidade. Abaixo tem exemplos desses sensores. Na figura 8, o sensor *PixyCam*, e o sensor *AVRcam*, respectivamente.

Figura 8 - Pixycam e AVRcam



Fonte: (PIXYCAM, 2018)

Elas vêm basicamente de fábrica com: processador NXP LPC4330, 204 MHz, dual core, sensor de imagem *Omnivision OV9715*, 1/4", 1280×800, 254Kb de *ram*, 1Mb de *Flash*, e acompanha uma lente comum M12. Essa mesma câmera que identifica cores do espectro visível da luz.(PIXYCAM, 2018)

Lentes M12, também chamadas de lentes de micro vídeo são lentes as lentes usadas para sensor de câmera. Temos várias aplicações, desde farmacêutica, robótica, automotiva e outras. São ideias para serem usadas em pequenas áreas e de baixo custo. Dessa forma, as lentes por si, não acompanha filtro, e a mesma pode ser acrescentada de filtro a depender da necessidade do projeto. (FLIR, 2017)

No caso, o filtro a ser usado será de 940nm, para identificação de raios infravermelhos, e não sofrer tanto com exposição dos raios infravermelhos refletidos do raio do sol. O filtro funciona de forma que ele corta os raios de luz visíveis e permite a entrada somente das ondas infravermelhas.

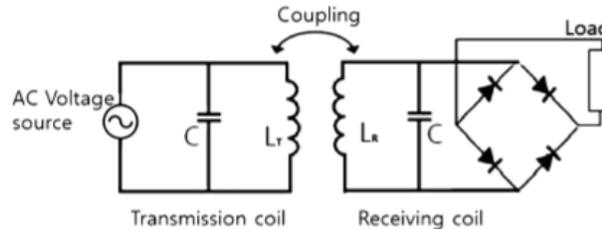
2.5. Carregamento por Indução (*Wireless*)

2.5.1. Conceito

Carregamento por indução (também conhecido por carregamento sem fio, ou *wireless*, no inglês) é um tipo de transferência de potência sem uso de contato mecânico. Ele usa indução eletromagnética para gerar eletricidade do transmissor para o receptor. O receptor deve ser colocado próximo ao modulo de transmissão, sem necessariamente estar totalmente alinhado com o mesmo e sem necessidade de nenhum plug. A mesma é utilizada em várias aplicações, desde escova dente até na área automotiva para recarregar baterias. (LU et al., 2016).

O básico da Transferência de potência sem fio (WPT, *Wireless power transmission*) envolve na transmissão de energia via oscilação no campo magnético. Para isso, a corrente direta fornecida pela fonte, é convertida em corrente alternada (AC) de alta frequência. A energia AC energiza uma bobina na saída do transmissor, o qual gera um campo magnético, de acordo com a Lei de Faraday. Dessa forma, a partir do momento que uma bobina receptora chega próximo do campo magnético gerado, ela induz e gera corrente alternada na bobina receptora. E assim, os eletrônicos na placa convertem de volta para DC para continuar a aplicação, como mostra a figura 9. (LU et al., 2016)

Figura 9 - Esquema de acoplamento transmissor – receptor



Fonte: (LU et al., 2016)

2.5.2. Lei de Faraday

O fluxo magnético através de uma espira, varia no tempo, produz uma fem (Força Eletromotriz) no condutor, pela lei de Faraday, na equação (17): (YOUNG; FREDMAN, 2015)

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (16)$$

$$\epsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad \epsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (17)$$

Onde ϵ é a fem induzida.

Variando o campo magnético temos uma fem na espira condutora, no qual será relacionada a uma corrente na espira condutora, e conseqüentemente gerará campo magnético produzido pela corrente. (YOUNG; FREEDMAN, 2015)

Para um campo constante, podemos simplificar (16), em (18), e pela lei de Lenz temos que a direção da fem é tal que gerará um campo magnético que se opõe ao fluxo do campo magnético, para equilibrar as forças.

$$\Phi = B \cdot A \quad (18)$$

A fem induzida é distribuída em longo de toda a espira, a lei de Faraday realmente diz que: (KHOLMETSII, 2003)

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (19)$$

Logo, a integração do campo elétrico é realizada em referência da área que é utilizada para calcular a variação do fluxo representado pelo lado direito de (19) e podemos escrever a equação na forma equivalente para o fluxo. (KHOLMETSII, 2003)

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (20)$$

Onde a integração do campo elétrico é realizada em toda área de integração de fluxo. Logo, quando tiver um campo magnético variante no tempo, um campo elétrico induzido é produzido em volta do campo magnético. A lei de Faraday que engloba os dois campos, representado por (20)

2.5.3. Autoindução

No momento que uma corrente elétrica percorre um solenoide, gera um campo magnético, como mostra a figura 10. Se a corrente aumenta no tempo: $di/dt > 0$, o campo magnético aumentará sua intensidade: $dB/dt > 0$, e pela lei de Faraday demonstrada anteriormente, uma fem é induzida, opondo à direção de I . (YOUNG; FREEDMAN, 2015)

Sendo a Fem (17), e o fluxo magnético definido como (21), onde L é autoindutância, a fem induzida será dado por (22).

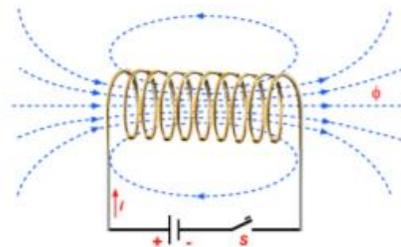
$$\Phi = LI \quad (21)$$

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -L\frac{dI}{dt} \quad (22)$$

Logo, a lei de Ohm pode ser escrita em função das duas fem (fonte + indução):

$$L\frac{dI}{dt} + RI = V(t) = \varepsilon_i + \varepsilon_f \quad (23)$$

Figura 10 - Demonstrativo de campos gerados em solenoide



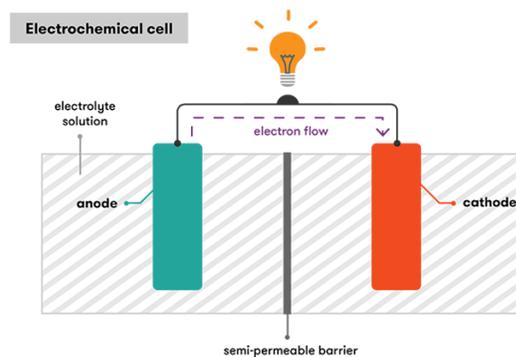
Fonte: (YOUNG; FREEDMAN, 2015)

2.6. Bateria

2.6.1. Composição de Bateria

Tensão pode ser definida como a intensidade de passagem de elétrons em um condutor, então as baterias são formadas por um anodo, catodo (polo negativo e polo positivo) e eletrólito, como mostra a figura 11. As extremidades do catodo e anodo são posicionadas nas entradas e saída do circuito, respectivamente. A reação química causa um fluxo no anodo, criando uma diferencial de potencial (fem). Porém, o eletrólito impede essa passagem entre o catodo e o anodo, e essa passagem de elétrons acontece quando o catodo e anodo são conectados pelo circuito. A capacidade da bateria se dará pela quantidade de elétrons que o anodo poderá fornecer ao catodo. (BRAIN, 1800)

Figura 11 - Catodo e anodo de uma bateria



Fonte:(BHATT; WANG)

2.6.2. Bateria Li-Po

Com o crescimento exponencial de microeletrônicos no século 20, a diminuição de

equipamentos se tornou muito popular, o que proporcionou o desenvolvimento de bateria mais eficientes e menores, com maior capacidade, durante o tempo. As baterias a base de lítio se tornaram amplamente utilizada, desde em veículos elétricos a armazenamento de energia. (HUI; LIU; JIA, 2011)

O uso constante de lítio ocorre porque, ele é um metal de baixa densidade e alto potencial eletroquímico, ou seja, produz muitos elétrons e é relativamente leve. Por isso, o lítio é tido como metal ideal para ser o anodo das baterias atuais.

As baterias mais usadas para uso em quadricópteros são as Li-Po (íon de polímero, onde o polímero será o catodo), que são baterias normalmente ligadas internamente em serie ou paralelo em quantidade vastas de células. Elas são classificadas geralmente pela sua voltagem, capacidade de carga e quantidade de energia que ela pode gerar em uma carga, geralmente em Ah ou mAh. (EDDAHECH et al., 2011)

As baterias acompanham também uma unidade em C, que descreve a relação de capacidade e descarga da bateria. De forma que se uma bateria for de 10C, e tiver uma capacidade de 2200mAh, quer dizer que ela pode descarregar até 22000mA, em exemplo, a figura 12.

Figura 12 - Bateria Li-Po



Fonte: (autoria própria, 2020)

Cada célula de uma bateria Li-Po, foi padronizada para ter voltagem de 3.7V, e a bateria acompanha em sua embalagem quantas células a mesma traz dentro do pacote, como por exemplo, mostra a figura 13. Ou seja, uma bateria 3S tem três baterias em série, com voltagem nominal de 11.1V. Quando carregada, cada celular pode chegar até 4.2V e descarregar até 3.5V sem interferir na sua da bateria.

Figura 13 - ligação básica de uma bateria Li-Po



(HUI; LIU; JIA, 2011)

2.6.3. Preservando a Saúde de Bateria

As baterias Li-Po possuem uma densidade energético muito grande, em contrapartida, elas são muito sensíveis. O primeiro ponto a ser citado é que elas devem estar com suas células equilibradas, ou seja, com a mesma tensão para evitar fluxo de uma célula para outra, usando a vida útil enquanto repousa. Por essa razão, a bateria possui uma entrada principal (positiva e negativa) e um conector de balanceamento. (EDDAHECH et al., 2011)

O maior problema de uma bateria Li-Po é seu carregamento, pois se feito de forma incorreta, pode causa até mesmo fogo, explosão ou perda total da mesma, pois a diferença de potencial, se for grande, entre as células podem causar esses incidentes. Portanto, a recomendação que é feita é que ao mesmo tempo que carregue, que balanceie as células.

Outra recomendação é que armazene a mesma em temperatura ambiente, pois em temperaturas elevadas poderá acelerar as reações químicas no eletrólito, fazendo ele perder suas funções químicas de separar catodo e anodo, gerando excesso de oxigênio dentro das células (efeito *puffed*), criando um aspecto de tufado na bateria, diretamente relacionado a perda de vida útil de uma bateria, como mostra a figura 14.

Figura 14 - Bateria com aparência de tufada (Puffed)



Fonte: (autoria própria, 2020)

Outras causas de perda útil de bateria são:

- Descarregar abaixo dos 3.5V por célula
- Descarregar com maior fluxo que o permitido pela mesma
- Carregar acima de 4.2V por célula
- Deixar com carga diferente da nominal

3. Metodologia

O Sistema desenvolvido neste projeto tem como objetivo aprimorar o drone desenvolvido anteriormente no PAIC (Programa de Apoio à Iniciação Científica) em 2019, de autoria própria. A figura 15 mostra duas imagens do que foi montado na ocasião.

Figura 15 - Imagem do VANT retirada de apresentação final do PAIC



Fonte: Autoria Própria

O objetivo do projeto desenvolvido no programa de Iniciação Científica era diminuir custos se relacionado com um drone de mercado, tendo funcionalidades similares. O mesmo conseguia manter-se durante o voo no mesmo local com uma autonomia comparável a outros drones.

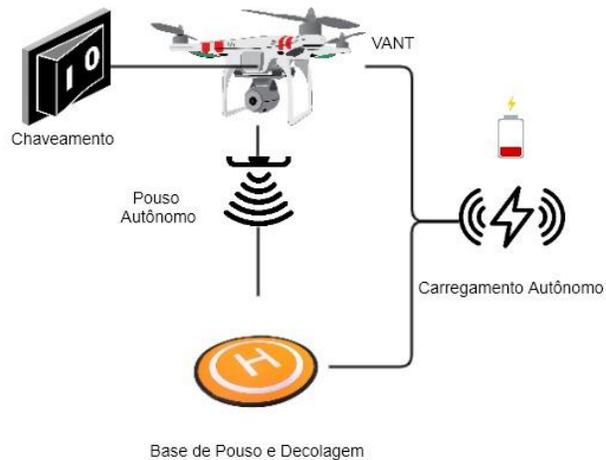
Nesse projeto foi desenvolvido um sistema de aprimoramento do drone nos quesitos de pouso e decolagem automática, a partir de uma câmera que utiliza espectro infravermelho para identificar LEDs de alta potência. Foi desenvolvido também um módulo de desligamento e ligamento da base e do VANT de forma a não perder energia desnecessariamente. Assim como o carregamento de baterias por indução, que por sua vez irá carregar as baterias sem ter

necessidade de retirá-la do VANT para carregar no carregador comum. Para o desenvolvimento do sistema supracitado, considerou-se a implementação dos seguintes componentes:

1. Carregador para bateria Li-Po;
2. Bobinas de indução para transferir energia da base até o VANT;
3. Implementação de câmera para detecção LEDs infravermelhos;
4. Conjunto de LEDs de alta potência;
5. Sistema de liga-desliga para o VANT, controlado por um Arduino Pro Mini

Além desses componentes, o sistema também engloba telemetria via rádio frequência para sistema de monitoramento em solo, função esta não prevista inicialmente, contudo foi implementada permitindo o chaveamento na alimentação do VANT com precisão. A figura 16 apresenta o diagrama da arquitetura.

Figura 16 - Diagrama de Arquitetura



Fonte: Autoria Própria

Visando facilitar o entendimento do desenvolvimento desse projeto esse capítulo foi dividido em: Visão Geral do Drone, Abordagem Inicial do VANT, Chaveamento, Pouso Autônomo, Carregamento Autônomo e Base de Pouso e Decolagem.

3.1. Visão Geral do Drone

O projeto buscou aprimorar o drone desenvolvido em um PAIC realizado na UEA, onde o maior objetivo era redução de custos e que tivesse todas as funcionalidades de um drone de mercado. Inicialmente será apresentada uma visão geral do drone desenvolvido anteriormente que serviu como base para esse projeto.

3.1.1. Descrição do Drone desenvolvido no Programa de Iniciação Científica

Em relação ao projeto desenvolvido no PAIC, esse se tratava de um drone, que assim como os drones de mercado, tinha diferentes modos de voo, cambiáveis através do controle remoto. Os quais era capaz, desde circular uma área ou permanecer estático (considerando a tolerância de erro do GPS e compasso), assim como pouso e decolagem assistida.

A estrutura física do drone era um híbrido entre fibra de carbono e PLA (poliácido láctico), comprada no mercado chinês, chamado frame X550, que vem desmontada. A mesma foi montada e fixada com parafusos de aço inoxidável, como mostra a figura 17. A estrutura apresenta quatro braços fixos para acoplamento dos motores e ESCs (Controladores Eletrônicos de Velocidade), assim como estrutura para guiar cabos de energização.

Assim, para mostrar uma visão geral do projeto desenvolvido anteriormente, é apresentado o *BOM (Bill of Material)* desenvolvido no PAIC:

- A. 1 - Modulo GPS Ublox M8N;
- B. 1 - Compasso Ublox;
- C. 1 - Receptor e Transmissor de Telemetria via Rádio Frequência de 915MHz(genérico);
- D. 1 - Receptor PWM (*Pulse Width Modulation*) (Genérico);
- E. 1 - Receptor de rádio frequência 2.4GHz FS-ia6b;
- F. 1 - Controle remoto (Transmissor 2.4GHz) *FlySky* FS-i6
- G. 1 - *Buzzer* de acionamento (Genérico);
- H. 1 - Transmissor de vídeo Ts5828 *FPV* (*First Person Vision*);
- I. 1 - Câmera *FPV* Foxer;
- J. 1 - *MiniOSD* genérico;
- K. 1 - Placa de distribuição de energia(genérico);
- L. 4 - Controladores eletrônicos de velocidade (*SIMONK* 30A);
- M. 4 - Motores (Ready Tosky 2212-920kv);
- N. 2 - Pares de Hélices 10x4.5

Figura 17 - Estrutura física do Drone



Fonte: Autoria própria

3.2. Abordagem Inicial do VANT

Após uma breve explicação do drone utilizado como base para esse projeto, será exposto nesse tópico e nos seguintes todo o processo de transformação desse drone em VANT ao aplicar todas as melhorias propostas nesse trabalho, uma vez que por sua definição um VANT representa um veículo aéreo autônomo.

