

**AFA**  
**ACADEMIA DA FORÇA AÉREA**

**ALESSANDRO ANELLO**

**APLICAÇÕES DE VANTs PARA OPERAÇÕES DE  
INFANTARIA**



PIRASSUNUNGA – SÃO PAULO

2017

ALESSANDRO ANELLO

## **APLICAÇÕES DE VANTs PARA OPERAÇÕES DE INFANTARIA**

Trabalho Monográfico de Curso (TMC), apresentado como requisito do Curso de Formação de Oficiais de Infantaria da Academia da Força Aérea.

**Orientador: Prof. Dr. Guilherme Augusto Spiegel Gualazzi**

PIRASSUNUNGA – SÃO PAULO  
2017

ALESSANDRO ANELLO

## **APLICAÇÕES DE VANTs PARA OPERAÇÕES DE INFANTARIA**

Trabalho Monográfico de Curso (TMC), apresentado como requisito do Curso de Formação de Oficiais de Infantaria da Academia da Força Aérea

Data de aprovação: \_\_\_/\_\_\_/ 2017

### **Membros componentes da Banca Examinadora**

**Orientador:** Prof. Dr. Guilherme Augusto Spiegel Gualazzi

**Membro Titular:** Prof. Dr. Carlos Alberto Ferreira Bispo

**Membro Titular:** Cel Inf R1 Josoe dos Santos Lubas

**Local:** Divisão de Ensino

Academia da Força Aérea

Pirassununga

À Força Aérea Brasileira.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais pelo incentivo, amor e apoio incondicionais na minha formação e na minha vida, abdicando de tempos de descanso preocupando-se com o meu sucesso e para que eu alcançasse tudo o que eu atualmente possuo.

Agradeço ao meu orientador que sempre respondeu aos meus pedidos quando eu precisava, a disponibilidade exemplar demonstrada abdicando de tempo livre durante os finais de semana para continuar com os testes para a conclusão do trabalho.

Agradeço especialmente ao meu pai, que não mediu esforços para garantir que eu pudesse realizar essa importante etapa da minha vida.

“Conhecer os outros é inteligência, conhecer-se a si próprio é verdadeira sabedoria. Controlar os outros é força, controlar-se a si próprio é verdadeiro poder.” (Lao-Tsé)

## RESUMO

A forças armadas, tanto as estrangeiras quanto as nacionais, despertaram o interesse na pesquisa sobre o emprego de aeronaves remotamente pilotadas. Para as aeronáveis de maior porte é necessário uma equipe de pilotos para garantir o controle da missão. Para veículos de dimensões reduzidas, contudo, é necessário apenas um piloto, permitindo que sejam mais felxíveis e práticos para o cumprimento de missões de curta duração. A Academia da Força Aérea não inclui no currículo mínimo no Curso de Formação de Oficiais de Infantaria uma instrução prática com veículos multirotores remotamente pilotados, o que afeta o conhecimento dos futuros oficiais sobre o assunto. O objetivo dessa pesquisa foi de analisar a viabilidade de inserção de uma instrução prática de ARPs através de testes que permitiram fornecer dados a respeito da aplicabilidade dos mesmos no curso. Os resultados obtidos favoreceram uma conclusão condizente com o objetivo proposto nesse trabalho.

**Palavras-chave:** VANT. *Drones*. CFOInf. Combate Terrestre. Poder Aéreo. Reconhecimento.

## ABSTRACT

Both the foreign and the national armed forces have aroused interest in research into the use of remotely piloted aircraft. Larger aircrafts need a team of pilots to ensure control of the mission. For smaller vehicles, however, only one pilot is needed, making them more flexible and practical for short-term missions. The Air Force Academy does not include in the minimum curriculum of the Infantry Officers Training Course a practical instruction with remotely piloted multirotor vehicles, which affects the knowledge of the future officers on the subject. The objective of this research was to analyze the availability of inserting a practical instruction of ARPs through tests that provided information about the applicability of drones in the course. The results granted a conclusion consistent with the objective proposed in this study.

**Keywords:** RPV. *Drones*. CFOInf. Land Combat. Air Power. Recognition.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Imagem de uma câmera de baixa resolução.....	22
Figura 2 – Imagem de uma câmera <i>GoPro Hero 5</i> .....	22
Figura 3 – Imagem de uma câmera de infravermelho.....	22
Figura 4 – Dados telemétricos em uma câmera FPV através de uma placa OSD.....	23
Figura 5 – Área ocupada por forças inimigas, simulação da patrulha realizada no dia 11/08/2017.....	24
Figura 6 – Planejamento do itinerário realizado com o <i>Mission Planner</i> .....	27
Figura 7 – Captura realizada durante o voo do teste n° 1.....	28
Figura 8 – Comparação de resolução entre uma câmera FPV (a esquerda) e uma <i>GoPro</i> (a direita).....	30
Figura 9 – As entradas existentes em uma <i>GoPro Hero 4</i> , USB (em baixo) e HDMI (em cima).....	30
Figura 10 – Imagem gravada com a <i>GoPro</i> conectada na controladora por um cabo USB.....	31
Figura 11 – A câmera em cima é de baixa resolução, em baixo de alta resolução.....	31
Figura 12 – Posição do observador e do <i>drone</i> no teste n° 3.....	33
Figura 13 – Esquema do voo no <i>Mission Planner</i> .....	33
Figura 14 – Voo de 20 metros.....	34
Figura 15 – Voo de 30 metros.....	35
Figura 16 – Voo de 40 metros.....	35
Figura 17 – Voo de 50 metros.....	35
Figura 18 – Hexacoptero YUNEEC <i>Typhoon H</i> .....	38
Figura 19 – Octocoptero <i>Galaxy R8700</i> .....	39
Figura 20 – Gimbal Walkera G-2D.....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados da missão realizada com o <i>drone</i> .....	25
Tabela 2 – Resultados do primeiro teste.....	28
Tabela 3 – Resultados do segundo teste.....	32
Tabela 4 – Resultados do terceiro teste.....	34

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Dados recolhidos e separados por categoria.....	36
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AFA – Academia da Força Aérea  
ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil  
ARP – Aeronave Remotamente Pilotada  
CCAer – Corpo de Cadetes da Aeronáutica  
CFOInf – Curso de Formação de Oficiais de Infantaria  
COMAR – Comando Aéreo Regional  
DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo  
DE – Divisão de Ensino  
DoD – *Department of Defense*  
EUA – Estados Unidos da América  
FPV – *First Person Viewer*  
VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado  
HDMI – *High-definition Multimedia Interface*  
HD – *High Definition*  
ICA – Instrução do Comando da Aeronáutica  
IDF – *Israel Defence Forces*  
OPAM – Operações Aero-Móveis  
OSD – *On-Screen Display*  
PRPO – Ponto de Reunião Próximo ao Objetivo  
PUD – Plano de Unidades Didáticas  
RPV – *Remoted Piloted Vehicle*  
TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação  
UAV – *Unnamed Aerial Vehicle*  
URSS – União das Repúblicas Socialistas Soviéticas  
USASC – *United States Signal Army Centre*  
USB – *Universal Serial Bus*

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>1 BREVE HISTÓRICO.....</b>	<b>16</b>
1.1 Emprego após a Segunda Guerra Mundial.....	16
1.2 Emprego nos dias atuais.....	18
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
2.1 Estrutura e dispositivos complementares.....	21
2.2 Método de coleta dos resultados.....	23
<b>3 TESTES REALIZADOS E DADOS COLETADOS.....</b>	<b>26</b>
3.1 Teste N° 1: Avaliando o alcance / autonomia da bateria.....	26
3.2 Teste N° 2: Instalação de uma câmera de alta definição.....	29
3.3 Teste N° 3: Examinar o ruído do ARP x distância mínima para não ser detectado.....	32
3.4 Síntese de resultados obtidos.....	36
3.5 Ferramentas para o enriquecimento da pesquisa.....	37
3.5.1 Ventos.....	38
3.5.2 Comunicação.....	39
3.5.3 Bateria.....	39
3.5.4 Imagem.....	39
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>42</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>44</b>
<b>ANEXO II.....</b>	<b>48</b>

## INTRODUÇÃO

No Curso de Formação de Oficiais de Infantaria (CFOInf) na Academia da Força Aérea, os cadetes são treinados para executarem diferentes tipos de missões. Este curso de quatro anos abrange teorias e práticas de quase todas as áreas militares, entre elas temos as táticas de combate terrestre, polícia da aeronáutica, montanha e contra-incêndio. Conforme o curso segue o currículo previsto, o cadete participa de palestras que apontam o constante progresso das tecnologias, bem como o papel fundamental que exercem nos conflitos armados atuais.

Atualmente, os cadetes do CFOInf não têm contato com as técnicas mais modernas de beligerância, de forma que o militar é obrigado a buscar tais conhecimentos por meios próprios uma vez que a sociedade está cada dia mais vinculada às TICs. De acordo com Spetalnick e Stone (2017) o *Teal Group*, prevê aumentos nas pesquisas dos ARPs de \$2.8 bilhões em 2016 para \$9.4 bilhões em 2025.

Baseado nesses aspectos, esse trabalho visa analisar a viabilidade de implementação da prática de emprego de VANTs nas atividades práticas da infantaria, restringindo-se à observação aeroterrestre, especificamente por meio de *drones*. Porém, sem excluir a possibilidade de emprego de outras tecnologias no curso, uma vez que a implementação de inovações aumentariam o compromisso que a infantaria tem com a guerra eletrônica.

