

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL
DEPARTAMENTO DE ENSINO, PESQUISA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DIRETORIA DE ENSINO
CENTRO DE ESTUDOS DE POLÍTICA, ESTRATÉGIA E DOCTRINA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS**

CAP QOBM/Comb. **ULISSES SEBASTIAN ZIECH**



**OBTENÇÃO, PROCESSAMENTO E APLICAÇÃO DE
AEROFOTOGRAFIAS OBTIDAS POR AERONAVES REMOTAMENTE
PILOTADAS NO SERVIÇO DO GRUPAMENTO DE BUSCA E
SALVAMENTO**

**BRASÍLIA
2021**

CAP QOBM/Comb. **ULISSES** SEBASTIAN ZIECH

**OBTENÇÃO, PROCESSAMENTO E APLICAÇÃO DE
AEROFOTOGRAFIAS OBTIDAS POR AERONAVES REMOTAMENTE
PILOTADAS NO SERVIÇO DO GRUPAMENTO DE BUSCA E
SALVAMENTO**

Monografia apresentada ao Centro de Estudos de Política, Estratégia e Doutrina como requisito para conclusão do Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais Combatentes do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Orientador: MAJ QOBM/Comb. **VINICIUS** SANTOS SILVA

BRASÍLIA
2021

CAP QOBM/Comb. **ULISSES SEBASTIAN ZIECH**

**OBTENÇÃO, PROCESSAMENTO E APLICAÇÃO DE AEROFOTOGRAFIAS
OBTIDAS POR AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS NO SERVIÇO DO
GRUPAMENTO DE BUSCA E SALVAMENTO**

Monografia apresentada ao Centro de Estudos de Política, Estratégia e Doutrina como requisito para conclusão do Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais Combatentes do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Aprovado em: ____ / ____ / ____.

BANCA EXAMINADORA

João Antônio **Menegassi** Neto – Ten-Cel QOBM/Comb.
Presidente

André Telles Campos – Ten-Cel QOBM/Comb.
Membro

Renato de **Freitas** Mendes – Ten-Cel QOBM/Comb.
Membro

Vinicius Santos Silva – Maj. QOBM/Comb.
Orientador

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO

AUTOR: Cap. QOBM/Comb. Ulisses Sebastian Ziech

TÍTULO: Obtenção, processamento e aplicação de aerofotografias obtidas por aeronaves remotamente pilotadas no serviço do Grupamento de Busca e Salvamento.

DATA DE DEFESA: 23/02/2021.

| | | |
|--|--|---|
| Acesso ao documento | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Texto completo | <input type="checkbox"/> Texto parcial | <input type="checkbox"/> Apenas metadados |
| Em caso de autorização parcial, especificar a(s) parte(s) que deverá(ão) ser disponibilizadas: | | |

| |
|--|
| Licença |
| <p>DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO EXCLUSIVA</p> <p>O referido autor:</p> <p>a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.</p> <p>b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder ao CBMDF os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.</p> <p>Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o CBMDF, declara que cumpriram quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.</p> <p>LICENÇA DE DIREITO AUTORAL</p> <p>Na qualidade de titular dos direitos de autor da publicação, autorizo a Biblioteca da Academia de Bombeiro Militar disponibilizar meu trabalho por meio da Biblioteca Digital do CBMDF, com as seguintes condições: disponível sob Licença Creative Commons 4.0 International, que permite copiar, distribuir e transmitir o trabalho, desde que seja citado o autor e licenciante. Não permite o uso para fins comerciais nem a adaptação desta.</p> <p>A obra continua protegida por Direito Autoral e/ou por outras leis aplicáveis. Qualquer uso da obra que não o autorizado sob esta licença ou pela legislação autoral é proibido.</p> |

Ulisses Sebastian Ziech

Cap. QOBM/Comb.

Dedico este trabalho ao meu filho Alexandre e à minha esposa Aislany, por toda a paciência, carinho e apoio nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, por todo o esforço realizado que me permitiu trilhar o caminho para chegar aonde estou.

Ao meu orientador, por todo apoio, sugestões de melhoria, tempo dispensado, oportunidades e ensinamentos durante a confecção deste trabalho.

Aos colegas de CAO da Turma 33, por sempre tornarem as dificuldades mais leves e abrilhantarem os dias no CBMDF.

“Grandes coisas são feitas por uma série
de pequenas coisas reunidas.”

Vincent van Gogh

RESUMO

O uso de aeronaves remotamente pilotadas, popularmente conhecidas por drones, está difundida na sociedade com diversas aplicações. O CBMDF já possui o serviço desse tipo de aeronave, mas de forma ainda incipiente. Este trabalho teve por objetivo ampliar a aplicação de uso de aeronaves remotamente pilotadas no serviço do Grupamento de Busca e Salvamento por meio dos produtos gerados pelo processamento de imagens. Para isso, foi realizada uma pesquisa dedutiva e aplicada, partindo de casos gerais para o específico e com aplicação prática do conhecimento adquirido. Uma vez que já se tem certo conhecimento do uso das aeronaves na Corporação, a pesquisa realizada foi do tipo descritiva. Foram realizadas pesquisas bibliográficas e documentais para a fundamentação teórica, conhecimento dos princípios da fotogrametria e dos principais *softwares* existentes que possibilitaram o processamento, bem como a aplicação de questionário em outras instituições militares, o que permitiu conhecer os procedimentos adotados em outros estados no que diz respeito ao uso das aerofotografias. Foi realizado treinamento com os militares do Grupamento de Aviação Operacional que operam aeronaves remotamente pilotadas, possibilitando a utilização de alguns dos *softwares* indicados pela pesquisa e a obtenção das imagens processadas. Por fim, foi avaliada a aplicação dos produtos obtidos do processamento das aerofotografias no serviço realizado pelo Grupamento de Busca e Salvamento.

Palavras-chave: Drone. Fotogrametria. RPA. Sensoriamento remoto.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Quadro do histórico da fotogrametria | 26 |
| Figura 2 – Distribuição da intensidade de energia emitida por fontes naturais | 27 |
| Figura 3 – Irradiância solar no topo da atmosfera e ao nível do mar | 28 |
| Figura 4 – Reflexão e refração da luz incidente em uma superfície | 30 |
| Figura 5 – Qualidade da imagem sem estabilizador e com estabilizador | 33 |
| Figura 6 – Exemplo de metadados de uma imagem digital | 35 |
| Figura 7 – Sobreposição e correspondência de imagens | 36 |
| Figura 8 – Diferentes modalidades de aquisição de imagens com RPA | 37 |
| Figura 9 – Maior resolução espacial fornece mais detalhes do terreno | 40 |
| Figura 10 – Diferença na identificação de estradas em diferentes bandas | 41 |
| Figura 11 – Diferentes resoluções radiométricas | 42 |
| Figura 12 – Macroprocessos da gestão de riscos em desastes | 43 |
| Figura 13 – Quadro comparativo – fase aeroespacial | 50 |
| Figura 14 – Planejamento de voo com o DroneDeploy | 51 |
| Figura 15 – Quadro comparativo – fase decorrente | 52 |
| Figura 16 – Funcionalidades disponíveis no WebODM | 54 |
| Figura 17 – Voo de treinamento. Ângulo do sensor a Nadir | 60 |
| Figura 18 – Voo de treinamento. Ângulo do sensor oblíquo | 61 |
| Figura 19 – Plano de voo de treinamento | 61 |
| Figura 20 – Imagens com sobreposição e ângulo do sensor a Nadir | 62 |
| Figura 21 – Imagens com sobreposição e ângulo oblíquo do sensor | 63 |
| Figura 22 – Mapa hipsométrico | 64 |
| Figura 23 – Possíveis locais de escoamento hidráulico no terreno | 65 |
| Figura 24 – Ortofoto da região à jusante da barragem do Paranoá | 66 |
| Figura 25 – Planejamento das ações de busca com auxílio de imagem do terreno .. | 66 |
| Figura 26 – Posição em que cada fotografia foi obtida | 67 |
| Figura 27 – Diferença de qualidade da imagem restituída | 68 |
| Figura 28 – Aferições realizadas sobre as imagens restituídas | 68 |
| Figura 29 – Respostas referentes à questão 5 | 74 |
| Figura 30 – Quadro de respostas referentes à questão 6 | 75 |
| Figura 31 – Respostas referentes à questão 10 | 76 |
| Figura 32 – Quadro de respostas referente à questão 11 | 77 |

Figura 33 – Passos a serem seguidos em cada fase.....79

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Tempos de processamento em diferentes configurações | 64 |
|--|----|

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------------|---|
| 3D | Três dimensões |
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| ANAC | Agência Nacional de Aviação Civil |
| ARP | Aeronave Remotamente Pilotada |
| ASP | American Society for Photogrammetry ou Sociedade Americana de Fotogrametria |
| ASPRS | American Society for Photogrammetry and Remote Sensing ou Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto |
| CBMDF | Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal |
| CBMERJ | Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro |
| CBMGO | Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás |
| CBMMG | Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais |
| CBMSC | Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina |
| DITIC | Diretoria de Tecnologia da Informação e Comunicação |
| EIRD | Estratégia Internacional para Redução de Desastres Naturais |
| ESAV | Esquadrão de Aviação Operacional |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| EXIF | <i>Exchangeable Image File Format</i> |
| FAC | Fotografias Aéreas Convencionais |
| FAPEF | Fotografias Aéreas de Pequeno Formato |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| ISP | International Society for Photogrammetry |
| ISPRS | International Society for Photogrammetry and Remote Sensing |
| GAVOP | Grupamento de Aviação Operacional |
| GBS | Grupamento de Busca e Salvamento |
| GO | Goiás |
| GNSS | <i>Global Navigation Satellite System</i> ou Sistema Global de Navegação por Satélite |
| GNU | <i>GNU is Not Unix</i> |
| GSD | <i>Ground Sample Distance</i> |