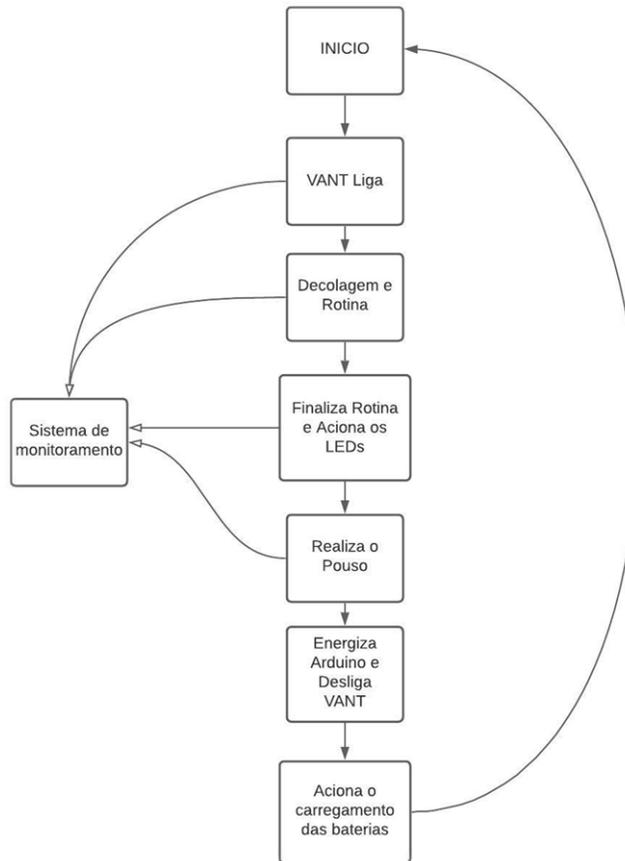
3.2.1. Sequência de Funcionamento do VANT

O sistema desenvolvido nesse projeto implementa melhorias em um VANT, conforme citado anteriormente. Com isso, o sistema trabalha em ciclos, mantendo uma rotina conforme os passos a seguir:

- A. Inicialmente o VANT é ligado via Arduino
- B. Em seguida, realiza a sua rotina pré-programada e fica realizando *upload* das informações para a base
- C. A base, ao perceber a aproximação, aciona os LEDs infravermelhos de alta potência
- D. O VANT entra no modo de pouso preciso auxiliado pelos LEDs
- E. Ao pousar, o Arduino desliga o VANT
- F. Assim que desligado, inicia o carregamento
- G. Após carregamento, retorna a rotina programada

De forma explicativa, a figura 18 mostra o fluxograma.

Figura 18 - Fluxograma de Rotina

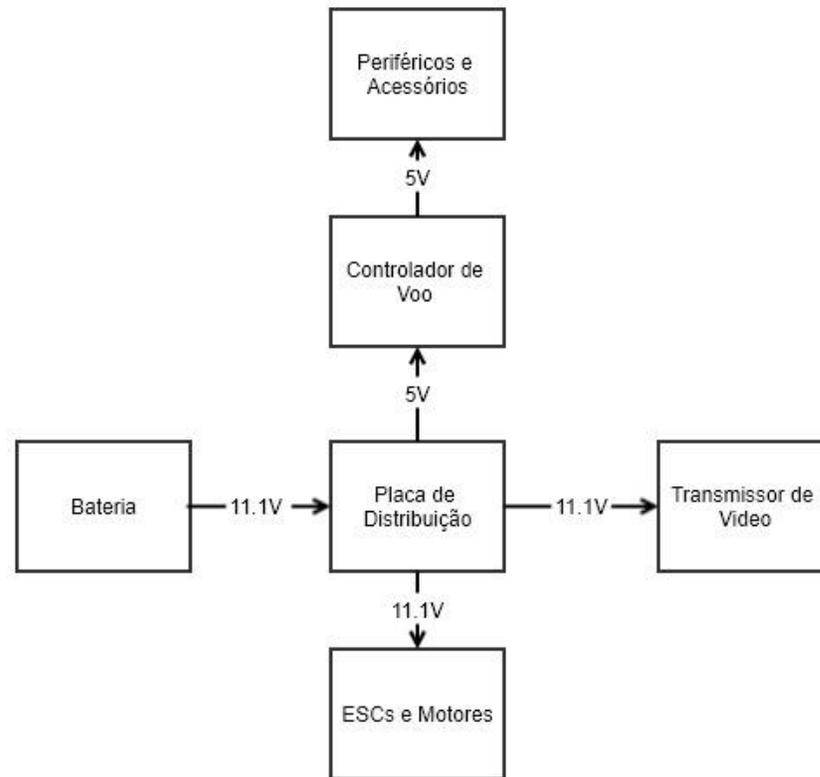


Fonte: Autoria própria

3.2.2. Abordagem Geral do *Hardware*

Sobre a estrutura eletrônica e elétrica do projeto desenvolvido nesse projeto, inicialmente comentaremos sobre a parte elétrica do VANT em si. Assim, o potencial da bateria é dividido em duas partes: para o controlador, que liga todos os periféricos, e para os motores. Para isso, uma bateria, se conecta diretamente na placa de distribuição, a qual liga o controlador por uma fonte chaveada, e somente os motores se ligam direto as baterias. A figura 19 representa a estrutura resumida do VANT, que será explicada nos próximos sub tópicos.

Figura 19 - Ligação elétrica do VANT



Fonte: Autoria própria

3.2.2.1. Periféricos e Acessórios

Em relação ao diagrama mostrado na figura 19, o subtópico atual traz conceitos básicos para entendimento do que seriam os periféricos e acessórios, que auxiliam o controlador de voo desde o envio de informações a base, assim como aquisição de informações para geolocalização. Então temos que os periféricos mais necessários para um VANT:

O modulo GPS e compasso, pois adquirem e entregam informações de direção e coordenadas para o VANT. Essas informações que tem sua precisão dependente diretamente da quantidade de satélites visíveis para essa aquisição, tendo como o mínimo de três satélites.

Por sua vez, para comunicação com a base, temos o modulo de telemetria de 915MHz, o qual consegue fazer transmissão de dados e parâmetros em tempo real do VANT para a base através de um enlace via rádio com sensibilidade de até -121dBm. Capaz de transmitir a uma velocidade de 256kbps usando protocolo IEEE 802.15.4, para assim realizar um sistema de monitoramento em solo.

Dois acessórios não necessários, mas para o trabalho foram relevantes que são o *buzzer* e o Receptor PWM (modulação por largura de pulso) . O *buzzer* de acionamento, pois quando se liga o VANT ele sinaliza algum problema, ou seja, caso encontre algum erro, ele apita constantemente. Já o receptor PWM recebe as informações de todos os canais do receptor de 2.4GHz, provenientes do controle remoto, e transforma as informações em uma escala de PWM para ser identificada pelo controlador de voo. Isso ajudou durante o projeto, pois caso precisasse controlar o VANT manualmente, em caso de problema com a missão.

3.2.2.2. Controlador de Voo

Como explicado anteriormente, o controlador de voo é a parte do *hardware* que tem como função receber as informações dos periféricos e com sua programação controlar estabilidade, velocidade e direção do VANT, com isso controlando ESCs (Controladores Eletrônicos de Velocidade) e conseqüentemente, motores.

O controlador de voo usado no VANT é o *PixHawk*, esse que é energizado por uma fonte chaveada de tensão de 12V para 5V, assim baixa a tensão de entrada da bateria, já que o controlador tem um *range* de tensão de 5V a 9V.

Para realizar as configurações internas ao controlador de voo VANT, o mesmo tem um programa recomendado pela fabricante, que facilita a implementação de muitos periféricos e configuração de eletrônicos mandatórios para um bom funcionamento.

O *software*, chama-se *Mission Planner*, onde se acessa e programa os parâmetros de voo. Nesse programa, temos:

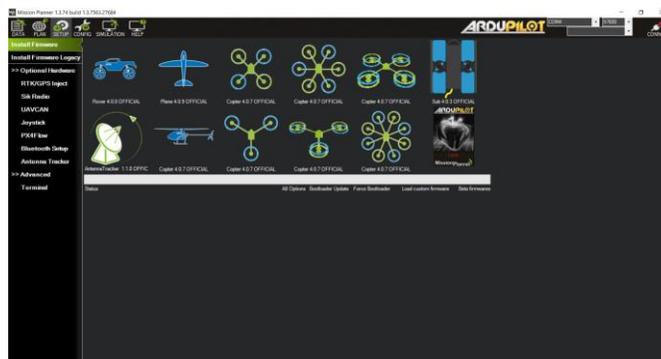
1. Instalador e atualizador de firmware para o controlador;
2. Verificação e atualização de módulos externos;
3. Acesso a todos os parâmetros de voo e configurações;
4. IHM (interface humano-maquina) para acesso de voo em tempo real;

No *Software*, instalasse o *firmware* recomendado para o controlador de voo que se chama *ArduPilot*. Esse *firmware* que é usado por inúmeros controladores e estruturas de veículo, logo deve-se escolher a estrutura correspondente, como mostra a figura 20. Assim, realizar a instalação do *firmware* de forma intuitiva pelo programa.

Na mesma tela, também podemos configurar os módulos e acessórios do VANT, sendo mandatários para funcionamento do *PixHawk*: os ESCs, o transmissor e receptor de rádio e GPS. Em seguida temos o acesso a todos os parâmetros do programa do controlador, assim como o código aberto, podendo alterar qualquer funcionalidade ou prioridade de voo.

E por fim, tem-se a tela de mapa para acesso real de voo, assim como de leitura de parâmetros, a partir dos dados fornecidos pela telemetria, como mostra a figura 21.

Figura 20 - ArduPilot e configuração de hardware



Fonte: Autoria própria

Figura 21 - Tela Inicial do Mission Planner



Fonte: Autoria própria

3.2.2.3. ESC e Motores

O controlador de voo, anteriormente citado, controla os ESCs e motores para realizar o voo, dessa forma, nesse tópico será destrinchado como ambos funcionam e se interligam.

3.2.2.3.1. ESC

Sendo assim, o funcionamento dos controladores eletrônicos de velocidade se dá basicamente pela transformação de uma corrente direta, para uma corrente alternada trifásica, para que assim possam controlar a velocidade através do eletroímã interno do motor. A velocidade é controlada pelo controlador de voo pela conexão de PWM disponível nos ESCs, demonstrado na figura 22. O controlador chaveando as fases elétricas influencia o campo magnético da bobina (estator) e gera movimento no rotor.

No caso do projeto, o VANT consome, em aceleração máxima, até 30A, dividido entre os 4 motores. Por isso, caso ocorra um pico de corrente em uma queda do dispositivo ou curto-

circuito do motor, os controladores suportam até 30A, tendo assim margem para aguentar a corrente extra e evitar queima excessivas com o tempo.

Figura 22 – ESC SIMONK 30A



Fonte: Autoria própria

3.2.2.3.2. Motores

Os motores por sua vez são rotores que apresentam bobinas internas, essas que são ativas de acordo com a fase energizada pelos ESCs, os quais são controlados pelo controlador de voo. Em respeito aos motores, são dois pares, e cada par tem uma rotação diferente. Um de rotação horária e outro par de rotação anti-horária, como mostra a figura 21.

Figura 23 - Motor Ready Tosky 2212-920kv



Fonte: Autoria própria

Uma vez que, o objetivo na hora da montagem do projeto do PAIC, era construir um VANT com menor custo e similar com os drones de mercado, usou-se o motor de potência similar em estrutura e peso de um drone médio (40cm e 1,5kg). Esses motores vieram do mercado chines, a fim de diminuir o custo.

Por sua vez, os motores são acoplados a hélices, essas que também apresentam dois modelos de rotação, a anti-horária e a horária que fazem par com o mesmo tipo de rotação de motor. As hélices 10x4.5 são as hélices mais genéricas do mercado, uma vez que vem com encaixe para maior parte dos motores, e apresentam o menor custo, porém são frágeis.

3.2.2.3. Problemas com motor e ESCs

Um problema recorrente no PAIC, e que foi menos frequente durante o projeto, foi a quantidade de perda de motores (desbobinamento com queda, ou queima do fio de cobre interno), também a queima de ESCs, por pico de corrente. Vale ressaltar, uma única vez durante o projeto onde foi necessário retirar as pressas o ESC do VANT, já que o mesmo estava em um princípio de incêndio. Esses problemas diminuiriam quando se trocou a conexão de solda direta na placa, para conectorizados, e também quando trocou a placa de distribuição de energia genérica, para uma mais robusta.

3.2.2.4. Transmissor de Vídeo

O VANT também tem um sistema de transmissão de vídeo para monitoramento das missões, o transmissor de vídeo TS5823. Esse dispositivo faz a transferência do vídeo da câmera *FPV*, na frequência setada nele e qualquer dispositivo nessa frequência pode ver o vídeo na distância que tenha visada, sendo essa distância nominal de 1.5km do dispositivo. Já o *MiniOSD*

recebe o vídeo da câmera e coloca uma interface com as informações de voo para o receptor de vídeo, como velocidade, distância, bateria e outros.

3.2.2.5. Bateria

Para o VANT a bateria é a base de toda energia, e no projeto foi usado mais de 4 baterias diferentes, em tamanho e capacidade. Uma vez que bateria, com o tempo perde vida útil, a bateria usada no drone de 5.200mAh, foi substituída por uma de mesma capacidade para testes de voo. Já para testes em solo, sejam eles de programação de Arduino ou de carregamento, foram usadas baterias das seguintes capacidades: 2.500mAh, 2.200mAh, 1500mAh e 1200mAh, a fim de diminuir possíveis tempo para carregamento completo e facilitar a descarga da bateria para um novo ciclo.

3.2.3. Estrutura física do VANT

Como dito anteriormente, o drone construído serviu de base para o VANT, dessa forma, a estrutura física é similar, com algumas atualizações. Sendo assim, as atualizações foram no corpo principal que foi organizado para ter espaço para o controlador de voo no interior do VANT, o que antes era na parte superior. Alguns periféricos modificaram de lugar, e todos foram comportados na parte interna, para proteção em caso de queda. O VANT tem quatro suportes de pousos (pernas de suporte ao pouso) e uma delas foi feita em PLA, em consequência de a original ter quebrado, como mostra a figura 24.

Figura 24 - Perna do VANT em PLA

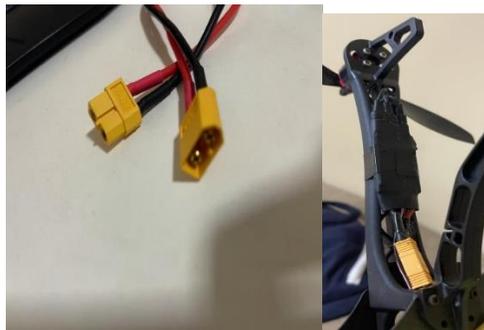


Fonte: Autoria própria

Ainda sobre a estrutura física do VANT, a estrutura do drone apresentava uma desorganização de cabos pela falta de recursos ferramentais e financeiras da época, assim como falta de experiência com solda. Dessa forma, para prosseguimento do projeto, as conexões e interligações entre os componentes, como a placa de distribuição de energia, motores, ESC e periféricos foram atualizados.

Para a conexão de componentes de alta potência, foi usado cabo de cobre, e para conexões de menor potência, cabos flexíveis, para melhor organização. Também foi adicionado conectores XT-60 entre os componentes, para diminuir a quantidade de soldas, apresentado na figura 25.

Figura 25 - Conector Xt-60 macho e fêmea, e conector XT-60 a um dos ESCs



Fonte: Autoria própria

3.3. Chaveamento de Energia do VANT

Com o objetivo de tornar o drone, um VANT autônomo, foi implementado o chaveamento, uma vez que as baterias não podem estar distribuindo carga ao mesmo tempo que são carregadas, o chaveamento se tornou uma parte da rotina de alta relevância.