Esse trabalho fundamenta-se na comparação entre o que o currículo do infante da AFA oferece e o que a guerra moderna espera do conhecimento de um militar recém-formado. Ter o militar com a devida preparação sobre as táticas de conflito moderno atualiza as forças armadas. De acordo com o Plano de Unidades Didáticas (PUD) do Curso de Formação de Oficiais de Infantaria existem nove tempos de aula sobre VANTs, mas apenas dois desses são exclusivos para aulas práticas, não incluindo todavia teorias sobre *drones*, demonstrando uma carência de conteúdo.

As aeronaves remotamente pilotadas (ARPs), assim são chamadas na Força Aérea Brasileira, são empregadas em larga escala em muitos outros países. Por isso, ampliar as teorias e práticas sobre VANTs para os militares é também um investimento, a fim de desenvolver a defesa da nação Brasileira, uma vez que os recursos cibernéticos estão substituindo cada vez mais os recursos humanos na guerra.

A pesquisa precisa analisar situações que poderão dificultar a instrução como a autonomia do *drone*, a área de cobertura, os custos de manutenção, a quantidade de material suficiente para que todos os alunos tenham acesso e as condições climáticas que podem afetar o desempenho.

De certa forma, as forças armadas brasileiras já conseguiram testemunhar a utilidade dos ARP's por meio do relatório final do 20º contingente brasileiro na missão das Nações Unidas para estabilização do Haiti (BRASIL, 2015) o emprego de *drones* pelas equipes especializadas do batalhão demonstrou ótimos resultados para a observação e mapeamento do teatro de operações. Ainda no relatório, o major de infantaria Rodrigo expõe uma pesquisa sobre a necessidade de introduzir na infantaria da Aeronáutica o emprego de *drones*. Os resultados da missão descrita no relatório demonstram como é importante investir em instruções sobre os VANTs na Academia da Força Aérea, assim como está sendo feito em outras instituições militares do Brasil.

Esse trabalho visa avaliar a viabilidade da implementação dos *drones* nas aulas práticas e teóricas do curso de formação de oficiais de infantaria. Portanto, para isso, será realizada uma pesquisa de campo, utilizando-se de um quadricóptero para a simulação de observações de curto e longo alcance, anotando eventuais problemas que venham a ser observados. Em seguida, será realizada uma análise a respeito dos resultados obtidos, a partir da qual será possível confirmar ou refutar a hipótese dessa pesquisa.

A fim de justificar a necessidade de tal trabalho serão apresentados casos correlatos com o objetivo de reforçar o tema abordado.

## 1 BREVE HISTÓRICO

Antes de apresentar o objetivo dessa pesquisa, é necessário situar o *drone* no que diz respeito ao seu desenvolvimento ao longo da história, bem como o emprego do mesmo no decorrer dos conflitos mundiais até as atuais aplicações no meio militar. O estado norte-americano foi um dos primeiros a pesquisar sobre as possibilidades desses veículos, e por isso, na maioria dos casos as evoluções serão desenvolvidas nessa região.

Em 1918, Charles Kettering desenvolveu uma aeronave com controle giroscópico que caiu e explodiu após a hélice ter rodado uma certa quantidade de vezes. No começo, a USASC pensou em empregar o *Kettering's Bug* como uma arma de artilharia de longo alcance. Desde então, aeronaves remotamente pilotadas foram utilizadas em uma variedade de contextos: a Força Aérea encomendou mísseis durante a Segunda Guerra Mundial, *drones* foram usados para prática de tiro desde 1930, e Veículos Remotamente Pilotados (RPVs) voaram sobre o Vietnã para adquirir informações. Essa ampla variedade de aplicações dificultam a criação de uma linha do tempo para o desenvolvimento das tecnologias autônomas (SULLIVAN, 2006, p. 43).

Existe, contudo, uma certa dificuldade para definir alguns veículos remotamente pilotados. O acrônimo ARP (Aeronave Remotamente Pilotada) refere-se a qualquer aeronave reutilizável que não necessita de um piloto a bordo. “*Missil*” refere-se a um veículo de uso único sem pilotos a bordo. De consequência, o *Kettering's Bug* é um míssil, não um ARP. Existem certas aeronaves que não se encaixam em nenhuma categoria, como os aviões do projeto *Aphrodite* na Segunda Guerra Mundial. As aeronaves desse projeto eram tecnicamente reutilizáveis uma vez que eram aviões modificados, mas nunca foram empregados com o intuito de serem reutilizados (SULLIVAN, 2006, p. 44).

### 1.1 Emprego após a Segunda Guerra Mundial

O emprego de *drones* como instrumentos de observação das ações inimigas começou no período da Guerra Fria. Os Estados Unidos queriam adquirir informações sobre o poderio bélico nuclear da União Soviética, para isso decidiram enviar pilotos com aviões de reconhecimento, todavia devido a presença da antiaérea inimiga obtiveram graves perdas de militares. “Entre abril de 1950 e abril de 1951, 16 missões deste tipo (com aeronaves tripuladas) encontraram fogo hostil, com a perda de 163 vidas” (CARR e KEANE, 2013, p. 566). Este fato gerou a necessidade de se criar um meio de observação remota que não

colocasse em risco a vida dos pilotos, conseqüentemente voltou-se novamente a atenção aos UAVs. A repercussão política de *Francis Gary Powers* ter sido abatido na URSS no seu U-2 em 1960 levou alguns membros do Departamento de Defesa estadunidense (DoD) a pensar sobre meios de reconhecimento sem piloto contra a URSS. A companhia *Ryan Aeronautical* modificou alguns de seus *Firebee* de alvo de treinamento em UAVs de reconhecimento e classificou eles como 147A “*Firefly*.” O *Firefly*, posteriormente chamado de “*Lightning Bug*,” foi consideravelmente modificado para se transformar em um *drone* de reconhecimento (CARR e KEANE, 2013, p. 567).

Ainda sob a influência desses conflitos foram desenvolvidos os primeiros *drones* de asas rotativas. A aeronave da marinha DASH (QH-50) foi o primeiro helicóptero operacional sem piloto planejado para o combate. Em 1960, um QH-50 fez seu primeiro voo em *Patuxent River Naval Air Station* em Maryland. Durante os anos 60, quase 800 QH-50 foram construídos. 29 dos DASH decolaram de um convês e carregavam torpedos Mk-44 ou cargas nucleares Mark 17. Podiam até mesmo serem controlados de aeronaves tripuladas ou veículos terrestres e podiam executar resgate, transporte de cargas, iluminar alvos, criar cortinas de fumaça, realizar vigilância e localizar alvos para suporte de fogo naval (CARR e KEANE, 2013, p. 567).

Em 1965 A Força de Defesa de Israel (IDF) começou a despertar interesse em adquirir novos UAVs que estavam sendo desenvolvidos em outros países, por isso, em março de 1967, oficiais Israelenses visitaram os EUA para discutir sobre a aquisição de drones-alvo *Ryan Firebee* para fins de treinamento, mas sabendo que uma variante do *Firebee* estava realizando voos de reconhecimento na região norte do Vietnã gerou naquela visita um segundo nível de interesse. Na ausência de indústrias de UAV naquele período, a IDF estava interessada apenas na aquisição de um sistema completo, e não havia o desejo de modificar um *drone*-alvo para o papel de reconhecimento. As visitas na *Nord Aviation* sobre o R. 20 ocorreram em 1969, mas novamente sem nenhuma venda. (NEWCOME, 2004, p. 93).

O abate de dois RF-4 do IDF pela antiaérea Egípcia em 1970 renovou o interesse na aquisição de UAVs. No mês de junho do mesmo ano, um grupo de oficiais Israelenses visitaram pela segunda vez os EUA, os quais decidiram comprar 12 *Ryan Firebees* modificados para o reconhecimento. O modelo *Ryan 124I*, chamado de *Matbat* pela IDF, teve a sua entrega no verão de 1971 (NEWCOME, 2004, p. 93).

A partir de então os *drones* foram amplamente utilizados nos cenários de guerra, adquirindo muitas vezes papel fundamental para o cumprimento de determinadas missões. A guerra do Vietnã, por exemplo, foi a guerra onde mais se empregaram os *drones*. Durante a

Guerra Fria, na Guerra do Vietnã, foram utilizados alguns dos primeiros VANTs com sucesso. Alguns dos VANTs desenvolvidos e utilizados na época foram o AQM-34 Ryan Firebee, o D-21 e o *Lightning Bug* (NASA, 2006).

Um total de 3435 operações de reconhecimento foram executados entre os anos de 1964 e 1975. Aproximadamente um terço dessas missões foram várias versões do *Lightning Bug*, que foi a base da era dos UAVs na guerra do Vietnã. Por causa da extensa defesa antiaérea inimiga. UAVs eram frequentemente usados como plataformas não pilotadas de aquisição de inteligência, tirando fotos em alta e baixa altitude que eram empregados para planejamentos de ataques e avaliação dos danos de batalha. Ao passo que a guerra seguia em frente, os *Lightning Bugs* eram modificados com sistemas maiores que permitiam o transporte de cargas mais pesadas (CARR e KEANE, 2013, p.568).

Outro emprego que vale a pena ressaltar foi durante a Guerra do Golfo Pérsico: em 1982 os Americanos reobtiveram interesse em UAVs armados. Impressionados com o *Pioneer*, a marinha Estadunidense adquiriu vários, e a *Reagan Administration* começou a aumentar a aquisição e pesquisa de UAVs em 1987. Alimentado por um motor de 26 cavalos e equipado com armas de 16 polegadas, o *Pioneer* estreou durante a Guerra do Golfo Pérsico. Soldados Iraquianos passaram a temer o zumbido ameaçador do *Pioneer* e, em um incidente amplamente divulgado, um grupo de guardas republicanas foram os primeiros homens a se render a um *drone*. O sucesso do *Pioneer* levou o Departamento de Defesa a gastar mais de 3 bilhões de dólares em UAVs durante a década de 1990 (CALLAM, 2010).

