

ARTIGO ORIGINAL

CÂMERA TERMAL EM DRONES: VANTAGENS E DESVANTAGENS EM RELAÇÃO À BUSCA AÉREA COM CÂMERAS TRADICIONAIS PARA LOCALIZAÇÃO DE VÍTIMAS PERDIDAS EM MATA

Daniel William Simião Bridi¹; Kleber Silveira de Castro¹

1. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais

RESUMO

Este estudo comparou o desempenho de câmeras térmicas e câmeras tradicionais (RGB) de drones em operações de busca de vítimas perdidas em mata ou área rural, realizadas pelo Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. Para tanto, foi realizado um experimento no Parque Estadual da Serra do Rola Moça, Belo Horizonte/Minas Gerais, simulando situações de pessoas perdidas. As simulações foram realizadas nos períodos noturno e diurno e, em ambas, as vítimas foram localizadas por meio do uso de câmeras térmicas e convencionais. Outro ponto analisado foi a associação da câmera com outros acessórios do equipamento. As condições do experimento (luminosidade, altitude do equipamento, tempo de voo e condições do terreno) foram estabelecidas a partir de uma revisão dos documentos internos relativos a registros de ocorrências de pessoas desaparecidas em mata/área rural, atendidas pelas unidades operacionais localizadas na região metropolitana de Belo Horizonte durante o ano de 2018. Os resultados mostraram que o tempo para localização da vítima por meio de câmera termal foi menor no período noturno, enquanto que, com o uso da RGB, a vítima foi localizada mais rapidamente no período diurno. Evidenciou-se que, em comparação às abordagens tradicionais, o tempo de busca com drones pode ser otimizado. Concluiu-se que tais equipamentos são ferramentas importantes em operações de salvamento e pode ser utilizado em todas as unidades de bombeiros em Minas Gerais.

Palavras-chave: Aeronaves Remotamente Pilotadas; Drone; Câmera termal; Busca; Bombeiros.

THERMAL CAMERA IN DRONES: ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OVER AERIAL SEARCH WITH TRADITIONAL CAMERAS

ABSTRACT

This study aimed to compare the performance of thermal cameras and traditional drone cameras (RGB) in search operations for lost victims in the woods or rural areas carried out by the Minas Gerais Fire Department. An experiment based on lost victim scenario was performed in the State Park of Serra do Rola Moça, Belo Horizonte / Minas Gerais. The experiment conditions (luminosity, equipment altitude, flight time, and terrain conditions) were established based on a review of occurrences records of missing people in the forest / rural area attended by the fire units located in Belo Horizonte during 2018. The scenarios were carried out during the day and at night. In both circumstances, the victims were located using thermal and conventional cameras. The results showed that the thermal camera was associated with a shorter time to find the victim at night while the RGB pilots located the victims more quickly in the daytime. Compared to traditional tools, the time to find victims could be optimized when drones were used to assist rescue services. This equipment is an important device and could be used in the Minas Gerais fire units.

Keywords: RPA; Drone; Thermal cameras; Search; Fire Department.

Recebido em: 11/11/2019

Aprovado em: 10/07/2020



1 INTRODUÇÃO

No ano de 2019, o Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG) atuou na maior ocorrência de busca e salvamento de toda a sua história: o rompimento da barragem de rejeitos da mineradora Vale, na mina Córrego do Feijão, município de Brumadinho. Até o dia 08 de agosto de 2019 foram 197 dias de busca, com a participação de mais de 1000 bombeiros militares. Foram realizadas 1.214 missões de helicópteros de várias instituições, que atingiram cerca de 1.540 horas de voo. Deste total, os helicópteros do CBMMG voaram aproximadamente 292 horas e as aeronaves remotamente pilotadas (*remotely piloted aircraft system* – RPAS), aproximadamente 210 horas (MINAS GERAIS, 2019a). Os drones da corporação são denominados Veículos Especiais de Suporte e Prevenção Aérea (VESPAs).

A aquisição das RPAS significou uma melhoria no desempenho operacional, por ser uma nova tecnologia aplicada à intervenção em desastres. As RPAS trabalharam em coordenação com helicópteros e complementaram os voos de observação e reconhecimento. Essa operação alavancou a aplicação e também gerou a demanda de melhor conhecer as potencialidades desse equipamento para a utilização por bombeiros em Minas Gerais.

O CBMMG busca atingir a excelência dos serviços prestados à sociedade, o que mostra a responsabilidade da Instituição em desenvolver-se e aperfeiçoar-se a cada dia (MINAS GERAIS, 2017). O Plano de Comando 2015-2026 afirma a necessidade da implementação de novas tecnologias como forma de atender as demandas sociais impostas ao CBMMG pelos cidadãos mineiros de maneira mais célere, transparente e com maior qualidade (MINAS GERAIS, 2017). Os drones podem ser considerados ferramentas úteis, capazes de gerar informações para a tomada de decisão em ocorrências. Eles permitem

uma visualização macro de áreas e, devido à varredura territorial acelerada, diminuem o tempo resposta *in loco* (SILVA, 2018). Neste contexto, em 2019, o uso das RPAS passou a integrar as ações da instituição nos atendimentos às ocorrências por meio do programa RPAS (MINAS GERAIS, 2019b). Desde então, houve uma preocupação em padronizar e colocar efetivamente em funcionamento o emprego desse tipo de aeronave. O programa prevê, dentre várias padronizações, a formação de pilotos, a divulgação e a articulação do uso de RPAs entre as unidades operacionais e emprego da política institucional para seu aproveitamento em operações com Sistema de Comando em Operações (SCO) (MINAS GERAIS, 2019b). Assim, os drones poderão ser empenhados nas mais diversas atividades dentro de missões de Segurança Pública/Proteção e Defesa Civil, combate a incêndios urbanos e florestais, busca de pessoas desaparecidas em mata, ocorrências com produtos perigosos, plataforma de observação, entre outras.