Dessa forma, já que no mercado e projetos anteriores relacionados, as formas de desligar e ligar, eram reles e transistores e os mesmos consumiam a vida útil e autonomia da bateria, foi utilizado um *switch* de 100A. Isso porque o *switch* deveria ser capaz de suportar a carga total do VANT em voo, e os seus picos de corrente em caso de acidente. O acionamento dele feito por um servo motor, com um encaixe em PLA.

3.3.1. Controle de Chaveamento do *Switch*

Sobre o controle do chaveamento, foi feito um programa que aciona o *switch* a partir de um servo motor. Para isso, deve-se ter o valor de tensão na entrada, assim como a duração de carga do carregador, e o valor mínimo da bateria para estar carregada. Assim, a rotina do controlador é da seguinte maneira:

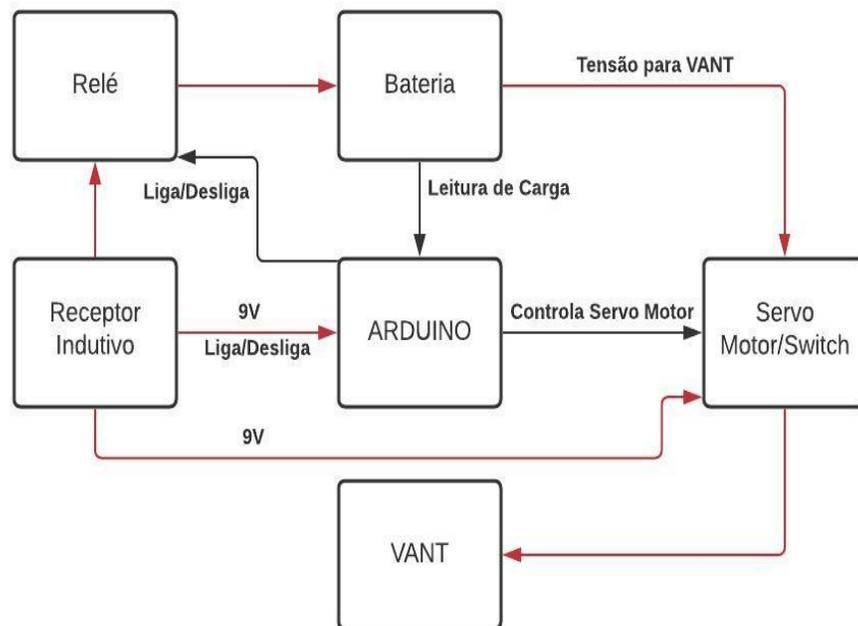
1. Primeiramente, o Arduino liga ao receber carga do receptor indutivo;
2. Espera 15 segundos para confirmar que a carga está constante;
3. Desliga o VANT;
4. Liga relé para energia passar do receptor a bateria;
5. Verifica até carga ser superior à 12.3V (se a carga continuar a se elevar dentro de 5 minutos, permanece, caso contrário, quer dizer que o alinhamento das bobinas não ficou 100% ideal, então essa carga será usada para um próximo voo);
6. Se a carga já parou, desliga rele que vai para bateria;
7. Liga o VANT, para o próximo voo;

3.3.2. Ligação Elétrica

Já para falar de como funciona o servo motor e controlador no VANT, temos que a ligação elétrica é no mesmo potencial do receptor do carregador indutivo. No caso, o Arduino liga com a energia que vem do carregador e o mesmo potencial energiza o servo motor. Por sua vez, o Arduino aciona o relé, fornecendo a tensão para as baterias e o servo motor desliga o VANT para prolongar vida útil da bateria, como mostra a figura 26.

Na figura, a ligação elétrica é representada pela cor vermelha e a ligação de comunicação pela cor preta.

Figura 26 - Ligações elétricas e comunicação do sistema

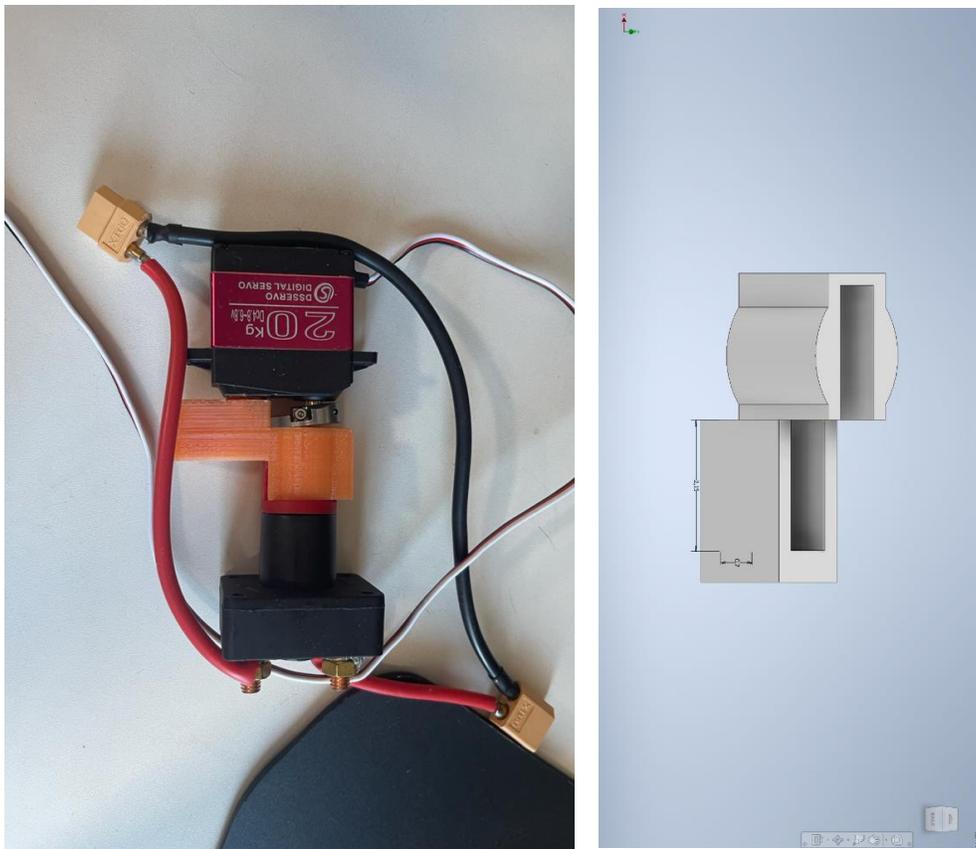


Fonte: Autoria própria

3.3.3. Encaixe servo motor e *switch*

Sendo o servo motor e *switch* dois componentes separados, para o acionamento, foi projetado um encaixe que prende o *switch* e o servo motor. A partir de uma pressão mecânica para o *switch*, e o servo motor que se parafusa na peça, com os buracos feitos pela impressora 3D. Dessa forma, procurou-se deixar o eixo de rotação do servo motor alinhado com eixo de rotação do *switch*, para que quando o servo motor fosse acionado, não houvesse deslocamento fora do eixo de rotação e conseqüentemente uma movimentação dos componentes. O resultado final está apresentado na figura 27, com suas dimensões.

Figura 27 - Encaixe entre servo motor e *switch*

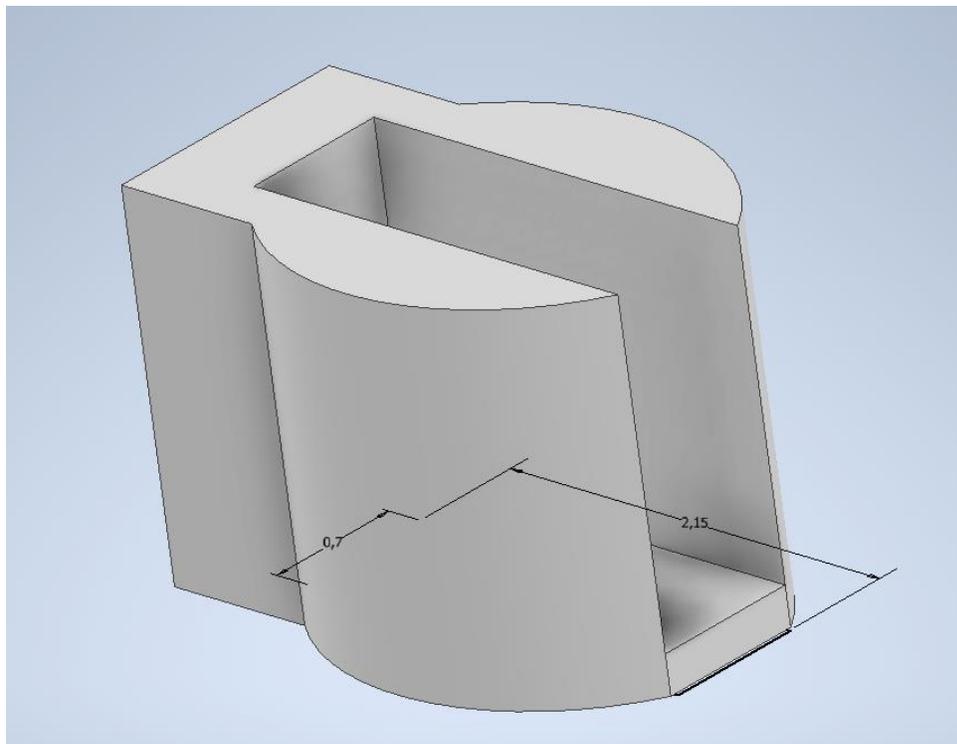


Fonte: Autoria própria

3.3.3.1. Versões de Encaixe

Para chegar no encaixe final, foi feito uma versão anterior (figura 28), que apesar de ter funcionado, o eixo de rotação não era coincidente, o que causava, no momento da rotação do servo motor, uma movimentação excessiva do servo motor para poder rotacionar o *switch*.

Figura 28 - Primeiro encaixe projetado



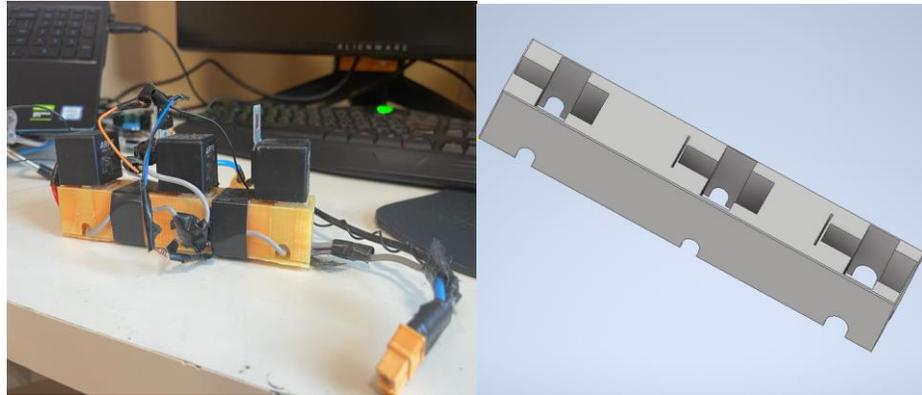
Fonte: Autoria própria

3.3.4. Tentativa Iniciais de Desligar e Ligar através de Relé

Sobre o chaveamento, antes chegar na opção de desligar com *switch* e servo motor, foi testada outras maneiras. A tentativa para chavear o VANT, foi com relé automotivo de 40A. Foi

desenvolvida uma estrutura para organização de cabos e dos reles, como mostra na figura 29. Porém, após realização de testes, percebeu-se que cada rele causava, na média, uma queda de 0.2V na tensão, o que causava uma diminuição de autonomia de 40%, ao usar 3 reles, que seria a quantidade para aguentar todos os picos de corrente e não sofrer com altas temperaturas.

Figura 29 - Suporte para relé em PLA



Fonte: Autoria própria

3.4. Pouso Autônomo

Durante o projeto, o VANT foi aprimorado com novos periféricos para poder executar a rotina planejada, e o mais importante deles sendo a câmera *Pixy*, que serve para identificação dos LEDs presentes na base, o que é a essência para o pouso autônomo, pois isso que guia o VANT até a base de LEDs. Dentro do programa do controlador de voo, é programado que o VANT seja guiado pelo periférico desejado.

3.4.1. Câmera *Pixy* e Programa *PixyMon*

A câmera *Pixy*, usada no projeto, é um sensor de câmera com um processamento embarcado para fazer a varredura de imagem pré-programada. Sua conexão com o computador é via *USB* e com outros sistemas via porta *I/O*, como mostra a figura 30.

Figura 30 - Parte traseira da *Pixy*



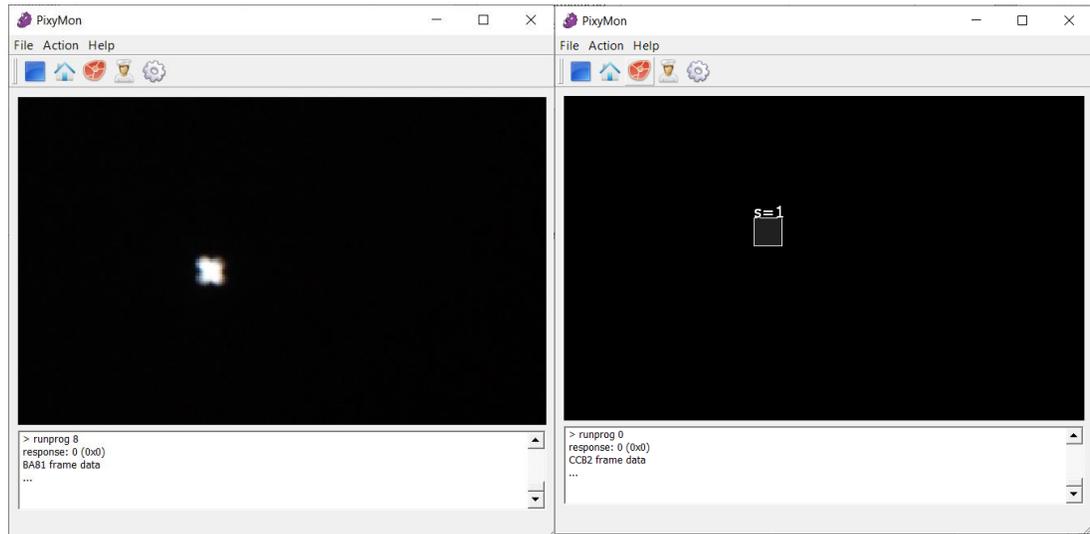
Fonte: Autoria própria

Sobre a câmera, ela vem com um filtro comum, e uma lente M12 com uma abertura de 60 graus, que consegue fazer, a varredura de cores no espectro visível aos olhos humanos. Com o filtro especial de 950nm que foi trocado, é possível filtrar somente luz IR e descartar qualquer outra cor ou emissor de luz. A lente com uma angulação maior de até 65 graus, capaz de aumentar o ângulo de identificação dos LEDs na base.

O programa para configuração da câmera *Pixy* se chama *PixyMon*. Nesse que se pode configurar a luminosidade para evitar falsas identificações por reflexo da luz solar ou outros emissores próximos do espectro infravermelho. Assim como a luminosidade, configura-se a intensidade de cor e formato do objeto a identificar.