Apesar desses grandes feitos por essas aeronaves, as pesquisas e o emprego tiveram que terminar, isso porque os gastos das pesquisas eram elevados e muitas eram as falhas antes de um sucesso. “Os UAVs tiveram que competir com novos mísseis de alta velocidade, e bombardeiros de longo alcance” (CARR e KEANE, 2013, p.568).

## 1.2 Emprego nos dias atuais

A necessidade de encontrar novamente uma função para esses veículos foi alcançada em Israel. A estratégia que Israel havia planejado era de utilizar RPVs para atrair a atenção das defesas inimigas para que, em seguida, aeronaves tripuladas pudessem atacar as fortificações egípcias (CHAMAYOU, 2015, p.27). Israel tentou então lançar os *drones* para que as tropas egípcias empregassem seus armamentos e, enquanto a antiaérea recarregava suas munições, os israelenses começassem o assalto. “O ataque permitiu que os israelenses ganhassem o controle dos céus” (HATHAWAY, 2001, p.15).

Após uma época de grandes conflitos, os EUA continuaram suas pesquisas para melhorar o desempenho dos veículos não tripulados. A empresa *General Atomics* apresenta para o mundo o *drone* RQ-1A, para em seguida ser empregado em 1995 pela USAF. Ele pode ser pilotado remotamente de uma estação no solo, possui também o piloto automático, executando voos em uma rota programada e fornecendo imagens aos pilotos. A câmera para obtenção de dados junto ao seu sistema de enlace de dados permitem com que as imagens produzidas sejam atualizadas em tempo real (HATAWAY, 2001, p.18). Esse UAV é comumente chamado de MQ-1 *Predator* pois foram instalados em seguida dois mísseis AGM-114 *Hellfire*, assim ele era capaz de responder ao fogo inimigo caso fosse atacado durante o voo (USAF, 2015). Outro *drone* que atualmente realiza missões na Força Aérea Estadunidense é o RQ-4 *Global Hawk*, começou a ser empregado em 2001 e é capaz de realizar voos com velocidade máxima de 310 nós por mais de 34 horas (USAF, 2014).

A descoberta desse novo conceito de domínio aéreo despertou o interesse do meio civil, nos períodos atuais podemos ver sempre mais empresas privadas desenvolvendo novos conceitos de quadricópteros para a realização de tarefas na área urbana. Algumas empresas de correios já conseguem utilizar *drones* para a entrega de encomendas em curtos espaços de tempo.

Mais voltado para o contexto nacional. A Força Aérea Brasileira está realizando pesquisas sobre o emprego de pequenos veículos multirotores em alguns batalhões de infantaria para auxiliar o sistema de vigilância eletrônica: no dia 25 e 26 de Julho de 2017 foram realizados no COMAR VI simpósios e grupos de trabalho para discutir a respeito da aplicabilidade de *drones* na segurança das instalações militares, bem como restrições que os mesmos enfrentariam devido ao uso do espaço aéreo por outras aeronaves, entram nesse quesito uma série de regulamentos militares que enquadram as viatúras e restringem o uso apenas para locais autorizados.

O DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo) responsabiliza-se por autorizar os pilotos de pequenos ARPs a realizar voos em determinadas áreas, sejam elas urbanas ou militares, dessa forma faz-se necessário elaborar uma exceção para o uso em áreas militares onde o emprego visa auxiliar a vigilância das instalações, a ICA 205-42 aborda a metodologia da segurança das instalações. Embora o projeto ainda esteja em fase preliminar, a procura de VANTs para auxiliar o efetivo dos batalhões na vigilância demonstra como o conhecimento de tais assuntos será de grande importância para os futuros oficiais.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de aplicar na prática a teoria de emprego de ARPs ao Plano de Unidades Didáticas é necessário analisar a viabilidade de tais meios, de forma a conciliar as potencialidades dos ARPs com o que as missões de infantaria precisam. Para uma coleta de dados mais aprofundada será analisada apenas a função de reconhecimento, função essa que pode ser atribuída como sendo a principal ou a complementar de uma missão. Os resultados desses experimentos visam corroborar ou não com o implemento dessa prática às disciplinas já existentes do CFOInf.

De acordo com a disciplina “ Táticas de Combate Terrestre ” ministrada durante o 2º ano do CFOInf, patrulha é uma força de valor e composição variável, destacada para cumprir missões de reconhecimento, de combate ou da combinação de ambas. A missão de reconhecimento é caracterizada pela ação ou operação militar com o propósito de confirmar ou buscar dados sobre o inimigo, o terreno ou outros aspectos de interesse em determinado ponto, itinerário ou área. (BRASIL, 2016, p.1-3). Nesse tipo de missão, conseqüentemente, é fundamental evitar o contato direto com a tropa inimiga, uma vez que caso ocorra a quebra do sigilo deixa de ser necessário o reconhecimento, além de afetar a segurança da tropa.

Na maioria dos casos o reconhecimento é realizado por dois ou três homens de uma patrulha, é necessário empregar um efetivo reduzido visto que o guerreiro pode estar submetido à visão do inimigo, deslocando assim de forma silenciosa e camuflado com o ambiente, coletar dados e informes e retornar ao ponto de reunião próximo ao objetivo (PRPO). Diante desses aspectos observa-se como essa função requer tempo e efetivo treinado e mesmo satisfazendo tais requisitos, por não saber a localização exata dos inimigos, as chances de comprometer o sigilo são elevadas. Portanto essa pesquisa visa encontrar no emprego do *drone* uma possibilidade para melhorar as missões de reconhecimento em ponto, área ou itinerário. Caso haja possibilidade de implementação dos ARPs será possível economizar tempo, efetivo e custos, bem como aumentar a segurança da tropa.

De acordo com a enciclopédia italiana *Treccani* (2015), em um teorema existe a hipótese que tem inicialmente o valor de ser verdadeira e a tese que é o que se pretende demonstrar a fim de convalidar o teorema, mas para alcançar tal objetivo é necessário criar um método de pesquisa capaz de coletar os resultados desejados a fim de organizá-los alcançando assim uma conclusão que poderá comprovar ou refutar a hipótese. Essa definição aponta como uma acurada metodologia de pesquisa possibilita alcançar o objetivo proposto

neste trabalho, os meios empregados para a coleta de resultados dos experimentos com o *drone* serão apresentados neste capítulo.

Vale ressaltar que o ARP empregado foi devidamente autorizado pelo comandante da AFA para realizar voos no perímetro da academia e cadastrado na ANAC. Para maiores detalhes consultar o Anexo II.

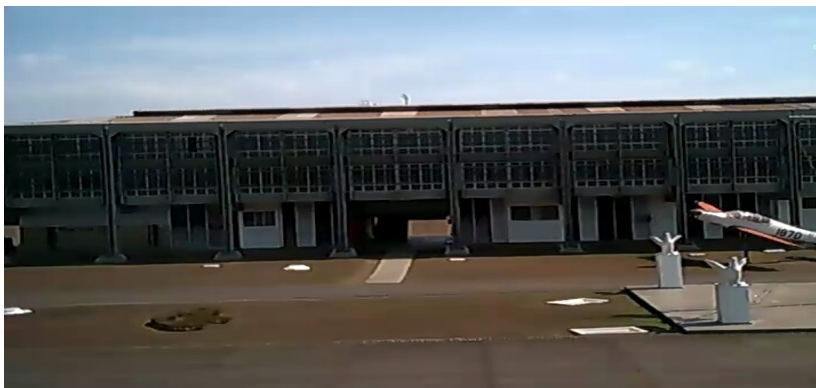
As hipóteses foram elaboradas tendo como base as possíveis situações nas quais o *drone* pode ser empregado de forma a realizar missão de observação e captura de informações por meios visuais, bem como a vigilância de infraestruturas ou de centros de gravidade. Para alcançar os objetivos propostos será necessário empregar um veículo multirrotor em condições de realizar voos de médio alcance e ao mesmo tempo capaz de capturar imagens da área de interesse. Diante desses aspectos, esse capítulo visa elencar a composição e funcionamentos do quadricóptero que será empregado para coletar dados dos objetivos propostos.

## 2.1 Estrutura e dispositivos complementares

Para efetuar a captura de imagens em um ARP, serão necessárias componentes que permitam alcançar tais objetivos. Como explicado no capítulo 1, existem vários tipos de viaturas que se encaixam na área dos VANTs, para este trabalho será empregado um quadricóptero devidamente equipado para realizar os voos que serão discutidos no capítulo 3. Vale ressaltar que a escolha por esse veículo não indica que seja o melhor para alcançar os objetivos propostos, dessa forma, fica aberta a pesquisa sobre o melhor meio para tais fins.

O *drone* foi construído adquirindo as componentes em sites especializados e a montagem efetuou-se acompanhando as etapas apresentadas em vídeo-aulas disponíveis em um endereço de um canal do *YouTube* chamado "Coisas que voam" (<https://www.youtube.com/channel/UC7e21UurBtNXgKVGa8qGmxA>). A montagem em si inclui componentes fundamentais para o correto deslocamento aéreo autônomo, bem como um kit FPV (*First Person Viewer*) para a observação das áreas fins da pesquisa. Para uma lista detalhada dos componentes empregados para a construção do *drone* consultar o Anexo. A observação de áreas nas quais pode haver atividade hostil varia de acordo com as informações que se deseja obter, bem como os meios disponíveis para a execução da missão. Atualmente no *drone* são empregados principalmente dois tipos de câmeras: a de visão convencional (Figura 1 e 2) e a de visão infravermelha (Figura 3), mais aconselhada para operações noturnas. Em ambas podem ser implementados dados telemétricos através de uma placa OSD (*On Screen Display*) que permite importar dados sobre o voo do *drone* na tela em tempo real (Figura 4).

