

# CONFIGURAÇÃO DE UM SISTEMA DE NAVEGAÇÃO AUTOMÁTICO PARA UMA AERONAVE NÃO TRIPULADA CAPAZ DE REALIZAR MISSÕES DE RECONHECIMENTO E VIGILÂNCIA<sup>1</sup>

## *AUTOMATIC NAVIGATION SYSTEM SET UP FOR AN AUTOMATIC UNMANNED AERIAL VEHICLE CAPABLE OF ACCOMPLISHING RECONNAISSANCE AND SURVEILLANCE MISSIONS*

Vinícios Rocha Brizola<sup>2</sup>  
Guilherme Augusto Spiegel Gualazzi\*

### RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a configuração e teste de um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) do tipo zagi (asa em delta) para missões de reconhecimento e vigilância automáticas. O estudo é justificado pela crescente demanda de soluções tecnológicas que permitam o monitoramento e a coleta de dados em áreas de difícil acesso ou em situações de risco para seres humanos. A metodologia do trabalho envolveu a pesquisa de materiais, componentes e tecnologias necessárias para a composição do VANT, bem como a definição dos parâmetros de voo, como peso da carga útil suportada, velocidade e altitude de operação. Foram realizados testes em bancada para avaliar o desempenho do motor, baterias e sistemas eletrônicos utilizados na montagem do VANT. A partir da construção e testes do VANT, foram realizados voos experimentais para avaliar a estabilidade e eficiência do sistema de navegação automática. Os resultados obtidos demonstraram que o VANT apresentou boa estabilidade e eficiência de voo, sendo capaz de executar planos de voo no perfil de missões de reconhecimento e vigilância com altitude de operação de até 120 metros e 80 km/h, cumprindo um padrão de busca no perfil de rotas paralelas. Por fim, o trabalho concluiu que a montagem de um VANT automático do tipo zagi para missões de reconhecimento e vigilância é viável e pode ser uma solução mais acessível para monitoramento de áreas de pequena escala e de difícil acesso ou em situações de risco.

**Palavras-chave:** Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT); Aeronave Remotamente Pilotada (ARP); *Drone*; Zagi; Automação; *Ardupilot*; Configuração.

---

<sup>1</sup> Artigo de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAv) da Academia da Força Aérea (AFA).

<sup>2</sup> Cadete Aviador do 4º Esquadrão (Turma Orthrus, 2023).

\*Professor Associado Nível 4 do Magistério Superior Federal. Doutor em Engenharia de Produção. Academia da Força Aérea. E-mail: @gualazzig@fab.mil.br.readnotify.com.

## ABSTRACT

The present work aims to set up and test a UAV (Unmanned Aerial Vehicle) of the zagi (delta wing) type for automatic reconnaissance and surveillance missions. The study is justified by the growing demand for technological solutions that allow monitoring and data collection in hard-to-reach areas or in situations of risk to human beings. The methodology of the work involved the research of materials, components, and technologies necessary for the composition of the UAV, as well as the definition of flight parameters, such as weight of the supported payload, speed, and operating altitude. Bench tests were performed to evaluate the performance of the motor, batteries, and electronic systems used in the assembly of the UAV. Based on the construction and testing of the UAV, experimental flights were carried out to evaluate the stability and efficiency of the automatic navigation system. The results obtained demonstrated that the UAV showed good stability and flight efficiency, being capable of executing flight plans expected on reconnaissance and surveillance missions with maximum altitude of 120 meters and maximum velocity of 80 km/h, accomplishing search patterns such as the parallel routes shape. Finally, the work concluded that the assembly of a zagi type UAV for reconnaissance and surveillance missions is feasible and can be a cheaper solution for monitoring small-scale hard-to-reach areas or risky situations.

**Keywords:** Unmanned Aerial Vehicle (UAV); Remotely Piloted Aircraft (RPA); Drone; Zagi; Automation; Ardupilot; Set up.

## INTRODUÇÃO

O termo veículo aéreo não tripulado (VANT) é utilizado desde a primeira guerra mundial (1917), devido à grande utilização desses modelos pelas Forças Armadas dos Estados Unidos da América (EUA) no conflito. Os primeiros projetos de VANT, contudo, foram muito criticados por não serem confiáveis e precisos para o cumprimento de suas missões. Poucos foram os que acreditaram no futuro da aplicação dessas aeronaves nos ramos militar e civil (VALAVANIS, 2007).

Neste trabalho é discutido o desenvolvimento do sistema de estabilização e navegação de VANTs e de aeronaves remotamente pilotadas (ARP), as quais são apenas diferentes denominações para a mesma categoria de aeronaves. Ambas podem possuir dois tipos de operação: o primeiro modo consiste em um voo teleguiado completamente sob comando de um operador humano, no solo. O segundo modo, porém, consiste na execução de manobras e acompanhamento de rotas pré-programadas, sem auxílio humano. Um VANT moderno e eficiente necessita de algum nível de automação, podendo variar bastante a complexidade desse sistema. Essa complexidade vai desde aeronaves que voltam ao seu ponto de decolagem, ao perder sinal com o controlador, até àquelas que são capazes de seguir um

caminho especificado (automáticas) ou calcular a melhor rota e evitar obstáculos, depois de estabelecer o ponto final da missão (autônomas) (BAPTISTA, 2011).

Os princípios e métodos mais efetivos e confiáveis, para controle dos *drones*, começaram a florescer muito recentemente, no início do século XXI. O desenvolvimento de equipamentos e sensores eletrônicos menores e de maior precisão tornou possível a criação de veículos pequenos e mais leves, com uma gama de aplicações muito maior (CASTILLO; LOZANO; DZUL, 2004).

Estudos realizados pelo *Teal Group*, uma firma de defesa e análise do setor aeroespacial, em Fairfax, VA (EUA), sugeriram que um crescente mercado civil, em torno de VANTs, surgiria na segunda década do século XXI. Tal prognóstico se deve ao começo da procura de unidades governamentais por esses projetos, requerendo sistemas de vigilância similares aos *drones* militares, para guarda costeira e operações de defesa de fronteiras, assim como para auxílio em missões de resgate, reconhecimento topográfico e aplicações agrícolas (VALAVANIS, 2007).

Veículos aéreos não tripulados estão recebendo um crescente número de aplicações em diversas áreas da atividade humana, civil e militar. Os projetos operados manualmente ficam restritos a missões mais limitadas, que muitas vezes não suprem completamente os interesses do operador. Portanto, para permitir a execução de missões mais complexas, esses veículos necessitam de níveis cada vez maiores de automação, que para serem atingidos precisam vencer algumas etapas relacionadas ao deslocamento desses vetores no espaço (METTLER, 2003): a decolagem, o sobrevoo, a escolha e seguimento de trajetórias e o pouso.