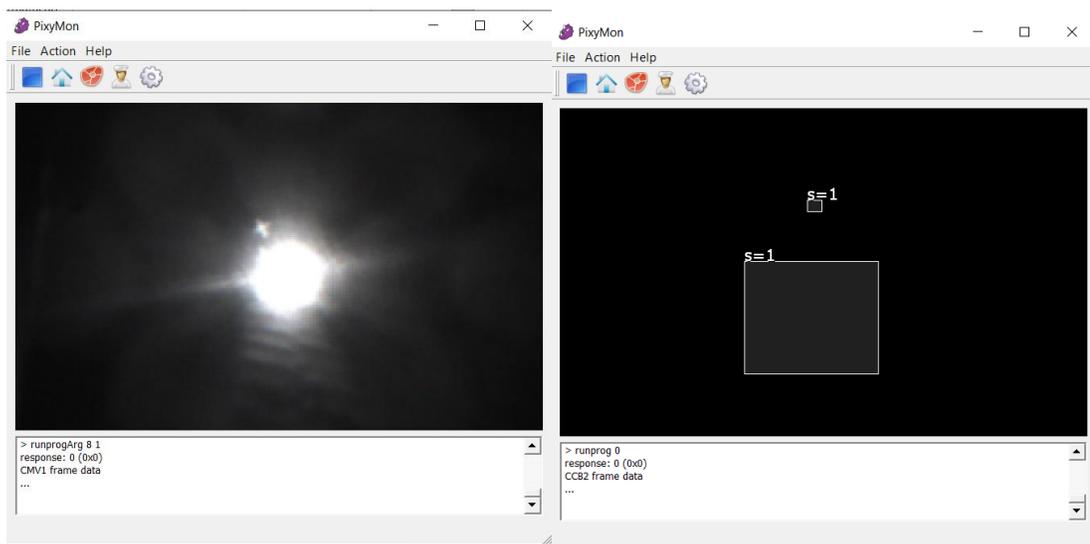
Nas figuras 31 e 32, temos um exemplo de o quanto a luminosidade afeta a identificação, causando falsos positivos de padrão.

Figura 31 -Luminosidade 7, identificação do objeto e imagem



Fonte: Autoria própria

Figura 32 – Mesmo objeto, luminosidade 20, identificação de objeto e imagem

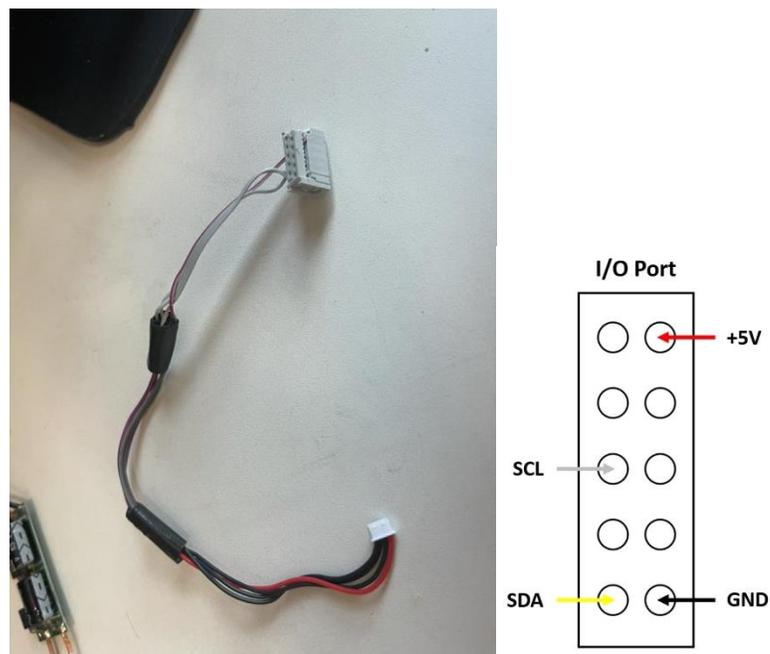


Fonte: Autoria própria

3.4.2. Ligação Ao VANT e Configuração no *Mission Planner*

Para ligação no VANT, usa-se o conector *I/O* do *Pixy*, que nele estão presentes os pinos de ligação 5V e GND(*GROUND*), e dois pinos de transferência, uma de *Clock* e uma de transmissão, como mostra a figura 33. Os outros pinos, que são para configuração, não se fazem necessárias, uma vez que a configuração do padrão e de luminosidade foram feitas antes de ligar ao VANT pelo programa *PixyMon*.

Figura 33 - Conector *Pixy* para *PixHawk*



Fonte: Autoria própria

Na configuração dentro do *Mission Planner*, se fez necessário alterar alguns parâmetros para o pouso autônomo, como mostra a figura 40. Esses parâmetros fazem com que o comando “pouso” do controlador, acionado durante a missão ou pelo sistema via telemetria, seja guiado pela entrada 1C2, o qual estará conectado a câmera *Pixy*, que o guiará até os LEDs. O parâmetro

principal é o *PLND_TYPE* que define qual tipo de sensor será utilizado, no nosso caso, sensor de imagem.

Figura 34 - Parâmetros Mission Planner



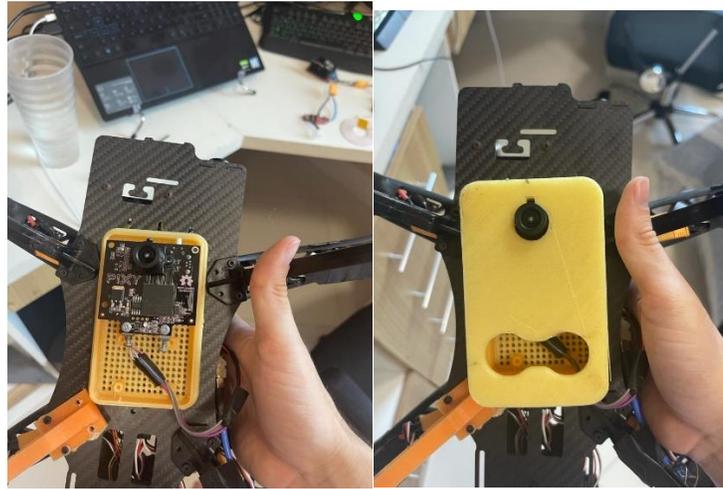
Parameter	Value	Unit	Description
PLND_ACC_P_NSE	2.5		0.55
PLND_BUS	0		-1:DefaultBus 0:InternalI2C 1:ExternalI2C
PLND_CAM_POS_X	0	m	
PLND_CAM_POS_Y	0	m	
PLND_CAM_POS_Z	0	m	
PLND_ENABLED	1		0:Disabled 1:Enabled Always Land 2:Enabled Strict
PLND_EST_TYPE	0		0:RawSensor 1:KalmanFilter
PLND_LAND_OFS_X	0	Centimeters	-20 20
PLND_LAND_OFS_Y	0	Centimeters	-20 20
PLND_TYPE	2		0:None 1:CompanionComputer 2:IRLock 3:SITL_Gazebo 4:SITL
PLND_YAW_ALIGN	0	Centi-degrees	0 360

Fonte: Autoria própria

3.4.3. Montagem Pixy no VANT

A montagem da câmera *Pixy* foi na parte inferior do VANT, centralizado como demonstrada na figura 35. A capa protetora que dá suporte e fixa a câmera foi desenvolvido por [swtchrwr](https://www.swtchrwr.com) e baixada pelo site thingiverse.com, site esse que possui vários arquivos para impressão 3D. Nessa capa, tem abertura para passagem dos cabos de conexão entre a *pixycam* e placa controladora, no caso do projeto, controlador de voo.

Figura 35 - Montagem da câmera pixy no VANT



Fonte: Autoria própria

3.5. Carregamento Autônomo

No carregamento autônomo, foi projetado o uso de um carregador indutivo, para que dessa forma, não houvesse dificuldade com encaixe. O carregador indutivo para as baterias do VANT consiste em um transmissor e um receptor indutivo (duas bobinas), que por sua vez em ressonância magnética, transferem a corrente usando princípios de eletromagnetismo. O transmissor transforma uma corrente da rede elétrica, em pulsos eletromagnéticos, que por sua vez a bobina receptora transfere a energia para um *step-up* e um BMS para carregar a bateria.

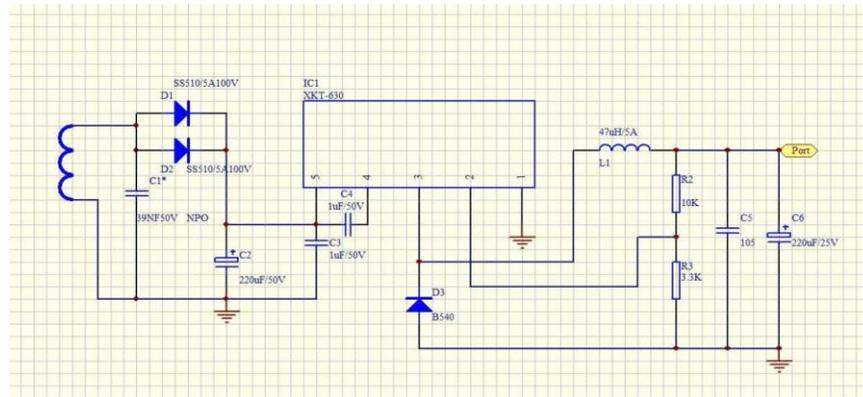
3.5.1. Carregador Indutivo no VANT

Assim sendo, o receptor indutivo fica no VANT, acoplado no inferior, para quando pousar no local correto, as duas bobinas fiquem ligeiramente alinhadas, para começar a transferência

de energia entre receptor e transmissor. O Chip de recepção de potência wireless é o KXT-630, como mostra na figura 36.

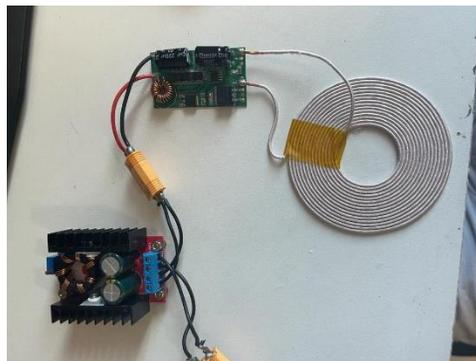
O potencial elétrico transmitido do transmissor ao receptor é 12V, porém a tensão da bateria varia entre 10.9V(descarregada) até 12.6V(totalmente carregada), portanto o carregador necessita de um elevador de tensão para poder carregar a bateria totalmente. Dessa forma, usa-se um *step-up* com limitação até 5A, uma vez que a corrente poderia facilmente ultrapassar os 2A usuais de *step-up* comuns. O receptor indutivo é apresentado na figura 37, junto com o *step-up*

Figura 36 - Esquema elétrico receptor



Fonte: (CENTURY, 2017)

Figura 37 - Receptor Indutivo e Step-Up



Fonte: Autoria própria

3.5.2. BMS(Sistemas de Gerenciamento de Bateria)

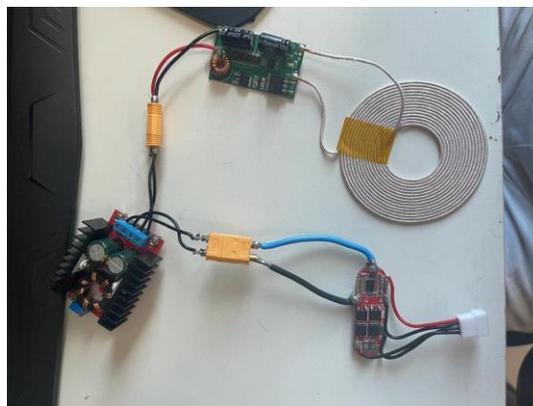
Uma vez que as baterias Li-Po usadas para VANT possuem dois bornes, um conectando todas as células (positivo e negativo), e outro porta sendo a de balanceamento, de forma que a entrada principal está conectada a carga durante todo tempo, optou-se por realizar o carregamento pela entrada de balanceamento via BMS.

O BMS, o qual aparece na figura 38, é um carregador para bateria que tem mais de uma célula, usado também para baterias Li-Po. Esse BMS não deixa cada célula individualmente ultrapassar a carga de sua capacidade máxima. Um ponto importante, é carregar igualmente todas as células, ao mesmo tempo, o qual o BMS consegue realizar com o sistema de impulsos elétricos iguais e uniformes para as células.

O funcionamento do BMS é simples: ele mede a tensão de cada célula, e dá pulsos de energia individuais para cada célula, em períodos iguais, e se uma célula apresentar menor tensão do que as outras, o período de carregamento é maior para igualar com as outras células.

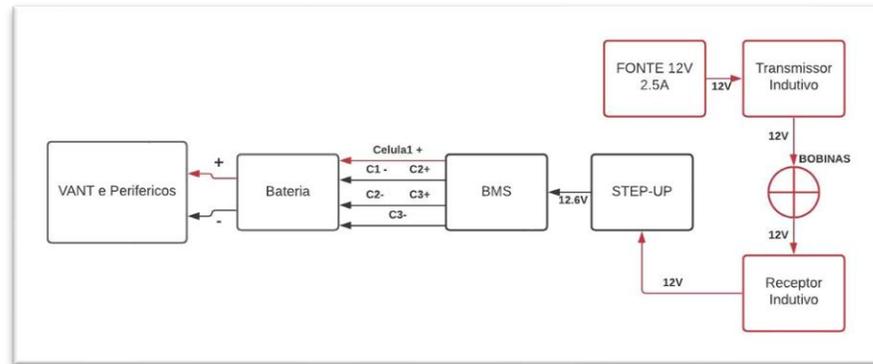
A escolha do modelo da BMS foi definida pelo peso e em seus parâmetros mínimos para carregamento das baterias, como corrente máxima de carregamento e tensão de carregamento. A estrutura elétrica do sistema é representada na figura 39.

Figura 38 - BMS, Receptor indutivo e Step-Up



Fonte: Autoria própria

Figura 39 - Conexões do carregamento desde fonte até bateria

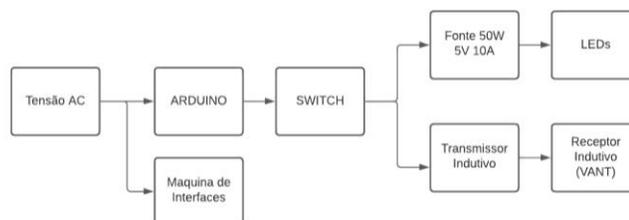


Fonte: Autoria própria

3.6. Base de Pouso e Decolagem

Esse tópico aborda sobre o local onde o VANT realiza todas as suas tarefas referentes a carregamento, verificação de bateria, manutenção, pouso e decolagem. Os equipamentos da base consistem no: transmissor do carregador indutivo de bateria, nos LEDs e fonte, e nos equipamentos de recepção de dados para controle do Arduino da base. A ligação elétrica da base e suas conexões são apresentadas na figura 40.

Figura 40 - Conexão Elétrica AC da base



Fonte: Autoria própria

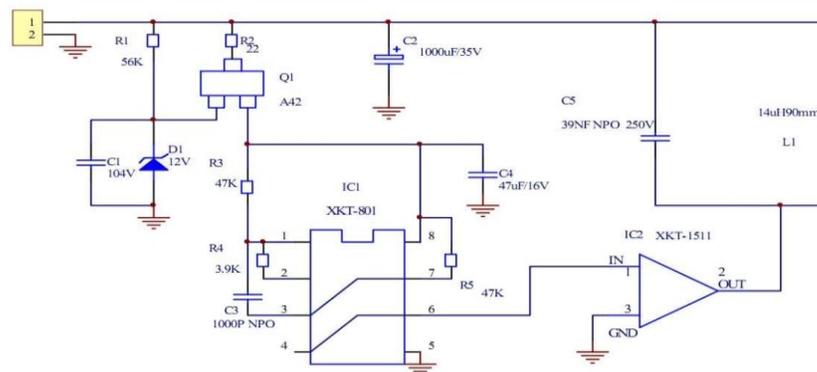
3.6.1. Carregador Indutivo da Bateria na base

O carregador indutivo na base, é conectado à rede elétrica AC, que por sua vez, usando um circuito com chip XKT-801. Esse que é feito para suprir carregamento indutivo a distância (um a vinte milímetros), com a ligação recomendada pelo seu *datasheet* (figura 41).

Quanto maior o diâmetro da bobina, maior a área de alcance para carregamento, em compensação, mais corrente, será necessária para transferir a mesma quantidade energia. Dessa forma, priorizou-se a usar uma bobina de 8cm de diâmetro, para o carregamento ficar mais centralizado em uma área menor com intenção de aumentar a velocidade de carregamento.