Neste intuito, entre os acessórios presentes nos novos equipamentos adquiridos pelo CBMMG, as câmeras térmicas são um grande implemento tecnológico nos drones, uma vez que, provavelmente, potencializam os resultados e a eficiência das ações operacionais. As câmeras equipadas com infravermelho produzem imagens que, através da emissão de radiação eletromagnética invisível ao olho humano, são capazes de captar a radiação de ‘calor’ e contam, ainda, com a capacidade de medição de temperatura precisa e sem contato (FLIR, 2019b). Agrega-se a essa peculiaridade o ângulo de observação diferenciado em relação à utilização em terra - ou na cota 0 - da câmera térmica, uma vez que a aeronave proporciona uma amplitude de visualização que é aprofundada pela capacidade de diferenciação de objetos por meio da dissipação de calor, diferentemente da câmera tradicional (DJI, 2019). A câmera RGB é o modelo

tradicional de produção de imagens visuais, que se restringe a reproduzir a visão humana por meio da mistura das cores vermelho (*red*), verde (*green*) e azul (*blue*) realizada, em princípio pelo desenvolvimento de tubos de raios catódicos. Porém, o processo hoje é reproduzido digitalmente, obtendo resultados de melhor qualidade (SILVEIRA, 2010).

Essa diferença na aplicação da câmera termal foi notada na ocorrência do rompimento da barragem de rejeitos em Brumadinho, no ano de 2019. As VESPA's auxiliaram na difícil tarefa de localização de corpos das vítimas por meio de visão aérea do local do desastre, utilizando o recurso de diferenciação térmica dos diversos ambientes e comparação de imagens que, ao serem analisadas, eram repassadas ao comando da operação no intuito de planejar melhor as buscas. Como exemplo, pode-se citar a utilização de um drone equipado com câmera termográfica que, após um voo noturno, permitiu a identificação de uma área diferenciada. Posteriormente, a área foi escavada e encontrado um container (MINAS GERAIS, 2019a).

O uso de drones com câmera térmica pode ser um diferencial em operações de busca, otimizando o tempo de localização, como também oferecendo dados que auxiliam no trabalho dos que estão em terra. Outras vantagens se somam, como o monitoramento de reservas ambientais e levantamento aéreo de focos de incêndios (LIMA, 2016). Outro benefício deste equipamento a ser pontuado seria, em casos de colisão, a baixa intensidade de danos, poucos riscos operacionais e baixos custos com as perdas causadas por panes (FERNANDES, 2016).

Nota-se a importância de pesquisar o emprego de drones com câmeras térmicas em operações de busca para melhor compreender suas características, diferenças e aplicabilidade. Dessa forma, será possível dar os primeiros passos na determinação de parâmetros que servirão para balizar o treinamento dos futuros pilotos de

VESPA's da instituição. Tendo isso em vista, o objetivo do estudo foi comparar e identificar o tempo de atendimento com a aeronave *DJI Mavic 2 Enterprise Dual* (M2ED) em voos diurnos e noturnos, utilizando as câmeras RGB e termal.

2 MÉTODO

No intuito de melhor compreender as aplicabilidades das aeronaves remotamente pilotadas equipadas com câmeras termais, foi realizado um experimento no qual se propôs testes de campo com drones *DJI Mavic 2 Enterprise Dual* manipulados por pilotos de RPA do Batalhão de Operações Aéreas (BOA).

2.1 Análise documental

Preliminarmente à realização do experimento, realizou-se análise documental dos Registro de Eventos de Defesa Social (REDS), disponibilizados pelo Centro Integrado de Informações de Defesa Social. Foram utilizadas neste estudo as ocorrências de desaparecimento em mata/área rural atendidas pelas unidades operacionais localizadas na cidade de Belo Horizonte, sendo estas, 1º, 2º e 3º Batalhões (BBMs), Batalhão de Emergências Ambientais e Respostas a Desastres (BEMAD) e BOA durante o ano de 2018. Utilizou-se as ocorrências classificadas com natureza S04007 - busca e salvamento de pessoa perdida / desaparecida, conforme Diretriz Integrada de Ações e Operações de Defesa Social (MINAS GERAIS, 2019e), filtrando-se ainda o local para matas e áreas rurais. O objetivo desta coleta de dados foi estabelecer as condições do experimento para definição do local da busca e condições do terreno.

2.2 Experimento

2.2.1 Participantes

As RPAs foram pilotadas por

2 militares do BOA, enquanto 2 cadetes do curso de formação de oficiais simularam vítimas/pessoas desaparecidas em mata. Cabe ressaltar que os pilotos que conduziram as aeronaves possuíam grau de experiência similar tanto no uso de camera térmica, quanto na tradicional. Outro ponto relevante a ser citado é o de que as vítimas selecionadas possuíam características físicas semelhantes, conforme melhor explicitado nos resultados deste estudo.

2.2.2 Equipamento

A aeronave remotamente pilotada utilizada no teste de campo foi a *DJI M2ED*, drone que possui no mesmo guimbal uma câmera RGB e uma câmera termal: a câmera RGB (colorida, tradicional e que equipa a maioria dos drones) conta com imagem 4k (3840 × 2160 *pixels*), 30 *frames* por segundo (*fps*) para vídeos e de 12 *megapixels* para fotos; a câmera termal possui imagem de 640 x 360 *pixels*, 8,7 *fps* para vídeos e de 640 x 480 *pixels* (4:3) ou 640 x 360 *pixels* (16:9) para fotografias. Na visualização da imagem feita pela câmera termal há duas opções: Infra Vermelho (*Infrared - IR*) e em *Mult-Spectral Dynamic Imaging* (MSX), que é a exibição de uma imagem infravermelha onde as bordas dos objetos são aprimoradas (FLIR, 2019a).

O modelo *Enterprise* da aeronave *DJI Mavic 2* possui três acessórios para uso profissional: holofote (lanterna LED para uso em voos noturnos); farol ou *beacon* (facilita a visualização do drone por outras aeronaves tripuladas, possibilitando compartilhamento do mesmo espaço aéreo com segurança); e alto-falante (caixa de som que reproduz na aeronave mensagens de voz do piloto). Seus sensores de obstáculos possibilitam um voo mais seguro e recursos como o *AirSense* (identificação de aeronaves que possuam *trans-*