Esse trabalho, portanto, dirigirá seus esforços em prol de escolher os materiais mais adequados e configurar uma aeronave de asa fixa, não tripulada, com equipamentos de navegação e estabilização de voo automáticos, passando pelas etapas de montagem, testes de bancada e testes de voo que serão apresentadas. Por fim, serão realizados os testes, em voo, do sistema automático desse VANT, necessários para inferir, com segurança, que o projeto possui a aptidão de cumprir um padrão de voo automático, em perfil de rotas paralelas, capaz de ser utilizado em missões de reconhecimento e vigilância. Todos os esforços citados serão dirigidos para responder a seguinte pergunta de pesquisa: “É viável montar e configurar um VANT de asa fixa, do tipo Zagi, cujas capacidades sejam compatíveis com o cumprimento de missões de reconhecimento e vigilância?”.

## 1 REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.1 CONCEITOS RELACIONADOS AO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO

Os veículos aéreos não tripulados, no Brasil, são regulamentados pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e são definidos por essa instituição, em sua Instrução Suplementar - IS Nº 21-002A, de outubro de 2012 como:

Aeronave projetada para operar sem piloto a bordo, que possua uma carga útil embarcada e que não seja utilizado para fins meramente recreativos. Nesta definição incluem-se todos os aviões, helicópteros e dirigíveis controláveis nos três eixos, excluindo-se, portanto, os balões tradicionais e aeromodelos. (BRASIL, 2012, p. 12).

Segundo a Instrução do Comando da Aeronáutica, de maio de 2020, que realiza padronizações acerca do Tráfego Aéreo no Brasil, faz-se, respectivamente, a seguinte definição de *drones* e sua diferenciação de categorias:

No Brasil, as Aeronaves Não Tripuladas ainda são amplamente conhecidas como drones (do inglês Zangão, termo muito utilizado pelos órgãos de imprensa), Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), nomenclatura oriunda do termo Unmanned Aerial Vehicle (UAV) e considerado obsoleto na comunidade aeronáutica internacional, ou Aeronave Remotamente Pilotada (ARP). (BRASIL, 2023, p. 8).

Segundo a OACI, as aeronaves não tripuladas, em inglês, Unmanned Aircraft (UA), são subdivididas em três categorias: Remotely Piloted Aircraft (RPA), Aeromodelos e Autônomas. As duas primeiras possuem características semelhantes, são aeronaves não tripuladas e pilotadas a partir de uma estação de pilotagem remota. Contudo, as RPA, diferentemente dos aeromodelos, serão utilizadas com a finalidade não recreativa e possuirão a capacidade de se integrar e interagir com o ambiente ATM, em tempo real. Já as aeronaves não tripuladas e classificadas como autônomas possuem a característica de não permitir a intervenção humana, uma vez iniciado o voo. (BRASIL, 2023, p. 8).

O uso dos VANTs para atividades civis tem crescido em todo o mundo, embora seu desenvolvimento primário tenha sido para fins militares (SILVA, 2013). Além disso um ramo notável do seu emprego é o da área de reconhecimento e vigilância, foco desse trabalho, que têm sido explorado pelo governo brasileiro nas suas Forças Armadas e Auxiliares, como se pode ver na seguinte passagem:

No segmento governamental, os principais projetos abrangem modelos importados adquiridos pelo governo brasileiro tais como o HERON 1, da companhia israelense IAI (Israel Aerospace Industries), adquirido pelo Departamento de Polícia Federal e HERMES 450 da companhia israelense ELBIT, operado pela Força Aérea Brasileira (FAB). Estes modelos têm sido usados em operações para o mapeamento e vigilância da fronteira brasileira, mas ainda não de forma sistemática. (SILVA, 2013, p. 44).

Outro conceito importante, para o correto entendimento dessa pesquisa, é o significado de *payload* (carga útil), que refere-se a quaisquer elementos da aeronave não necessários à condução do voo, mas que servem a propósitos específicos da missão a ser cumprida. (BRASIL, 2023).

Os VANTs são reconhecidos, segundo as missões que cumprem, pela denominação *3D*, referente às missões de maior gravidade para as aeronaves tripuladas: *dull* (enfadonhas), *dangerous* (perigosas) e *dirty* (sujas) (MENDES; FADEL, 2009).

Em relação às características das aeronaves utilizadas para missões de reconhecimento e vigilância, trata-se de uma plataforma que integra o aeromodelo e uma câmera de alta resolução, para realizar as filmagens do terreno e obtenção de imagens dos alvos desejados. Para tanto optou-se, neste trabalho, pelo uso de um perfil de aeromodelo chamado “asa voadora” ou *zagi*, que mostrou-se mais adequado por suas capacidades de grande autonomia, facilidade de manuseio, velocidade de voo mais baixa e por não precisar necessariamente de uma pista para decolagem ou aterrissagem, o que viabiliza seu uso em ambientes não preparados ou acidentados (ALBUQUERQUE; LUCENA; CAMPOS, 2014).

Existe um sistema embarcado nos VANTs, que neste projeto será a controladora *Ardupilot*® Apm 2.6, responsável por controlar o voo do aeromodelo, quando estiver no modo automático, fazendo as correções necessárias em suas superfícies de comando para manter os perfis, velocidades e proas programadas para o voo, bem como realizar a decolagem e o pouso sem auxílio do piloto.

*Global Positioning System* - GPS é o nome do conhecido sistema de posicionamento global, que é utilizado nos drones para fazê-los seguir uma rota pré-determinada, por onde cumprirão a missão, e depois aterrissar no local previsto, de forma automática, sem intervenção humana em sua navegação (TEIXEIRA, 2016).

A partir do conhecimento da *Ardupilot*® e do GPS, é necessário um *software* responsável pela comunicação entre esses dois elementos. O *Mission Planner* é o sistema escolhido para isso e pode ser descrito da maneira a seguir:

Sistema responsável por receber as informações a serem captadas pelo GPS, que se encontra acoplado na aeronave, e, a partir desse ponto, o software torna-se o responsável pela gerência da rota, que será realizada pelo VANT, bem como por receber informações em sua tela, as quais estão sendo captadas pela telemetria, como a altura de voo do VANT em um determinado momento. (TEIXEIRA, 2016, p. 3).

## 1.2 AERODINÂMICA DA ZAGI

As asas voadoras (zagi) são aeromodelos não convencionais, que diferentemente dos aviões mais comuns, não possuem uma empenagem ou qualquer outra superfície aerodinâmica que gere sustentação além das próprias asas (MARQUES, 2019).

Nos aviões convencionais, os profundos, situados na empenagem, são as superfícies responsáveis por gerar um momento que rotaciona essa empenagem do projeto para cima ou para baixo, movendo, dessa forma, o nariz do avião no sentido contrário. Os profundos são superfícies independentes dos ailerons, os quais se encontram no bordo de fuga das asas, e seus movimentos são controlados por comandos diferentes no manche do avião. Essas duas superfícies citadas são substituídas por *elevons*, nas asas voadoras, superfícies que fazem o papel tanto dos profundos quanto dos ailerons, rotacionando a zagi em torno de seus eixos longitudinal e lateral. Na prática, essas superfícies são muito parecidas com os ailerons, contudo são responsáveis tanto pelas curvas, quanto pelas subidas e descidas da aeronave. (MARQUES, 2019).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, serão apresentados os componentes escolhidos para a montagem da Zagi automática, em suas partes de *hardware* e *software*, bem como os métodos utilizados para sua adequada configuração e realização dos testes em voo.