O transmissor, mostrado na figura 42, é ligado a uma fonte de 12V e 2.5A, essas que são as especificações máxima para os componentes presentes no datasheet, transfere 12V com pequenas diferenças de tensão, entre 11.9V e 12.1V para o receptor.

Figura 41 - Circuito Elétrico do Transmissor Indutivo



Fonte: (CENTURY, 2017)

Figura 42 - Transmissor Indutivo

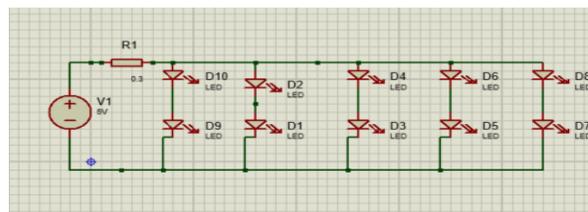


Fonte: Autoria própria

3.6.2. Circuito de LEDs

Para a varredura da câmera, foi usado LEDs infravermelho, como citado anteriormente. Os LEDs usados, foram os de alta potência de 2W, ligados através apenas de resistores, somente regulando a queda de tensão para cada LED e limitando a corrente nos LEDs, como mostra a figura 43. A ligação dos LEDs foi em 5 pares em serie, todos em paralelos. A fonte tem parâmetros de 50W, sendo 5V e 10A nominal.

Figura 43 - Ligação dos LEDs



Fonte: Autoria própria

Pelos LEDs poderem consumir até 50W, e apresentarem um aumento considerável da temperatura dos componentes, como resistor e LEDs, foi instalado um dissipador de calor, como mostra figura 44, para ajudar na temperatura e evitar queimas. Assim como também, o programa para desligar e ligar na aproximação do VANT ajudou no controle de temperatura.

Figura 44 - LEDs de alta potência, Fonte e dissipadores de calor



Fonte: Autoria própria

3.6.2.1. Programa de Acionamento ON-OFF dos LEDs

Como supracitado, foi criado um programa para o chaveamento dos LEDs e carregador da base, mas para isso era necessário informações em tempo real do VANT. Então, desejando trabalhar com os dados da telemetria, e sabendo que os dados em tempo real são criptografados, a única forma de trabalhar com esses dados, é usando um acesso local da máquina. Esses dados que ficam em um buffer antes de aparecer no IHM do programa.

A comunicação entre o Arduino e o computador é feito via USB, usando o drive de comunicação entre *MatLab* e Arduino. Para chavar a energia da base, foi usado um modulo rele comum de Arduino.

3.6.2.2. Leitura dos Parâmetros Criptografados do *Mission Planner*

Como dito anteriormente, o *Mission Planner* recebe e envia dados de forma criptografada pela telemetria, e dessa forma, o usuário não tem acesso a ele de forma que consiga trabalhar em programação de outro controlador externo. Todavia, o *Mission Planner* ler os dados registrados em um IP local do computador, pelo protocolo HTML (como mostra a figura 46), ler o código criptografado e mostra no IHM. Sendo assim, tendo o acesso a esse IP local, usando *MatLab* conseguiu-se retirar informações necessárias, como o programa da figura 45 mostra, sendo possível usar no controle de LEDs.

Figura 45 - Código em MatLab para Aquisição de Longitude e Latitude

```

1 - clear all
2 - close all
3 - ur = 'http://127.0.0.1:56781/mavlink/' %onde vai adquirir as informações
4 - i = 1;
5 - while(i ==1)
6 -     buffer = urlread(ur); %ler o codigo fonte da url
7 -     alt = str2double(regexpi(buffer, '(?<="alt":\s*)\d*', 'match')); %identifica parametros com alt
8 -     lon1 = str2double(regexpi(buffer, '(?<="lon":-\s*)\d*', 'match')); %identifica parametros com lon
9 -     lati = str2double(regexpi(buffer, '(?<="lat":-\s*)\d*', 'match')); %identifica parametros com lat
10 -     % alt = alt(2); %separa so a altitude do gps
11 -     alt = alt; %formata o parametro
12 -     lon = lon1*(-1)/10; %formata longitude
13 -     lat = lati*(-1)/10; %formata latitude
14 -     lon2 = lon; %formata longitude
15 -     lat2 = lat; %formata latitude
16 -     while(alt > 4) %indica que o drone ja está voando
17 -         buffer = urlread(ur); %ler o codigo fonte da url
18 -         lon = str2double(regexpi(buffer, '(?<="lon":-\s*)\d*', 'match')); %identifica parametros com lon
19 -         lat = str2double(regexpi(buffer, '(?<="lat":-\s*)\d*', 'match')); %identifica parametros com lat
20 -         alt = str2double(regexpi(buffer, '(?<="alt":\s*)\d*', 'match')); %identifica parametros com alt
21 -         lon1 = lon*(-1)/10; %formata longitude
22 -         lat1 = lat*(-1)/10; %formata latitude
23 -         % alt = alt(2); %separa so a altitude do gps
24 -         alt = alt; %formata o parametro
25 -         dist = deg2km(distance(lat1, lon1, lat2, lon2))%calcula d distancia entre duas coordenadas
26 -         lon2 = lon1; %formata longitude
27 -         lat2 = lat1; %formata latitude
28 -         pause(5)
29 -     end
30 - end
31 - lon2 = lon1
32 - lat2 = lat1
33 - dist = deg2km(distance(lat1, lon1, lat2, lon2))%calcula d distancia entre duas coordenadas
34 - sprintf('%f km', dist)

```

Fonte: Autoria própria

Com a distância adquirida no programa, a partir das coordenadas, consegue-se ligar os LEDs, de forma que não gaste potência excessiva, uma vez que cada LED consome 2W.

Figura 46 - Latitude, longitude e altura no HTML local

```

127.0.0.1:56781/mavlink/
{"VFR_HUD":{"msg":{"airspeed":0.0,"groundspeed":0.011851822,"alt":0.68,"climb":0.8226541887,"heading":128,"throttle":0},"index":1,"time_usec":0},"STATUSTEXT":{"msg":{"severity":12,"text":"UH10X010IBSYWpby6Wwisc2f=25bvbGAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA","id":0,"chunk_sel":0},"index":1,"time_usec":0},"SYS_STATUS":{"msg":{"master_in":828,"mav_loss":0,"mavpacketype":"META_LINKQUALITY","master_out":298,"packet_loss":4.0},"index":2,"time_usec":0},"ATTITUDE":{"msg":{"time_boot_ms":80252,"roll":-0.0154286381,"pitch":-0.00699732431,"yaw":2.245613,"rollspeed":0.000575509737,"pitchspeed":8.470795E-05,"yawspeed":0.0004543631},"index":1,"time_usec":0},"GPS_RAW_INT":{"msg":{"time_usec":0,"lat":-85756006,"lon":-501147498,"alt":474780,"eph":9999,"epv":9999,"vel":0,"cog":0,"fix_type":1,"satellites_visible":0,"alt_ellipsoid":0,"h_acc":0,"v_acc":0,"vel_acc":0,"hdg_acc":0,"yaw":0},"index":1,"time_usec":0},"HEARTBEAT":{"msg":{"custom_mode":0,"type":2,"autopilot":3,"base_mode":81,"system_status":5,"mavlink_version":3},"index":1,"time_usec":0},"NAV_CONTROLLER_OUTPUT":{"msg":{"nav_roll":1.3249914E-05,"nav_pitch":-0.0004081813,"alt_error":-1.3027,"aspd_error":0.0,"track_error":0.0,"nav_bearing":128,"target_bearing":0,"wp_dist":0},"index":1,"time_usec":0},"META_LINKQUALITY":{"msg":{"master_in":828,"mav_loss":0,"mavpacketype":"META_LINKQUALITY","master_out":298,"packet_loss":4.0},"index":2,"time_usec":0}}

```

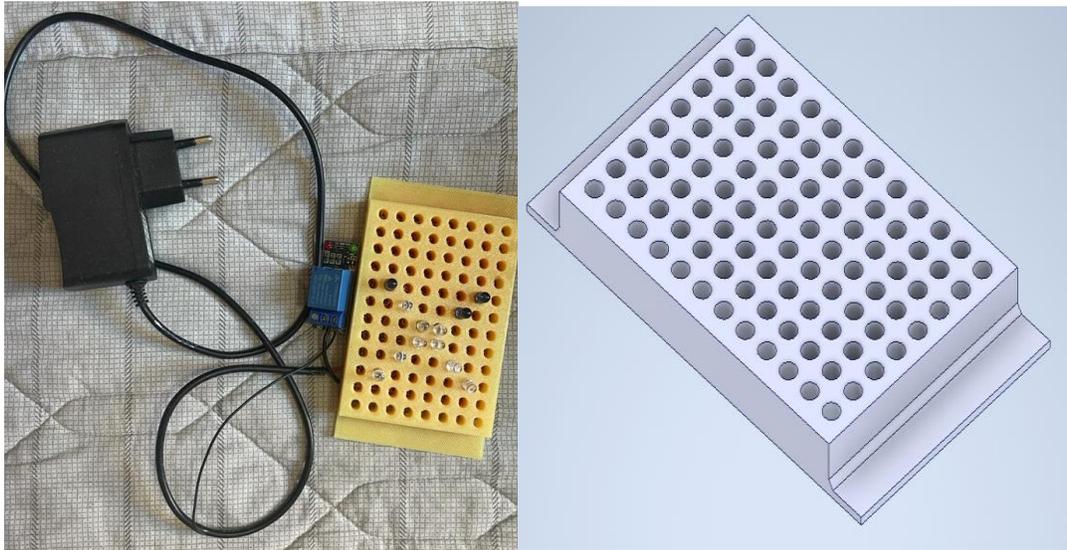
3.6.2.3. Versões de Teste

Durante o desenvolvimento do projeto, foi idealizado duas formas diferentes de fazer a base de LEDs, antes da versão final com LEDs de alta potência com ligação resistiva.

A primeira delas foi o uso de LEDs Infra Vermelhos comuns de baixa potência, como mostra a figura 47, os quais apresentaram um alcance muito pequeno para a necessidade do projeto. Aumentando o nível da luminosidade da câmera, causava várias falsas identificações com reflexo dos LEDs em materiais reflexivos e luz solar, impossibilitando o uso dos LEDs comuns.

A luminosidade fica em uma escala de um a vinte, sendo o nível ideal compreendido entre oito e doze. Porém, com os LEDs comuns, começando a luminosidade em doze, a distância que a câmera identificou os LEDs foi seis metros, e com nível em vinte foi de 40m, com a presença enormes interferências.

Figura 47 - LEDs IR comuns e Rele de controle e seu desenho em Inventor



Fonte: Autoria própria

Outra opção era o LM350, que é um transistor que tem principal função diminuir a tensão de saída, dessa forma, a tensão iria diminuir para a faixa aceitável pelos LEDs e não teria que usar resistor de alta potência. O problema que essa estratégia causou correntes muito alta em cima do LM350, e por consequência uma temperatura altíssima que acabava queimando os LM350s.

3.7. Impressora 3D usada no projeto

Em acréscimo ao projeto, ressalta-se um projeto de PAIC desenvolvido anteriormente, no qual foi montada uma impressora 3D, do modelo ANET A8, como mostra a figura 48, e foi feita várias modificações na mesma para melhorar desempenho, qualidade e eficiência da mesma. Assim, e essa impressora 3D, foi útil na hora de imprimir as peças de urgência, desde organização, assim como também para rápidos reparo na estrutura física do VANT.

Figura 48 - Impressora 3D ANET A8 e posicionamento de filamento

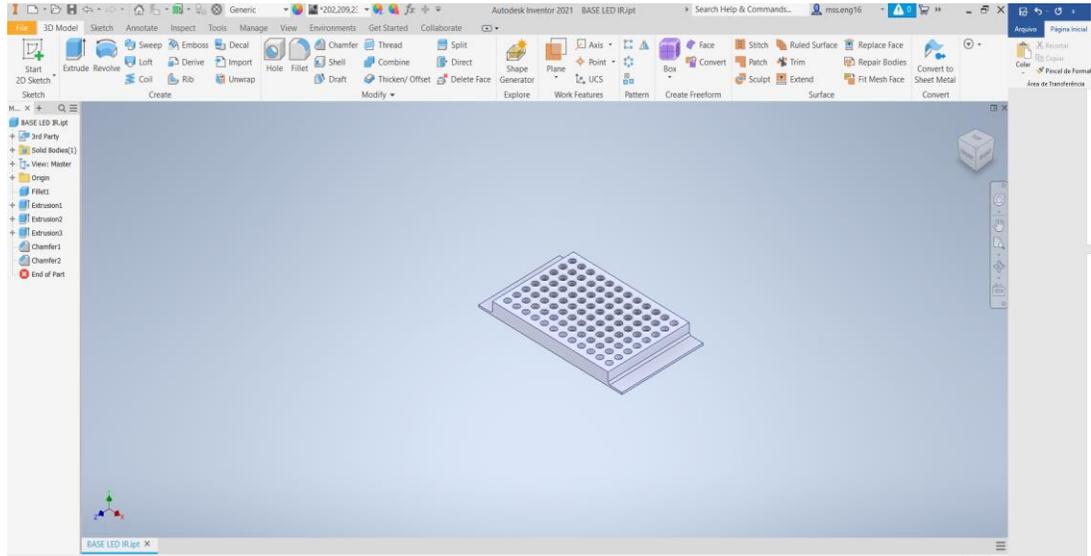


Fonte: Autoria própria

3.7.1. *AutoDesk Inventor*

Todos os desenhos projetados e impressos no trabalho, foram realizados no *AutoDesk Inventor*, interface mostrada na figura 49. *Autodesk Inventor* é um programa desenvolvido pela companhia de software Autodesk que permite criar protótipos virtuais tridimensionais. Dessa forma, sabendo o tamanho da peça que necessitamos, o formato, conseguimos desenhá-las. E dessa forma, conseguiu-se formatar para o arquivo que a impressora 3D lê e imprimir as peças.

Figura 49 - Interface exemplo do AutoDesk Inventor



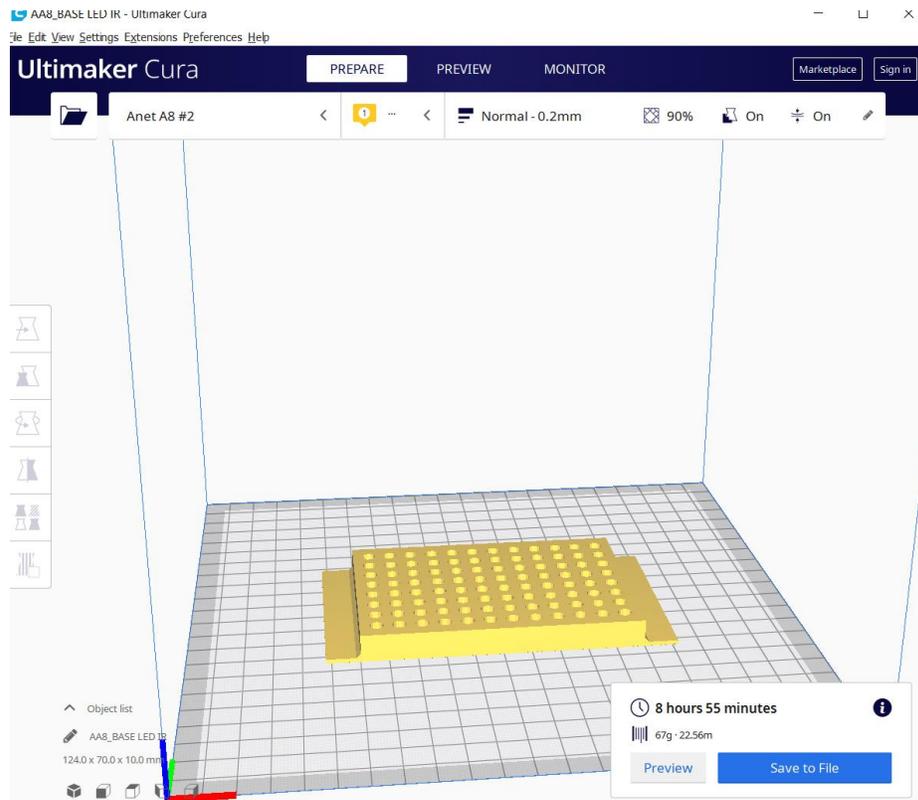
Fonte: Autoria própria

3.7.2. *Ultimaker Cura*

Ultimaker Cura é um programa grátis que permite que arquivos STL exportáveis do Inventor ou qualquer outro software, sejam dimensionados e preparados para que possam ser imprimidos na impressora 3D especificada nas configurações, como mostra a figura 50.