| | |
|----------------|---|
| HAND | <i>Height Above the Nearest Drainage</i> |
| HEC-RAS | <i>Hydrologic Engineers Corps – River Analysis System</i> |
| JEIDA | Japan Electronic Industries Development Association |
| MDS | Modelo Digital de Superfície |
| MDT | Modelo Digital de Terreno |
| MG | Minas Gerais |
| MS | Mato Grosso do Sul |
| OACI | Organização de Aviação Civil Internacional |
| ODM | OpenDroneMap |
| PPK | <i>Post-Processed Kinematic</i> |
| PMBA | Polícia Militar da Bahia |
| RPA | <i>Remotely Piloted Aircraft</i> ou Aeronave Remotamente Pilotada |
| RAM | <i>Random-access memory</i> |
| RTK | <i>Real-Time Kinematic</i> |
| SARP | Serviço de Aeronave Remotamente Pilotada |
| SARPAS | Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas |
| UAV | <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> ou Veículo Aéreo não Tripulado |
| VANT | Veículo Aéreo não Tripulado |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|---------------------|---|
| a. C. | Antes de Cristo |
| n ^o | Número |
| c | Velocidade da luz no vácuo: 299.792.458 m / s |
| cm/ <i>pixel</i> | Centímetro por <i>pixel</i> |
| f | Distância focal do sensor |
| h | Horas |
| ha | Hectare (10.000 m ²) |
| h _p | Resolução vertical da imagem (em <i>pixel</i>) |
| h _{sensor} | Dimensão vertical do sensor |
| h _v | Altura de voo |
| Km ² | Quilômetro quadrado (1.000.000 m ²) |
| mm | Milímetro |
| m ² | Metro quadrado |
| m/s | Metro por segundo |
| RGB | <i>Red, Green e Blue</i> ou Vermelho, Verde e Azul. |
| US\$ | Dólar Americano |
| w _p | Resolução horizontal da imagem (em <i>pixel</i>) |
| w _{sensor} | Dimensão horizontal do sensor |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 17 |
| 1.1 Definição do problema | 18 |
| 1.2 Justificativa | 19 |
| 1.3 Objetivos..... | 20 |
| 1.3.1 Objetivo geral..... | 20 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 21 |
| 1.4 Definição de termos | 21 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 24 |
| 2.1 Legislação..... | 24 |
| 2.2 Princípios de fotogrametria | 26 |
| 2.2.1 Espectro eletromagnético e interação da luz com a matéria | 27 |
| 2.2.2 Fenômenos físicos relacionados | 29 |
| 2.2.2.1 Reflexão | 29 |
| 2.2.2.2 Transmissão ou refração | 30 |
| 2.2.2.3 Espalhamento..... | 30 |
| 2.2.2.4 Paralaxe | 31 |
| 2.2.2.5 Estereoscopia..... | 31 |
| 2.2.3 Plataformas e sensores utilizados | 31 |
| 2.2.3.1 Estabilização das imagens | 33 |
| 2.2.3.2 Metadados de imagens digitais | 34 |
| 2.2.4 Sobreposição e correspondência de imagens..... | 35 |
| 2.2.5 Restituição | 37 |
| 2.2.6 Precisão..... | 38 |
| 2.2.7 Processamento e pós-processamento | 39 |
| 2.2.8 Resolução..... | 39 |
| 2.2.8.1 Resolução espacial..... | 39 |
| 2.2.8.2 Resolução espectral | 40 |
| 2.2.8.3 Resolução radiométrica | 41 |
| 2.2.8.4 Resolução temporal..... | 42 |
| 2.2.9 Aplicação em desastres e eventos adversos..... | 43 |
| 2.2.9.1 Mapeamento de área atingida | 44 |
| 2.2.9.2 Gerenciamento de risco em eventos | 45 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2.9.3 Estudo de caso e revisitação de cenas | 45 |
| 2.2.9.4 Modelos computacionais de alagamento..... | 46 |
| 2.3 Atividades desenvolvidas pelo Grupamento de Busca e Salvamento | 46 |
| 2.3.1 Missões fora do Distrito Federal | 48 |
| 2.4 <i>Softwares</i> utilizados | 49 |
| 2.4.1 Fase aeroespacial | 49 |
| 2.4.1.1 Comparativo entre <i>softwares</i> disponíveis para a fase aeroespacial..... | 49 |
| 2.4.1.2 Altura de voo | 51 |
| 2.4.2 Fase decorrente..... | 52 |
| 2.4.2.1 Comparativo entre <i>softwares</i> disponíveis para a fase decorrente | 52 |
| 2.4.3 OpenDroneMap - ODM..... | 52 |
| 2.4.3.1 Formatos suportados..... | 53 |
| 2.4.3.2 Requisitos de Hardware | 53 |
| 2.4.3.3 WebODM..... | 54 |
| 3 METODOLOGIA..... | 55 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 58 |
| 4.1 Considerações iniciais | 58 |
| 4.2 Sobrevoos de treinamento..... | 59 |
| 4.3 Sobrevoos realizados à jusante da barragem do Paranoá..... | 62 |
| 4.3.1 Tempo e tipos de processamento | 63 |
| 4.3.2 Modelo digital de superfície e mapa hipsométrico | 64 |
| 4.3.3 Ortofoto..... | 65 |
| 4.4 Sobrevoos para o salvamento veicular..... | 67 |
| 4.4.1 Aplicação no resgate veicular | 69 |
| 4.5 Entrevista realizada | 69 |
| 4.5.1 Análise das respostas..... | 71 |
| 4.6 Questionário aplicado | 72 |
| 4.6.1 Divisão das perguntas | 72 |
| 4.6.2 Análise das respostas..... | 74 |
| 4.6.2.1 Seção 2 – questões 5 a 7 | 74 |
| 4.6.2.2 Seção 3 – questões 8 a 12 | 75 |
| 4.7 Metodologia de coleta de imagens | 77 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 80 |
| REFERÊNCIAS..... | 83 |

| | |
|---|-----------|
| APÊNDICES | 90 |
| APÊNDICE A – Imagens do <i>software</i> para a fase aeroespacial..... | 91 |
| APÊNDICE B – Imagens do <i>software</i> para a fase decorrente..... | 94 |

1 INTRODUÇÃO

A representação gráfica por meio de mapas permeia a história da humanidade e evoluiu segundo o conhecimento e avanço tecnológico das civilizações e conforme afirmado por Oliveira (1993), há evidências de que todos os povos deixaram legado de mapas, entre as quais, o mapa mais antigo conhecido, feito em tablete de barro e datado de aproximadamente 2400 a 2200 anos a.C.

O conhecimento da topografia do terreno é condição para o correto planejamento e definição das estratégias em várias ações de políticas públicas. No livro intitulado *A arte da Guerra: Por uma estratégia perfeita* (TZU, 2005), o autor dedica um capítulo exclusivo para tratar da topologia e outro que versa sobre o terreno, destacando a importância de se levar em consideração tais características na estratégia de guerra.

Na história do Brasil, a necessidade de se compreender as dimensões do território nacional levou à realização de incursões e várias tentativas de criação de órgãos específicos com a finalidade de se obter o mapeamento fiel ao terreno. A partir de 1901, com a missão de mapeamento do território sob tutela do Estado-Maior do Exército, foi possível concluir no ano 1921 o levantamento topográfico da antiga área do Distrito Federal, onde, com auxílio de avião, foi realizada a primeira cobertura aerofotogramétrica (OLIVEIRA, 1993).

Com a popularização de aeronaves remotamente pilotadas (RPA¹), implementadas com sistema de navegação via satélite, câmeras fotográficas com grande resolução, sistemas de estabilização de imagens, fotografias com metadados e capacidade de voo a grandes distâncias, passou a existir alternativa mais econômica para coleta de imagens aerofotogramétricas. O desenvolvimento de *softwares* modernos permitiu que imagens adquiridas por câmeras não-específicas (não-

¹ O segmento aeronáutico faz uso de termos técnicos que são padronizados internacionalmente pela Organização de Aviação Civil Internacional (OACI), para não causar confusão. Dessa forma, o uso da sigla em português ARP para Aeronave Remotamente Pilotada pode causar confusão por não representar o termo técnico RPA definido pela OACI. Também são utilizados os termos: drone (expressão coloquial e popular) e VANT (considerado obsoleto pela OACI), para Veículo aéreo não tripulado e tradução de UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*.

Neste trabalho monográfico será utilizado preferencialmente o termo RPA, contudo, em alguns casos serão utilizados os termos da forma que foram empregados na referência de origem.

fotogramétricas) fossem aceitas para realizar o processamento e a restituição da imagem completa do terreno.

Se por um lado a obtenção de imagens aéreas do terreno foi facilitada pela popularização da tecnologia, por outro lado, a velocidade de processamento cada vez maior dos computadores permitiu o tratamento analítico dessas imagens e assim, realizar a reconstrução do espaço tridimensional do terreno a partir de um conjunto de imagens bidimensionais.

Desta forma, pretende-se reunir o conhecimento necessário para que seja proposta uma metodologia de obtenção de imagens do terreno, por meio de RPA, e então, com *software* específico e uso de processamento computacional, as imagens bidimensionais serão reconstituídas para obtenção de produtos derivados típicos da aerofotogrametria. Por fim, pretende-se verificar a aplicabilidade dos produtos obtidos para o serviço prestado pelo Grupamento de Busca e Salvamento (GBS).

1.1 Definição do problema

A introdução de tecnologias e novas ferramentas de trabalho exige a capacitação dos colaboradores para que delas façam o emprego correto e seja possível extrair o máximo proveito. Tais ações encontram amparo direto no princípio da eficiência da administração pública brasileira, uma vez que se exige a execução de serviços públicos com qualidade e com respeito ao uso do dinheiro público.

Com o avanço tecnológico que possibilitou a difusão de RPA no mercado, de forma a auxiliar o desempenho das mais variadas atividades, foi possível ao CBMDF ingressar no campo de serviços possíveis de serem atendidos com o uso do novo ferramental.

A partir da criação do serviço de aeronaves remotamente pilotadas (SARP), o Grupamento de Aviação Operacional (GAVOP) do CBMDF passou a atender as demandas operacionais e administrativas, por meio de sobrevoos com obtenção de imagens e vídeos a um custo reduzido, que até então só eram possíveis por meio de uso de aeronaves de asa rotativa ou fixa.

Entre as finalidades possíveis para as fotos obtidas, encontrava-se a

divulgação midiática por meio do Centro de Comunicação Social; o auxílio do comandante de socorro em alguma ocorrência operacional, por meio do acompanhamento da evolução de uma ocorrência e em atividades de busca de desaparecidos. O conhecimento dominado até então, não permite o tratamento das imagens obtidas, restringindo assim a aplicação dessas imagens em poucas situações e impossibilitando que todo o potencial da ferramenta seja explorado.

Estudos realizados na Corporação indicaram os equipamentos, atividades, riscos envolvidos e a estrutura organizacional necessária para a operação de aeronaves remotamente pilotadas (ANDRADE, 2017; LIMA, 2016; SILVA, 2020), contudo, ainda não foram apresentadas formas ou definição de métodos de trabalho com as RPAs de forma a atender as atividades desenvolvidas pela Corporação. Pimentel (2011) em seu trabalho, conclui pela aplicação de aerofotografias ao incêndio florestal, com imagens obtidas por câmeras instaladas em aviões, mas sem o uso de processamento.