Figura 1 – Imagem de uma câmera de baixa resolução.



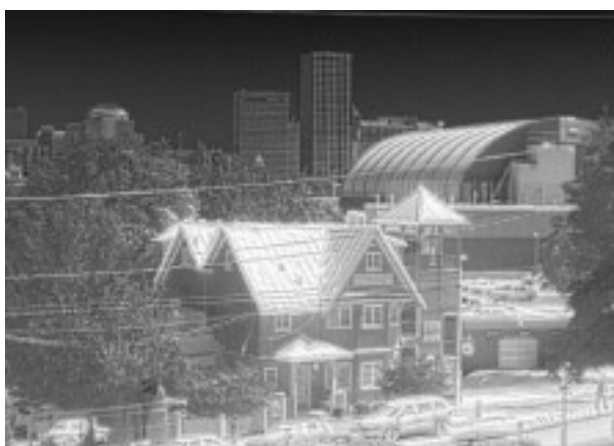
Fonte: O autor.

Figura 2 – Imagem de uma câmera *GoPro Hero 5*.



Fonte: KISLEVITZ. **Video Settings in the HERO5 Black**. Disponível em: <<http://abekislevitz.com/video-settings-in-the-hero5-black/>>. Acesso em: 12/08/2017.

Figura 3 – Imagem de uma câmera de infravermelho.



Fonte: LOJA DOS DRONES E CIA. **Drone DJI inspire 1 zenmuse XT – Câmera térmica IR com visão noturna**. Disponível em: <[https://www.lojadosdrones.com/DRONE\\_DJI\\_INSPIRE\\_1\\_ZENMUSE\\_XT\\_CAMERA\\_TERMICA\\_IR\\_COM\\_VISAO\\_NOTURNA/prod-4225420/](https://www.lojadosdrones.com/DRONE_DJI_INSPIRE_1_ZENMUSE_XT_CAMERA_TERMICA_IR_COM_VISAO_NOTURNA/prod-4225420/)>. Acesso em: 04/10/2017.

Figura 4 – Dados telemétricos em uma câmera FPV através de uma placa OSD.



Fonte: O autor.

Vale ressaltar, conseqüentemente, que o meio que será empregado no quadricóptero varia de acordo com certos aspectos, se o dispositivo precisa realizar voos de longa duração deverá ser instalada uma câmera de baixa resolução que requer uma quantidade de carga menor da bateria. Caso seja necessária a captura de imagens de alta qualidade pode-se optar por uma câmera de alta resolução, reduzindo assim a duração de voo do veículo.

Para realizar uma missão com o *drone* precisa avaliar as viabilidades dos dispositivos empregados a fim de verificar se a tarefa será empregada com sucesso ou não. Para verificar se o quadricóptero empregado para essa pesquisa será capaz de cumprir as tarefas exigidas será elaborada uma tabela para a coleta de dados dos voos.

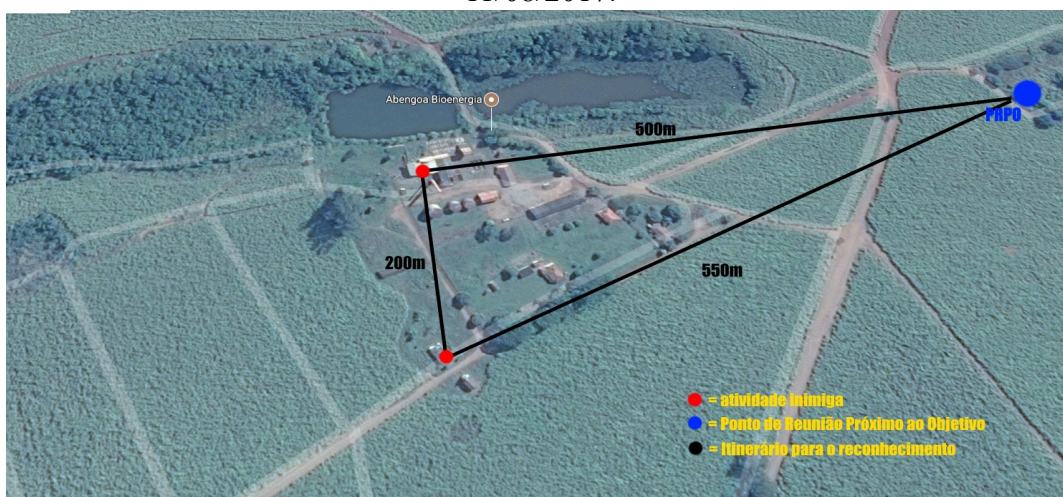
## 2.2 Método de coleta dos resultados

Como citado anteriormente, o *drone* deverá ser capaz de executar missões de reconhecimento de itinerários ou áreas de forma a individuar com sucesso atividades hostis e retornar ao seu local de origem para evitar a perda do veículo. Para isso será ilustrada a imagem de uma possível área de atuação hostil na qual se deseja observar as atividades e a localização inimiga sem expor militares das forças amigas que seriam empregados para um reconhecimento aproximado.

A imagem foi extraída do planejamento da patrulha realizada nas Operações Aeromóveis do ano de 2017 (OPAM), prática essa realizada pelos cadetes do terceiro ano do curso de infantaria da Academia da Força Aérea.

Na imagem pode-se observar um perímetro coberto por baixa vegetação, que impede qualquer tipo de infiltração por vias cobertas por tropas militares a fim de realizar um reconhecimento aproximado. Supõe-se que a tropa amiga esteja abrigada na região mais ao leste (PRPO), segundo a inteligência sabe-se que os inimigos foram localizados nos dois pontos destacados no mapa. A patrulha dispõe de um *drone* equipado com uma câmera capaz de realizar um reconhecimento da área e retornar ao PRPO (Figura 5).

Figura 5 – Área ocupada por forças inimigas, simulação da patrulha realizada no dia 11/08/2017.



Fonte: Imagem capturada de Google Maps. Disponível em:

<<https://www.google.com.br/maps/place/Academia+da+Forca+A%C3%A9rea/@-21.9145699,-47.352377,443m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x94c7fa40dc618005:0x69c2b9a8f6d35e26!8m2!3d-21.9943569!4d-47.3368758>> Acessado em: 13/08/2017.

A partir dessa situação de conflito, pode-se observar diferentes aspectos que o *drone* deve apresentar para que seja possível realizar o voo até o local destacado, realizar a captura de imagens e retornar ao ponto de partida:

- Altura do voo para que o quadricóptero não seja percebido;
- Capacidade de realizar no mínimo 1250 metros de navegação aérea;
- Qualidade das imagens capturadas a fim de identificar os militares no terreno;
- Condições meteorológicas para realizar o voo;
- Potência do sinal para permitir uma transmissão das imagens em tempo real.

Todos os aspectos observados na hipótese anterior são de fundamental importância para a realização de uma tabela capaz de apontar os aspectos essenciais a serem analisados na hora de enviar o *drone* para uma missão.

Tendo analisado uma hipótese de emprego em uma missão de reconhecimento, é possível criar uma tabela que poderá ser melhorada futuramente (Tabela 1).

Tabela 1 – Resultados da missão realizada com o *drone*.

Missão	Distância percorrida (m)	Tempo de voo (mm:ss)	Velocidade máxima (Km/h)	Altura do voo (m)	Condições meteorológicas	Falhas de comunicação a partir de (m)	Bateria no pouso (%)
Reconhecimento de área (1250m)	1263m	05:43	20Km/h	30m	Ensolarado Vento 3 - 4KT	450m	60%

Fonte: O autor.

Obs: Os resultados descritos na tabela foram estimados.

Com a tabela acima, estamos em condições de realizar experimentos com o *drone* e coletar dados a respeito das prestações que o mesmo teve a fim de julgar se é viável o emprego desses meios para o auxílio das tropas durante as operações. A elaboração de experimentos que testam as prestações do ARP será feita no próximo capítulo.

### 3 TESTES REALIZADOS E DADOS COLETADOS

Para permitir que as missões de patrulha tenham a possibilidade de serem auxiliadas por um *drone*, é necessário avaliar o mesmo em um nível bem específico. As componentes a serem instaladas devem estar em condições de cumprir a missão designada sem haver perda de rendimento que tenha a possibilidade de afetar o resultado da missão. O reconhecimento é uma tarefa a princípio simples, no processo, todavia, o veículo pode se embater em situações que impeçam o dispositivo de cumprir a tarefa designada. Para saber qual conjunto de sistemas integrados é o mais efetivo será necessário realizar alguns testes, esses últimos permitem observar quais são os aspectos críticos que podem aparecer durante o voo. A fim de encontrar o melhor conjunto de sistemas, bem como avaliar a viabilidade do *drone* para tarefas dessa natureza, serão apresentados a seguir os experimentos realizados e os respectivos resultados obtidos.