Nesse programa, é capaz de diminuir paredes entre furos, diminuir porcentagem de preenchimento para usar menos filamento, velocidade de impressão, entre outros. O que mais se muda é o tamanho de camada de impressão, para aumentar a resistência da impressão final, e a porcentagem de preenchimento, que depois do PAIC, já possuía a tabela de resistência x porcentagem de preenchimento, usada no projeto atual.

Figura 50 - Exemplo da interface do Ultimaker Cura



Fonte: Autoria própria

4. Resultados Finais e Discursão

4.1. Chaveamento do VANT

O desligamento e ligamento do VANT dependeu exclusivamente do *switch* acionado pelo servo motor, apesar de um circuito considerado rustico, no mercado não existe uma possibilidade melhor, uma vez que o VANT depende demais de sua autonomia. E uma vez que transistores e relés que conseguem fazer esse acionamento por comandos eletrônicos, faz com que a queda de tensão seja excessiva, causando perda de autonomia.

Portanto, o sistema de chaveamento teve resultados funcionais, uma vez que controlado pelo Arduino, foi capaz de desligar o VANT isolando o mesmo de entregar qualquer carga no momento do carregamento de sua bateria, caso contrário haveria diminuição de vida útil da bateria como também acelera o carregamento. O programa completo é mostrado na figura 51.

Figura 51 - Programa de acionamento do servo motor

```
// (rotina 1)
value = analogRead(voltageSensor);
vOUT = (value * 5.0) / 1024.0;
vIN = vOUT / (R2 / (R1 + R2)); //PROGRAMANDO O SENSOR DE TENSÃO
Serial.print("Input = ");
Serial.println(vIN); //SAIDA PRO SENSOR DE TENSÃO A SER COMPARADO DEPOIS DE 15S PARA SABER SE TEVE CARGA
if (vIN > 12.45)
  carregado = 1;
else
  carregado = 0;
delay(15000);
value2 = analogRead(voltageSensor);
vOUT2 = (value2 * 5.0) / 1024.0;
vIN2 = vOUT2 / (R2 / (R1 + R2)); //SAIDA DEPOIS DE 15S
if (vIN2 >= vIN) {
  Serial.print("Input = ");
  Serial.println(vIN2);}
carregando = 0;
else
  carregando = 1;
if(vIN +0.1 < vIN2){ //desliga o drone( rotina2)
for (angulo = 130; angulo >= 62; angulo -= 1){ //OFF Comando que muda a posição do servo de 180 para 0°
meuservo.write(angulo); // Comando para angulo especifico
delay(5);
}
}
```

```

while (carregando == 0) {
  //(rotina 1)

  value = analogRead(voltageSensor);
  vOUT = (value * 5.0) / 1024.0;
  vIN = vOUT / (R2 / (R1 + R2)); //CONTINUA TESTANDO A TENSÃO DA BATERIA
  //Serial.print("Input = ");
  //Serial.println(vIN);
  delay(8000);
  value2 = analogRead(voltageSensor);
  vOUT2 = (value2 * 5.0) / 1024.0;
  vIN2 = vOUT2 / (R2 / (R1 + R2));
  //(rotina 3)
  if (vIN2 >= vIN) {
    Serial.print("Input = ");
    Serial.println(vIN2);
    Serial.println("carregando");
    Serial.println(carregando);
  }
  if (vIN2 < 11.84)
    carregando = 0; //VAI PERMANECER NO ESTADO DE CARREGANDO ENQUANTO HOUVER CARGA ENTRANDO
  if (vIN2 >= 11.84)
    carregando = 1;
  }
  // else
  // carregando = 1;

  //adicionar confirmação!!!! c>1 : )
}
//while(1){
Serial.println("carregado!!!!"); //SO DESLIGA O VANT SE NAO TIVER MAIS CARREGANDO E SE A TENSÃO TIVER MAIOR DO QUE A DESEJADA
if(carregando ==1 && vIN2 >= 11.84)
for (angulo = 62; angulo < 130; angulo += 1){ //liga ON
meuservo.write(angulo);
delay(15);
}
}

```

Fonte: Autoria Própria

A tensão perdida durante o carregamento, foi similar ao esperado, quase nula. Não foi nula, pois o Arduino consome parte da corrente do carregador de entrada, para realizar o controle do servo motor e monitoramento da tensão. A ligação do Arduino não foi feita pelo potencial da bateria, para não ter carga durante o carregamento.

4.1.1. Durante Carga

Em relação a queda de tensão durante carga, pode-se dizer que foi ínfima utilizando *switch*, comparada a sem usar o mesmo. Nada comparada com a queda de tensão usando relé e transistores. O parâmetro de comparação foi feito a partir dos dados adquiridos com o motor em metade de aceleração e total aceleração, usando o *switch* e sem usar o *switch*. Foi feito a avaliação por 2 minutos, com a carga máxima da bateria, comparando todas as células em um intervalo de 15s, sem as hélices para evitar qualquer acidente, como mostra a figura 52.

Dessa forma, resultou-se na tabela 1, que compara os valores de célula a célula e o total, com e sem o *switch*. Pode-se observar que apesar dos valores apresentarem uma queda muito pequena com o *switch*, de aproximadamente 0.02V em diferença sem o *switch*.

Tabela 1 - Valores de queda de tensão com e sem switch

	Tensão antes de carga(V)	Tensão Pós Carga(V)
Sem <i>Switch</i> , 10% do <i>throttle</i>	11,50	11,49
Com <i>Switch</i> , 10% do <i>throttle</i>	11,55	11,53
Sem <i>Switch</i> , 50% do <i>Throttle</i>	11,51	11,47
Com <i>Switch</i> , 50% do <i>Throttle</i>	11,54	11,48
Sem <i>Switch</i> , 100% do <i>Throttle</i>	11,52	11,46
Com <i>Switch</i> , 100% do <i>Throttle</i>	11,53	11,45

Fonte: Autoria Própria

Figura 52 - Teste com o throttle em 50%



Fonte: Autoria Própria

4.1.2. Eficiência do Software

Em relação a eficiência do programa feito, pode-se citar que demonstrou resultados promissores, uma vez que ele foi capaz de desligar o VANT quando recebesse carga do carregador. Assim como verificou corretamente a tensão a cada 5 segundos e só voltava a ligar o VANT quando a carga chegava em um valor mínimo pré-definido de 11.85V e não tivesse acréscimo em um intervalo de tempo curto, como mostra a figura 53.

Figura 53 - Serial display do Arduino mostrando carga entrando na bateria

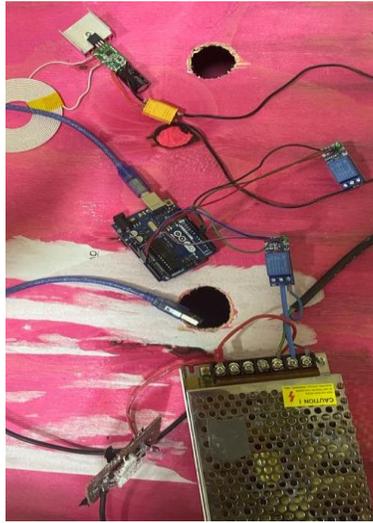
```
Input = 11.81
carregando
0
Input = 11.81
carregando
0
Input = 11.83
carregando
0
Input = 11.81
carregando
0
Input = 11.81
carregando
0
Input = 11.83
carregando
0
Input = 11.86
carregando
0
carregado!!!
```

Fonte: Autoria Própria

4.2. Pouso Autônomo

O sistema de pouso referenciado nesse tópico, abrange desde a ligação dos LEDs na aproximação do VANT, assim como a identificação e eficiência de identificação dos LEDs pela *PixyCam*. Essa aproximação que ajudou o cálculo da energia gasta e sua eficiência nos LEDs e carregador ao aplicar o acionamento inteligente nos mesmos. O sistema é desligado pelo Arduino, a partir de módulos relés, que estariam conectados na entrada de energia AC, como mostra a figura 54 e figura 55.

Figura 54 - Sistema de rele e Arduino para desligamento de fonte dos LEDs e carregador



Fonte: Autoria Própria

Figura 55 - Externo da base, com a bobina transmissora e LEDs

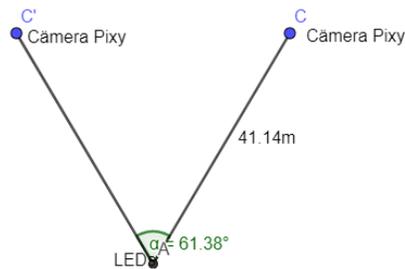


Fonte: Autoria Própria

4.2.1. Ângulo de identificação e distancia de identificação

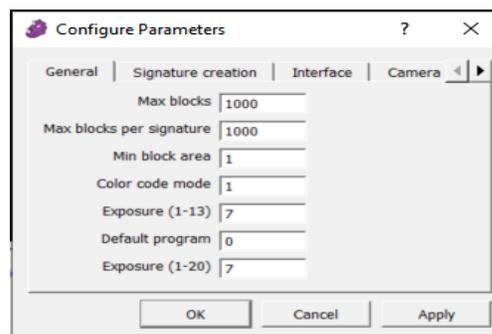
Uma vez que o LEDs de baixa potência referenciado nos métodos, apresentaram identificação dos LEDs somente até 6m, foi feito o mesmo teste com o mesmo nível de exposição com os LEDs de alta potência. Esse que não identificou nenhuma interferência de reflexo de luz, ou luz solar, o que é o cenário ideal para o projeto, uma vez que o projeto visava a utilização do VANT durante o dia e durante a noite. Essa identificação que apresentou uma angulação de abertura de 61.38 graus, 41.14 metros sendo a distância máxima, como mostra a figura 56, nas configurações expostas na figura 57.

Figura 56 -Distância máxima entre LEDs e câmera pixy



Fonte: Autoria Própria

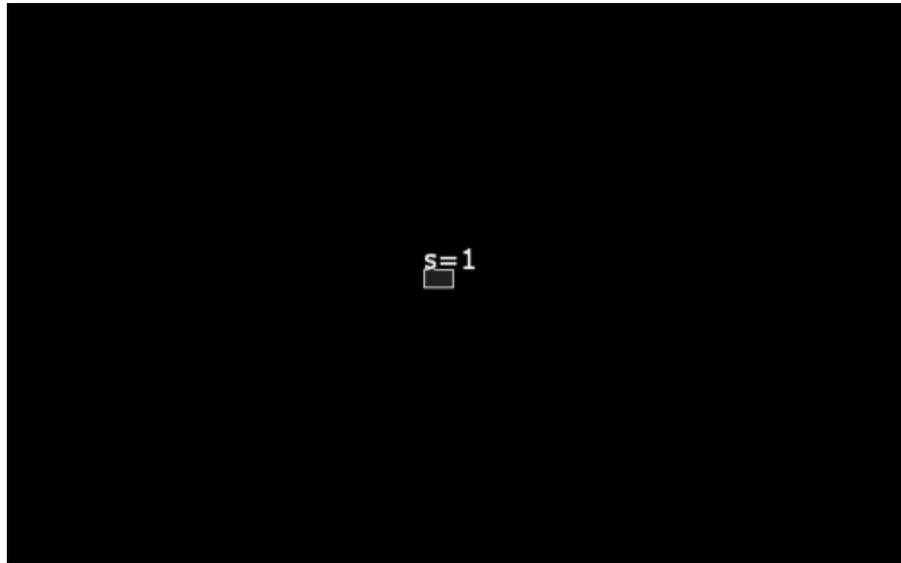
Figura 57 - Exposição configurada no PixyMon



Fonte: Autoria Própria

Na distância máxima, os LEDs que são identificados pelo sensor, na imagem aparecem como um borrão distante, como mostra as figuras 58 e 59.

Figura 58 - Identificação de Objeto pelo pixyMon



Fonte: Autoria Própria

Figura 59 - Imagem mostrando o borrão que a lente capta



Fonte: Autoria Própria

Por sua vez, a imagem do formato dos LEDs é captada ao se aproximar. A 1 metro de distância, aparece levemente o padrão construído. A 50 centímetros, o padrão fica mais visível, de forma a mostrar o padrão com pontos concentrados no meio, e uma forma elíptica nas laterais, com o objetivo que com a distância, o objeto formasse um borrão circular para ser identificado pelo sensor, como mostra figura 60 e 61.

Figura 60 - Imagem dos LEDs a 1 metro



Fonte: Autoria Própria

Figura 61 - Imagem captada pela lente a 50 centímetros dos LEDs



Fonte: Autoria Própria

4.2.2. Distância entre LEDs e Pouso

A partir dos resultados do alcance de identificação, pode-se então programar a distância na qual o LED iria ligar para o VANT identificar o mesmo. Dessa forma, foi programado em 20 m, para que o mesmo tivesse uma margem de erro ao programa de captura de dados. Foi verificado nos testes que o VANT pousa de forma funcional na base.

A distância media em 5 pousos em horário próximos, local e dia iguais, para que o teste apresentasse a variância de erro somente referente aos eletrônicos, ficou de acordo com a tabela 2. Os testes foram realizados no mesmo dia para que fatores externos, como vento, condição climática e outros não influenciassem o resultado final.

Tabela 2 – Tabela de Distância dos LEDs a câmera Pixy

Tentativa	Distância LED x VANT (cm)
1	3
2	2
3	5
4	3
5	2

Fonte: Autoria Própria

4.3. Carregador Autônomo

Nesse tópico, será abordado principalmente a eficiência do carregador indutivo, comparado com o carregador comum. Uma vez que o carregador comum, tem a necessidade de

desligar a bateria de toda a carga, já que usa ambos os bornes da bateria durante o carregamento (como mostra a figura 51), então a eficiência comparada foi da bateria sem carga. Assim como também foi feito o teste de carregamento indutivo com toda a carga na bateria, desligada apenas pelo *switch*.

4.3.1. Carregamento Fora do VANT

O carregamento fora do VANT, apresentou resultados esperados, esses resultados que seria o carregador convencional de baterias Li-Po apresentar maior velocidade de carregamento, como mostra a tabela 3 e a figura 62, assim como uma tensão máxima maior, por ser mais robusto e ter uma capacidade de corrente muito maior, podendo chegar até 6 A. Uma ressalva é que foi usada uma bateria de 2.200mAh, para fins de representação de eficiência, uma vez que sua descarga e carga é mais rápida, e a corrente limitada a 1c da bateria, ou seja, 2.2A, como mostra o carregamento da figura 63.