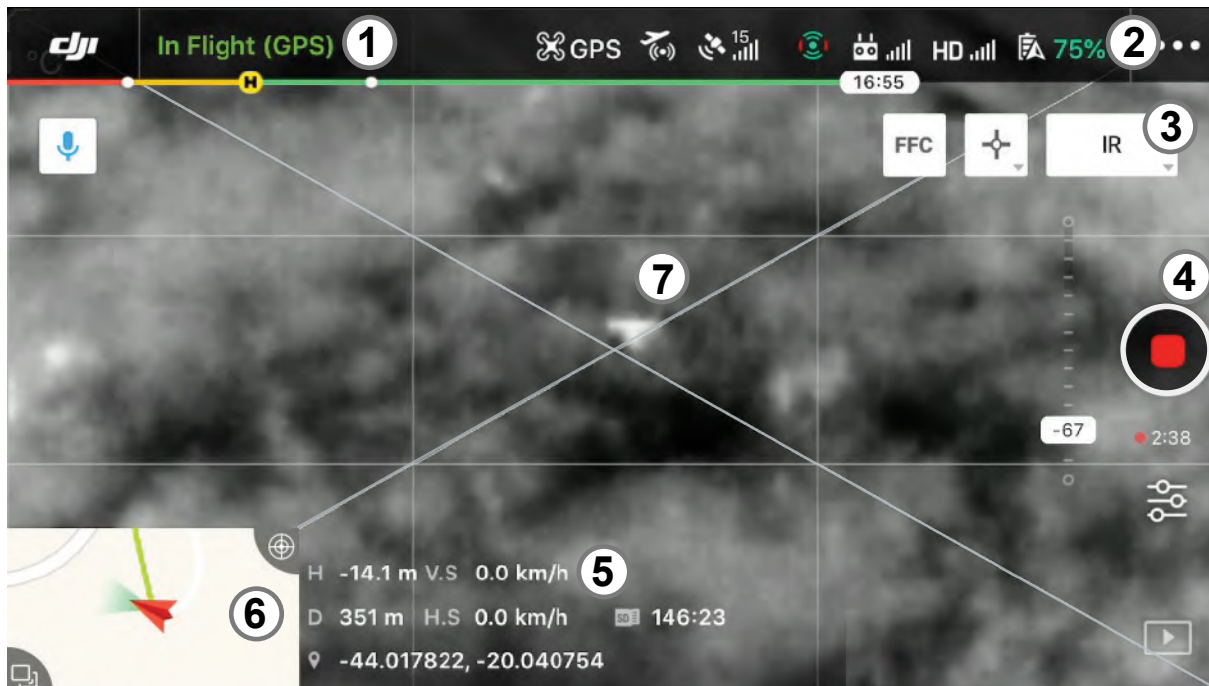
ponder ADS-B) dão conhecimento do ambiente aéreo ao piloto. A aeronave pode chegar a uma velocidade máxima de 72 Km/h e possui autonomia de 31 minutos (DJI, 2019).

O programa utilizado no tablet para controle das funções é o aplicativo do fabricante – *DJI pilot*. As principais informações disponíveis na tela para o piloto são: status de voo/mensagens de aviso, barras que indicam presença de obstáculos de voo, modo de voo, status do *AirSense*, telemetria de voo (velocidades horizontal/vertical, altura e distância relativas ao ponto de decolagem, coordenadas geográficas), níveis de bateria, sinal de radares, opções de foco na imagem e configurações na câmera, data/hora do voo e uma opção de visualização da localização da RPA em mapa de satélite. O aplicativo conta ainda com acesso às configurações do sistema e comandos como: a ativação das luzes do drone, reprodução de mensagens pelos alto-falantes e troca do tipo de câmera (DJI, 2018), conforme Figura 1.

2.2.3 O experimento

Um protocolo de orientações aos pilotos e às vítimas da pesquisa de campo foi desenvolvido pela equipe de pesquisa e foi denominado “Protocolo de Atividade de Campo Aplicada” (Apêndice A), tendo como base as condições estabelecidas para o experimento. Os pilotos foram orientados quanto os quadrantes onde seriam realizadas as buscas, tanto em mapa (ver Figura 1), como *in loco*. Os quadrantes apresentavam diversas formas de vegetação (ausência de mata fechada, pouca mata fechada, considerável presença de mata fechada e muita mata fechada) e relevo (plano, poucos acidentes topográficos, considerável presença de acidentes topográficos e terreno montanhoso).

Figura 1 – Tela do aplicativo DJI pilot



Legenda: 1 - Status de voo; 2 - Nível de bateria; 3 - Tipo de câmera; 4 - Fotos/Gravação; 5 - Telemetria do voo; 6 - Mapa; 7 - Visualização da vítima.

Fonte: Dados da pesquisa.

Por sorteio foi definido que o piloto número 1 voaria utilizando imagens da câmera RGB e o piloto número 2 com imagens da câmera termal, sendo que dos 8 voos diurnos, foi determinado que os voos 1, 3, 5 e 7 utilizassem as imagens da câmera RGB e os voos 2, 4, 6 e 8 as imagens da câmera termal. Da mesma forma, os voos noturnos 9, 11, 13 e 15 ficaram definidos para avaliação das imagens com câmera RGB e os voos 10, 12, 14 e 16 foram testados para busca com câmera termal.

Aos pilotos, era obrigatória a permanência em um único modo de câmera, sendo RGB ou Termal. Conforme as orientações do fabricante da câmera termal instalada no M2ED, a melhor paleta de cores para a utilização de câmera termal para busca de pessoas perdidas em matas é GRAY (FLIR SYSTEMS, 2018).

Todos os voos foram gravados em vídeo na qualidade 1080p, sendo permitido parar de gravar apenas para tirar foto

quando da localização da vítima, para marcar a coordenada do local, com reinício obrigatório da filmagem. A preparação das aeronaves para execução das buscas, como trocas de baterias, trocas de acessórios e configurações, deveriam ser feitas no local de decolagem nos intervalos de voos. Para aproximar o exercício de uma busca real, não foi permitido o contato visual dos pilotos com o deslocamento das vítimas. Nos voos 5 a 8 e 13 a 16, houve orientação aos pilotos de RPA simulando contato telefônico da vítima via Centro de Operações de Bombeiros (COBOM).

Na experimentação diurna, os drones foram equipados com alto-falantes e emitiram mensagens pré-gravadas previstas no "Protocolo de atividade de campo aplicada". Durante o período noturno, o drone que utilizava a câmera termal manteve os alto-falantes, enquanto o drone que operava a câmera RGB foi equipado com holofotes: além de iluminar o solo para busca da vítima perdida em

mata, a iluminação. Todos os voos tinham duração máxima 20 minutos ou até 70% da carga da bateria por questões de segurança das aeronaves.

Conforme o protocolo, as vítimas foram orientadas a usar roupas típicas de caminhada, com cores discretas e não contendo faixas refletivas. Elas receberam suas coordenadas e deslocaram-se para as respectivas posições – confirmando via rádio quando estavam prontas. As vítimas aguardavam na mesma posição a passagem do voo utilizando câmera RGB e do voo com câmera termal para efeitos de comparação do experimento. Também foram orientadas a obedecer aos comandos transmitidos via alto-falantes dos drones, como por exemplo acenar com os braços.