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

O Clube de Aerodelismo Ninho das Águias (CANA), fundado em fevereiro de 1998, tem sua sede à Rodovia SP 225 Aguai/Analândia, na entrada para a Vila dos Suboficiais e Sargentos da Academia da Força Aérea (AFA), em Pirassununga - SP, tendo como finalidade a prática e divulgação do aerodelismo como esporte comunitário sem fins lucrativos, bem como ambiente de estudos e realização de experimentos com aerodelos e *drones* para os Cadetes da AFA. Conta com uma área de voo para os *drones* de 124.137m<sup>2</sup>, considerando duas pistas de pouso, uma de asfalto e outra de grama, bem como o campo ao redor.



**Figura 1** Área do CANA utilizada para os testes de voo

Fonte: elaboração própria com base em captura do *Google Earth*.

### 2.2 A ESCOLHA DA AERONAVE

Neste trabalho escolheu-se desenvolver uma aeronave de asa fixa, impulsionada por motor elétrico, tendo em vista a maior autonomia dessa configuração, se comparada com os

*drones* multirotores. O motivo dessa escolha, baseado em Gudmundsson (2014), deve-se ao fato de que essa configuração do vetor consegue gerar a sustentação necessária para seu voo com apenas um motor, enquanto àqueles multirotores precisam de, no mínimo, três.

As asas voadoras, ou zagi, são o modelo aerodinâmico mais eficiente de uma aeronave asa fixa, pois são capazes de produzir sustentação com o menor arrasto e peso possíveis (SCHWADER, 1997). Segundo Grant (2013), com o surgimento de sistemas embarcados para automação das superfícies de controle das asas voadoras, através do desenvolvimento de sensores e computadores cada vez mais eficientes, foi possível tornar as miniaturas desses modelos mais confiáveis e seguras, em seus voos.

O modelo citado anteriormente foi escolhido, também, por apresentar as seguintes características, segundo Renner (2020): fácil manuseio, montagem, corpo central amplo, e asas que podem ser facilmente desmontadas e transportadas, o que contribui para o melhor cumprimento de sua missão final, o reconhecimento e a vigilância terrestres.

### 2.3 OS COMPONENTES BÁSICOS DA ZAGI

Em relação à montagem e integração das partes estrutural e eletrônica da aeronave, foi colocada por Renner (2020, p. 25), a seguinte passagem:

Para que a plataforma de asa fixa seja operacional, é preciso a integração de componentes de hardware e software. Os componentes de hardware são compostos pela estrutura física externa (corpo e asas da aeronave), motor, hélice, servos de comando, bateria, controladora de voo, telemetria, receptor do rádio transmissor, receptor GNSS [...]. Os softwares envolvidos na operação de voo são relacionados a telemetria e a ajustes do controle de voo remotamente configurados. A inoperância ou erro em qualquer um destes hardwares e/ou softwares pode comprometer a segurança e a execução do voo.

A hélice, instalada na parte traseira da plataforma, empurra o ar para trás, impulsionando a aeronave para frente, durante o voo. Essa é a configuração que será utilizada neste trabalho e, sobre ela, também do artigo de Renner (2020, p. 24), são pertinentes as seguintes considerações:

As características da hélice são relacionadas ao seu tamanho, passo, quantidade de pás, forma e composição do material. Quanto ao seu tamanho a escolha da hélice deve ser proporcional a sua plataforma [...]. O passo pode ser definido como a distância percorrida em uma única rotação. Quanto maior o passo, tanto menor será a rotação, mas irá aumentar a velocidade, usando mais energia. [...]. As hélices usadas são de duas pás opostas que podem ser fixas ou dobráveis. Foi adotado preferencialmente o modelo de hélice dobrável, pois a plataforma X8 possui pouso de barriga e, sendo as hélices dobráveis, se evita danos a elas no momento do pouso, além de diminuir o arrasto em voo quando o motor não está sendo usado. O material da hélice pode ser de fibra de carbono ou de plástico.

O modelo ideal para a hélice, como descrito no trecho acima, seria dobrável, contudo por questões de disponibilidade e custo do material foi adotada neste trabalho a hélice fixa e com três pás.

A autonomia é fornecida ao veículo, por um conjunto de baterias, que variam na sua densidade de energia, ou seja, sua relação entre peso e a quantidade de energia que carregam, sendo as melhores, atualmente, aquelas feitas de Polímero de Lítio (LiPo) (MAGALHÃES, 2011). Nesse projeto foram usadas inicialmente baterias de 2200mAh, com três células e 24,42 Wh, as quais foram substituídas, posteriormente, pelas baterias constantes na Tabela 1.

O rádio-controle de aeromodelismo utilizado neste trabalho pode ser descrito como um equipamento que permite a um operador humano conduzir o voo da aeronave manualmente, se necessário, por meio de um receptor embarcado, o qual decodifica os sinais enviados pelo transmissor (o controle) e movimenta os servos acoplados às superfícies de comando (Renner, 2020).

## 2.4 AUTOMAÇÃO DO SISTEMA

O *ESC* (Electronic Speed Controller) é o equipamento que controla a potência que será enviada da bateria para o motor (MAGALHÃES, 2011).

Sobre a placa controladora de voo, que é um microprocessador embarcado na plataforma, e conectado a todos os componentes eletrônicos embutidos, pode ser descrita da forma a seguir:

Podemos dizer que a controladora de voo é o cérebro da plataforma. Pode controlar o voo de forma autônoma ou assistir de forma parcial o piloto por meio do processamento dos dados recebidos em tempo real pelos diversos sensores conectados, tais como: giroscópio, acelerômetro, barômetro, GPS, magnetômetro, câmera, etc. (Chao, 2010, p. 17).

A placa controladora, para a correta execução de um plano de voo pré-programado, de forma automática, neste trabalho, precisou: possuir a capacidade de realizar o voo a determinadas altitudes para pontos específicos da trajetória do vetor, manter essas altitudes, bem como as velocidades requeridas, coordenar as curvas e manter direções também programadas previamente (Chao, 2010).

No site da *Ardupilot*, acessado neste ano de 2023, a fabricante descreve seus produtos como *software e hardware* de suporte para pilotos-automáticos de veículos remotamente pilotados, sendo esses de asa fixa ou multirrotores. Ainda no mesmo site, pode-se encontrar as funcionalidades do programa que foi utilizado para planejamento dos voos que foram realizados, nos testes práticos: o *Mission Planner* é uma estação de controle de solo para a aeronave, servindo para configurar o plano de voo ou funcionar como um controle dinâmico de acompanhamento de dados via telemetria, em tempo real, do vetor.

Um receptor *GNSS (Global Navigation Satellite System)*, recebe sinais dos satélites artificiais, em órbita ao redor da Terra, que auxiliam na apuração das coordenadas geodésicas (longitude, latitude e altitude geométrica) do receptor, e conseqüentemente do veículo ao qual está acoplado, com precisão de metros (Renner, 2020). Este receptor é o responsável por fornecer informações à placa controladora, para essa comparar as posições reais da aeronave com aquelas descritas no plano de voo, para que a placa possa enviar os comandos adequados aos demais equipamentos de voo.