#### 3.1 Teste N°1: Avaliando o alcance / autonomia da bateria.

O quadricóptero empregado está equipado com uma bateria de lítio/polímero com 6000 mAh de capacidade, em condições normais atua com uma tensão de 11,1V. Conforme a carga vai reduzindo durante o seu emprego, a tensão média diminui, os quatro rotores precisam de uma voltagem mínima para sustentar o voo da aeronave, quando esse limite é alcançado, os motores não conseguem receber toda a energia necessária para o voo e o veículo realiza um pouso de forma por vezes incontrolável. Além disso a carga da bateria não pode alcançar valores muito abaixo do 70%, caso contrário ela pode perder a capacidade de acumular carga quando carregada novamente.

O teste N°1 visa analisar a capacidade do quadricóptero de realizar um voo programado e retornar ao ponto de decolagem (*home*), observando o comportamento da bateria, bem como o alcance da câmera do kit FPV para a transmissão em tempo real de imagens da área de voo, o local para a realização do teste está ilustrado na imagem abaixo (Figura 6).

Figura 6 - Planejamento do itinerário realizado com o *Mission Planner*.

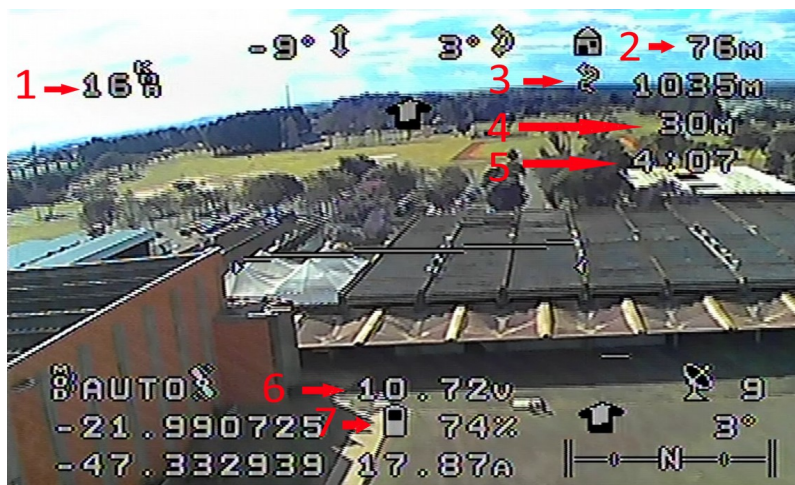


Fonte: Elaborado pelo autor por meio do aplicativo *Mission Planner*.

O aplicativo que foi utilizado para a realização do itinerário é o *Mission Planner*, para evitar qualquer falha oriunda de um voo manual pensou-se em preparar um percurso simples que o *drone* acompanharia de forma autônoma por meio da localização via satélites, na imagem acima podem-se observar dois pontos separados por uma linha amarela, cada ponto ilustra uma ação que o *drone* irá realizar uma vez alcançado aquele local no terreno, o ponto 1, coberto pelo 4, marca o local de partida (*takeoff*) para alcançar o próximo destino, no ponto 3 (coberto pelo 2) o *drone* está programado para realizar o itinerário inverso (*return to launch*) a fim de alcançar o ponto 4, no qual realizará um pouso de acordo com o planejamento (*land*).

A imagem a seguir ilustra uma captura de tela da gravação realizada durante o teste (Figura 7).

Figura 7 – Captura realizada durante o voo do teste n°1.



Fonte: O autor.

Dos dados telemétricos ilustrados na imagem acima vale a pena destacar algumas informações que a telemetria oferece:

1. Velocidade de deslocamento (Km/h);
2. Distância até o ponto de lançamento (*home*, em metros);
3. Distância percorrida (metros);
4. Altura do *drone* (metros);
5. Tempo estimado do voo (mm:ss);
6. Tensão da bateria (V);
7. Carga da bateria disponível (%).

Do voo realizado foram obtidos os seguintes resultados (Tabela 2):

Tabela 2 – Resultados do primeiro teste.

Missão	Distância percorrida (m)	Tempo de voo (mm:ss)	Velocidade máxima (Km/h)	Altura do voo (m)	Condições meteorológicas	Falhas de comunicação a partir de (m)	Bateria no pouso (%)
Avaliar a autonomia da bateria.	1110m	05:06	19Km/h	30m	Ensolarado Vento 1 - 2KT	380m	69%

Fonte: O autor.

A primeira experiência realizada nessa pesquisa, por quanto relativamente breve, permitiu analisar diferentes aspectos a serem avaliados no próximo teste.

A partir dos primeiros cem metros de percurso o dispositivo acusou leves interferências que dificultaram a visualização do terreno, após os quatrocentos metros as

interferências não permitiram discernir os objetos no terreno, essa condição, todavia, teve leves melhorias após os quinhentos metros, supondo assim que uma determinada área do itinerário acusava interferências por via de um dispositivo externo, não previsto no planejamento.

Percorrendo mais de mil metros a bateria terminou com 69% de carga, valor esse aceitável aos fins da pesquisa, uma vez que a patrulha não precisa realizar observações muito distantes do ponto de reunião próximo ao objetivo.

Tanto na imagem quanto na gravação pode-se observar que a qualidade da câmera FPV dificulta o discernimento de um ou mais sujeitos no terreno, sendo assim mais interessante empregar uma câmera de maior qualidade.

Após obter essas informações e ter realizado as devidas observações foram destacados os seguintes pontos a serem avaliados nos próximos testes:

- Realizar o itinerário em uma diferente área para descobrir se as interferências são do percurso ou do equipamento;
- Utilizar uma câmera de alta resolução para observar melhor as peculiaridades no terreno.

### **3.2 Teste Nº2: Instalação de uma câmera de alta definição.**

No teste anterior foi possível analisar uma captura de imagem sem graves perdas de sinal em um alcance de quase 600 metros. Para conseguir identificar com eficiência uma tropa localizada no terreno faz-se necessário o emprego de uma câmera de alta definição de dimensões e peso reduzidos. No mercado civil é possível encontrar um modelo chamado *GoPro* e é muito difundido entre os praticantes de esportes de alto risco.

Com os resultados obtidos no teste anterior, o segundo voo visa analisar as mudanças de rendimento do *drone* na substituição da câmera FPV por uma *GoPro Hero 4*, a mesma possui uma bateria própria, dessa forma não é necessário obter a energia da bateria principal. Através de um cabo pela transferência dos dados telemétricos na *GoPro* serão ilustrados todos os parâmetros de voo em tempo real como ocorreu com o kit FPV. Em contrapartida, o elevado peso da câmera proporciona maior esforço dos rotores e de consequência maior carga da bateria, uma câmera do tipo *GoPro* pode pesar 73 gramas a mais.

Para o teste a ser realizado não foi alterado o itinerário anterior, a distância a ser percorrida, todavia, foi aumentada em 400 metros.

Da navegação realizada foram obtidas as seguintes imagens (Figura 8).

Figura 8 - comparação de resolução entre uma câmera FPV (a esquerda) e uma *GoPro* (a direita).



Fonte: O autor.

Como pode-se observar as duas imagens foram feitas no mesmo voo. Após ter realizado vários testes em solo para implementar os dados telemétricos à câmera de alta resolução chegou-se a seguinte conclusão:

- É possível realizar essa sobreposição de dados telemétricos na *GoPro*, todavia os meios empregados para essa pesquisa impossibilitam essa operação em alta definição. O modelo *Hero 4* trabalha com dois tipos de entradas, a USB convencional e a micro HDMI (Figura 9). nesse projeto dispunha-se apenas de um cabo USB para conectar a câmera com os dados telemétricos, realizando assim uma filmagem de baixa resolução (Figura 10).

Figura 9 - As entradas existentes em uma *GoPro Hero 4*, USB (em baixo) e HDMI (em cima).



Fonte: LUCKYMIG. **How to use the GoPro Hero 4 for live production.** Disponível em: <<http://www.liveproductionblog.com/how-to-use-the-gopro-hero-4-for-live-production/>>. Acesso em: 08/09/2017.

Figura 10 - Imagem gravada com a *GoPro* conectada na controladora por um cabo USB.

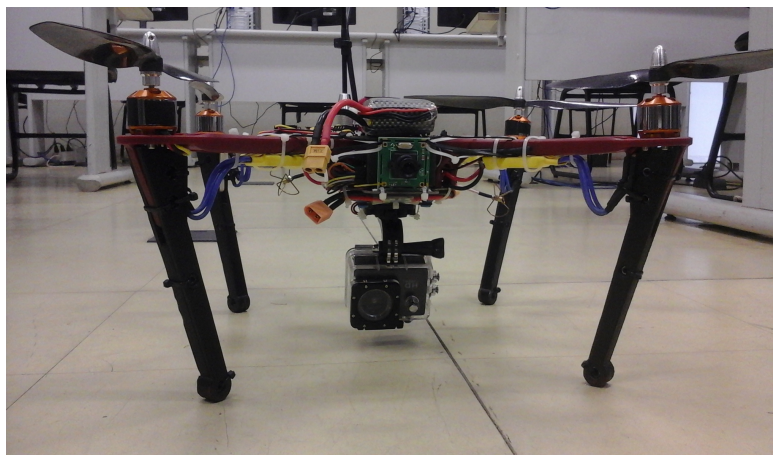


Fonte: O autor.

Para obter alguma imagem em alta definição pensou-se em registrar todo o voo de forma autônoma pela câmera para em seguida visualizar o vídeo após a missão. Vale ressaltar que essa decisão foge do propósito desse trabalho, uma vez que para uma patrulha é essencial receber os dados da área em tempo real.

A imagem abaixo ilustra o esquema realizado para conceber o resultado obtido na figura 8 (Figura 11).

Figura 11 – A câmera em cima é de baixa resolução, em baixo de alta resolução.