Desta forma, o problema proposto para a presente pesquisa traduz-se com a seguinte pergunta: Como o processamento de aerofotografias potencializará o uso de aeronaves remotamente pilotadas nas atividades de busca e salvamento?

1.2 Justificativa

A utilização de aeronaves remotamente pilotadas deixou de ser uma tecnologia de vanguarda e já se encontra difundida em vários setores da sociedade. O CBMDF possui Serviço de Aeronaves Remotamente Pilotadas, atualmente desenvolvido e centralizado no 1º Esquadrão de Aviação Operacional (1º ESAV) do Grupamento de Aviação Operacional, onde se faz presente equipes e equipamentos que são utilizados em algumas atividades, contudo, de forma aparentemente limitada.

Em missões realizadas por militares do CBMDF fora do Distrito Federal (a exemplo de Brumadinho-MG, Missão Pantanal em Aquidauana-MS e busca por afogado em Alto Paraíso-GO), portanto em terreno desconhecido, os atuais procedimentos de operação com RPA permitem a visão aérea em tempo real, o que pode facilitar a localização e a navegação no terreno. Assim, além do produto das imagens em tempo real, é possível se obter novos produtos com pouco

aprimoramento do método e baixo investimento financeiro.

De acordo com Tommaselli (2004, *apud* LIMA; THOMAZ; SEVERO, 2010), com o uso de fotografias para estudo do terreno, é possível alcançar várias vantagens ao se comparar com processos de medição direta, entre elas: rapidez na aquisição dos dados; possibilidade de repetição das medidas; facilidade de estudo mesmo em superfícies complicadas; entre outras. Tais características são desejáveis para o serviço prestado pela Corporação.

Os resultados possíveis com a presente pesquisa poderão servir de apoio em ocorrências operacionais, subsidiando o comandante do socorro com informações atualizadas do terreno. Também pode servir de apoio para planejamento de operações realizadas rotineiramente no âmbito do Distrito Federal.

De acordo com o plano estratégico 2017-2024 do CBMDF, é previsto por meio do objetivo 1 “Atender as ocorrências emergenciais nos padrões internacionais” e pelo objetivo 10 “Desenvolver pesquisas e a gestão do conhecimento” (CBMDF, 2017). Desta forma, há alinhamento da presente pesquisa com o interesse institucional.

Outro ponto a ser levado em consideração é o interesse pessoal deste oficial na área de estudo bem como por ter participado de missões fora do Distrito Federal. No desastre ocorrido na cidade de Brumadinho-MG, a utilização de imagens da área do desastre no Posto de Comando, bem como as cartas distribuídas aos militares que adentravam a área de buscas, foi essencial para organização e planejamento das operações de busca e salvamento.

Assim, o presente trabalho visa demonstrar como é possível ampliar a forma de emprego das aeronaves remotamente pilotadas, no âmbito do CBMDF e com foco no serviço prestado pelo Grupamento de Busca e Salvamento, ao se lançar mão de processamento de imagens aéreas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Propor um método de obtenção e processamento de imagens obtidas por

aeronave remotamente pilotada com foco no serviço prestado pelo Grupamento de Busca e Salvamento.

1.3.2 Objetivos específicos

A presente pesquisa foi dividida em partes menores, de forma a percorrer os objetivos específicos e assim, alcançar o objetivo geral proposto.

- Descrever os princípios da aerofotogrametria.
- Identificar os procedimentos adotados em corporações militares de outros estados.
- Identificar potenciais serviços prestados pelo Grupamento de Busca e Salvamento que podem ser beneficiados pelo uso de imagens aerofotogramétricas processadas.
- Demonstrar o emprego de *softwares* utilizados para realização do levantamento aero fotográfico e de processamento.

1.4 Definição de termos

Aerofotografia: atividade que tem por finalidade a obtenção de fotografias aéreas, sem o uso de equipamentos que configurem o serviço de aerolevanteamento (ANAC, 2016).

Aerofotogrametria: ramo da fotogrametria onde se utilizam imagens aéreas. Operação de aerolevanteamento (ANAC, 2016).

Aerolevanteamento: conjunto de operações que tem por objetivo a obtenção de informações terrestres, aéreas ou marítimas do território nacional, utilizando para isso, de sensor instalado em plataforma aérea, que podem ser complementadas por registro e análise dos dados coletados por meio de recursos da plataforma ou de estação à distância e compreende os serviços de aeroprospecção e aerofotogrametria (ANAC, 2016).

Ângulo Nadir: “ponto diametralmente oposto ao Zênite” (SARAIVA, 2016).

Ângulo Zênite: “ponto no qual a vertical do lugar (perpendicular ao horizonte) intercepta a esfera celeste, acima da cabeça do observador. A vertical do lugar é definida por um fio a prumo” (SARAIVA, 2016).

Fase aeroespacial: são as operações que permitem a “captação de dados da parte terrestre, aérea ou marítima do território nacional” por sensores adequados e “complementada por operação de registro de tais dados, utilizando recursos da própria plataforma captadora ou de estação receptora localizada à distância” (BRASIL, 1997).

Fase decorrente: são as atividades “caracterizadas por operações técnicas destinadas a materializar informações extraídas dos dados registrados na fase aeroespacial, sob a forma de mosaico, carta-imagem, ortofoto, carta e de outras” (BRASIL, 1997).

Fotogrametria: É a arte, a ciência e tecnologia de obter informações de confiança sobre objetos e do meio ambiente com o uso de processos de registro, medições e interpretações das imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética e outros fenômenos (ASPRS, 2020).

Marca fiducial: Marcas na fotografia que determinam um sistema de coordenadas da imagem e estão divididas em dois grupos: planares e polares (HOFMAM *et al.*, 2006).

Ondas eletromagnéticas: são ondas tridimensionais, formadas por campos elétricos e magnéticos oscilantes, perpendiculares entre si. Tais ondas não necessitam de meio para sua propagação e no espaço livre sempre possuem a mesma velocidade c (velocidade da luz no vácuo). Podem ser classificadas de acordo com a energia que possuem (HALLIDAY; WALKER; RESNICK, 2012).

PIXEL: Do inglês, *picture element*. O *pixel* é o nome que se dá a cada célula quadrada de uma matriz que forma uma imagem digital. Cada *pixel* possui apenas uma coloração sólida (COELHO; BRITO, 2007).

Waypoint: Uma localização geográfica especificada usada para definir uma rota de navegação de área ou a trajetória de voo de uma aeronave empregando

navegação de área (ANAC, [s.d.]).

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta etapa da pesquisa foram consultadas as fontes bibliográficas que tratam do assunto de aerolevanteamento e fotogrametria para subsidiar e fornecer embasamento teórico para a pesquisa, bem como a legislação pertinente, de forma a fundamentar legalmente o serviço e a obtenção das imagens pelo CBMDF.

2.1 Legislação

O aerolevanteamento é um serviço aéreo público especializado e tinha o Estado-Maior das Forças Armadas como responsável. Com a extinção do órgão, as atribuições passaram ao Ministério da Defesa como responsável por realizar o controle de aerolevanteamentos realizados em território nacional, conforme estabelecido em legislação específica por meio do Decreto-Lei nº 1.177, de 21 de junho de 1971, regulamentado por meio do decreto nº 2.278, de 17 de julho de 1997, e da Portaria Normativa nº 101/GM-MD, de 26 de dezembro de 2018.

O Decreto-Lei nº 1.177, estabelece por meio do artigo 3º, a definição de aerolevanteamento, como sendo:

Art. 3º Entende-se como aerolevanteamento, para os efeitos d'êste Decreto-lei, o conjunto das operações aéreas e/ou espaciais de medição, computação e registro de dados do terreno com o emprêgo de **sensores e/ou equipamentos adequados**, bem como a interpretação dos dados levantados ou sua tradução sob qualquer forma (BRASIL, 1971, grifo nosso).

O Compêndio de Legislações e questões técnicas e legais sobre aerolevanteamento traz as seguintes observações:

Obs.: Entende-se por aeroprospecção os levantamentos aerogeofísicos e por aerofotogrametria aqueles advindos de câmeras fotogramétricas analógicas ou digitais, perfiladores a laser, radares de abertura sintética e sensores hiper/multiespectrais.

[...]

A realização de serviços de **aerofotografia, aerocinematografia, aeroinspeção ou mesmo de aeroreportagem** com o uso de aeronaves tripuladas ou RPA, não é controlada pelo MD. Os interessados deverão buscar orientação junto à ANAC e em sua legislação específica, assim como se orientarem quanto às características de cada um desses serviços no Anexo da Resolução ANAC nº 377, de 15 de Março de 2016 supracitada (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2020a, p. 8–9, grifo nosso).

Para a Agência Nacional de Aviação Civil, de acordo com a Resolução nº 377, de 15 de março de 2016, há diferenças entre os serviços de aerolevamento, aerofotogrametria e aerofotografia, conforme consta, *in verbis*:

1.2.4 aerofotografia significa atividade aérea que tem por objetivo realizar fotografias aéreas, sem o uso de equipamentos que caracterizem o aerolevamento, aeroreportagem ou aeropublicidade.

1.2.5 aeroinspeção significa atividade aérea que tem por objetivo realizar inspeções, tais como inspeções em oleodutos, gasodutos, linhas de alta tensão, obras de engenharia e reflorestamento.

1.2.6 aerolevamento significa conjunto de operações para obtenção de informações de parte terrestre, aérea ou marítima do território nacional, por meio de sensor instalado em plataforma aérea, complementadas pelo registro e análise dos dados colhidos, utilizando recursos da própria plataforma ou estação localizada à distância compreendendo as seguintes operações:

1.2.6.1 aeroprospecção; ou

1.2.6.2 aerofotogrametria; (ANAC, 2016).

Diante do exposto, a aerofotogrametria é uma operação do serviço de aerolevamento, que por sua vez é controlado pelo Ministério da Defesa e para ser caracterizado como tal, faz-se necessário o cumprimento de determinados pré-requisitos, entre os quais, a utilização de sensores específicos e aprovados para o aerolevamento. Os conjuntos plataformas-sensores aprovados para o serviço de aerolevamento estão disponíveis para consulta pública conforme Ministério da Defesa (2020b).

A Portaria Normativa nº 101/GM-MD (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2018), estabelece os requisitos necessários para que entidades públicas ou privadas, de natureza jurídica, realizem os serviços de aerolevamento. Entre os requisitos para entidade pública, está a previsão da competência legal do serviço de aerolevamento.