Os voos seguiram todos os padrões aeronáuticos do BOA, com prévia confecção do plano de voo SARPAS (Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas) junto ao DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo), o planejamento de risco operacional (conforme Instrução Suplementar nº E95-003, da ANAC) e voo em Operação em Linha de Visada (*Visual Line of Sight – VLOS operation*).

2.1.4 Questionário

Um questionário foi desenvolvido pela equipe de pesquisa para ser aplicado aos pilotos, para avaliar as informações coletadas durante o teste de campo e verificar a eficácia das câmeras. Dentre as perguntas, buscou registrar: informações sobre o tempo de localização, setor de busca, altura de voo no momento da localização e grau de dificuldade para encontrar a vítima, perguntas diretas que levantaram informações válidas e que estão de acordo com os objetivos geral e específicos do estudo.

Do ponto de vista qualitativo, ao final do experimento, foram coletados observações e comentários dos pilotos e

das vítimas em relação a aspectos não contemplados no questionário para buscar uma compreensão particular do objeto estudado (MARTINS JÚNIOR, 2011).

3 RESULTADOS

3.1 Amostra

Foram realizados 16 voos com aeronave remotamente pilotada M2ED, divididos em 8 diurnos e 8 noturnos – para cada grupo houve divisão de 4 voos com câmera RGB e 4 voos utilizando câmera termal. O piloto da RPA que utilizou a câmera termal era do sexo masculino, 2º Sargento BM, com nível de escolaridade Superior completo e 14 anos de serviço, enquanto a piloto da RPA que utilizou camera RGB era do sexo feminino, 1º tenente BM, possuía Superior Completo e 25 anos de serviço. Ambos pilotam drones desde junho de 2018. Com relação às vítimas, ambas eram masculinas, aproximadamente 75 Kg de massa corpórea e 30 anos de idade. As buscas das duas vítimas foram realizadas tanto com o recurso da câmera termal quanto da RGB.

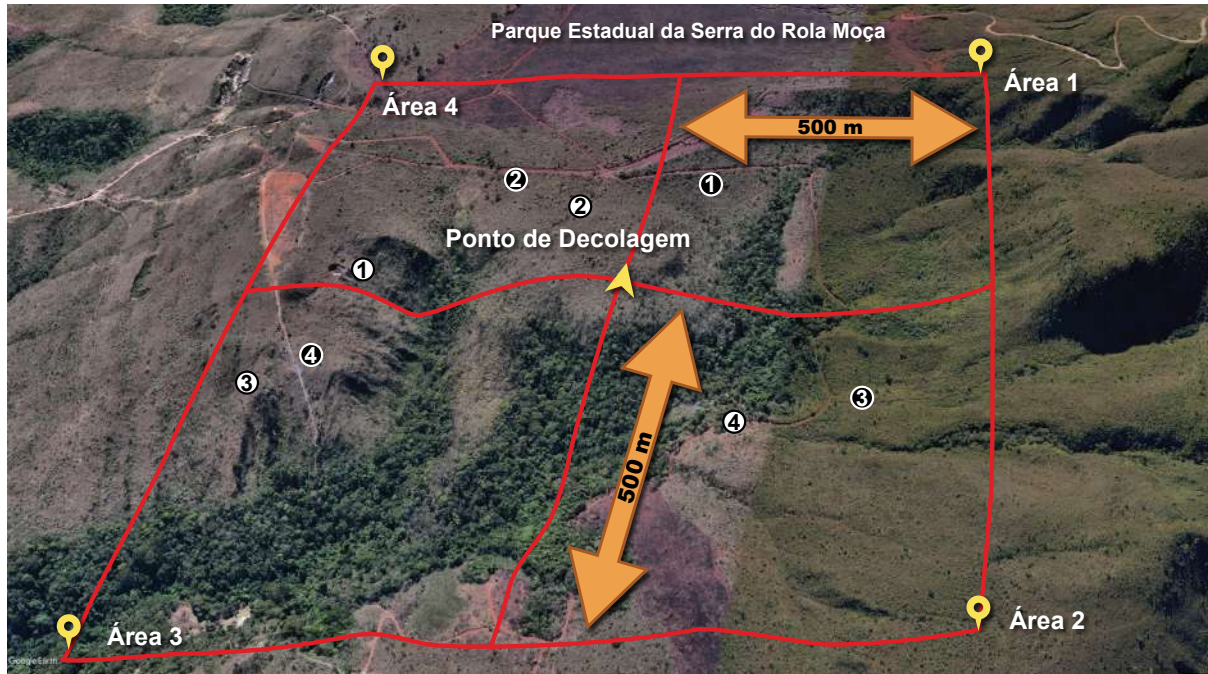
3.2 Local do experimento

O teste de campo aconteceu no Parque Estadual Serra do Rola Moça, que tem como vegetação predominante o cerrado, em 10 de julho de 2019, entre as 15h30min e as 21h45min. De acordo com o Instituto Estadual de Florestas (MINAS GERAIS, 2019d), 57% da extensão territorial de Minas Gerais tem esse tipo de vegetação como predominante. O relevo mineiro é constituído em grande proporção por terras altas, planaltos e chapadas, sendo bastante acidentado e com predominância de significativas elevações. Os tipos de cenários descritos e as situações relatadas pelos militares que atenderam ocorrências reais nos REDS analisados para este estudo foram considerados na definição do local. Quatro setores foram delimitados,

com lados de tamanhos aproximados a 500m, que apresentassem diferentes

elevações e densidades de vegetação, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Setores de voo utilizados na pesquisa de campo aplicada



Legenda: ○ 1, 2, 3 e 4 - Vítimas diurnas; ● 1, 2, 3 e 4 - Vítimas noturnas.
Fonte: Google Earth.

3.2 Análise documental

Durante o ano de 2018, os 1º, 2º e 3º BBMs, BEMAD e BOA atenderam 65 ocorrências de vítimas extraviadas em mata ou região rural (natureza S04007 conforme Diretriz Integrada de Ações e Operações). Em 41 dos casos, as vítimas foram localizadas, o que representa uma taxa de sucesso de 63,08%. Os bombeiros militares utilizaram técnicas de busca a pé (47), pesquisa/entrevista/informações (19), cães (23), helicóptero (10), RPA (6; 9,23%), embarcação/varredura de leito/mergulho (6), chamado por voz (1). Em 53,85% das missões foram utilizadas técnicas combinadas.