Os servomotores são pequenos agentes eletrônicos que, ao receber instruções da placa controladora, exercem força sobre as superfícies móveis da asa, fazendo com que a trajetória de voo da aeronave se modifique. São utilizados dois servos para movimentar a

superfície de comando da plataforma, sendo um servo para cada asa, no modelo zagi (Renner, 2020).

## 2.5 ESPECIFICAÇÕES DO VANT

O VANT do tipo zagi foi projetado com as seguintes especificações:

- ❖ Envergadura da asa: 90 cm
- ❖ Comprimento do bordo de ataque: 48,2 cm
- ❖ Comprimento da corda da raiz da asa: 26 cm
- ❖ Comprimento da corda da ponta da asa: 14,1 cm
- ❖ Área alar: 1600 cm<sup>2</sup> (16 dm<sup>2</sup>)
- ❖ Carga alar: 59 g/dm<sup>2</sup>
- ❖ Largura da raiz do aileron: 5 cm
- ❖ Largura da ponta do aileron: 4,9 cm
- ❖ Velocidade de voo: 10 a 80 km/h
- ❖ Altitude de operação: até 120 m (BRASIL, 2020)

## 2.6 SELEÇÃO DE MATERIAIS

Foram selecionados materiais leves e resistentes para garantir a durabilidade e desempenho do VANT. A tabela abaixo apresenta os materiais utilizados na construção do VANT e suas respectivas propriedades:

**Tabela 1** Especificação dos materiais utilizados na configuração do VANT automático.

MATERIAL	PROPRIEDADES
Hélice	tipo fixa e feita de plástico, com 5 polegadas de diâmetro
Bateria	14.8V 1550mAh 45C Lipo com 4 células
Rádio-controle	Turnigy 9 canais 2.4 GHz 12V 690 g
ESC	Simonk 40A 2-4 S LIPO para motor <i>brushless</i> BEC 5V/3A
Motor elétrico	Motor sem escova 2206 - 2300KV 5 mm de diâmetro do eixo
Placa controladora	Ardupilot® Apm 2.8
Software Mission Planner	Versão 1.3.74

Receptor GNSS	Módulo GPS NEO-M8N Controlador de voo com Bússola Integrada
2 Servomotores	Micro Servo SG90 TowerPro 3,0 - 7,2V 9g
Carregador da bateria	Lipro Balance Charger 2 -20V 0.1 - 5A
Rádio-receptor	Turnigy iA8 2.4 GHz 4.0 - 6.5V 13 g
Câmera FPV de tempo real	AIO 5.8Ghz 200mW 40ch Vtx
Câmera para filmagens aéreas	GoPro Hero7 12MP 4K Wifi 117 g
Asa zagi	SonicModell AR.Wing 900mm

Fonte: elaboração própria.

Os materiais relacionados na tabela acima somam um custo aproximado de US\$290,30, com exceção das câmeras de ação e FPV, as quais podem ser substituídas por modelos genéricos sem perdas significativas. Os custos foram calculados com base na cotação do dólar de R\$4,80, em junho de 2023, os quais podem variar de acordo com o valor deste e também com os fornecedores escolhidos.

## 2.7 MONTAGEM DO VANT

A montagem básica do VANT foi realizada de acordo com as especificações definidas no manual da fabricante do modelo especificado na Tabela 1. A estrutura do modelo (Figura 2) é construída a partir de placas de Poliestireno Expandido (*EPS*) de alta densidade, comumente chamado de isopor, e reforçada com tubos e tiras de fibra de carbono para aumentar a resistência mecânica. As asas são encaixadas mecanicamente e reforçadas por longarinas de fibra de carbono ao corpo principal, onde encontra-se o espaço de armazenamento interno dos equipamentos eletrônicos; existe, também, um ângulo de enflechamento, entre cada uma das asas e o invólucro central, de aproximadamente 30°, sendo a envergadura de 90 cm medida a partir de uma linha reta entre as pontas de asa.



**Figura 2** Estrutura básica da zagi, com o motor instalado

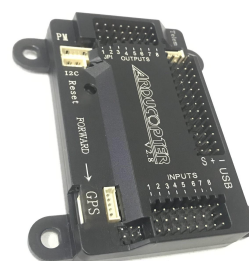
Fonte: elaboração própria.

Em cada asa está associado um servomotor digital (Figura 3), conectado por meio de fios internos à estrutura desta, à placa controladora (Figura 4), no caixão central, os quais transmitem o movimento de seus bastões mecânicos aos elevons, os quais estão fixados ao bordo de fuga (extremidade posterior) de cada asa.



**Figura 3** Servomotor da asa esquerda

Fonte: elaboração própria.



**Figura 4** Placa Apm 2.8

Fonte: elaboração própria

O motor elétrico e as baterias foram embutidos nas cavernas posterior e central (Figura 5), respectivamente, do VANT, sendo que há um espaço maior na caverna central, na

qual foram inseridos também os equipamentos de controle do voo: ESC, Apm 2.8, receptor do rádio-controle e um regulador de voltagem genérico (Figura 6).



**Figura 5** Cavernas utilizadas para alojar a carga útil

Fonte: elaboração própria.



**Figura 6** Equipamentos instalados na caverna central

Fonte: elaboração própria.

O receptor GPS foi instalado na parte superior (extradorso) da asa esquerda, juntamente com uma porca metálica, que foi colocada na ponta da asa, para equilibrar o efeito do peso das asas em relação a esse eixo, mantendo o Centro de Gravidade (CG) no centro da aeronave. Outras duas cavernas, disponíveis na face anterior do VANT (Figura 5), foram utilizadas para embarcar os equipamentos de mídia digital. Uma câmera de *First Person View*

(FPV) (Figura 7) foi instalada no espaço menor, à direita da face dianteira, devido ao seu tamanho reduzido, conectada por fios à sua antena transmissora de vídeo, instalada na parte superior do invólucro principal, as quais juntas permitem o envio, em tempo real, da visão da aeronave, para uma tela receptora de imagem, no solo, que na ocasião veio a ser o telefone pessoal do autor. Na caverna dianteira principal, mais volumosa, foi acoplada uma câmera de ação (GoPro) (Figura 8), capaz de gravar com a resolução de 4K a uma taxa de 60 fps, além de possuir a tecnologia *Hypersmooth*, que permite a estabilização da imagem de saída, eliminando oscilações e tremores provocados pelo movimento do VANT através do ar e permitindo a captura de imagens de alta qualidade, para análise em missões de vigilância ou reconhecimento.



**Figura 7** Câmera FPV

Fonte: elaboração própria.



**Figura 8** Câmera de ação

Fonte: elaboração própria.