Conforme destacado anteriormente pelo art. 3º do decreto lei 1.177/71, e em atenção à Portaria 101 GM-MD/2018, cabe ressaltar que as RPAs em uso pelo CBMDF durante o desenvolvimento desta pesquisa, não possuíam sensores que caracterizassem o voo e aquisição de imagens como sendo para fins de aerolevamento, desta forma, não se faz necessário a autorização junto ao Ministério da Defesa, contudo, os princípios da fotogrametria foram aplicados às aerofotografias para obtenção de produtos de interesse da pesquisa.

2.2 Princípios de fotogrametria

Poucos anos após a descoberta da fotografia, em 1826, iniciaram-se estudos para utilização das fotos obtidas para evitar os trabalhosos métodos de levantamento topográficos utilizados até então. Já em 1851 foram desenvolvidas as primeiras técnicas fotogramétricas, mas foi início do século XX com a invenção do aparelho estereocomparador que houve uma revolução na fotogrametria. Com o aprimoramento das técnicas, foi possível mapear extensas superfícies terrestres, apenas com uso de fotografias aéreas (COELHO; BRITO, 2007).

Para esses mesmos autores, a fotogrametria pode ser segmentada em quatro períodos históricos: pioneira (1840-1900); analógica (1901-1950); analítica (1951-1990) e digital (1990-hoje) e que se traduz no quadro abaixo:

Figura 1 – Quadro do histórico da fotogrametria

| FOTOGRAMETRIA | ENTRADA | PROCESSAMENTO | SAÍDA |
|------------------|--|-----------------------------|---|
| ANALÓGICA | Fotografia analógica (em filme) | Analógico (optico-mecânico) | Analógico (<i>scribes</i> ou fotolitos) no passado ou digital (CAD, por exemplo) no presente |
| ANALÍTICA | Fotografia analógica (em filme) | Analítico (computacional) | Analógico (<i>scribes</i> ou fotolitos) no passado ou digital (CAD, por exemplo) no presente |
| DIGITAL | Imagem digital (obtida por câmera digital) ou digitalizada (foto analógica submetida a um <i>scanner</i>) | Analítico (computacional) | Digital |

Fonte: Adaptado de Augusto (1999, *apud* COELHO; BRITO, 2007, p. 22).

Dos primórdios da fotogrametria até os dias atuais, evidencia-se a ampliação de abrangência da área, destacando-se por exemplo, a mudança de nome de associações que tratam do assunto (ASP – American Society for Photogrammetry para ASPRS - American Society for Photogrammetry and Remote Sensing e da ISP – International Society for Photogrammetry para ISPRS - International Society for Photogrammetry and Remote Sensing). Para Lima, Thomaz e Severo (2010), a fotogrametria se trata de uma técnica que está em constante evolução de instrumentos e processos.

As atividades de sensoriamento remoto e de fotogrametria se complementam. Enquanto o primeiro “são técnicas, para obter e processar informações sobre um objeto sem contato físico direto” (ASPRS, 2020), a definição de fotogrametria é dada por:

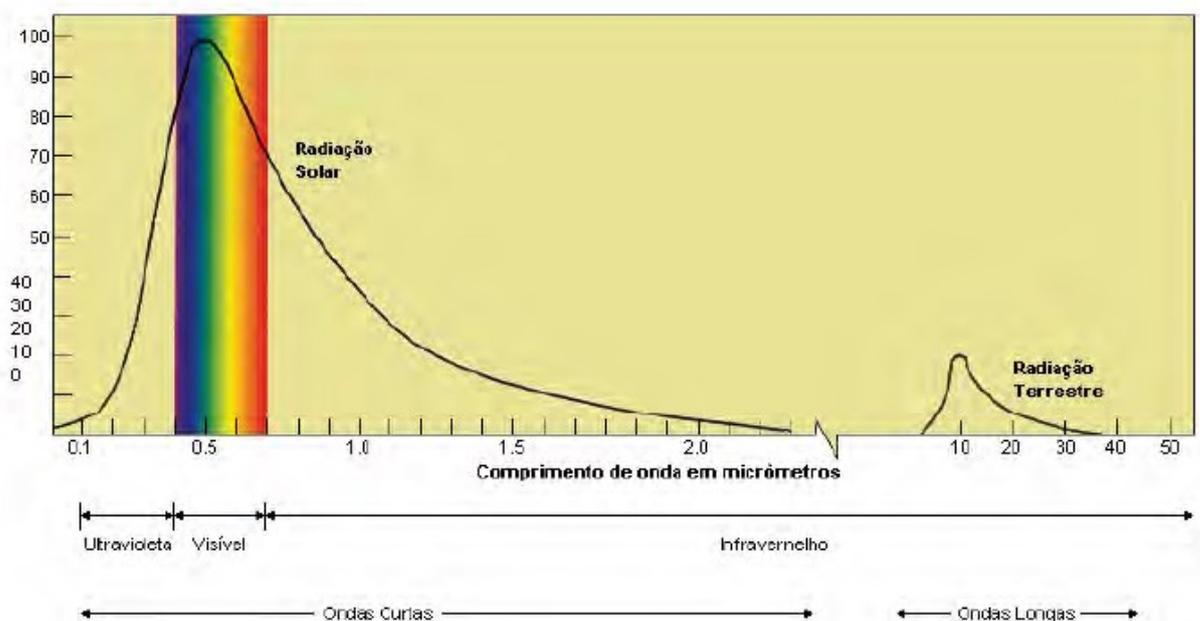
É a arte, a ciência e tecnologia de obter informações de confiança sobre objetos e do meio ambiente com o uso de processos de registro, medições e interpretações das imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética e outros fenômenos (ASPRS, 2020).

2.2.1 Espectro eletromagnético e interação da luz com a matéria

A luz visível é apenas parte de um vasto espectro, denominado espectro eletromagnético, que nada mais é do que a distribuição das ondas eletromagnéticas, conforme sua energia. De acordo com a faixa de estudo, a radiação eletromagnética também chamada de ondas eletromagnéticas, recebe diferentes denominações como: espectro de luz visível, ondas curtas, ondas longas, ondas de rádio, espectro infravermelho, entre outras (FEYNMAN; SANDS; LEIGHTON, 2008).

No planeta Terra, o Sol é a fonte predominante das ondas eletromagnéticas, mas existem outras fontes, como lâmpadas, máquinas de raio X e a própria superfície terrestre, conforme destacado pela figura 2 (HALLIDAY; WALKER; RESNICK, 2012).

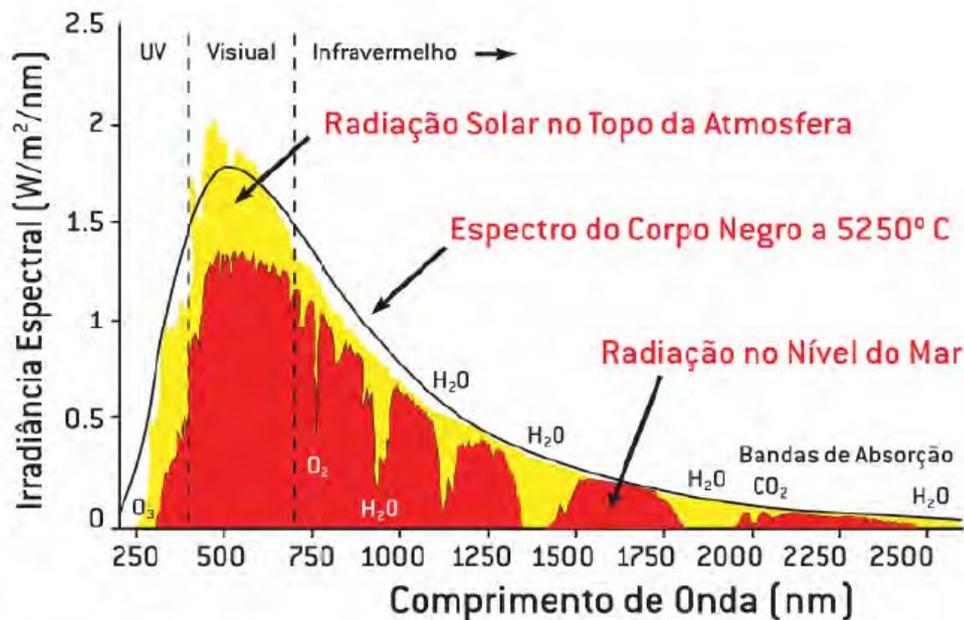
Figura 2 – Distribuição da intensidade de energia emitida por fontes naturais



Fonte: (MENESES *et al.*, 2012, p. 13).

O estudo do comportamento espectral da matéria permite a obtenção de informações sobre a composição química do alvo. De forma geral, tal estudo pode levar em consideração como se dá a reflexão, transmissão e absorção da radiação eletromagnética incidente sobre a matéria e é realizado com a utilização de sensores específicos para determinadas frequências. Tais fenômenos mudam de comportamento de acordo com a composição do material e da frequência da onda eletromagnética incidente (NOVO, 2010). Como exemplo tem-se a figura 3, que mostra que para diferentes faixas do espectro eletromagnético emitido pelo Sol, há diferentes absorções da radiação pela atmosfera terrestre.

Figura 3 – Irradiância solar no topo da atmosfera e ao nível do mar



Fonte: (MENESES *et al.*, 2012, p. 15).

De acordo com os mesmos autores, em determinados momentos, a luz apresenta comportamentos que a caracteriza como partícula, conforme explicação do efeito fotoelétrico proposto por Albert Einstein (1879-1955). Essa dualidade partícula-onda é aceita no meio científico e conhecida como Natureza Dual da Luz. Tem-se que tal característica é importante para o estudo de imagens, conforme destacado:

Esse conceito de dualidade é extremamente importante para o sensoriamento remoto, pois sempre que alguém estiver analisando qualquer tipo de imagem de sensoriamento remoto, a coexistência da radiação eletromagnética na forma de onda e na forma de energia deverá ser considerada para que se possa explicar tudo o que se observa nas imagens com referência às características dos objetos (MENESES *et al.*, 2012, p. 4).

Um raio de luz branca, como a proveniente do Sol, é uma composição de todas as frequências do espectro visível e tal composição é perceptível ao se observar um arco-íris. A reprodução de cores nas telas de monitores se baseia na adição das cores primárias vermelho (R – *red*), verde (G – *green*) e azul (B – *blue*) ou RGB. Ao se utilizar sensores que capturam apenas tais comprimentos de onda, é possível reconstruir as imagens coloridas da forma que se apresentam na natureza e que são visualizadas pelos seres humanos. A utilização de imagens digitais permite que sejam realizadas diferentes combinações de bandas espectrais², visando o realce ou obtenção de informações específicas do objeto em estudo (HALLIDAY; WALKER; RESNICK, 2012; NOVO, 2010).