O contato do COBOM ou da Guarnição bombeiro militar por meio de ligação para o telefone celular da vítima extraviada aconteceu em apenas 10,77% das ocor-

rências. Os desaparecidos em surto psicótico totalizaram 21,54%. Frequentemente, estas vítimas estão em situação de fuga e não desejavam ser encontradas, o que, por vezes, representa um elemento dificultador nas operações. Em apenas 6 ocorrências (9,23%) o BOA foi acionado para a utilização de RPAs.

3.3 Pesquisa experimental

Um resumo dos resultados obtidos no experimento pode ser observado na Tabela 1. Considerou-se sucesso de localização da vítima, o momento em que o piloto de RPA reportou ter localizado a pessoa extraviada, com definição em tela o suficiente para reconhecer a vítima e sua localização no terreno.

Tabela 1 – Análise dos voos

Voo nº	Horário	Câmera	Setor de Busca	Localizou?	Tempo	Altura	Grau de Dificuldade
01	Diurno	Termal	4	Sim	7'36"	64m	5
02	Diurno	RGB	4	Não	-	-	2
03	Diurno	Termal	1	Sim	7'06"	73m	6
04	Diurno	RGB	1	Não	-	-	2
05	Diurno	Termal	3	Sim	12'40"	60m	7
06	Diurno	RGB	3	Sim	12'00"	38m	2
07	Diurno	Termal	2	Sim	15'00"	64m	3
08	Diurno	RGB	2	Sim	10'00"	42m	3
09	Noturno	Termal	1	Sim	13'11"	16,3m	4
10	Noturno	RGB	1	Sim	12'51"	19,3m	4
11	Noturno	Termal	4	Sim	6'12"	24m	7
12	Noturno	RGB	4	Sim	5'48"	23m	6
13	Noturno	Termal	2	Não	-	-	1
14	Noturno	RGB	2	Sim	3'00"	33m	7
15	Noturno	Termal	3	Não	-	-	1
16	Noturno	RGB	3	Sim	8'00"	49m	6

Nota: Graus de dificuldade (1 - Impossível; 2 - Extremamente difícil; 3 - Muito difícil; 4 - Difícil; 5 - Médio; 6 - Relativamente fácil; 7 - Fácil; 8 - Muito fácil; 9 - Extremamente fácil; 10 – Não houve nenhuma dificuldade).

Durante os voos diurnos, obteve-se sucesso em 100% das tentativas com a câmera RGB, enquanto que, com o uso a câmera termal, a vítima foi localizada em apenas 50% dos voos. Quanto ao grau de dificuldade de localização das vítimas (com escala entre grau 1 para impossível e grau 10 para não havendo nenhuma dificuldade), a média das respostas do piloto RGB foi 5,25, enquanto a média do piloto termal foi 2,25. O piloto da RPA com câmera termal reportou um baixo desempenho que pode ter sido influenciado pela interferência de ruídos, ou seja, distorções na captação da imagem. Os ruídos interferiram na interpretação da imagem dificultando a localização da vítima, impossibilitando a diferenciação de objetos, corpos e contornos mirados pela câmera. Reportou ainda que a opção MSX da câmera termal auxilia na definição de imagens durante o dia, diminuindo a interferência dos ruídos, mas, ainda assim, apresentou dificuldade em interpretar o que havia na imagem.

O piloto que utilizou a câmera RGB

relatou dificuldades em enxergar a vítima que usava roupa escura na sombra. Relatou também atraso na velocidade de ajuste automático de captação de luz do equipamento, tendo que pairar a aeronave para aguardar a iluminação ideal. O alto-falante constituiu um facilitador no trabalho de busca, uma vez que serviu para orientar o desaparecido que poderia estar sob mata fechada a ir para um local aberto. Outra observação foi que, para uma boa visualização do terreno, a velocidade máxima do drone não deve ultrapassar 20km/h. Para se efetuar a localização com a câmera termal durante o dia, foi preciso voar mais próximo do solo do que com a câmera RGB. Nos voos que lograram êxito, a diferença média de altura foi 20 metros mais baixo para a câmera termal.

Os voos noturnos obtiveram 50% de sucesso na localização das vítimas quando se utilizou as aeronaves com câmera RGB e 100% nas missões das aeronaves com câmera termal. As vítimas localizadas com a câmera RGB usavam

roupas que possuíam faixas refletivas. Já as vítimas com roupas sem faixas refletivas não foram localizadas nos voos noturnos da RPA com câmera RGB. O tempo médio de localização pelas RPAs que utilizaram câmera termal foi de 7'30", enquanto aquelas equipadas com a câmera RGB apresentaram uma média de 9'30" (considerando somente os voos com sucesso de localização de vítima) e 14'45" (considerando como 20 minutos as tentativas com resultado negativo). A média do grau de dificuldade relatado pelo piloto da RPA equipada com câmera RGB foi de 3,25; para o piloto com câmera termal foi de 5,75. As dificuldades descritas pelo piloto da aeronave com a câmera convencional foram: dificuldade em se orientar, insetos que atravessavam a imagem e atrapalhavam a visão, ausência do alto-falante e contratempo ocorrido na tentativa de alinhar o campo de visão da câmera com o ponto de iluminação do holofote. O feixe de iluminação do farol de busca permite que o desaparecido consiga ver o drone à distância, mas não apresentou benefício ao piloto.

A imagem captada pela aeronave equipada com câmera termal, quando projetada no iPad, é aproveitada em toda sua área, já no iPad da RPA com câmera RGB, fica restrita ao foco do holofote. Utilizando-se da técnica de varredura em zig-zag, quando o drone enquadra sua proa à vítima, a localização é facilitada. Quanto à angulação da câmera, observou-se que abaixo dos 45°, ou seja, quanto mais estiver voltada para frente e sem apontar mais perpendicularmente ao solo, a imagem perde a definição. O piloto encontrou dificuldade em distinguir a vítima de outros pontos que emitiam calor: uma filmagem do próprio piloto como referência foi utilizada como técnica para aumentar a percepção nas buscas. Outro fator notado foi que quanto menos roupa o desaparecido estivesse usando, mais visível era à câmera térmica.

Para se efetuar a localização com a

câmera termal durante o período noturno, as alturas praticamente se igualam, ficando apenas 2 metros mais alto para a câmera térmica, conforme explicitado na Tabela 1.