Fonte: O autor.

Além das informações obtidas com as duas câmeras, foi possível adquirir os seguintes resultados do voo (Tabela 3):

Tabela 3 – Resultados do segundo teste.

Missão	Distância percorrida (m)	Tempo de voo (mm:ss)	Velocidade máxima (Km/h)	Altura do voo (m)	Condições meteorológicas	Falhas de comunicação a partir de (m)	Bateria no pouso (%)
Testar a câmera de alta definição.	1539m	06:42	18Km/h	30m	Ensolarado Vento 4 - 5KT	440m	60%

Fonte: O autor.

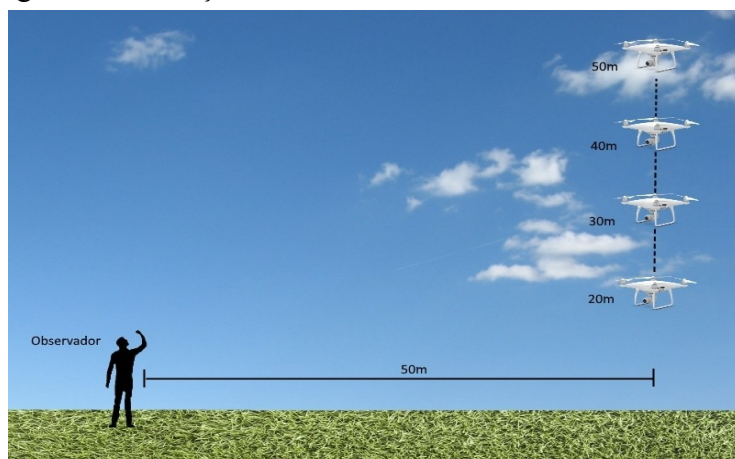
Pelo fato de a área do itinerário ter sido a mesma do teste anterior, não foi possível discernir se a interferência na comunicação foi causada pelo ambiente ou pelo dispositivo. Todavia mesmo com mais carga instalada e o percurso ter sido maior, o *drone* conseguiu retornar ao ponto de origem.

O teste N° 2 permitiu um maior entendimento sobre as demandas que uma imagem de alta definição requer durante o voo com o *drone*, todavia não foi possível definir com precisão um outro fator importante para a viabilidade desses veículos: a distância mínima para não ser percebido pela tropa inimiga, fator esse que será analisado no próximo teste.

### 3.3 Teste N° 3: Examinar o ruído do ARP x distância mínima para não ser detectado

Durante o retorno do ARP nos dois testes anteriores, foi observado que o voo de 30 metros de altura pode não ser suficiente para que a tropa inimiga não perceba a presença de um *drone*. Tendo em vista os resultados obtidos, o seguinte teste visa realizar um voo estático a uma distância de 50 metros da área do observador no qual o veículo irá elevar sua altitude de 10 metros a cada vinte segundos, partindo dos 20 metros até alcançar os 50 metros. Ao realizar essa experiência propõe-se trocar qualidade da imagem capturada com a dissimulação do dispositivo no ambiente. Vale ressaltar que o observador estará ciente da presença de um *drone* nos arredores, por isso o sigilo estará exposto. Durante a análise de ruídos será utilizado um gravador de som de alta sensibilidade para calcular com maior precisão até qual distância o *drone* será perceptível. O esquema do experimento está ilustrado nas imagens abaixo, observar a existência de diferentes pontos um encima do outro, isso se deve a mudança de altura que o dispositivo deve realizar a cada 20 segundos. (Figura 12 e 13).

Figura 12 – Posição do observador e do *drone* no teste N° 3.



Fonte: O autor.

Figura 13 – Esquema do voo no *Mission Planner*.

Waypoints

Waypoint	Comando	Loiter Radius	Alt padrão	Verificar altitude	Add Below	Aviso Alt	Espinha	Lat	Long	Alt	Delete	Up	Abaixo	Grad %	Angulo	Dist	AZ
1	TAKEOFF	0	0	0	0	0	0	0	0	20	X			0	0	0	0
2	LOITER_TIME	20	0	0	0	-21,9900264	-47,3329291	20			X			-87315,4	-89,9	58...	168
3	LOITER_TIME	20	0	0	0	-21,9900279	-47,3329277	30			X			4533,5	88,7	10,0	139
4	LOITER_TIME	20	0	0	0	-21,9900292	-47,3329257	40			X			3970,9	88,6	10,0	125
5	LOITER_TIME	20	0	0	0	-21,9900307	-47,3329274	50			X			4133,0	88,6	10,0	226
6	LAND	0	0	0	0	-21,9900332	-47,3329519	1			X			-1928,1	-87,0	49,1	264

Fonte: O autor.

Nas duas imagens acima, o observador não está diretamente embaixo do veículo, isso porque em uma situação real de reconhecimento o mesmo não estará sobrevoando a área de atuação inimiga, evitando também o excessivo afastamento do objetivo para não perder detalhes do terreno. Assim como ocorre na figura 8, desta forma o dispositivo percorre um itinerário menor, aumentando sua autonomia. Vale ressaltar que na figura 13 cada ponto indica

uma altitude que o drone deverá alcançar em voo pairado, por isso a necessidade de estarem próximos uns dos outros.

Após ter realizado o teste, foram obtidos os seguintes resultados (Tabela 4):

Tabela 4 – Resultados do terceiro teste.

Missão	Distância percorrida (m)	Tempo de voo (mm:ss)	Velocidade máxima (Km/h)	Altura do voo (m)	Condições meteorológicas	Falhas de comunicação a partir de (m)	Bateria no pouso (%)
Examinar o ruído de acordo com a distância.	101m	04:42	-	20m 30m 40m 50m	Ensolarado Vento 2 – 3KT	-	71%

Fonte: O autor.

Como pode-se observar na tabela acima, a peculiaridade do terceiro voo impossibilita a extração de determinados dados na tabela. Todavia foi possível obter outros tipos de dados:

- Aos 20 metros de altura era possível enxergar e perceber a presença do *drone*, alcançado os 30 metros o dispositivo era de difícil detecção, embora o ruído fosse um fator ainda perceptível, aos 40 metros o *drone* era quase imperceptível, aos 50 metros os ruídos confundiam-se com o ambiente e o *drone* não era mais observável.
- As gravações realizadas demonstraram que embora o veículo aumentava sua altitude, a qualidade das imagens não era muito afetada, concluindo assim que para o reconhecimento é possível afastar mais a viatura da tropa inimiga para reduzir aos mínimos os ruídos e a visibilidade do mesmo (Figura 14, 15, 16 e 17).

Figura 14 – Voo de 20 metros.



Fonte: O autor.

Figura 15 – Voo de 30 metros.



Fonte: O autor.

Figura 16 – Voo de 40 metros.



Fonte: O autor.

Figura 17 – Voo de 50 metros.



Fonte: O autor.

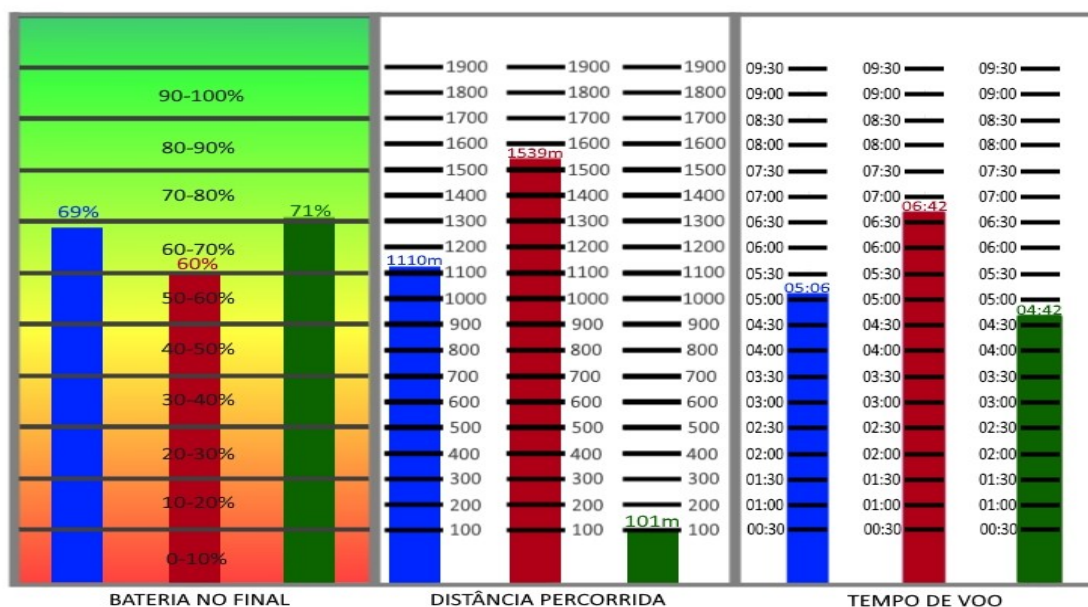
Obs: Cada foto da direita foi realizada dos respectivos pontos indicados pelos círculos vermelhos nas imagens a esquerda

Após ter realizado os três testes para a análise dos requisitos do quadricoptero, foram obtidos uma quantidade de informações suficientes para realizar uma análise geral.

### 3.4 Síntese dos resultados obtidos.

Na execução dos três voos foi possível adquirir dados e conhecimentos essenciais para avaliar a efetividade desses veículos no cenário que o curso se encontra atualmente. Para recapitular os dados obtidos até agora foi realizado um gráfico comparando os três aspectos mais importantes de qualquer missão com o ARP: carga restante, distância percorrida e tempo de voo (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Dados recolhidos e separados por categoria.