2.2.2 Fenômenos físicos relacionados

De acordo com Novo (2010), a onda eletromagnética que atinge uma superfície tem parte da energia refletida, parte transmitida para o objeto e uma parte é espalhada em todas as direções. O estudo das ondas eletromagnéticas após atingirem o objeto é o que se chama de comportamento espectral dos alvos e permite obter informações sobre eles.

Já para o estudo da fotogrametria, Lima, Thomaz e Severo (2010) verificam que se faz necessário o entendimento de dois conceitos, que são a paralaxe e a estereoscopia.

2.2.2.1 Reflexão

De acordo com a Lei da Reflexão, a onda eletromagnética refletida por uma superfície, está situada no plano da onda incidente e o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência ($\Theta_1' = \Theta_1$), conforme indicado pela figura 4 (HALLIDAY; WALKER; RESNICK, 2012).

Um objeto ao ser atingido por ondas eletromagnéticas (como exemplo, considerar a luz branca), pode absorver todos os comprimentos de onda e nesse caso será visto como um objeto preto, se refletir todos os comprimentos de onda, será visto

² Banda espectral é o intervalo entre dois comprimentos de onda, no espectro eletromagnético.

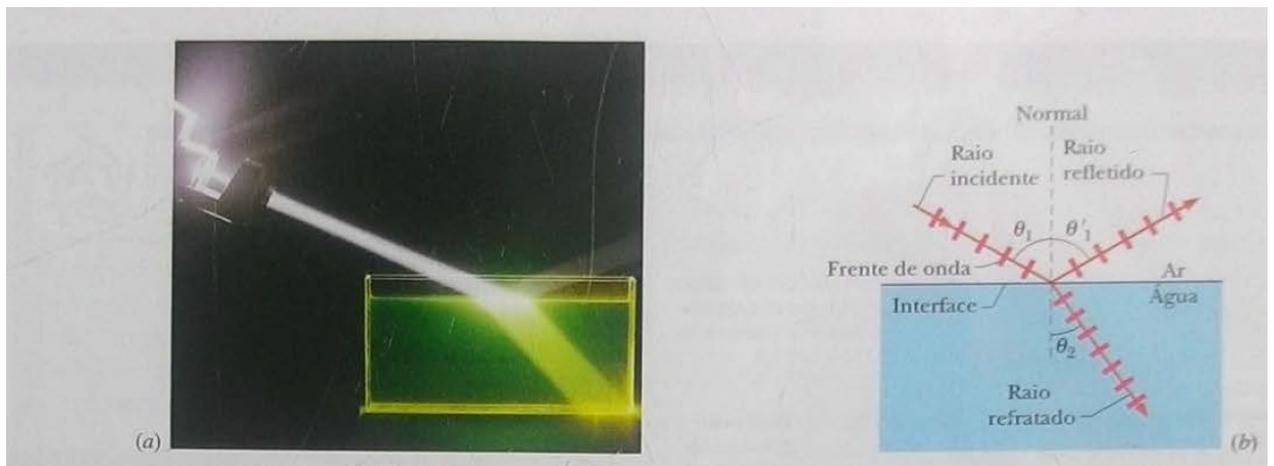
como um objeto branco e por fim, se refletir apenas determinado comprimento de onda, será visto como um objeto da cor do comprimento de onda refletido (HALLIDAY; WALKER; RESNICK, 2012; NOVO, 2010).

2.2.2.2 Transmissão ou refração

A refração ocorre quando há mudança no meio de propagação da luz. A figura 4 ilustra tal fenômeno ao mostrar que o raio luminoso na água sofre um desvio em relação à direção do feixe incidente (HALLIDAY; WALKER; RESNICK, 2012).

Novo (2010) trata o fenômeno da refração como sendo a transmissão da energia da onda eletromagnética, de uma meio para o outro. Afirma ainda que a energia transmitida geralmente é absorvida pelo alvo e depois reemitida por processos eletrônicos, termais ou dissipada em forma de calor.

Figura 4 – Reflexão e refração da luz incidente em uma superfície



Fonte: (HALLIDAY; WALKER; RESNICK, 2012, p. 18)

2.2.2.3 Espalhamento

O espalhamento da luz incidente ocorre quando parte da energia da onda eletromagnética incidente é espalhada em todas as direções pelo objeto e se dá pois a superfície do objeto é rugosa em relação ao comprimento de onda da radiação eletromagnética incidente (NOVO, 2010).

2.2.2.4 Paralaxe

Define-se paralaxe como o movimento aparente de um objeto em relação a um referencial, quando se altera o ponto de observação do objeto (COELHO; BRITO, 2007). Os autores exemplificam o fenômeno com um experimento simples:

Se um observador tomar como referência a quina da parede de uma sala, estender seu polegar apontado para cima entre a quina e seus olhos e visualizá-lo alternadamente, com um só olho aberto de cada vez, perceberá que o alinhamento entre seu dedo e a quina da parede deslocar-se-á horizontalmente (COELHO; BRITO, 2007, p. 180).

Analogamente, a paralaxe é percebida em imagens que se sobrepõe. Assim, por meio de equipamentos específicos (como o estereocomparador ou a barra de paralaxe) ou *softwares*, é possível extrair dimensões das fotografias devido a esse movimento aparente (COELHO; BRITO, 2007; FITZ, 2008).

2.2.2.5 Estereoscopia

Trata-se da observação de um mesmo objeto a partir de dois pontos diferentes e com isso possibilitar a percepção de profundidade de uma cena. Tal característica é uma capacidade dos seres humanos, que possuem visão binocular e podem observar o mesmo local com os dois olhos (OLIVEIRA, 1993).

Para o mesmo autor, a sobreposição das imagens é uma forma de repetição da visão binocular humana, uma vez que o mesmo objeto possui a imagem a partir de dois (ou mais) pontos de observação. A restituição das imagens, por meio de equipamentos ou *softwares*, permite a reprodução artificial da visão estereoscópica.

2.2.3 Plataformas e sensores utilizados

Plataformas são os equipamentos responsáveis pelo voo e servem de base para a instalação de equipamentos de captura de imagem (sensores). São encontrados dois modelos de Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs³): multirotores e de asa fixa. Há entendimento que os multirotores apresentam certa vantagem, uma vez que possuem a capacidade de levantar voo verticalmente e em locais mais

³ Forma empregada na referência de origem.

confinados (SOUSA, 2017a).

Sensores para captação de imagem são aparelhos que permitem que a energia eletromagnética emitida ou refletida por alguma superfície seja capturada e então, registradas em formato digital ou analógico. Podem ser classificados em ativos e passivos. Um sensor ativo tem a capacidade de emitir radiação eletromagnética e captar a radiação refletida pelo alvo, já os sensores passivos necessitam de uma fonte externa de radiação eletromagnética para captar a radiação refletida pelo alvo (FITZ, 2008; NOVO, 2010).

Para Oliveira (1993), a fotografia aérea para fins de fotogrametria depende de vários cuidados, especificações e devem seguir normas específicas, relacionadas ao avião, ao voo, ao filme utilizado e pela câmera. Alguns autores referenciam tais equipamentos por câmeras métricas outros por câmeras fotogramétricas.

Para Fitz (2008), as aerofotos obtidas por esses sensores para fins de fotogrametria, se diferenciam das fotografias normais pois precisam de determinadas características que permitam extrair informações métricas precisas, entre as quais, marcas fiduciais, registros de data, hora, formato do negativo de 23x23 cm, número do voo, e que precisam ser inseridos por câmeras devidamente calibradas e certificadas.

Atualmente as imagens para fins de aerofotogrametria não se restringem apenas a sensores específicos e de custo elevado. Pimentel (2011) traz as definições de fotografias aéreas convencionais (FACs), que são as imagens aéreas obtidas com câmeras métricas, e as fotografias aéreas de pequeno formato (FAPEFs), que são as imagens obtidas por câmeras fotográficas convencionais (não métricas). Devido à evolução tecnológica, *softwares* disponíveis já conseguem realizar a reconstituição de imagens a partir de câmeras comumente encontradas no mercado.

Munaretto (2015, *apud* SOUSA, 2017b), entende que existem 7 tipos de sensores que podem ser acoplados às plataformas, cada sensor com indicação recomendada conforme a área de estudo.

sensores na faixa do visível (RGB) muito usados para monitoramento de obras, agricultura e mineração; **sensores infravermelhos (IV)**, que são capazes de identificar, por exemplo, estresses hídricos e alguns parâmetros envolvidos no cálculo da biomassa; **sensores multiespectrais**, que

conseguem auxiliar na detecção de determinados aspectos das plantas água ou do terreno; **sensores hiperespectrais**, que podem capturar centenas de imagens da região do visível ao infravermelho de ondas médias; **sensores de monitoramento do espectro de frequência**, que monitoram e caracterizam sinais emitidos por aeronaves, navios e outros emissores de interesse de uma força armada ou órgão de espionagem; **radar**, capaz de mapear terrenos, florestas e edifícios emitindo ondas eletromagnéticas e coletando a energia retroespalhada (retornos do solo); e **lidar**, que permite a aquisição de uma nuvem de pontos mais densa e detalhada (SOUSA, 2017b, p. 329, grifo nosso).

Conforme elencado no mesmo trabalho referenciado acima, os sensores mais empregados são os do tipo RGBs.

2.2.3.1 Estabilização das imagens

Imagens tremidas e desfocadas são problemas para validação da qualidade das fotografias e necessitam de mecanismos para evitar tais inconvenientes. Conforme já explicitado, as câmeras métricas trouxeram dispositivos que mitigam esses problemas, o que permitiu o desenvolvimento da aerofotogrametria convencional.

Uma RPA durante o voo está sujeita a oscilações, trepidações e deslocamentos inesperados devido a turbulências, rajadas de vento e pelo próprio deslocamento da aeronave. Sem um adequado sistema de estabilização para a câmera acoplada, as fotografias coletadas estão sujeitas a não possuírem qualidade suficiente e conseqüentemente não serem validadas para uso na fotogrametria, conforme evidenciado pela figura 5.

Figura 5 – Qualidade da imagem sem estabilizador e com estabilizador



Fonte: (ESCANDAR, 2020)

Um giroscópio é um dispositivo que possui um disco ou roda (volante) em rápida rotação, que confere ao sistema uma elevada energia cinética de rotação, permitindo que na ausência de forças externas, se mantenha sempre a direção do eixo desse volante. A aplicação de tal sistema é de grande uso na navegação marítima e aérea e podem ser utilizados para correção de rotas automaticamente (NUSSENZVEIG, 2002).