Quando do uso de alto-falantes pelas aeronaves, as vítimas destacaram a qualidade do som, podendo a mensagem ser ouvida de forma clara, mesmo que a pessoa estivesse distante, a mais de 200m da aeronave, e não sendo possível vê-la.

4 DISCUSSÃO

No decorrer deste artigo, foi possível conhecer as potencialidades, não somente do drone, mas também o quanto seus acessórios podem amplificar seu raio de ação. Por meio do levantamento documental, percebeu-se o quanto o equipamento poderia ser útil. Considerando os resultados da pesquisa experimental, foram delineados aspectos práticos para sua aplicação. Diante do que já foi exposto, cabe agora traçar algumas ponderações quanto ao uso de câmeras térmicas em drones.

Ao analisar as ocorrências registradas, foi possível constatar que em várias situações a aplicação de drones poderia fazer a diferença no processo de busca. Por exemplo, em apenas 6 ocorrências (9,23%) o BOA foi acionado para a utilização de RPAs. Entretanto, ao analisar os cenários relatados pelos militares nos REDS, somado às observações experimentais em campo, supõe-se que haveria condições propícias para o uso de drones em 78,46% dos casos. Destes, 27,45% necessitariam apenas do empenho da câmera termal ou apenas RGB e outros 45,10%, ambos os tipos de equipamento. Os drones podem contribuir para reduzir o tempo de varredura e chegar a lugares onde a limitação do terreno ou a ausência de luz do dia impediu a continuidade dos trabalhos (MINAS GERAIS, 2019c).

A partir dos resultados do experimento, a câmera RGB se mostrou mais

eficaz durante o dia, uma vez que pôde voar mais alto, o que ampliou o campo de visão do piloto e possibilitou o uso de auto-falante - o que contribuiu para encontrar as vítimas em um período de tempo mais curto. Este resultado é convergente com o esperado tendo como base a experiência dos autores do estudo e dos pilotos, apesar de não existir estudos sobre o tema na época em que o experimento foi realizado. Neste período do dia, o RPA com câmera termal realizou buscas em uma área menor dentro do setor. Outro elemento dificultador para imagens de calor em período diurno foi que muitos elementos (cupinzeiros, troncos, árvores, pedras) confundiram a visualização do piloto, ocasionando paradas para se certificar se a imagem se tratava ou não da vítima.

Já no período noturno, a RPA equipada com câmeras térmicas se mostrou mais eficaz do que a com câmera RGB para a localização da vítima. Da mesma forma que, nos voos diurnos, este resultado confirma a hipótese dos autores do estudo. Conclui-se que, com base nas observações de campo, a aeronave remotamente pilotada com câmera termal exigiu treinamento prévio dos pilotos que, neste caso, tinham experiência em visualização com este tipo de câmera, para poder diferenciar rapidamente a vítima de outros objetos presentes no local, uma vez que já haviam utilizado este equipamento nas buscas em Brumadinho. Observou-se que, mesmo voando sob a escuridão total, o ponto de vista diferenciado da interpretação termal ofereceu ao bombeiro militar uma capacidade de busca ampliada. Por isso, é primordial a capacitação de militares para o uso adequado das RPAs e especialmente da câmera termal. Além da formação inicial, é essencial o treinamento constante, a fim de desenvolver habilidades em técnicas de voo e também de observação em câmeras termais. Outro ponto observado na pesquisa e que poderia auxiliar em futuras buscas feitas por drones equipados com câmeras, sejam

RGB ou termais, seria a necessidade de agregar novas orientações nos materiais educativos existentes no CBMMG. Um exemplo é recomendar o uso de roupas com algum tipo de refletor e o porte de lanternas aos praticantes de *trekking* (caminhadas em trilhas), aos visitantes de cachoeiras e exploradores de matas. Os resultados do experimento comprovaram que esses recursos facilitaram as buscas diurnas e noturnas nas câmeras RGB e termal.

As dificuldades de voo noturno observadas com o uso da câmera RGB se iniciaram com a dependência do holofote, o que impediu o uso do alto-falante, uma vez que não há encaixe no equipamento para utilizar os dois acessórios concomitantemente (DJI, 2019). Durante o experimento, houve uma situação em que a vítima alegou que o drone estava apontando a luz para ela, mas o piloto não conseguiu localizá-la apenas com o uso da imagem. Supõe-se que se deve pela dificuldade que foi observada pelo piloto em conseguir deixar o campo de filmagem da câmera coincidindo com o campo de iluminação do holofote: ao manobrar o drone, a lanterna (que é fixa na estrutura da RPA) também se movimenta, o que pode deixar a visualização do piloto comprometida.

Diante do que foi exposto, cabe ainda elencar algumas limitações da pesquisa, especificamente no que tange à revisão documental. Houve dificuldades em estabelecer alguns parâmetros para a realização do experimento com base nos históricos das ocorrências analisadas, pois observou-se uma descrição sucinta dos fatos, o que dificultou a compreensão dos acontecimentos nas ocorrências. Por exemplo, em alguns REDS não havia o registro do tempo gasto no processo de busca, a área ou a distância percorrida, as técnicas e os equipamentos utilizados. Outra limitação foi a impossibilidade de estabelecer comparações com estudos sobre a utilização de câmeras termais em

drones por corpos de bombeiros de outros estados brasileiros. O CBMMG foi o primeiro a adquirir esse tipo de equipamento com tal tecnologia no Brasil. Por outro lado, tal restrição fez deste o estudo pioneiro nesta área e pode se tornar referência para pesquisas futuras.

Conclui-se que as aeronaves remotamente pilotadas podem ser ferramentas úteis ao CBMMG nas buscas de pessoas perdidas em mata: durante o dia utilizando a câmera RGB e, durante a noite, com a câmera termal. O equipamento pode ser utilizado também em apoio às equipes que realizam buscas em terra. Por isso, é importante a continuidade de estudos, testando novos equipamentos para buscar enriquecer as técnicas utilizadas pelo CBMMG. Assim, o trabalho do Bombeiro Militar estará em constante aperfeiçoamento para atender ao seu principal objetivo: SALVAR!