Fonte: O autor.

Com o gráfico acima e com as observações realizadas ao longo dos experimentos é possível levantar as seguintes conclusões:

- No segundo voo o percurso foi 429 metros maior do primeiro (quase a metade a mais), contudo a diferença de consumo da bateria foi 9%, vale ressaltar que no teste N° 1 o *drone* não estava equipado com a câmera de alta definição, isso quer dizer que o deslocamento da viatura propriamente dito não é o ato que consome mais energia, a maior parte do gasto ocorre nas ocasiões que o ARP permanece em voo pairado. No caso do terceiro voo constata-se essa hipótese, uma vez que o deslocamento foi de 101

metros, mas por ter permanecido mais de 4 minutos em voo constantemente pairado, a bateria alcançou o 71% de carga.

- Na gravação do segundo voo foi possível identificar um intervalo no percurso realizado automaticamente pelo *drone* para restabelecer o equilíbrio perdido devido a uma corrente de vento, esse evento foi possível graças ao giroscópio presente na controladora que, com as devidas programações, altera a potência que cada rotor recebe para forçar o veículo a manter o correto nivelamento e seguir para a missão. Todo esse processo, todavia, utiliza muita carga, por isso pequenas correntes de vento podem perturbar a consecução da missão.
- A qualidade de uma câmera de alta definição permite uma observação eficiente do terreno, mas os testes realizados não permitiram avaliar os requisitos da bateria para enviar em tempo real imagens em HD ao piloto. O próximo capítulo irá levantar o assunto de forma mais aprofundada.
- Os ruídos gerados pelos rotores dependem de vários fatores. No teste N° 2 o ARP realizou diferentes compensações devido às correntes de vento, durante o balanceamento os rotores realizam mais esforço e, conseqüentemente, mais som. Essa análise permitiu concluir que para aumentar o equilíbrio recomenda-se o emprego de um *drone* de maiores dimensões, bem como pás de maior comprimento, permitindo uma força de empuxo superior e, conseqüentemente, menor energia consumida.

De forma geral, com os meios que a pesquisa dispunha foi possível alcançar uma quantidade satisfatória de resultados, deseja-se salientar a possibilidade de futuras pesquisas com a presença de outros instrumentos que permitam complementar o trabalho até agora realizado. O próximo capítulo pretende listar alguns aparelhos ou modalidades possíveis para enriquecer ulteriores estudos.

### **3.5 Ferramentas para o enriquecimento da pesquisa**

Como exposto anteriormente, é possível encontrar no mercado aparelhos e sistemas capazes de otimizar as prestações de um *drone* responsável pela reconhecimento do perímetro inimigo. No capítulo anterior foram expostos determinados problemas encontrados nos voos

com as ferramentas aplicadas como compensação do vento, falhas nas comunicações, excesso de ruídos, entre outros. Esse tópico pretende, assim, expor a melhor solução às dificuldades encontradas na elaboração dos testes realizados no capítulo 3.

### 3.5.1 Ventos

As análises demonstraram que o vento influencia consideravelmente nas prestações e no cumprimento da tarefa designada, uma vez que o nívelamento automático exige muita carga da bateria, o vento em si é um fator que força o trabalho dos rotores, gerando mais ruídos.

O constante rebalanceamento pode ser resolvido empregando um *drone* de dimensões maiores, bem como hélices de maior diâmetro, são disponíveis também veículos de 6 ou 8 rotores que têm um equilíbrio elevado, muito empregados nas gravações de filmes. Seguem abaixo exemplos dos mesmos (Figura 18 e 19).

Figura 18 – Hexacoptero YUNEEC Typhoon H.



Fonte: BHPHOTOVIDEO. **YUNEEC Typhoon H Hexacopter with GCO3+ 4K Camera**. Disponível em: <[https://www.bhphotovideo.com/c/product/1311480-REG/yuneeec\\_yuntyhscus\\_typhoon\\_h\\_rtf\\_in.html](https://www.bhphotovideo.com/c/product/1311480-REG/yuneeec_yuntyhscus_typhoon_h_rtf_in.html)>. Acesso em 17/09/2017.

Figura 19 – Octocoptero Galaxy R8700.



Fonte: ALTAVIAN. **Altavian Releases Galaxy R8700 Octocopter**. Disponível em: <<https://www.altavian.com/2016/08/29/altavian-releases-galaxy-r8700-octocopter/>>. Acesso em: 17/09/2017.

### 3.5.2 Comunicação

A quantidade de dados obtidos em tempo real durante o itinerário foram satisfatórios frente aos objetivos propostos, mas para missões onde o dispositivo realiza observação em pontos bem afastados do piloto a comunicação pode enfrentar falhas. Posto isso o site Digi oferece uma solução a esse problema, a empresa disponibiliza sistemas de comunicação remota de curto e longo alcance, chegando até os 104 km (<https://www.digi.com/xbee>). Vale ressaltar que as radiocomunicações de longo alcance trabalham em uma faixa de frequência menor das convencionais, afetando a qualidade das transmissões, dessa forma a passagem de grandes pacotes de dados não seria possível, como imagens em alta definição.

### 3.5.3 Bateria

A bateria é a parte de maior peso e custo no *drone*, geralmente são empregadas baterias em LiPo de alta potência para alimentar os rotores, a empregada nos testes é de 6000 mAh e pode ser adquirida por R\$150. Baterias de maior capacidade como as de 8000 mAh e 10000 mAh custam cerca de R\$ 300 e R\$ 350, respectivamente.

### 3.5.4 Imagem

Para uma câmera de alta performance de ARP é necessário ser compacta e leve. Atualmente a GoPro Hero 5 é a que melhor cumpre esses objetivos. Com a qualidade 4K do HDMI realiza imagens em grandes distâncias sem perder a resolução. Outro item a ser considerado durante o emprego de fotocâmeras é o gimbal, o mesmo permite mover a câmera e estabilizá-la graças ao sistema de amortecimento mantendo o *drone* na mesma posição, isso permite fixar a filmadora durante os vídeos (Figura 20).

Figura 20 – Gimbal Walkera G-2D



Fonte: TOPGIMBALS. **Best Drone Gimbals – quadcopter gopro stabilizers.**  
Disponível em: <<https://topgimbals.com/drone/>>. Acesso em 17/09/2017.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conseguir aprimorar o Curso de Formação de Oficiais de Infantaria é uma tarefa complexa mas necessária, uma vez que os conflitos armados estão em constante evolução. A Força Aérea procura se atualizar diante das vanguardas que lideram o cenário dos conflitos mundiais, isso inclui o emprego de VANTs e MINI UAV que atuam de forma decisiva para o cumprimento de determinadas missões. Com esse propósito o projeto procurou introduzir o leitor no contexto que a guerra moderna se encontra a respeito dos veículos remotamente pilotados. A importância de aplicar esses conhecimentos no ambiente das táticas de combate terrestre, bem como despertar o interesse na metodologia do trabalho no que diz a respeito a montagem de um aparelho multirotor capaz de realizar um voo de observação de área. Atualmente o clube de aerodelismo, em parceria com o clube de guerra eletrônica disponibiliza material para a construção de um *drone* com o objetivo de aprimorar o conhecimento e aumentar o interesse dos membros a respeito desses conceitos.

A maior dificuldade que os *drones* enfrentam para serem aplicados em uma atividade de infantaria é a limitação de materiais que a mesma dispõe durante uma operação, por isso foi necessário realizar uma análise dos parâmetros mínimos que o dispositivo tem de apresentar para realizar com sucesso uma determinada tarefa. Com o material a disposição testaram-se as capacidades do ARP, bem como os problemas encontrados, estes últimos foram analisados e discutidos a fim de expor as melhores adaptações aos meios utilizados durante a pesquisa para otimizar o rendimento. Vale ressaltar que futuras pesquisas podem enriquecer o conhecimento até agora obtido a respeito desses dispositivos.

Em todos os voos realizados foi observado que o *drone* realiza as missões com bom proveito, reduzindo-se contudo a uma operação por bateria, isso pode ser compensado pela presença de mais sistemas de alimentação ou de maior duração. Considerando os resultados obtidos, bem como a viabilidade de aprimorar os sistemas a disposição, a possibilidade de incluir os sistemas analisados para o CFOInf é um fato atingível, alcançando assim o objetivo proposto no presente trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIEXPRESS. **RC Parts & Accessories**. Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com>>. Acesso em: 04/10/2017.

BRASIL. **Caderno de instrução patrulhas**. Pirassununga: Academia da Força Aérea/Ensino, 2016.

\_\_\_\_\_. **Plano de unidades didáticas curso de formação de oficiais de infantaria**. Pirassununga: Academia da Força Aérea/Ensino, 2016.

\_\_\_\_\_. Comando da Aeronáutica. Academia da Força Aérea. **Relatório final de emprego**. Pirassununga, SP, 2015.

CALLAM, Andrew. **Drone Wars: Armed Unmanned Aerial Vehicles**. Disponível em: <<http://www.iar-gwu.org/node/144>>. Acesso em: 08/10/2017.

CARR, S. S.; KEANE, J. F. **A brief history of early unmanned aircraft**. Revista Johns Hopkins APL Technical Digest, Maryland, v.32 n.03, p.558-, 2013.

CHAMAYOU, G. **Teoria do Drone**. Tradução de Célia Euvaldo. São Paulo: Cosac Naify, 2015. 192 p.