## 2.8 TESTES EM BANCADA

Inicialmente, foram realizados testes em bancada para avaliar o desempenho dos componentes e sistemas eletrônicos do VANT. Os testes incluíram a verificação do funcionamento do motor em todas as suas velocidades, das baterias, do sistema de controle de voo, checando os comandos do rádio-controle em comparação com a resposta de movimento dos elevons, os quais foram configurados de acordo com as reações esperadas pela aerodinâmica. O rádio-controle (Figura 9) e o sistema de posicionamento global (GPS) também foram checados e calibrados utilizando o *software Mission Planner* (Figura 10), com

o *firmware* Arduplane versão 3.4.0. Os resultados obtidos foram satisfatórios, com todos os componentes funcionando de acordo com as especificações técnicas.



**Figura 9** Rádio-controle de aeromodelismo com 9 canais

Fonte: elaboração própria.



**Figura 10** Tela inicial do *Mission Planner* e circuito de teste do voo automático

Fonte: elaboração própria com base em captura do aplicativo citado.

Posteriormente foi configurado, no VANT e no rádio-controle, um modo automático, com a utilização do *Mission Planner*, que apresenta opções de criar um plano de voo, bem como definir as altitudes e velocidades desejadas em cada ponto de controle (*waypoint*) da rota programada para o cumprimento da missão.

## 2.9 TESTES DE VOO

Após a realização dos testes em bancada, foram conduzidos voos experimentais para avaliar a estabilidade e eficiência do sistema em diferentes condições de voo. Estes testes envolveram a análise da potência do motor e sua capacidade de gerar empuxo suficiente para o voo, bem como a estabilidade da aeronave em voos retos e curvas, garantindo o controle e sinal de rádio com o controle remoto.

O primeiro teste foi realizado na área do CANA (Figura 1), no qual foram percebidos problemas e oportunidades de melhoria tanto na escolha dos componentes eletrônicos quanto na disposição dos equipamentos dentro da aeronave. No primeiro lançamento mal sucedido do VANT, percebeu-se uma forte tendência de arfagem do nariz para frente, resultante do peso da GoPro acoplada nesta região, o que diminuiu o ângulo de ataque das asas e fez com que a Zagi atingisse o solo antes de conseguir a velocidade necessária para manter-se em voo. Na sequência, tentou-se mais um lançamento, parcialmente bem sucedido, no qual ocorreu o mesmo problema, levando a mais um choque com o solo. Na segunda tentativa, contudo, a porção frontal da aeronave e a câmera de ação desprenderam-se do conjunto no impacto (Figura 11). Como resultado desse alijamento não planejado de peso, o projeto ricocheteou na grama e alçou seu primeiro voo rádio-controlado, sem a GoPro. Nessa situação, percebeu-se um bom desempenho da aeronave em relação à responsividade dos comandos e potência do motor até os cinco minutos de voo, aproximadamente, momento no qual houve um apagamento inesperado do motor. A demora da equipe de solo para perceber a situação e decidir por conduzir um voo planado até a pista levou a um pouso forçado na vegetação à leste da pista de grama do CANA, pouso esse que por ter sido bem realizado salvou a Zagi de quaisquer danos estruturais.

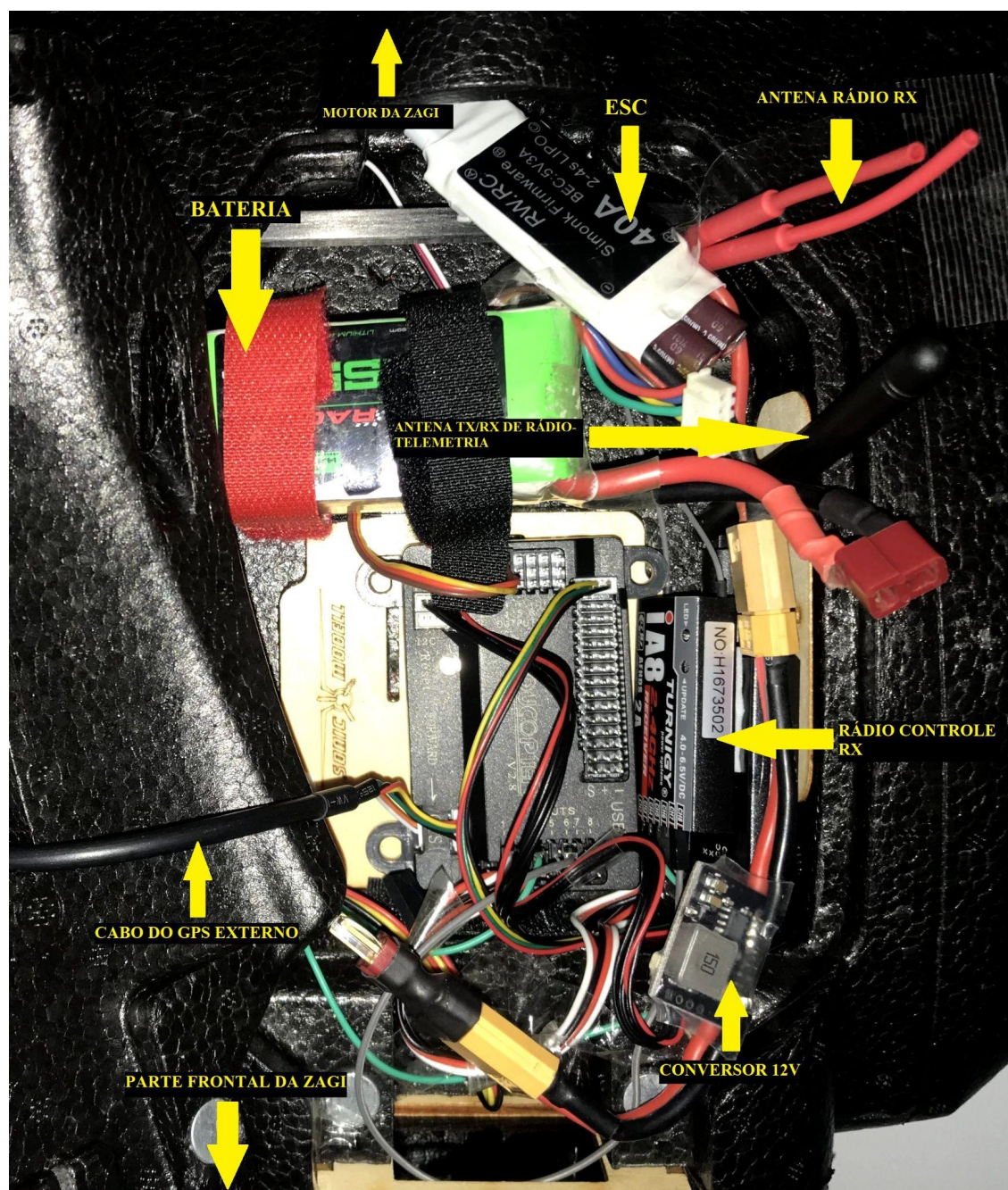


**Figura 11** Zagi após seu primeiro voo, sem a porção frontal que foi alijada acidentalmente

Fonte: elaboração própria baseada em captura de vídeo da GoPro.