5 REFERÊNCIAS

- DJI, **Guia de Início Rápido**. Mavic 2 Enterprise Dual, 2018. Disponível em: https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2_Enterprise/Mavic_2_Enterprise_Quick_Start_Guide.pdf. Acesso em: 20 abr. 2019.
- DJI, **Mavic 2 Enterprise Dual - Manual do usuário v1.4**. 2019. Disponível em: https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2_Enterprise/20190703/Mavic_2_Enterprise_Series_User_Manual_EN.pdf. Acesso em: 20 abr. 2019.
- FERNANDES, Cibele Vasconcelos Andrade. **Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) em apoio às atividades de salvamento aquático**. Monografia (Graduação em Ciências Militares) - Academia de Bombeiros Militar, CBMMG. Belo Horizonte, 2016.
- FLIR, **User's manual FLIR Ex series**. 2019a. Disponível em: <https://www.flir.com/globalassets/imported-assets/document/flir-ex-series-user-manual.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2019.
- FLIR. **Termografia e luz de infravermelho**. 2019b. Disponível em: <https://prod.flir.com.br/discover/what-is-infrared/>. Acesso em: 28 jul.2019.
- FLIR SYSTEMS. **Thermal Color Palettes | FLIR Delta - Episode 4**. 2018. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qZiMn0wuxdo&feature=youtu.be&t=69>. Acesso em: 02 jun. 2019.
- LIMA, José Gomes. **O uso de drones para monitoramento de incêndios florestais no Parque Estadual da Serra do Rola-Moça**. Monografia (Graduação em Ciências Militares) - Academia de Bombeiros Militar, CBMMG. Belo Horizonte, 2016.
- MARTINS JUNIOR, Joaquim. **Como escrever trabalhos de conclusão de curso: instruções para planejar e montar, desenvolver, concluir, redigir, e apresentar trabalhos monográficos e artigos**. 5. ed., Petrópolis: Vozes, 2011.
- MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Plano de Comando 2015/2026**, revisão 2017. 2. ed. Governo de Minas Gerais. 2017.
- _____. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Drones profissionais ajudam nas buscas em Brumadinho**. Belo Horizonte, 20 mar. 2019. Disponível em: <http://www.bombeiros.mg.gov.br/component/content/article/32-embm/73624-cbmmg-dronesprofissionaisajudambuscasbrumadinho.html>. Acesso em: 20 abr. 2019a.
- _____. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. Resolução nº 839, de 13 de março de 2019. **Programa RPAS**. Belo Horizonte. 2019b.

_____. Secretaria de Estado de Justiça e Segurança Pública. Centro Integrado de Informações de Defesa Social. **Registros de ocorrências de salvamento de pessoas perdidas em mata atendidas pelo 1º BBM, 2º BBM, 3º BBM, BOA e BEMAD no ano de 2018.** Disponibilidade restrita. Acesso em: abr. 2019c.

_____. **Instituto Estadual de Florestas.** Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/florestas>. Acesso em: 18 jul. 2019d.

_____. Secretaria de Segurança Pública. **Diretriz Integrada de Ações e Operações do Sistema de Defesa Social de Minas Gerais – DIAO.** Disponível em: <http://www.seguranca.mg.gov.br/component/gmg/page/437-diretriz-integrada-de-acoes-e>

[operacoes-do-sistema-de-defesa-social-de-minas-gerais-%E2%80%93-diao](#). Acesso em: 28 jul. 2019e.

SILVA, Tércio Salles da. **O emprego de aeronaves remotamente pilotadas nas ocorrências de busca e salvamento terrestre no CBMMG.** Monografia (Graduação em Ciências Militares) - Academia de Bombeiros Militar, CBMMG. Belo Horizonte, 2018.

SILVEIRA, D. **Manutenção preditiva em painéis elétricos com a utilização da termografia.** 2010. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/101985906/Manutencao-preditiva-em-paineis-eletricos-com-a-utilizacao-da-termografia>. Acesso em: mar. 2019.

APÊNDICE A

PROTOCOLO DE ATIVIDADE DE CAMPO APLICADA

1. Orientações para os voos:

- a. Durante o dia, foram efetuados oito voos, sendo quatro com RPA com a câmera em modo RGB e quatro com a câmera em modo termal;
- b. Durante a noite, foram efetuados oito voos, sendo quatro com RPA com câmera em modo RGB e quatro com a câmera em modo termal;
- c. Os voos das aeronaves aconteceram de forma intercalada, sendo uma vez a RPA com a câmera em modo RGB e outra com a RPA com a câmera termal;
- d. Os voos aconteceram em quadrantes distintos;
- e. Os quadrantes apresentaram diferentes características de relevo e vegetação com área semelhante;
- f. Os quadrantes tiveram lados iguais a 500m e área aproximada de 250.000 m²;
- g. Os voos foram qualificados como:
 - i. Vítima localizada;
 - ii. Vítima não localizada.
- h. Cada voo deveria consumir no máximo 70% da bateria da RPA ou 20 min de duração, o que acontecer primeiro;
- i. Durante todo o voo, houve a gravação das imagens em qualidade 720p;
- j. Foi permitido parar a gravação para fotografar a localização da vítima, sendo obrigatório retornar a filmagem logo em seguida;
- k. O ponto de encontro foi o local de decolagem das aeronaves.

2. Orientações para a vítima:

- a. Use roupas de caminhada e porte cantil/mochila de reidratação para levar água e alimentação;
- b. No ponto de encontro, receba as 04 coordenadas do local para onde se deslocar;
- c. Ao chegar no local da primeira coordenada, reporte quando estiver em condições via rádio;
- d. Aguarde o sobrevoo de duas RPAs: a primeira com câmera RGB e a segunda com câmera termal;
- e. Mesmo após o sobrevoo da segunda RPA, permaneça no local;

APÊNDICE A (continuação)

PROTOCOLO DE ATIVIDADE DE CAMPO APLICADA

- f. Ao receber orientações do pesquisador, se desloque para a segunda coordenada;
- g. Repita as orientações dos itens “b” a “e” até chegar na quarta coordenada;
- h. Durante todo o experimento, quando estiver nos pontos de observação, permaneça sentada ou deitada para que não seja vista a olho nu pelo piloto que se encontrava no ponto de decolagem;
- i. Nos momentos em que estiver sentada ou deitada, não fique sob árvores;
- j. Se ouvir as mensagens emitidas via autofalante da RPA, responda somente acenando com os braços, sem se deslocar;
- k. Entre em contato com o pesquisador via rádio para reportar situações de anormalidades;
- l. Leve uma mochila para carregar objetos que ache necessário como lanterna, canivete e apito para situações diversas e não previstas nesta pesquisa, atentando-se para o item “k”;
- m. Ao final da pesquisa de campo aplicada, desloque-se para o ponto de encontro.