Citador, [20-?], Lao-Tsé. Disponível em: <<http://www.citador.pt/frases/conhecer-os-outros-e-inteligencia-conhecerse-a-laotse-6261>>. Acesso em: 19/09/2017.

HATAWAY, D. C., **Germinating a new SEAD**. 2001. 97 p. Tese - School of Advanced Airpower Studies, Air University, 2001.

NEWCOME, Laurence R., **Unmanned Aviation: A Brief History of Unmanned Aerial Vehicles**. United States: AIAA, 2004.

NASA. **Earth Observation and the Role of UAVs**. 2006. 9 p.

TRECCANI, Giovanni. Istituto della Enciclopedia Italiana. **Teorema**. 2015. Disponível em: <<http://www.treccani.it/enciclopedia/teorema/>>. Acesso em: 12/08/2017.

PINTO, Tales. **"Uso de drones na guerra moderna"**. Disponível em: <<http://guerras.brasilecola.uol.com.br/seculo-xii/drones-guerra-moderna.htm>>. Acesso em: 09/03/2017.

SILVA, Valdo. **As potencialidades do emprego mini-UAV na infantaria: implicações doutrinárias e conceituais para os baixos escalões**. 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10400.26/7537>>. Acesso em: 08/03/2017.

SPETALNICK, M.; STONE, M. **Exclusive: Game of Drones - U.S. poised to boost unmanned aircraft exports**. 2017. Disponível em: <<https://in.reuters.com/article/trump-effect-drones/exclusive-game-of-drones-u-s-poised-to-boost-unmanned-aircraft-exports-idINKBN1CG0ER>>. Acesso em: 26/10/2017.



## ANEXO I

### Lista de materiais utilizados na construção do VANT

Os materiais utilizados na construção do VANT são listados a seguir (ALIEXPRESS, 2017):

1. Frame do tipo F450 com as seguintes características e dimensões:

- a. Peso: 282g
- b. Distância entre eixos simétricos: 450 mm
- c. 04 braços (2 brancos e 2 vermelhos)
- d. 01 placa top board (parte superior do frame)
- e. 01 placa bottom board (parte inferior do frame com distribuição de energia)
- f. 24 parafusos de fixação dos braços
- g. 01 trem de pouso



2. 04 ESC's (Electronic Speed Controller) com as seguintes dimensões e características:

- a. Saída: 30A contínuo
- b. Tensão de entrada: 5,5 v – 12,6 v (2 a 4 células de bateria de lítio)
- c. BEC (Battery Eliminator Circuit): 5V/2A
- d. Peso: 25g
- e. Tamanho: 32x24x7mm



3. 04 Motores Brushless A2212 1000kv com as seguintes dimensões e características:

- a. Tamanho: 27,8x27mm Eixo: 3,17 mm
- b. Peso: 48g
- c. RPM/V: 1000 KV
- d. Empuxo: aprox. 1 Kg com hélice de 10x4,5"
- e. 04 Spinner
- f. 16 parafusos de fixação



4. 04 hélices com as seguintes características e dimensões:

- a. Material: Fibra de carbono
- b. Tamanho: 10x4,5"
- c. Diâmetro do eixo: 6,0 mm
- d. Espessura do centro: 9,0 mm



5. 01 controladora APM 2.6 ArduPilot com as seguintes características e dimensões:

- a. Processadores ATMEGA2560 e ATMEGA32U para funções de processamento e USB, respectivamente
- b. Inclui giroscópio de 3 eixos
- c. Inclui acelerômetro de 3 eixos
- d. Inclui barômetro de alto desempenho
- e. Inclui magnetômetro
- f. Memória flash on-board de 4MB
- g. Peso: 38g
- h. Tamanho: 70x44x13mm



6. 02 Rádios Telemetria (TX e RX) com as seguintes características e dimensões:

- a. Banda: 433 MHz
- b. Saída: 100mW (20 dBm) – ajustável entre 1-20dBm
- c. Sensibilidade: -121dBm
- d. Interface: Padrão TTL UART
- e. Taxa de dados: 250 Kbps
- f. Peso: 4g (sem antena)



7. 01 Módulo GPS com as seguintes especificações:

- a. Descrição: UBlox 6M GPS
- b. Chip: U-Blox NEO-6M
- c. Transmissão: 115.200 bps
- d. Bússola on-board HMC5883L
- e. Precisão: 1us
- f. Sistema de coordenadas: WGS-84



g. Tensão de alimentação: +3,5v ~ +5,5v

8. 01 Bateria com as seguintes especificações:

- a. Tipo: LiPo – Lítio/PolímeroVolts: 11.1V  
Capacidade: 6000 mAh
- b. Número de células: 3S
- c. Descarga contínua: 40C
- d. Máximo de taxa de burst: 80C
- e. Máximo de volts por célula: 4.25 V
- f. Máximo de volts do pacote: 12.6 V
- g. Dimensões: 155x48x25 mm
- h. Peso: 401g



9. 01 Rádio Controle com as seguintes especificações:

- a. Modelo: Turnigy 9X  
Frequência: 2.4 GHz  
Canais: 8 canais PPM / 9 canais PCM
- b. Display digital: 128 x 64 LCD
- c. Tipos de modelos suportados: Heli / Aero / Planador
- d. Memória: suporta 8 modelos
- e. Tipo de encoder: PPM / PCM
- f. Inclui 01 receptor de 8 canais



10. 01 Módulo de alimentação com as seguintes especificações:

- a. Máxima tensão de entrada: 28 V
- b. Máxima corrente de detecção: 90<sup>a</sup>
- c. Medição de tensão e corrente configurado para 5 V ADC
- d. Saída de comutação: regulador de 5,3 V e 3A MAX



11. 01 OSD – On Screen Display com as seguintes características e dimensões:

- a. Tensão: +5V com regulador 500mA para a entrada de alimentação até 12V
- b. Processador: Atmega328P com Arduino bootloader  
Exibição de tela: MAX7456 monocromático
- c. Tamanho: 43 x 17 x 7 mm
- d. Peso: 14g





12. 01 Kit FPV – First Person View com os seguintes dispositivos e especificações:

- a. 01 Monitor TFT LCD 7" de 800x480, razão de exposição 16:9, tensão de entrada de 6 ~ 18 V DC, tamanho 182x127x32mm, peso 363g
- b. 01 câmera, dimensão 32x32mm, peso 15g, sistema de sinal PAL/NTSC, resolução 900TVL, tensão de entrada de 12V DC
- c. 01 transmissor TS832, frequência 5.8 GHz, tensão de entrada de 7.4~16 V, potência de transmissão de 600mA, ganho da antena de 2dB, formato de vídeo NTSC/PAL Auto, largura de banda de vídeo 8M, largura de banda de áudio 6.5M, peso 22g, dimensão 54x32x10mm, antena RP-SMA plug
- d. 01 receptor RC832, tensão de entrada 12V, impedância da antena 50Ω, ganho da antena 2dB, impedância de vídeo 75Ω, formato de vídeo NTSC/PAL Auto, dimensão 80x65x15mm, peso 85g, antena RP-SMA plug.



## ANEXO II

	<b>REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL</b> FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL	
	<b>AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL</b> NATIONAL CIVIL AVIATION AGENCY	

**CERTIDÃO DE CADASTRO DE AERONAVE NÃO TRIPULADA – USO RECREATIVO**  
**UNMANNED AIRCRAFT REGISTER CERTIFICATE - RECREATIONAL**

Esta certidão de cadastro, emitida de acordo com o RBAC-E nº 94, é válida até **23/08/2019**, salvo em caso de cancelamento, suspensão ou revogação pela Autoridade de Aviação Civil Brasileira.

*This Register Certificate, issued in accordance with RBAC-E nr. 94, shall remain valid until **08/23/2019**, unless it is cancelled, suspended or revoked by the Brazilian Civil Aviation Authority.*

Operador (Operator)  
**GUILHERME AUGUSTO SPIEGEL GUALAZZI**

CPF (document):  
 139.630.298-03

Nº do cadastro (Register Number):

**PR-014844257**

Uso (Purpose): recreativo (recreational)

Fabricante (Maker): EQUIPAMENTO MONTADO

Modelo (Model): Quadricóptero - F450 - APM 2.6  
 Ardupilot

Nº de série (Serial Number): s/n

Peso máximo de decolagem (MTOW): 1,80 kg

Foto (Picture):



**O descumprimento da regulamentação aplicável pode ensejar consequências administrativas, civis e/ou criminais para o infrator.**

Informações adicionais (additional information):  
 Equipamento utilizado para experimentos e aulas práticas na Academia da Força Aérea

O detentor desta certidão de cadastro (o operador) é considerado apto pela ANAC a realizar voos **recreativos** no Brasil, com a aeronave não tripulada acima identificada, em conformidade com os regulamentos aplicáveis da ANAC. É responsabilidade do operador tomar as providências necessárias para a operação segura da aeronave, assim como conhecer e cumprir os regulamentos do DECEA, da Anatel, e de outras autoridades competentes.

*The holder of this register certificate (the operator) is considered apt by Brazilian Civil Aviation Authority to perform **recreational** flights in Brazil, using the above identified unmanned aircraft, in conformity with the applicable regulations of Brazilian Civil Aviation Authority. It's the operator's responsibility to take the necessary actions to ensure a safe operation, as well as know and comply with the regulations of air traffic control (ATC), telecommunications, and other competent authorities.*

A validade desta certidão pode ser verificada pelo link  
<https://sistemas.anac.gov.br/SISANT/Aeronave/ConsultarAeronave>

Local e data da emissão (Place and date of issue)

**Brasília, 23 de agosto de 2017**  
**Brasília, August 23rd, 2017**