Com os resultados obtidos nos primeiros lançamentos, percebeu-se a necessidade de mudar a disposição dos equipamentos internos do VANT, de forma que o CG ficasse mais à retaguarda para equilibrar o peso da GoPro, a qual deveria ser mantida na frente, por questões estruturais da aeronave. Além disso, foi decidido também que o *ESC* defeituoso deveria ser substituído para evitar uma nova falha do motor. No mesmo dia, foi realizada a troca do *ESC* de 30A para o *ESC* de 40A (Tabela 1), optando-se também por trocar a bateria de 2200mAh e 11,1V pela bateria de 1550mAh e 14,8V (Tabela 1), conjunto esse que aumentaria significativamente a potência do motor, com a finalidade de sustentar o peso da GoPro em voos futuros. Um terceiro voo foi realizado, nesse dia, após as substituições citadas, ainda sem a câmera de ação e com a mesma disposição interna dos equipamentos, no qual se confirmaram os ganhos previstos de potência e sustentação da aeronave.

A dificuldade em decolar a aeronave, tendo em vista a má distribuição do peso interno dos equipamentos, levou a uma realocação de sua carga embarcada, em um novo *layout* (Figura 12), o qual eliminou a tendência da arfagem citada anteriormente, feita ao se colocar a bateria, item mais pesado, na porção traseira da caverna central.



**Figura 12** Disposição interna final dos eletrônicos

Fonte: elaboração própria.

O segundo teste de voo, também realizado no CANA, foi elaborado para testar o funcionamento do GPS em sincronia com o *software Mission Planner*. Nesse novo teste foi provada a capacidade do VANT de seguir, com precisão, o plano de voo confeccionado no referido aplicativo, depois de terem sido passados digitalmente todos os *waypoints* para a placa controladora, embarcada no VANT. Foram configuradas altitudes para cada ponto de

controle, em um circuito de teste (Figura 10), montado apenas para aferir a capacidade da aeronave de realizar o voo automático com segurança, ainda em perfil genérico, sem a finalidade de desempenhar uma missão de reconhecimento e vigilância.

Para o segundo teste, foi previamente checado o bom funcionamento dos eletrônicos, bem como o recebimento de sinal GPS pelo conjunto, o qual é mostrado na tela do aplicativo como “GPS: 3D Fix” (Figura 13). O modo de voo ativo no momento também é mostrado na tela da Figura 12, como “Manual” ou “Auto”, onde o operador pode identificar se a Zagi está sendo comandada pelo rádio-controle ou seguindo o plano de voo automático, escrito em sua placa controladora. No caso desse teste, o VANT foi decolado em modo “Manual” com um rumo divergente ao do primeiro ponto de controle e, quando em voo, foi acionado o modo “Auto”, na expectativa de que a Zagi mudasse sua trajetória automaticamente, aproando o primeiro *waypoint*, subindo e mantendo a altura de 30 m prevista para esse ponto, o que, de fato, ocorreu como esperado. No bloqueio de cada ponto de controle, a aeronave ajustava inclinação e motor conforme necessário, mantendo os 30 m de altura com poucas variações, as quais corrigia sozinha. As variações e correções puderam ser verificadas pelo aplicativo utilizado para o voo automático, o qual recebia essas informações do VANT por meio de uma dupla de antenas de rádio-telemetria, instaladas uma no VANT e outra no computador do operador, em solo. Após o *waypoint* 20, último da rota, o modo de voo foi ajustado para “Manual” novamente e o VANT foi conduzido por rádio-controle até o pouso, na pista de grama, em segurança.



**Figura 13** Tela de comandos e informações de voo do *Mission Planner*

Fonte: elaboração própria.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos durante a configuração e o teste do VANT automático do tipo zagi para missões de reconhecimento e vigilância, bem como a discussão dos mesmos.

#### 3.1 CONFIGURAÇÃO FINAL DO VANT

Após a montagem, foram realizados os testes em bancada citados no item 2.8. Os resultados obtidos foram aparentemente satisfatórios, com todos os componentes funcionando de acordo com as especificações técnicas. Após os testes de voo, apresentados no item 2.9, contudo, algumas modificações mostraram-se necessárias e o VANT se apresenta conforme as figuras 14 e 15.



**Figura 14** Vista frontal do VANT com todos os sistemas embarcados

Fonte: elaboração própria.



**Figura 15** Vista superior do VANT pronto

Fonte: elaboração própria.

### 3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O VOO AUTOMÁTICO

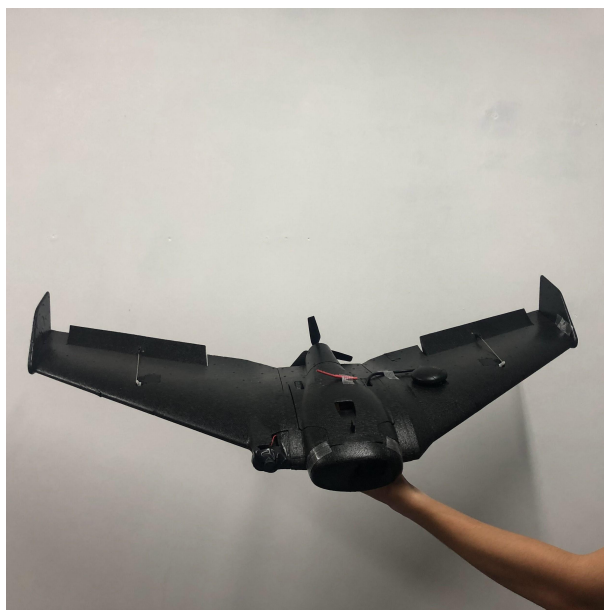
Após a realização dos testes em bancada, foram realizados voos experimentais para avaliar a estabilidade e eficiência do VANT em diferentes condições de voo no modo automático. Os testes foram conduzidos em áreas abertas com baixo fluxo de vento e em alturas específicas, limitadas ao máximo de 120 metros conforme prevê a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) (BRASIL, 2020), as quais foram definidas previamente no plano de

voo do *Mission Planner* e, na prática, não ultrapassaram os 100 m de altura. Os resultados demonstraram que o VANT apresentou excelente estabilidade e eficiência de voo, mantendo a altitude e realizando curvas com correções automáticas, sem oscilações significativas e boa precisão ao bloquear os *waypoints*. A placa controladora é responsável por fazer as correções, enviando sinais ao *ESC* para ajustar a potência do motor quando necessário, seja para corrigir a velocidade ou iniciar subidas ou descidas. Quando se trata de correções de proa ou compensação de fatores ambientais que afetam a trajetória do voo, a placa controladora comanda os servomotores através do receptor de rádio conectado a eles, fazendo com que os elevons subam ou desçam para comandar um rolamento em torno do eixo longitudinal da aeronave. Para compensação de altitude, a placa controladora utiliza o *ESC* e os elevons em conjunto para subir ou descer sem acelerar a zagi.



**Figura 16** Zagi comandando automaticamente rolamento para a direita, após perceber rolamento inadvertido à esquerda, em teste do piloto automático no solo

Fonte: elaboração própria.



**Figura 17** Zagi comandando automaticamente uma subida, após perceber atitude de descida inadvertida, em teste do piloto automático no solo

Fonte: elaboração própria.