Os estabilizadores mais comuns encontrados no mercado recebem o nome de Gimbal, que são plataformas que podem girar em torno de ao menos um eixo e fazem o uso dos princípios de um giroscópio. Podem ser utilizados em várias situações, como por exemplo, para estabilização de mesas de biliar em um navio ou para estabilizar as câmeras acopladas em aeronaves. Quando o Gimbal possui a capacidade de estabilização tridimensional, na aeronáutica os eixos de rotação são denominados *roll*, *pitch* e *yaw* (STRICKLAND, 2008).

2.2.3.2 Metadados de imagens digitais

Conforme já discutido no tópico sobre plataformas e sensores, a fotogrametria tradicional exigia que as máquinas métricas inserissem certos dados na fotografia para possibilitar a restituição posterior. Da mesma forma, a fotogrametria digital faz uso de informações adicionais contidas nas imagens, que auxiliarão na restituição.

Exchangeable image file format (EXIF) é uma especificação de informações de arquivos, ou metadados, criado pela Japan Electronic Industries Development Association (JEIDA) (TACHIBANAYA, 2001). Os metadados fornecem informações auxiliares sobre o arquivo digital. As fabricantes de máquinas digitais seguem tais especificações na construção dos equipamentos para que tais dados sejam facilmente acessados, conforme pode ser visualizado pela figura 6, que contém entre outros, os metadados de coordenada geográfica de uma imagem obtida pela RPA Zangão 01 do GAVOP.

Figura 6 – Exemplo de metadados de uma imagem digital

| Propriedade | Valor |
|---------------------------|----------------------------|
| Fabricante do flash | |
| Modelo do flash | |
| Número de série da câmera | |
| Contraste | Normal |
| Brlho | |
| Fonte de luz | Desconhecido |
| Modo de exposição | Normal |
| Saturação | Normal |
| Nitidez | Forte |
| Balanço de branco | Automático |
| Interpretação fotométrica | |
| Zoom Digital | |
| Versão de EXIF | 0230 |
| GPS | |
| Latitude | 15; 47; 50.170100000000... |
| Longitude | 47; 47; 2.414599999989... |
| Altitude | 1088.88 |
| Arquivo | |

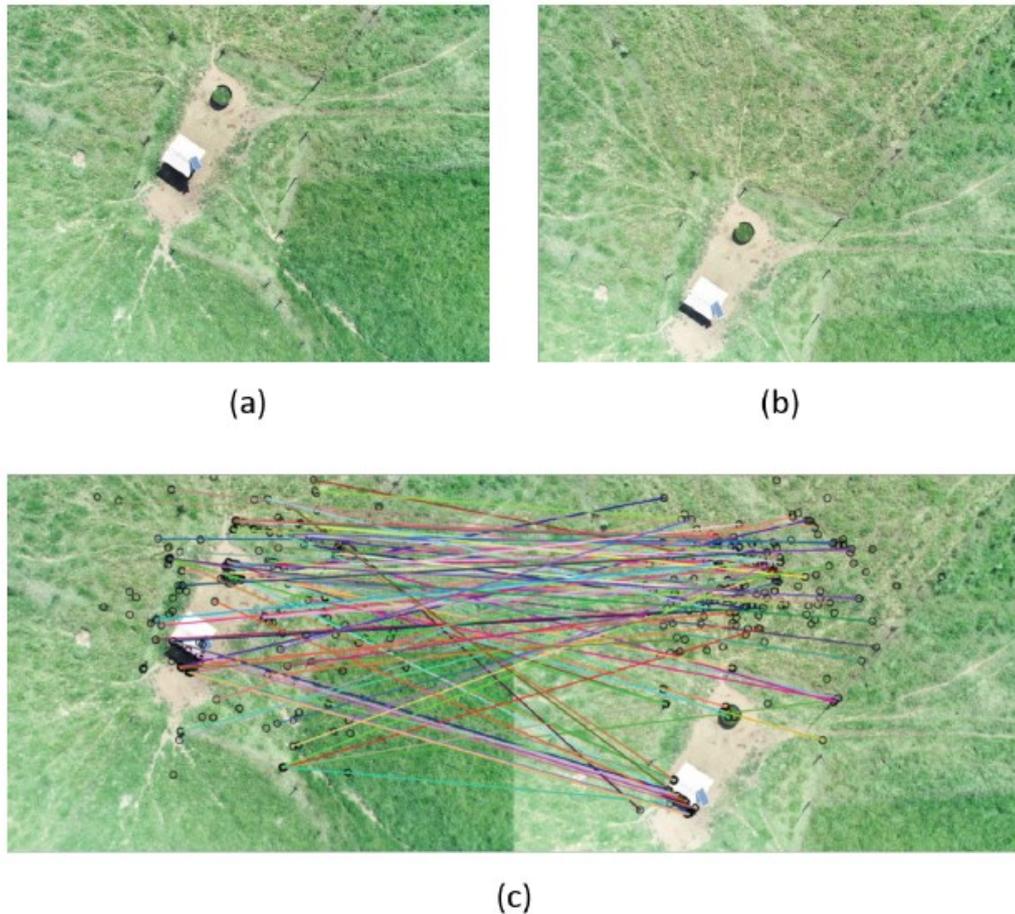
Fonte: O Autor

A informação das coordenadas geográficas de uma imagem será importante para que se processe a restituição das imagens durante a fase decorrente do aerolevanteamento, conforme será exposto neste trabalho, na seção correspondente aos *softwares* utilizados.

2.2.4 Sobreposição e correspondência de imagens

Para EMBRAPA (2018), é necessário que as imagens possuam um bom nível de sobreposição para que centenas de correspondências sejam realizadas entre duas imagens que possuam objetos em comum, conforme indicado pela figura 7.

Figura 7 – Sobreposição e correspondência de imagens



Fonte: (EMBRAPA, 2018, p. 4).

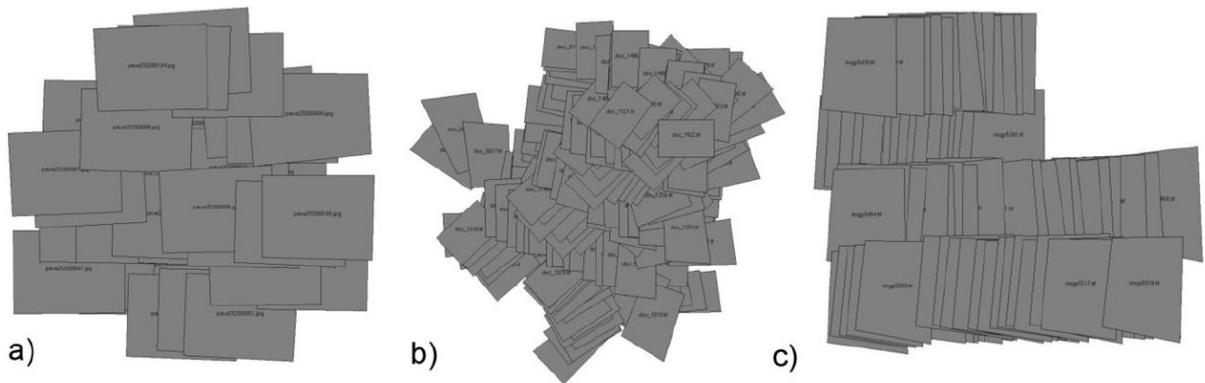
Fitz (2008) entende que durante o planejamento de voo, a sobreposição entre faixas de voos paralelas deve ser de dois tipos: lateral ou *side/lap* com sobreposição de 20% a 30% e a longitudinal ou *overlap* com sobreposição entre 50% e 60%. Em ambos os casos, a sobreposição é a mínima necessária para que a reconstituição seja adequada e melhores resultados podem ser conseguidos com uma maior taxa de sobreposição de imagens.

Segundo Nex e Remondino (2014), o planejamento de voo e de aquisição de imagens é rotineiramente realizada em laboratório, utilizando-se software dedicado, com conhecimento prévio do local de interesse, da resolução requerida e das características intrínsecas do sensor que será utilizado. Neste momento é que se define ainda a sobreposição das imagens. Todos esses parâmetros devem ser levados em consideração para se alcançar o objetivo pretendido com o sobrevoo.

Os autores destacam ainda 3 formas de aquisição de imagem, ilustrado pela

figura 8: a) modo manual de aquisição com intervalo agendado de aquisição; b) navegação de baixo custo com possibilidade de uso de *waypoints* (ponto de passagem) mas com sobreposição irregular de imagens; c) voo automatizado com aquisição por sistema de navegação de alta qualidade.

Figura 8 – Diferentes modalidades de aquisição de imagens com RPA



Fonte: (NEX; REMONDINO, 2014, p. 11).

2.2.5 Restituição

Oliveira (1993) entende que a restituição ou estéreo-restituição está relacionada com a criação de um novo mapa a partir de fotografias aéreas, utilizando equipamentos específicos conhecidos como restituidores. Temba (2000) destaca que no Brasil, durante a década de 1980, grande parte dos restituidores analógicos já estava adaptada para o uso de auxílio analítico de restituição. Com a evolução tecnológica, tais equipamentos passam a ser substituídos por *softwares*, que utilizam imagens digitais para a restituição.

A restituição é, portanto, uma atividade de processamento das aerofotografias para obtenção de novos produtos, situada na fase decorrente do aerolevanteamento. A forma deste processamento evoluiu conforme já destacado pelo quadro da Figura 1. Conforme relacionado pelo Ministério da Defesa (2018), os produtos possíveis são as ortoimagens, ortofotos, mosaicos, modelos digitais de terreno, modelos digitais de superfície, cartas topográficas, mapas hipsométricos, mapas cadastrais, mapas geológicos e outros mapas temáticos.

2.2.6 Precisão

Para Tomaščík *et al.* (2019), até mesmo as aeronaves remotamente pilotadas mais comuns possuem um receptor de sistema global de navegação por satélite (GNSS) para propósitos de navegação e que podem ser utilizados para inserir informações adicionais de coordenadas nos metadados das imagens (EXIF). Tais receptores possuem precisão típica na ordem de metros, portanto não são utilizados para situações em que se faz necessária alta precisão.

O aumento da precisão das imagens adquiridas pode ser resolvido de algumas formas, entre elas, o uso de pontos de controle no terreno, do inglês *ground control points* (GCPs) que são pontos marcados no terreno e com localização conhecida, adquirida por meio de GNSS de alta precisão ou outro mecanismo que confira a precisão requerida ao ponto de interesse (TOMAŠČÍK *et al.*, 2019).