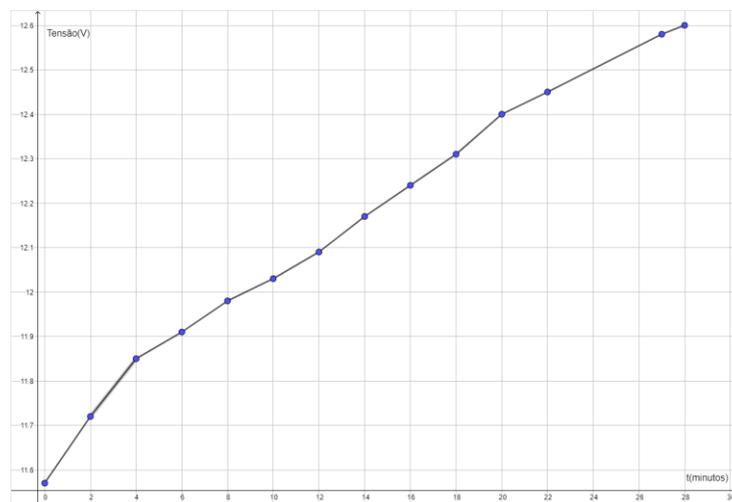
Tabela 3 - Tempo de carregamento com carregador comum

Carga(V)	Tempo(minutos)
11.57	0
11.72	2
11.85	4
11.91	6
11.97	8
12.03	10
12.09	12

12.17	14
12.24	16
12.31	18
12.4	20
12.58	25
12.6	28

Fonte: Autoria Própria

Figura 62 - Gráfico de carregamento, tensão sobre tempo



Fonte: Autoria Própria

Figura 63 - Carregador usual a uma taxa de 2.2A

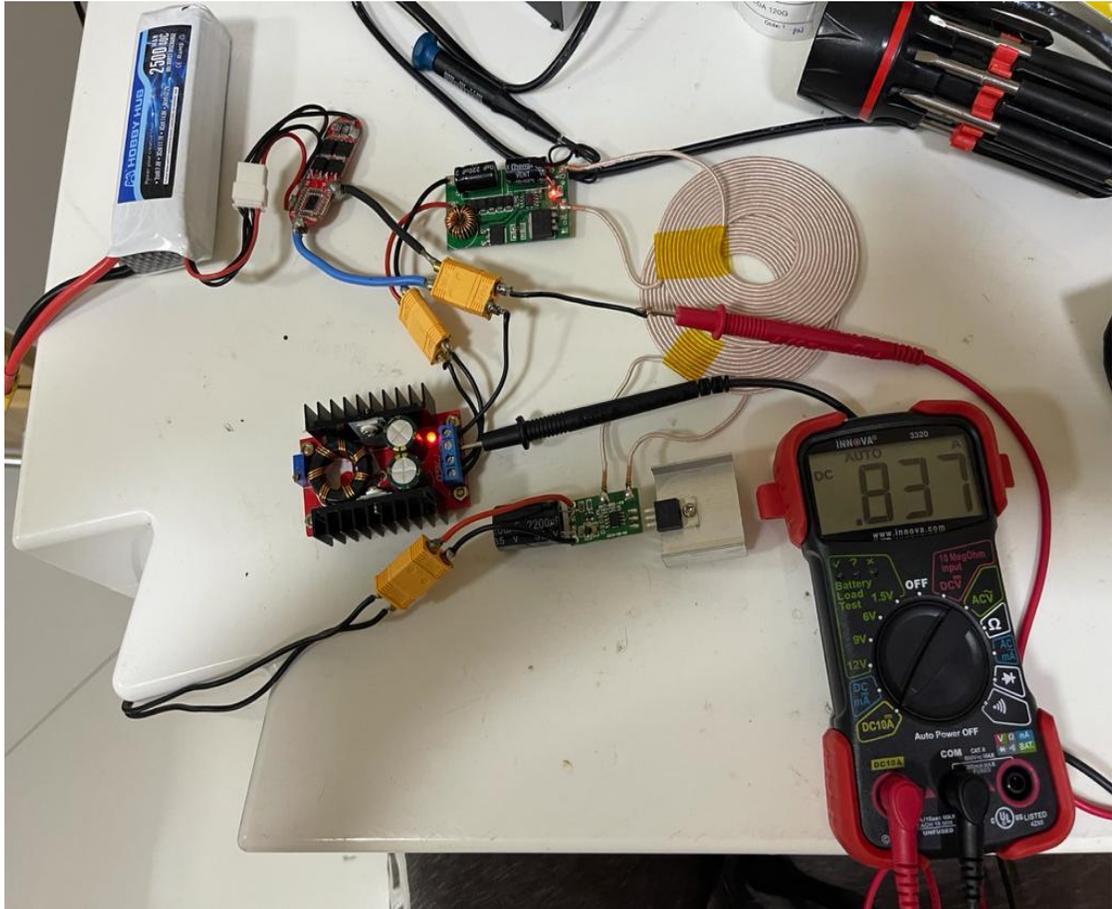


Fonte: Autoria Própria

Já o carregador indutivo, a partir com uma corrente máxima de entrada de 2.5A, reduziu a corrente para 0.837A (figura 64). Isso seria quase 33% da carga máxima que a bateria suporta, portanto 67% a menos que a bateria aguentaria. Isso que apesar de não a prejudicar vida útil, poderia ser melhor aproveitado com uma corrente maior de carregamento, diminuindo tempo para carga total.

Portanto, o tempo para carregamento total foi maior em comparação com carregador comum, e a tensão máxima que o carregador indutivo conseguiu alcançar ao final do carregamento foi de 14% menor, uma vez que a corrente do carregador indutivo é menor que a do carregador comum como mostra a figura 65 e tabela 4.

Figura 64 - Corrente do Carregamento da bateria por indução



Fonte: Autoria Própria

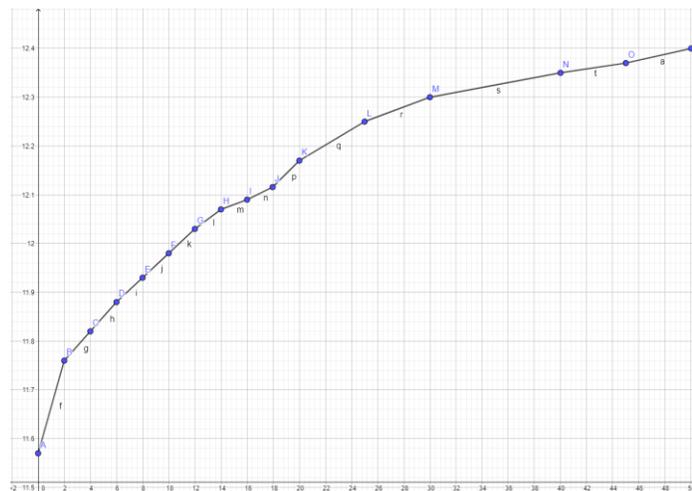
Tabela 4 - Carregamento pelo carregador indutivo

Carga(V)	Tempo(minutos)
11.57	0
11.76	2
11.82	4
11.88	6

11.93	8
11.98	10
12.03	12
12.07	14
12.09	16
12.12	18
12.17	20
12.25	25
12.3	30
12.35	40
12.37	45
12.4	50

Fonte: Autoria Própria

Figura 65 - Gráfico de carregamento indutivo, tensão sobre tempo



Fonte: Autoria Própria

4.3.2. Carregamento no VANT com Todas as Ligações

Já o carregamento das baterias foi testado e os dados coletados com todos os componentes ligados, interligados como citado anteriormente. Dessa forma, verificou-se que o carregamento não foi alterado em velocidade e corrente consumida. Uma vez que a corrente de carregamento vai direto para os bornes de equilíbrio da bateria, e não passa pelo *switch*, dessa forma, não houve perda ao carregar.

4.4. Base de Pouso e Decolagem

A base de pouso e decolagem compreende os LEDs para identificação pela câmera no VANT, e o carregador indutivo conectado a energia AC. Assim como o sistema de captura de dados para que ocorra o chaveamento de energia da base, economizando energia do carregador indutivo e dos LEDs

4.4.1. Captura de Dados do *Mission Planner*

A captura dos dados do *Mission Planner*, pela telemetria, a partir do programa da figura 66, teve o retorno das variáveis da forma como mostra a figura 67. Dessa forma, conseguiu-se adquirir informações como velocidade, altura, latitude e longitude, com pequenas variâncias que ocorrem devido ao erro do GPS. Já que o GPS oscila de acordo com a quantidade de satélite visíveis, onde até mesmo uma nuvem pode prejudicar a visada para os satélites.

Figura 66 - Parte principal do programa de desligar e ligar os LEDs

```

while(i ==1)
buffer = urlread(ur); %ler o codigo fonte da url
alti = str2double(regexpi(buffer, '(?<="alt":\s*)\d*', 'match'));%identifica parametros com alt
loni = str2double(regexpi(buffer, '(?<="lon":-\s*)\d*', 'match')); %identifica parametros com lon
lati = str2double(regexpi(buffer, '(?<="lat":-\s*)\d*', 'match')); %identifica parametros com lat
alt2 = alti(1,2)/10^4; %formata o parametro
lon2 = loni*(-1)/10^7 ;%formata longitude
lat2 = lati*(-1)/10^7 ;%formata latitude
pause(5)
distkm = deg2km(distance(lat, lon, lat2, lon2));%calcula distancia
dism = distkm*1000;%transforma em metros
if
dism > 5 %se a distancia for maior que a desejada, desliga o Rele e consequentemente os LEDS
writeDigitalPin(a, 'D11', 1);
else %caso contrario, os LEDs ficam ligados
writeDigitalPin(a, 'D11', 0);
end
end

```

Fonte: Autoria Própria

Figura 67 - Dados adquiridos pelo programa do MatLab



```

Command Window

distkm =

    6.8678e-04

distm =

    0.6868

alt2 =

    3.3190

lon2 =

   -60.1057

lat2 =

   -3.0559

```

Fonte: Autoria Própria

4.4.1.1. Distancia de ligação e desligamento da base

Com as informações do ponto inicial sendo adquiridas e armazenadas (momento em que o VANT liga), conseguimos calcular a distância entre o VANT e a base durante a rotina. Dessa forma, foi planejado programar o acionamento dos LEDs quando o VANT entrar em uma distância de 20 metros, mesmo sabendo que a *PixyCam* teria um alcance de identificação dos LEDs até 41m. Isso, porque uma distância de 20 metros diminuiria possibilidade de erro e consumo excessivo de energia pela base.

Um dos testes foi realizado em solo, de forma que pudesse ser calculado a variância enquanto o VANT estivesse parado no mesmo local, como mostra a figura 68 e a tabela 5, onde a variância dele parado foi de 0.0351 à 1.5, portanto a precisão é até 1.5 metros máxima e de 0.0351 metros mínima.

Figura 68 - Variância de distância com o VANT parado

```
ur =  
    'http://127.0.0.1:56781/mavlink/'  
  
distm =  
    0.0351  
  
distm =  
    0.1055  
  
distm =  
    0.7048  
  
distm =  
    1.3280  
  
>>
```

Fonte: Autoria Própria

Tabela 5 - Distância dada pelo MatLab

Distância Real	Distância mostrada pelo MatLab
0	0.0351
0	0.1055
0	0.7048
0	1.3205
0	1.50
0	0.89
0	1.24
0	0.6

Fonte: Autoria Própria

Também foi feito o teste com o VANT foi ligado na base, e deslocado ao redor de uma área de 10m por 5m, assim pode-se verificar como o programa funcionou, como mostra a tabela 6, figura 69 e 70.

Com isso, verificou-se que o programa apresentava uma variância na geolocalização em decorrência do erro do GPS, mas isso não influenciou na utilização do mesmo, como mostra a figura 68 e a tabela 6. Uma vez que essa variância de 0.08m a 0.7m para o total de 20m, não necessitou a modificação do programa para funcionamento aceitável dos acionamentos dos LEDs na aproximação do VANT.

Tabela 6 - Tabela de distância Real x Medida

Distância Real(m)	Distância calculada(m)
6.8m	6.6890
6.8m	7.7076
10.61m	11.3461
10.61m	10.7234
7.9m	7.85
7.m	7.6308

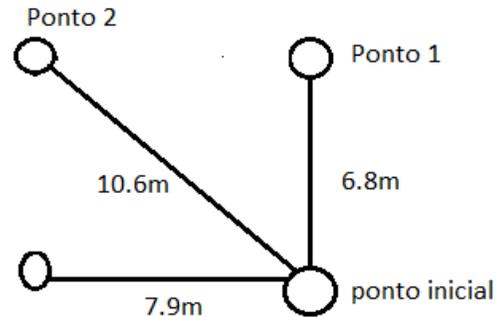
Fonte: Aatoria Própria

Figura 69 - Local de Teste de distâncias



Fonte: Aatoria Própria

Figura 70 - Representação dos locais de testes feitos



Fonte: Autoria Própria

Dessa forma, para o teste realizado de aproximação, o programa foi mudado para 5m de distância, e ao entrar nessa distância, o Arduino ligava ambos o carregador e os LEDs.

4.4.2. Potência Gasta na Base

A potência gasta na base calculada foi baseada em um teste de 5 minutos, o qual foi realizado para verificar o consumo total e posteriormente poder comparar com o consumo dos LEDs e do carregador na base.

4.4.2.1. Led

Os LEDs, consumiam na faixa de 2.87A (figura 71), com um total de 5V, e com a sua fonte que consumiria até 10A a 5V, totalizando uma potência total de 50W, dessa forma, em 5 minutos o cálculo de potência total ficou da seguinte maneira:

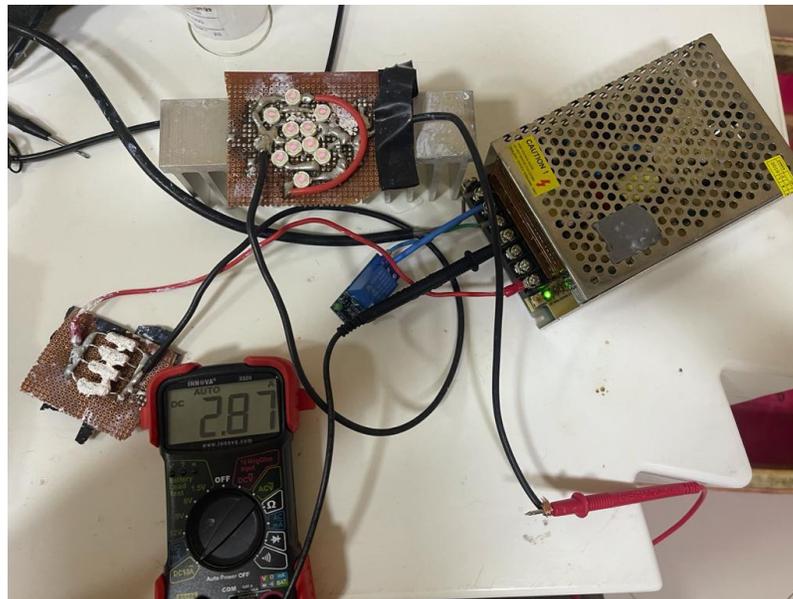
$$\text{Potência LEDs} = 2.87A * 5V = 14,35 W$$

Com 30 minutos ligados, teríamos o consumo de:

$$\text{Potência LEDs} = 14,35 W * 0.5h = 7,175Wh$$

Portanto, em uma missão de 30 minutos, quando o sistema liga os LEDs e carregador indutivo somente nos últimos 2 minutos, pode-se concluir que o gasto de potência desnecessária pelo LED foi de 7,23Wh. Relativamente pouco, mais em um acumulado de horas, já seria uma economia, já que o total de energia economizada seria de 93,3%. Utilizou-se 2 minutos, pois seria o tempo necessário para o VANT está na proximidade de 20 metros da base.

Figura 71 - Gasto de corrente pelos LEDs ligados



Fonte: Autoria Própria

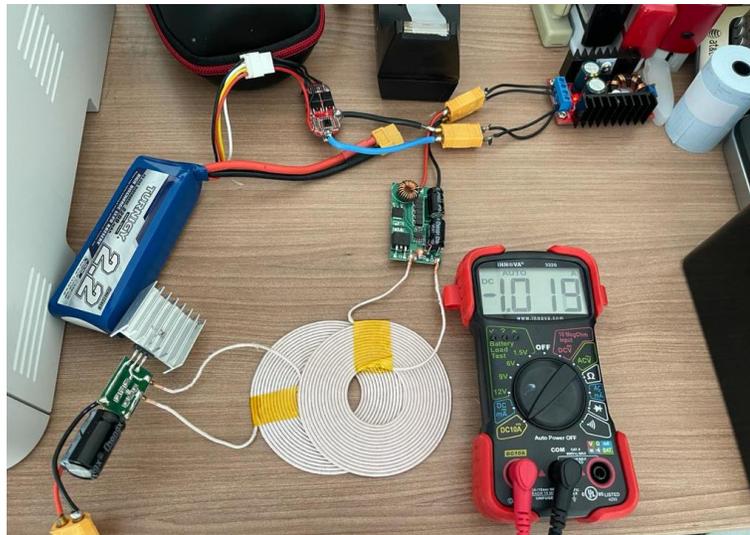
4.4.3. Carregador Da Base

Por sua vez, o carregador indutivo da base, que seria o transmissor, sem o receptor para receber carga, consumia carga baixíssima, na média de 0.08A, 12V, ou

seja, a potência não passou de 1W, portanto foi feito o cálculo de potência somente com a transmissão ativa de carga para o receptor indutivo.