3. Orientações para os pilotos de RPA/Voo diurno - (Controle – Câmera RGB):

- a. No ponto de encontro, prepare a aeronave remotamente pilotada para a execução da pesquisa de campo aplicada;
- b. Não tenha contato visual com o deslocamento da vítima;
- c. No ponto de decolagem, o pesquisador deveria certificar-se que o piloto de RPA não estava tendo contato visual de solo com a vítima;
- d. Mantenha a tela de visualização no modo RGB durante todo o procedimento;
- e. Execute a decolagem e voo em quadrantes conforme orientação para o voo;
- f. Faça uso do alto-falante com as seguintes frases pré-gravadas:
 - i. “Este é um drone do Corpo de Bombeiros, se você está ouvindo, balance os braços!”;
 - ii. “Este é um drone do Corpo de Bombeiros, se você está ouvindo, não fique embaixo de copas de árvores, vá para uma clareira!”;
 - iii. “Este é um drone do Corpo de Bombeiros, se você está ouvindo, se estiver de posse de um telefone celular, ligue a lanterna e aponte-a para o drone!”.
- g. Ao identificar a vítima, faça uma foto 90° sobre a vítima para registro de coordenada geográfica;
- h. Repasse as coordenadas via rádio à “equipe de solo”;

APÊNDICE A (continuação)

PROTOCOLO DE ATIVIDADE DE CAMPO APLICADA

- i. Traga a aeronave remotamente pilotada para pouso no ponto de decolagem;
- j. Encerre a missão da RPA RGB e inicie os procedimentos para a execução de voo da RPA câmera termal;

4. Orientações para os pilotos de RPA/Voo diurno (Controle – Câmera Termal):

- a. No ponto de encontro, prepare a aeronave remotamente pilotada para a execução da pesquisa de campo aplicada;
- b. Não tenha contato visual com o deslocamento da vítima;
- c. No ponto de decolagem, o pesquisador deveria certificar-se que o piloto de RPA não estava tendo contato visual de solo com a vítima;
- d. Mantenha a tela de visualização no modo termal durante todo o procedimento;
- e. Execute a decolagem e voo em quadrantes conforme orientação do pesquisador;
- f. O piloto de RPA deverá fazer uso do alto-falante com as seguintes frases pré-gravadas:
 - i. “Este é um drone do Corpo de Bombeiros, se você está ouvindo balance os braços!”;
 - ii. “Este é um drone do Corpo de Bombeiros, se você está ouvindo não fique embaixo de copas de árvores, vá para uma clareira!”;
 - iii. “Este é um drone do Corpo de Bombeiros, se você está ouvindo, se estiver de posse de um telefone celular, ligue a lanterna e aponte-a para o drone!”.
- g. O piloto de RPA deverá fazer uso, dentro das configurações da câmera termal, da paleta Gray enquanto executa a busca;
- h. O piloto de RPA não poderá utilizar a configuração isoterma;
- i. Se/quando o piloto identificar a vítima, deverá fazer uma foto 90° sobre a vítima para registro de coordenada geográfica;
- j. O piloto de RPA deve repassar as coordenadas via rádio à “equipe de solo”;
- k. O piloto trará a aeronave remotamente pilotada para pouso no ponto de decolagem.

5. Piloto de RPA/noturno (Controle – Câmera RGB):

- a. No ponto de encontro, o piloto de RPA irá preparar a aeronave remotamente pilotada para a execução da pesquisa de campo aplicada;
- b. O piloto de RPA não poderá ter contato visual com o deslocamento da vítima;

APÊNDICE A (continuação)

PROTOCOLO DE ATIVIDADE DE CAMPO APLICADA

- c. No ponto de decolagem, o pesquisador deve certificar-se que o piloto de RPA não está tendo contato visual de solo com a vítima;
- d. O piloto deverá manter a tela de visualização no modo RGB durante todo o procedimento;
- e. O piloto de RPA deverá executar a decolagem e voo em quadrantes conforme orientação do pesquisador;
- f. O piloto de RPA deverá fazer uso do alto-falante com as seguintes frases pré-gravadas:
 - i. “Este é um drone do Corpo de Bombeiros, se você está ouvindo, balance os braços!”;
 - ii. “Este é um drone do Corpo de Bombeiros, se você está ouvindo, não fique embaixo de copas de árvores, vá para uma clareira!”;
 - iii. “Este é um drone do Corpo de Bombeiros, se você está ouvindo, se estiver de posse de um telefone celular, ligue a lanterna e aponte-a para o drone!”.
- g. Se/quando o piloto identificar a vítima, deverá fazer uma foto 90° sobre a vítima para registro de coordenada geográfica;
- h. O piloto de RPA deve repassar as coordenadas via rádio à “equipe de solo”;
- i. O piloto trará a aeronave remotamente pilotada para pouso no ponto de decolagem;
- j. O pesquisador encerra a missão da RPA RGB e inicia os procedimentos para a execução de voo da RPA câmera termal.

6. Piloto de RPA/noturno (Controle – Câmera Termal):

- a. No ponto de encontro, o piloto de RPA irá preparar a aeronave remotamente pilotada para a execução da pesquisa de campo aplicada;
- b. O piloto de RPA não poderá ter contato visual com o deslocamento da vítima;
- c. No ponto de decolagem, o pesquisador deve certificar-se que o piloto de RPA não está tendo contato visual de solo com a vítima;
- d. O piloto deverá manter a tela de visualização no modo termal durante todo o procedimento;
- e. Execute a decolagem e voo em quadrantes conforme orientação para o voo;
- f. Faça uso do alto-falante com as seguintes frases pré-gravadas:
 - i. “Este é um drone do Corpo de Bombeiros, se você está ouvindo balance os braços!”;
 - ii. “Este é um drone do Corpo de Bombeiros, se você está ouvindo não fique embaixo de copas de árvores, vá para uma clareira!”;
 - iii. “Este é um drone do Corpo de Bombeiros, se você está ouvindo, se estiver de posse de um telefone celular, ligue a lanterna e aponte-a para o drone!”.

APÊNDICE A (continuação)

PROTOCOLO DE ATIVIDADE DE CAMPO APLICADA

- g. Faça uso, de acordo com as configurações da câmera termal, da paleta Gray;
- h. Ao identificar a vítima, faça uma foto 90° sobre a vítima para registro de coordenada geográfica;
- i. Repasse as coordenadas via rádio à “equipe de solo”;
- j. Traga a aeronave remotamente pilotada para pouso no ponto de decolagem.