Segundo os autores, outra forma de aumento da precisão é com o uso de equipamentos GNSS de alta precisão (GNSS diferencial) embarcado nas aeronaves, que podem ser do tipo *Real-Time Kinematic* (RTK), quando a correção das coordenadas ocorre durante o voo da aeronave ou do tipo *Post-Processed Kinematic* (PPK), quando a correção das coordenadas é realizada após o voo. Nesse caso, a precisão da coordenada fica na ordem de centímetros.

Os autores concluem que os produtos fotogramétricos obtidos por meio de equipamentos com correção PPK/RTK ficam com precisão de no máximo 10 cm na horizontal e 20 cm na vertical e são superiores aos resultados obtidos pelo método de correção com GCP. Destacam ainda que o uso de GCPs é mais trabalhoso, uma vez que se faz necessário marcar o terreno com sinais que possam ser visualizados nas fotografias e pode ser inviável em áreas perigosas ou de difícil acesso.

Encontra-se no manual do OpenDroneMap, que a precisão dos produtos obtidos do processamento é dependente da precisão do GPS que equipa as UAVs – geralmente entre 2 e 6 metros na horizontal e a precisão vertical fica em torno de 3 a 4 vezes a precisão horizontal. Afirma ainda que a precisão é influenciada por condições meteorológicas, tipos de câmeras, altitude e velocidade do voo. (OPENDRONEMAP, 2020a)

2.2.7 Processamento e pós-processamento

Para Horus Aeronaves (HORUS AERONAVES, 2019), uma vez que muitos recursos podem ser gerados, é necessário distinguir os produtos obtidos após a captura das imagens com o drone em campo, que se divide em duas fases: processamento e pós-processamento.

A fase do processamento de imagens permite a reprodução da área mapeada, em forma de modelos digitais, de onde se pode realizar a medição de áreas, ângulos e distâncias. Os produtos obtidos são o ortomosaico, modelo digital de superfície (MDS), modelo digital de terreno (MDT), curvas de nível e índices de vegetação (HORUS AERONAVES, 2019).

No pós-processamento, são aplicados algoritmos específicos que permitem realizar análises aprofundadas sobre os produtos obtidos da fase do processamento. É o momento que as possibilidades de aplicação mais se expandem e dependerá também do conhecimento do operador. Entre os produtos obtidos da fase do pós-processamento, encontra-se a altimetria, identificação de ervas daninhas, linhas e falhas de plantas, contagem de plantas, análise de biomassa, análise de cobertura (HORUS AERONAVES, 2019; MAPPA, 2020).

2.2.8 Resolução

Meneses *et al.* (2012) afirma que o dimensionamento das resoluções dos sensores permite abordar suas potencialidades e assim definir qual o melhor conjunto de sensores para ser utilizado. Os autores definem ainda quatro tipos de resolução para as imagens: resolução espacial, resolução espectral, resolução radiométrica e resolução temporal, conforme descrições a seguir.

2.2.8.1 Resolução espacial

Resolução espacial se refere ao tamanho que o *pixel* de uma imagem representa a realidade no terreno. Para ser possível detectar um objeto em uma imagem, ele precisa ter dimensões iguais ou maiores que a área representada por um *pixel*, contudo em alguns casos onde há alto contraste entre o objeto e o entorno, essa

regra é superada (NOVO, 2010).

A figura 10 demonstra o caso em que a resolução espacial da imagem (30 metros) é maior que o objeto (10 metros de largura) e ainda assim é possível identificar as estradas na banda do infravermelho, devido ao alto contraste. Experimentalmente e de forma geral, para que um objeto no terreno seja identificado na imagem, a resolução espacial do sensor precisa ser a metade do tamanho do objeto (MENESES *et al.*, 2012).

A Circular Técnica da EMBRAPA (2018), traz o conceito de *Ground Sample Distance* (GSD⁴) que é a distância entre o centro de dois pixels vizinhos que representa uma amostra do terreno. Em termos práticos, quanto menor for a área representada por um *pixel*, maior será a resolução espacial da imagem e mais detalhes poderão ser observados, conforme destacado pela figura 9. VANTs podem apresentar resolução espacial superior a de satélites.

Figura 9 – Maior resolução espacial fornece mais detalhes do terreno



Fonte: (MENESES *et al.*, 2012, p. 26).

2.2.8.2 Resolução espectral

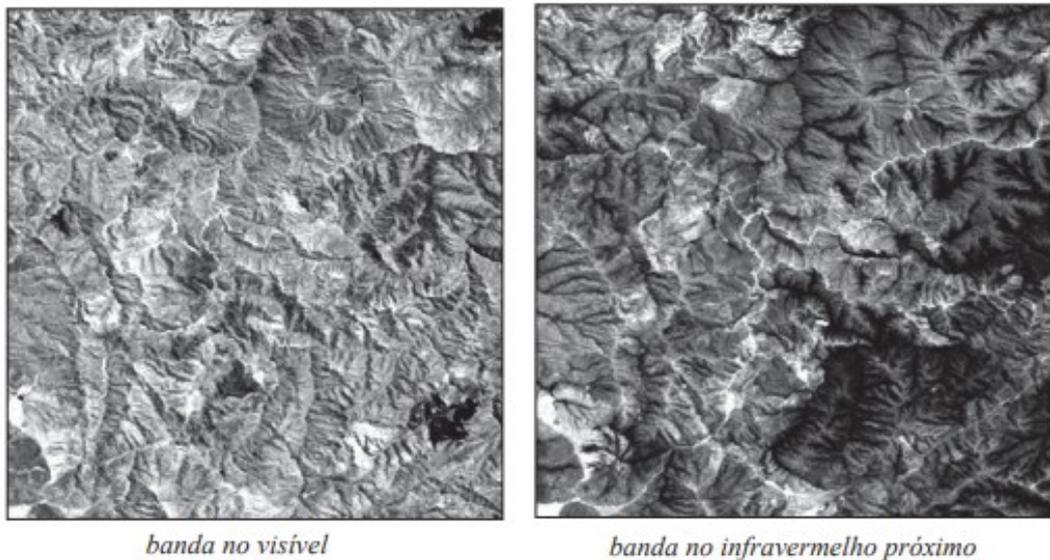
Resolução espectral envolve ao menos três parâmetros que são: o número de bandas; a largura das bandas (comprimento de onda) e as posições ocupadas pelas

⁴ A GSD está relacionada à altura de voo, às características do sensor utilizado e ao tamanho da imagem em pixels, comumente representado em *cm/pixel*. Quanto menor a GSD, maior será a resolução da imagem.

bandas no espectro eletromagnético. De forma geral, pode-se afirmar que um sensor possui melhor resolução espectral se possuir maior número de bandas, situadas em diferentes regiões espectrais e com largura estreita de comprimento de onda. Considerando que as bandas espectrais possuem maior ou menor indicação para determinados tipos de estudos, surgem os sensores multi e hiper espectrais (MENESES *et al.*, 2012).

A figura 10 possui a mesma resolução espacial, são da mesma região, mas as imagens são em bandas diferentes do espectro eletromagnético e demonstram que a detecção de estradas de terra é mais fácil utilizando-se a banda do infravermelho próximo.

Figura 10 – Diferença na identificação de estradas em diferentes bandas



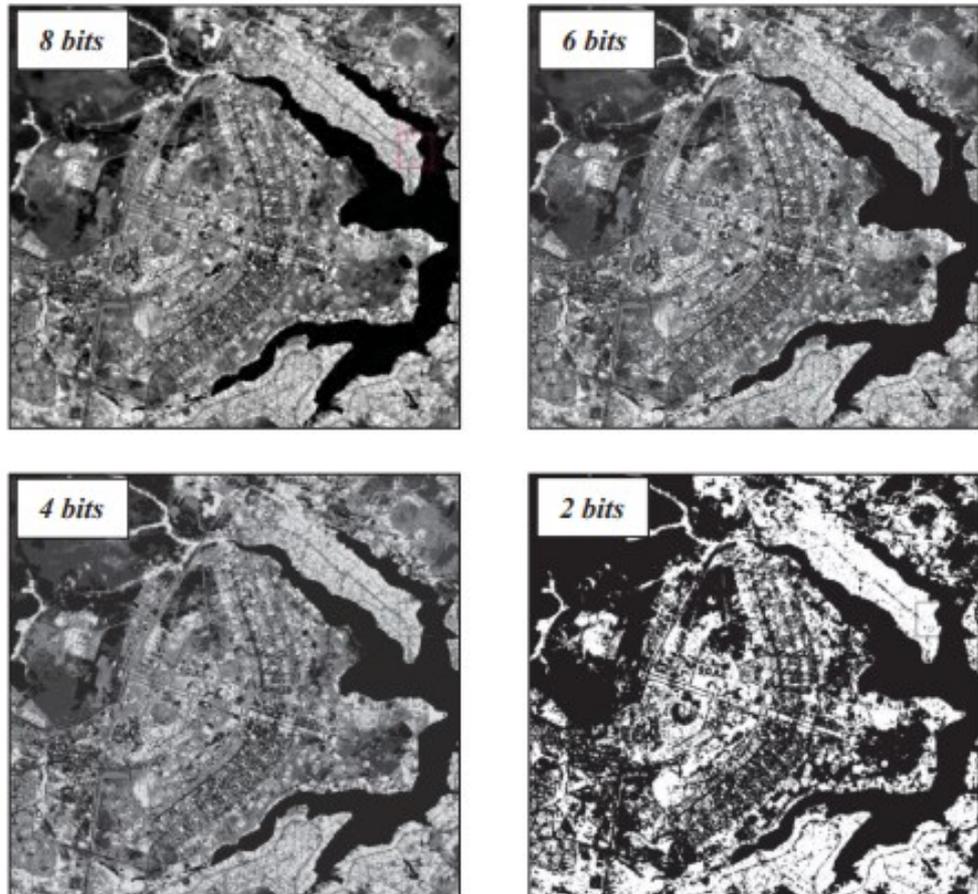
Fonte: (MENESES *et al.*, 2012, p. 29).

2.2.8.3 Resolução radiométrica

Resolução radiométrica está relacionada à capacidade dos sensores em detectar as diferenças de intensidade dos níveis de radiação emitida ou refletida pelos alvos. Geralmente expressa em termos de números binários (*bits*), maior será a qualidade visual da imagem quanto maior for a quantização em bits, conforme ilustrado pela figura 11. Como exemplo, uma imagem de 8 *bits* possui ($2^8=256$) 256 níveis de quantificação ou de resolução radiométrica, enquanto uma imagem de 2 bits

($2^2=4$) possui apenas 4 níveis (MENESES *et al.*, 2012).