A fonte de entrada fornecendo em média 1.019A para o transmissor indutivo, como mostra a figura 72, portanto calculando-se a eficiência de transferência entre transmissor e receptor, resultou em 82,5% da potência de entrada, uma vez que a corrente recebida pelo receptor era de 0.837A . Vale ressaltar que o transmissor aguenta uma corrente de até 2.5A, porém com a chance de ele vim queimar, caso fique no limite de operação, decidiu-se limitar ele a uma corrente mais baixa durante o decorrer do projeto.

Figura 72 - Corrente de entrada no carregador indutivo



Fonte: Autoria Própria

4.5. Acoplamento dos equipamentos no drone

A colocação dos eletrônicos e componentes necessários no VANT foi uma parte delicada do projeto, uma vez que o ponto de equilíbrio deve se manter ao centro o máximo

possível, para que todos os motores mantenham a mesma intensidade de corrente, e não gerar estresse excessivo em nenhum ESC. Dessa forma, amarrou-se um barbante no ponto central, onde o controlador está posicionado e foi posicionado os componentes, assim como a bateria, como mostra a figura 73. O VANT sem os componentes novos a serem incluídos pesava 1,380 quilos, incluindo a bateria Li-Po de 5.200mAH.

Figura 73 - VANT pendurado por barbante, ponto de equilíbrio



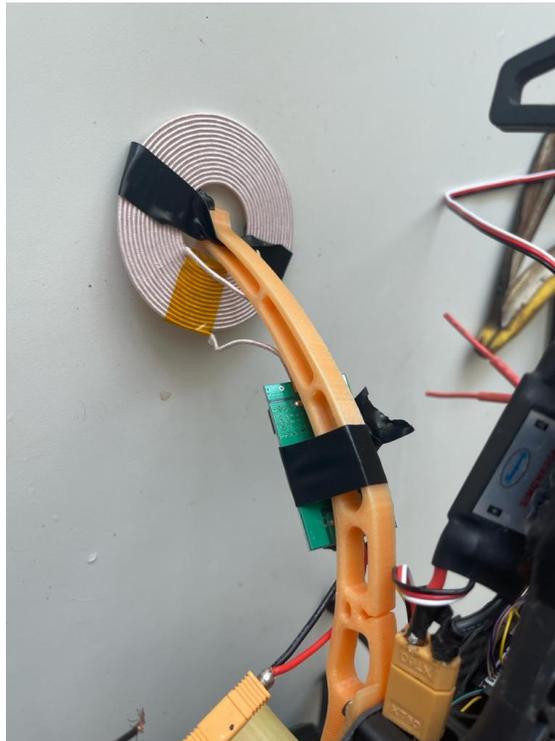
Fonte: Autoria Própria

4.5.1. Carregador, *Step-Up* e Arduino

Para incluir o sistema de carregamento no drone, foi necessário fita e lacre para não usar nenhum tipo de colar permanente, já que os componentes não tem furos para parafusar. A

bobina foi posicionada no inferior do VANT, em paralelo com uma das pernas do VANT grudado com fita dupla-face, de forma de ser fácil a sua retirada, mas ainda assim possuir alta confiabilidade de permanecer no local, uma vez que os cabos do mesmo também estão tensionados em direção a fita e ter uma fita isolante para prender na perna, como mostra a figura 74.

Figura 74 - Acoplamento da bobina na perna do VANT



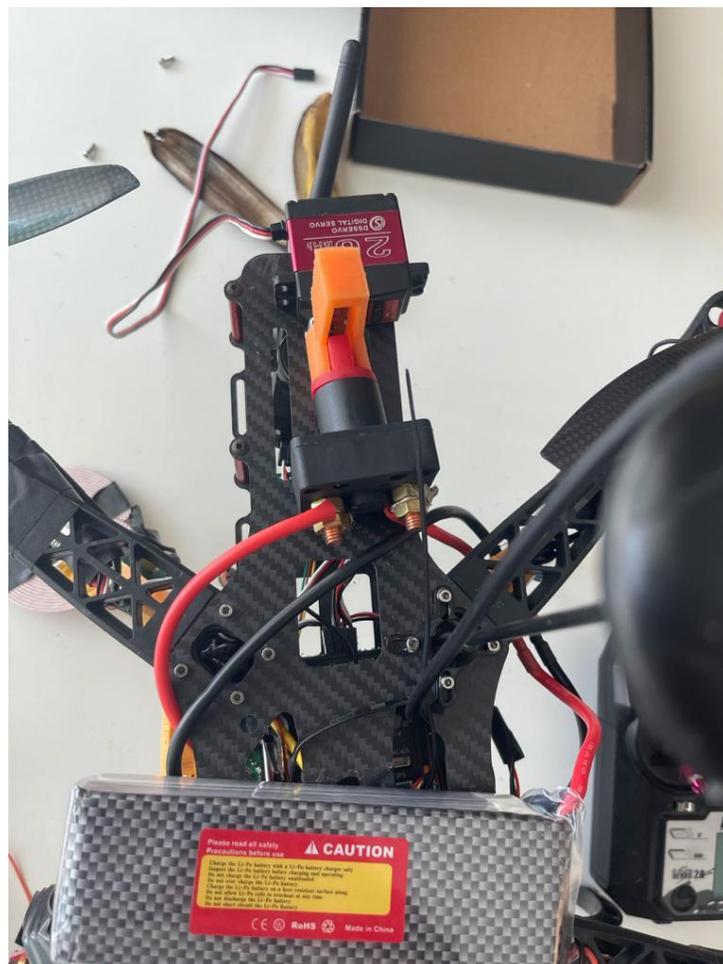
Fonte: Autoria Própria

O Arduino que controla o servo motor fica localizado no compartimento interno do drone, na parte central para evitar que o peso fica para parte traseira, mesmo que o compartimento tenha espaço.

4.5.2. Servo Motor e Switch

Por sua, o servo motor e o *switch* ficaram próximo do local onde a bateria é posicionada (figura 75), para que usasse menos cabo para interligação, uma que que quanto menos cabo for usado para ligação, menor vai ser o consumo de energia pela resistência do cabo.

Figura 75 - Localização do Servo Motor



Fonte: Autoria Própria

4.5.3. Autonomia

Em relação a autonomia de voo, tempo de voo e distância percorrida, podemos citar que a autonomia apresentou uma queda, em relação a tempo e velocidade de voo. Uma vez que o peso total acrescido ao VANT foi de 375g, que seria um total de 29,30% mais.

A autonomia foi calculada, da seguinte forma: em 2 minutos de voo, com e sem o peso adicional, verificou-se a carga da bateria, e calculou a porcentagem de carga que foi consumida, sabendo que o máximo é 12.6V e o mínimo 11.1V. Dessa forma, a eficiência com o peso adicional ficou em 73%.

5. Considerações Finais

Neste trabalho, foi proposto aprimoramentos para o drone construído no PAIC realizado na UEA, para que o mesmo se tornasse um VANT capaz de pousar e decolar de forma autônoma, assim como ter um sistema de carregamento para suas baterias. Dentro desses objetivos gerais, propôs-se o carregamento por indução, e para o pouso automático implementar câmera no espectro infravermelho para identificação de LEDs e integralizar o sistema como um todo para uma rotina autônoma.

Portanto, em relação aos resultados obtidos, pôde-se ver que há viabilidade para que esse sistema de carregamento seja implementado, de forma que, apesar do carregador por indução diminua a velocidade de carregamento, permanece sendo eficiente para uma aplicação autônoma.

Quanto ao pouso autônomo, o sistema funcionou de acordo com o esperado, uma vez que conseguiu realizar o pouso preciso com a base de LEDs. A deficiência ficou no acoplamento das bobinas dos carregadores que não se teve bons resultados sobre os furos e funilamento na base, para o encaixe das pernas do VANT, gerando assim uma deficiência no carregamento em rotina.

Quanto chaveamento dos LEDs, fonte e transmissor do carregador da base, os resultados apresentados foram de acordo com o planejado. Apesar do erro do GPS depender diretamente da visada constante de satélites, nos dias dos testes, houve oscilação de distância identificada, e mesmo assim o programa funcionou corretamente e realizando suas funções programadas.

O VANT sofreu alguns danos no decorrer do projeto, como queima de motores e ESCs, que foram prejudiciais financeiramente, mas esses problemas foram causados por conexões deixadas desde o PAIC, e pela falta de experiência com solda e conectores adquiridas no decorrer do projeto, portanto do meio para o fim do projeto, a frequência do problema diminuiu.

Mesmo com todos os problemas, e diminuição de eficiência no carregamento, pouso com pequenos erros de precisão, os aprimoramentos tornaram o projeto mais robusto e tecnológico, como tinha-se de objetivo principal, e verificou-se a viabilidade de aplicação das tecnologias.

Então, o projeto como um todo, nota-se que é um sistema aplicável para instituições que tem a necessidade um VANT com rotina autônoma, porém apresenta muitas variáveis delicadas que deve ter pessoas treinadas e que conhecem da área para resolução de problemas, caso contrário, pode se tornar uma cascata de problemas financeiros e logísticos. Sobre o sistema de carregamento por indução, verificou-se que é eficiente o suficiente para se tornar um sistema aplicável não só em VANTs, como outros veículos que necessitam de uma rotina autônoma, sem precisar de encaixes mecânicos.

Portanto, o sistema incluindo desde a base carregadora e auxiliares (LEDs e controlador), assim como o VANT se mostraram funcional e cumpriu o objetivo de elevar o nível de automação do PAIC, transformando o drone em um VANT.

5.1. Trabalhos Futuros

Sendo este trabalho uma junção de muitos componentes para aprimoramento do VANT, existe várias possibilidades para melhorias individuais do projeto. Apesar dos resultados promissores, o sistema poderia ter tido resultados ainda mais eficientes a ponto de se tornar um produto aplicável em escala comercial. Dentro dessas melhorias, pode-se citar:

- Uma base funilada que possa acoplar as bobinas de forma a adquirir o máximo de eficiência do carregador indutivo. Dessa forma, a eficiência seria maior, uma vez que a velocidade de carregamento seria maior e a perda de energia eletromagnética seria menor.

- Outra melhoria seria o próprio carregador indutivo, que apesar de carregar com corrente máxima 2.5A, poderia apresentar uma taxa de carregamento maior, gerando assim maior velocidade de carregamento, e mesmo sem acoplamento ideal, ainda geraria carga suficiente para carregar as baterias de forma eficiente.
- Criação de interface externa ao *Mission Planner*, a fim de o usuário ler as informações que quiser, e ainda conseguir modificar a rotina que está sendo realizado de forma intuitiva, mandando comandos com o VANT em voo.
- Aumentar a autonomia de voo, estudando o peso atual, verificando novas tecnologias de baterias ou aumentando a capacidade das baterias e retirada de componentes desnecessários.
- Aplicar placas solares e um sistema off-grid para simular uma base externa da energia da rede elétrica convencional, representando uma base em locais remotos, para por exemplo, ser um sistema de monitoramento de áreas de difícil acesso. Assim como aplicar internet via satélite para transferir dados e informações para um servidor, para ser acessada pelo usuário final.

Enfim, esses são elementos que podem ser otimizados e criados para tornar o projeto um produto, além de possibilidades de estudos específicos para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

ALONSO, J. M. et al. Analysis and design of the integrated double buck-boost converter as a high-power-factor driver for power-led lamps. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 59, n. 4, p. 1689–1697, 2012.

ANANDA, M. P. et al. Global Positioning System (GPS) autonomous navigation. **Record - IEEE PLANS, Position Location and Navigation Symposium**, p. 497–508, 1990.

BHATT, A.; WANG, G. **How a battery works**. Disponível em: <<https://www.science.org.au/curious/technology-future/batteries#:~:text=A battery is a device,be used to do work.>>. Acesso em: 21 set. 2020.

BRAIN, M. Battery Chemistry : Voltaic Pile Battery Chemistry : Daniell Cell Experiments : Voltaic Pile. 1800.

BRIEFS, S.; LAW, I. N. **María de Miguel Molina Virginia Santamarina Campos**. [s.l: s.n.].

BURGGRÄF, P. et al. Quadrotors in factory applications: design and implementation of the quadrotor's P-PID cascade control system. **SN Applied Sciences**, v. 1, n. 7, p. 1–17, 2019.

CAMPI, T. et al. High efficiency and lightweight wireless charging system for drone batteries. **2017 AEIT International Annual Conference: Infrastructures for Energy and ICT: Opportunities for Fostering Innovation, AEIT 2017**, v. 2017- Janua, p. 1–6, 2017.

CENTURY, T. XKT-801 to XKT-610. 2017.

CHOI, C. H. et al. Automatic wireless drone charging station creating essential environment for continuous drone operation. **2016 International Conference on Control, Automation and Information Sciences, ICCAIS 2016**, p. 132–136, 2017.

COUNCIL, N. R. **The Global Positioning System: A Shared National Asset**. Washington, DC: The

National Academies Press, 1995.

DANA, P. H. Global Positioning System (GPS) Time Dissemination for Real-Time Applications. **Real-Time Systems**, v. 12, n. 1, p. 9–40, 1997.

EDDAHECH, A. et al. Li-Po batteries modeling for mail delivery electric vehicles. **2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC 2011**, p. 0–4, 2011.

ELIKER, K. et al. An Optimization Problem for Quadcopter Reference Flight Trajectory Generation. **Journal of Advanced Transportation**, v. 2018, 2018.

에퍼플. **Master Drone:DIY Drone**. [s.l: s.n.].

FIGUEIRO, M. G. et al. **Light Isn't Just for Vision Anymore: Implications for Transportation SafetySecurity**. [s.l: s.n.].

FLIR, G. P. Selecting a Lens for your Camera. p. 1–10, 2017.

GIONES, F.; BREM, A. From toys to tools: The co-evolution of technological and entrepreneurial developments in the drone industry. **Business Horizons**, v. 60, n. 6, p. 875–884, 2017.

GOWDA, M. et al. Tracking drone orientation with multiple GPS receivers. **Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM**, v. 0, n. 1, p. 280–293, 2016.

HUAI, C.; LIU, P.; JIA, X. Measurement and analysis for lithium battery of high-rate discharge performance. **Procedia Engineering**, v. 15, p. 2619–2623, 2011.

JUNAID, A. BIN; LEE, Y.; KIM, Y. Design and implementation of autonomous wireless charging station for rotary-wing UAVs. **Aerospace Science and Technology**, v. 54, p. 253–266, 2016.

KHOLMETSKII, A. L. The Faraday induction law and field transformations in special relativity. **Apeiron**, v. 10, n. 2, p. 118–134, 2003.

LU, X. et al. Wireless Charging Technologies: Fundamentals, Standards, and Network Applications. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 18, n. 2, p. 1413–1452, 2016.

MISRA, P.; ENGE, P. **Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance - Revised Second Edition (2011)** *International Journal of Wireless Information Networks*, 2011.

MOHAMAD, I.; ZHU, Y. Vision-based Control of a Home Companion Robot. 2016.

PIXYCAM. **Pixy Documentation**. Disponível em: <<https://docs.pixycam.com/wiki/doku.php?id=wiki:v1:overview>>. Acesso em: 17 set. 2020.

TOSHIBA ELECTRONIC DEVICES & STORAGE CORPORATION. Basic Knowledge of Discrete Semiconductor Device Chapter II Diodes. n. September, 2018.

VOLLMER, M.; MÖLLMANN, K. P. **Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications**. [s.l: s.n.].

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física 3 Sears e Zemansky : Eletromagnetismo**. [s.l: s.n.].