As Figuras 16 e 17 ilustram a configuração inicial do VANT, antes de terem sido feitas as modificações do *layout* interno e troca de alguns equipamentos eletrônicos, porém as funcionalidades do piloto automático, relativas à placa Apm 2.8, que foi mantida, permanecem as mesmas e de acordo com essas imagens. Essas correções comandadas pela Zagi, nos testes de solo, conseguem demonstrar o que é feito por ela automaticamente durante o voo, quando bloqueia um *waypoint* e necessita corrigir sua trajetória para o próximo ponto ou quando essa é afetada por fatores externos, como o vento, e também precisa atuar para manter-se no rumo correto. Pode-se notar nessas imagens que as deflexões dos elevons são proporcionais ao tamanho do erro de rolamento ( $15^\circ$  de inclinação na Figura 16) e de arfagem ( $10^\circ$  picados na Figura 17), o que contribuiu para a capacidade de realizar correções efetivas durante o voo automático. O último teste, apresentado no capítulo 2.9, mostrou que a Zagi desviou-se da rota, no máximo, 5 m no eixo lateral e 3 m no eixo vertical, momentaneamente, observadas pelo *Mission Planner*, durante a execução do voo.

### 3.3 VIABILIDADE DO VANT ÀS MISSÕES DE RECONHECIMENTO E VIGILÂNCIA

Com base nos testes experimentais realizados e comentados no item 3.2, é possível afirmar que o uso de uma asa zagi automática é viável para missões de reconhecimento e

vigilância. Os resultados obtidos demonstraram que a asa zagi é estável e capaz de seguir com precisão adequada as rotas programadas, compensando automaticamente seu voo e corrigindo eventuais oscilações.

Foi programado, no *software Mission Planner*, um plano de voo similar ao padrão de voo utilizado em missões de busca e salvamento da Força Aérea Brasileira (FAB), perfil de rotas paralelas (BRASIL, 2019), sobre a pista pavimentada do CANA, com a finalidade de demonstrar a capacidade da Zagi de cumprir esse tipo de missão de forma automática. Esse objetivo foi confirmado com um voo totalmente automático, orientado apenas pelo sistema GPS embarcado na aeronave. O voo seguiu o perfil abaixo apresentado (Figura 18), com boa precisão de altitudes e velocidades escolhidas para cada *waypoint* da rota, representados pelos pontos verdes da imagem, bem como gerou imagens aéreas de alta qualidade nesse caminho (Figuras 19 e 20). Vale ressaltar que também foi programada a função *Return to Launch (RTL)* para o último ponto dessa navegação, a qual comanda o retorno automático do VANT para o seu ponto de decolagem, após a completa realização do plano de voo, função essa que mostrou-se válida, na prática, com a Zagi tomando um rumo compatível ao ponto de sua decolagem, marcado como *Home* no plano de voo, contudo o pouso foi sempre realizado manualmente (Figura 21) pelo operador de solo, com fim de preservar a estrutura do modelo.



**Figura 18** Plano de voo no perfil de rotas paralelas utilizado no voo automático da Zagi

Fonte: elaboração própria com base em captura do *Mission Planner*.



**Figura 19** Imagem produzida pelo VANT ao enquadrar o *waypoint* 8 do plano de voo  
Fonte: elaboração própria baseada em captura de vídeo da GoPro.



**Figura 20** Imagem produzida pelo VANT ao enquadrar o *waypoint* 15 do plano de voo  
Fonte: elaboração própria baseada em captura de vídeo da GoPro.



**Figura 21** Imagem produzida pelo VANT ao ser conduzido, manualmente, para o pouso em frente à equipe envolvida nos testes de voo, a qual está localizada no centro da Figura

Fonte: elaboração própria baseada em captura de vídeo da GoPro.



**Figura 22** Visão externa do pouso documentado na Figura 21

Fonte: Acervo pessoal do autor.

Além disso, o uso de uma asa zagi apresenta diversas vantagens para missões de reconhecimento e vigilância. Por ser uma aeronave não tripulada, ela não expõe a vida humana a situações de risco, além de ser menos custosa do que as aeronaves tripuladas. Sua capacidade de decolar e pousar em curtos espaços, além de seu tamanho diminuto e boa manobrabilidade, também a torna uma opção ideal para monitoramento de regiões de difícil acesso ou áreas reduzidas, para as quais o uso de um VANT como o Hermes RQ-900, utilizado pela Força Aérea Brasileira, poderia ser demasiadamente custoso ou desmedido, tendo em vista que seu melhor emprego seria em alturas acima de 9000 m ou para monitoramento de grandes áreas, de acordo com o site da FAB. A asa zagi é ainda capaz de transportar uma grande variedade de sensores e equipamentos de vigilância, os quais podem ser instalados tanto na parte externa de sua estrutura quanto nos espaços que sobraram no seu interior (Figura 12), tornando-a, dessa forma, uma aeronave versátil e adaptável às diferentes exigências de cada missão.

Dessa forma, os testes experimentais realizados confirmaram a viabilidade do uso de uma asa zagi automática para missões de reconhecimento e vigilância, além de apontar as vantagens pecuniárias e de acessibilidade que esse VANT apresenta em relação a outros tipos de aeronaves utilizadas para as mesmas missões.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste trabalho, foi apresentada uma breve introdução para contextualizar o leitor acerca do surgimento do termo VANT, o desenvolvimento de seus sistemas e a aplicação desse tipo de aeronave em diversos tipos de missões. As limitações humanas de atuação em cenários de risco ou de difícil acesso mostrou-se fator contribuinte para a necessidade de desenvolver sistemas embarcados cada vez mais automatizados para esses vetores, com a finalidade de otimizar e tornar mais seguras essas operações. Dessa forma, foi justificada a necessidade do desenvolvimento desse trabalho, o qual respondeu à seguinte pergunta de pesquisa: “É possível montar e configurar um VANT de asa fixa, do tipo Zagi, cujas capacidades sejam compatíveis com o cumprimento de missões de reconhecimento e vigilância?”.

Foram apresentados, também, os materiais escolhidos, com as respectivas justificativas, para compor o sistema eletrônico da Zagi, o modelo aerodinâmico mais eficiente para uma aeronave de asa fixa. Os testes de bancada realizados tiveram como

objetivo encontrar a melhor disposição interna para o correto balanceamento do CG do VANT e aferição do correto funcionamento do motor e servos-motores, objetivos que não foram completamente satisfeitos na primeira montagem, o que levou a uma realocação dos equipamentos internos e substituição de dois componentes. Essas mudanças posteriores permitiram dispor uma configuração mais adequada, a qual foi capaz de satisfazer as necessidades de estabilidade, potência e autonomia para os testes de voo. O custo médio estimado do projeto também foi relacionado, com o qual pode-se concluir que é um modelo relativamente barato, levando em consideração as suas capacidades apresentadas.

Os testes de voo realizados deixaram evidente sua importância para o projeto final, visto que ocorreram discrepâncias entre os resultados esperados ao término dos testes de bancada e aquilo que realmente aconteceu nos primeiros voos. Esses testes, por fim, provaram a capacidade do VANT de realizar voos estáveis e seguros nos modos manual e automático, primeiramente em perfis de teste, sem objetivo de cumprir um perfil estratégico para missões de reconhecimento e vigilância. Contudo, o bom desempenho da aeronave nos testes experimentais possibilitou o cumprimento preciso de uma rota programada, em perfil de rotas paralelas, que é utilizado pela FAB em operações reais de busca e resgate, nas quais é necessário realizar a varredura de uma região no solo em busca de um alvo específico, semelhante ao que se espera das missões de reconhecimento e vigilância, atreladas ao objetivo deste trabalho.

Por fim, todas as capacidades do VANT, sugeridas na pergunta de pesquisa “É viável montar e configurar um VANT de asa fixa, do tipo Zagi, cujas capacidades sejam compatíveis com o cumprimento de missões de reconhecimento e vigilância?” puderam ser comprovadas, por meio dos testes de bancada e de voo, deixando uma resposta positiva para essa pergunta. O VANT de asa fixa, do tipo Zagi, desenvolvido neste trabalho provou-se seguro para operação e preciso no seguimento das rotas que lhe foram propostas, com variações pouco significativas e que não comprometem sua viabilidade para o cumprimento de missões de reconhecimento e vigilância.

No entanto, foram identificados alguns pontos que ainda podem ser refinados no sistema do VANT, bem como possíveis melhorias para os métodos empregados neste trabalho. Ficam como sugestão para pesquisas futuras a implementação de sensores de detecção de obstáculos, detecção de sinais na frequência do infravermelho para a descoberta de alvos camuflados, assim como o estudo para a escolher uma bateria ótima para esse projeto, em termos de peso, autonomia e custos. Além das oportunidades de melhorias relacionados ao

aspecto material deste projeto, vale ressaltar que houve um elevado grau de dificuldade, por parte do autor, em executá-lo, tendo em vista as exigências de conhecimento técnico e limitação de pessoal para a montagem e configuração do VANT. Ainda assim, os resultados obtidos são promissores e indicam que o VANT automático do tipo Zagi pode ser uma solução eficiente e segura para monitoramento e coleta de dados em áreas de difícil acesso ou em situações de risco.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J.C.; LUCENA, S.C.; CAMPOS, C. A. V. **Investigação sobre o uso de VANTs em redes DTN para cenários de emergência**. 2014. Disponível em: <<http://sbrc2014.ufsc.br/anais/files/wgrs/anaisWGRS2014.pdf>>. Acesso em 3 de março de 2023.
- ARDUPILOT, Dev Team. *User manual - Introduction*. Ardupilot homepage, 20 de fevereiro de 2023. Disponível em: <<https://ardupilot.org/plane/docs/introduction.html>>
- BAPTISTA, Roberto de Souza. **Identificação de sistemas híbridos e controle  $H_\infty$  para o desenvolvimento de VANT autônomo**. 2011. Dissertação de mestrado acadêmico, Brasília, 2011.
- BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. **Instrução Suplementar - IS nº 21-002**. Dispõe sobre a emissão de certificados de autorização de voo experimental de para VANT no Brasil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 de outubro de 2012.
- BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. **Resolução nº 710, de 31 de março de 2023**. Dispõe sobre as regras para a certificação de pilotos e instrutores de voo no Brasil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 31 de março de 2023.
- BRASIL. Hermes 900 reforça capacidade operacional da FAB no reconhecimento eletrônico. **Site da Força Aérea Brasileira**, 2014. Disponível em: <<https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/18093/REAPARELHAMENTO---Hermes-900-reforca-capacidade-operacional-da-FAB-no-reconhecimento-eletronico>>. Acesso em: 28 de junho de 2023.
- BRASIL. Instrução do Comando da Aeronáutica. **ICA-100-40**. Dispõe sobre o acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas ao Espaço Aéreo Brasileiro. Boletim do Comando da Aeronáutica nº 103, Brasília, DF, 6 de junho de 2023.
- BRASIL. Manual do Comando da Aeronáutica. **MCA-56-1**. Dispõe sobre as regras para utilização do Espaço Aéreo Brasileiro por Aeronaves Remotamente Pilotadas. Boletim do Comando da Aeronáutica nº36, Brasília, DF, 3 de junho de 2020.
- CASTILLO, P.; LOZANO, R.; DZUL, A. E. *Modelling and control of mini-flying machines*. Compiègne, França, 2004.
- CHAO, H.; CAO, Y.; CHEN, Y. (2010). *Autopilots for small unmanned aerial vehicles: a survey*. International Journal of Control, Automation, and Systems. 8(1): 36-44. doi: 10.1007/s12555-010-0105-z.
- GUDMUNDSSON, S. *General aviation aircraft design: applied methods and procedures*. Oxford: Butterworth Heinemann - Elsevier, 2014.
- GRANT, R. *B-2: The Spirit of Innovation*. New York: PDF e-book, 2013.

MAGALHÃES, Alexandre Costa. **Aeromodelismo elétrico básico**. 6 de junho de 2011. Disponível em: <<http://www.e-voo.com/downloads>>. Acesso em: 28 de abril de 2023.

MARQUES, Gabriel. **Estudo de uma configuração de asa voadora usando o software de CFD OpenFOAM**. Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC-USP. USP - São Carlos, janeiro de 2019.

MENDES, Vannildo; FADEL, Evandro. **Polícia Federal testa VANT Israelense e despreza congêneres nacionais**. Blog Defesa BR, 16 de julho de 2009. Disponível em: <<http://defesabr.com/blog/index.php/16/07/2009/policia-federal-testa-vant-israelensee-despreza-congeneres-nacionais>>. Acesso em 22 fevereiro de 2023.

METTLER, B. *Autonomous UAV guidance build-up: flight-test demonstration and evaluation plan*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 2003.

Renner, L. C.; Silva, T. S.; Mendes Júnior, C. W.; Rodrigo Felipe Wiebbelling, R. F.; Gabriel, G. A. **Desenvolvimento e montagem de VANT de asa fixa de baixo custo para suprir a demanda de ensino e pesquisa nas Geociências**. Terræ Didática, 2020.

SILVA, Eristelma Teixeira de J. B. **Veículos aéreos não tripulados: panorama atual e perspectivas para o monitoramento de atividades ilícitas na Amazônia**. Artigo Científico - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Paraná. Abril de 2013.

SCHWADER, R. L. *The development of the flying wing*. *Journal of aviation/aerospace education & research*, v. 8, n. 1, p. 8, 1997. Disponível em: <<https://commons.erau.edu/jaaer/vol8/iss1/4>>.

TEIXEIRA, Bruno Eduardo. **Utilização de veículo aéreo não tripulado de asa fixa no monitoramento e coleta de imagem de animais e ambientes em propriedades rurais**. 2016. Artigo Científico - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, Pirassununga, São Paulo. 2016

VALAVANIS, Kimon P. *Advances in unmanned aerial vehicles - State of the art and the road to autonomy*. Dordrecht, Netherlands, 2007.