Figura 11 – Diferentes resoluções radiométricas



Fonte: (MENESES *et al.*, 2012, p. 30)

2.2.8.4 Resolução temporal

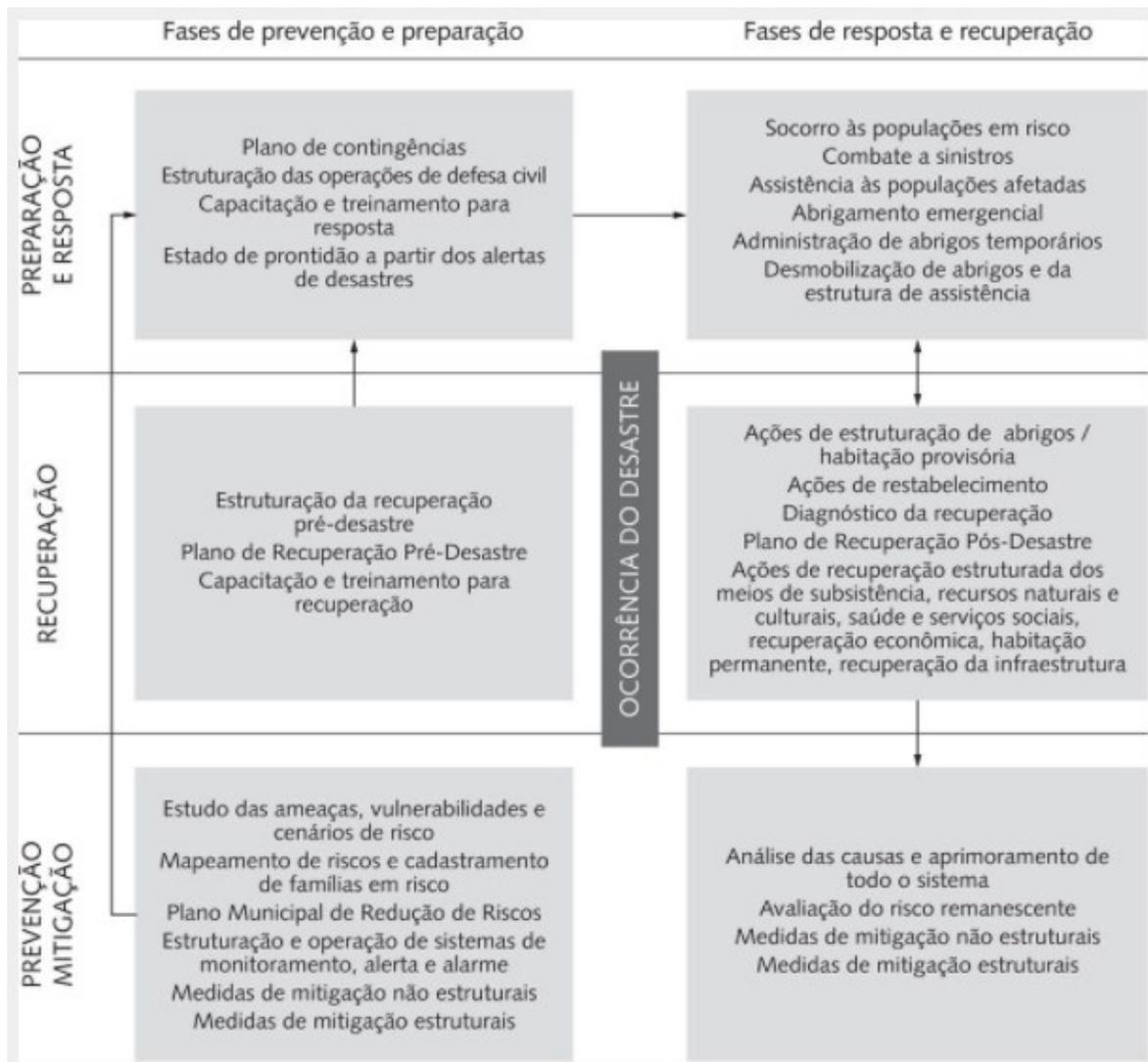
A resolução temporal se refere à frequência com que um sensor revisita uma determinada região para a obtenção de imagens. Faz sentido quando se considera as imagens obtidas por plataformas orbitais (satélites), uma vez que esses periodicamente cobrem a mesma faixa terrestre. Pode ocorrer de no momento da coleta das imagens por plataformas orbitais, a região de interesse esteja encoberta por nuvens. Para EMBRAPA (2018), o uso de VANTs permite cobrir áreas com maior frequência temporal e não são afetadas por problemas de oclusão da área por nuvens.

2.2.9 Aplicação em desastres e eventos adversos

A análise e aplicação dos dados obtidos por meio das imagens coletadas por drones são diversas e envolvem uma grande área de conhecimento que irá depender dos objetivos pretendidos (MAPPA, 2020).

No livro *Sensoriamento Remoto para Desastres* (SAUSEN; LACRUZ, 2015), as autoras trazem que as atividades de defesa civil foram agrupadas em cinco macroprocessos inter-relacionados (prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação) conforme esquematizado pela figura 12, como reflexo da lei 12.608 (BRASIL, 2012) e em atenção à Estratégia Internacional para Redução de Desastres (EIRD).

Figura 12 – Macroprocessos da gestão de riscos em desastres



Fonte: Gregorio (SAUSEN; LACRUZ, 2015)

As autoras enfatizam que todos os macroprocessos podem contar com apoio da tecnologia, com enfoque na fase de resposta, onde destacam a vantagem da maior resolução espacial, bem como da possibilidade de uso de sensores aerotransportados. Asseveram ainda que em situações de pós desastre, pode-se recorrer ao uso de imagens de satélite com alta resolução espacial, contudo, devido à resolução temporal ser de até 48h, pode ser difícil acesso às imagens em tempo hábil, como requerido em uma situação de desastre, assim, há indicação para uso de aeronaves remotamente pilotadas.

Entretanto, há desastres que necessitam de imagens com maior resolução espacial para a avaliação da extensão do impacto e da estimativa de danos, como os deslizamentos e as corridas de detritos/lama, que necessitam de tamanhos de *pixel* em solo inferiores a 10 m, sendo ideal 1 m ou menos.

[...]

Sensores aerotransportados são bastante úteis para estudos e gestão de desastres, principalmente porque, em geral, os dados gerados por eles são em escala de detalhe (1:2.000 ou 1:5.000), o que possibilita o planejamento de ações de prevenção, preparação, mitigação e reconstrução. A qualidade desses dados depende geralmente do tipo de sensor utilizado, da altitude em que ele se encontra e do tamanho da área a ser coberta. Atualmente, já existem câmaras digitais para voos **fotogramétricos** que proporcionam dados de altíssima resolução espacial (abaixo de 10 cm), como a ADS40, a DMC e a UltraCam.

[...]

Longhitano (2010) apresenta os potenciais de aplicação dos sensores embarcados em VANTs, especialmente os helimodelos com capacidade de decolagem e pouso vertical, citando as principais vantagens em relação aos sensores transportados por aeronaves tripuladas e aos orbitais: redução dos custos de obtenção de imagens/fotografias aéreas; maior flexibilidade de resolução temporal para aquisição de imagens de alta resolução espacial; possibilidade de execução de missões em condições adversas sem risco de morte para o piloto e para o operador da câmera aerofotogramétrica; facilidade de obtenção de imagens sob nuvens baixas; menor necessidade de gastos com treinamento de pilotos; e maior facilidade e velocidade de incorporação de novas tecnologias (SAUSEN; LACRUZ, 2015, grifo nosso).

2.2.9.1 Mapeamento de área atingida

Em situações de resposta a desastres naturais de grandes proporções, as equipes de socorro necessitam mapear a área atingida para que se tenha uma visão clara da situação. No Japão, em outubro de 2019 após a passagem do tufão de categoria 5, denominado Hagibis, situação na qual mais de 200.000 pessoas foram evacuadas, ao menos 30 morreram e 15 permanecem desaparecidas. Nos mesmos dias de passagem do furacão, um terremoto de magnitude 5,7 atingiu a linha costeira do Japão. Em ambas as situações, um time denominado Dronebird conseguiu mapear

em 24h as áreas atingidas, em um total de 50 Km² (5.000 ha), produzindo 12 mapas, com produtos do tipo ortomosaico, modelo digital de superfície e nuvem de pontos, com GSD de 3 a 5 cm por *pixel* (PIX4D, 2020a).

Em 2017, o time canadense denominado RescUAV ajudou aproximadamente 4.000 pessoas a retornarem para casa após um deslizamento de terras na Colômbia. Nessa situação, foram mapeados mais de 200 ha e providenciadas imagens bem como mapeamento 3D para consciência situacional das ações de busca e salvamento. Os mapas produzidos foram utilizados por autoridades locais para quantificar e gerenciar danos estruturais críticos, identificação de áreas com risco de inundação e deslizamentos e para realizar planos de ação que permitissem o deslocamento da população para áreas seguras (PIX4D, 2017).

2.2.9.2 Gerenciamento de risco em eventos

A Polícia Estadual do Michigan (Estados Unidos) utiliza ortomosaicos com GSD de 3.2 cm/*pixel* para mapear áreas de evento com grande concentração de público. As imagens atualizadas servem de base para anotações e definição de zonas específicas de referência e facilita as ações entre todas as agências que atuam em tais eventos, tornando-os mais seguros (PIX4D, 2018).

Em situações de aglomeração de público, Ramo (2017) propôs um método automático de contagem de pessoas a partir de imagens aéreas obtidas por drones, substituindo-se assim a contagem manual ou por métodos estimativos.

2.2.9.3 Estudo de caso e revisitação de cenas

Imagens aéreas e modelos 3D restituídos estão sendo utilizados para investigação e melhor compreensão de acidentes de trânsito (PIX4D, 2020b). O Plano de Preparo (CBMDF, 2012) prevê que exista fase investigativa dos sinistros em todas as atividades desenvolvidas pela corporação:

A finalidade da fase investigativa ou pericial é **elucidar as causas de surgimento do caso real de sinistro, ocorrência, surgimento de vítimas e respectivos prejuízos**, para retroalimentação das demais fases do ciclo operacional.

A fase investigativa não se restringe aos incêndios urbanos e florestais, mas se aplica a todas as atividades operacionais da Corporação, seja

salvamento, atendimento pre-hospitalar, emergências com produtos perigosos, enfim, toda e qualquer atividade bombeiro militar.

O objeto da fase investigativa é o próprio bem imóvel, móvel, equipamento ou caso real de sinistro, seus indícios e vestígios relativos e absolutos que sirvam de estudo para o aprimoramento das atividades operacionais (CBMDF, 2012, grifo nosso).

2.2.9.4 Modelos computacionais de alagamento

Gomide (2020) identifica as ações de busca e salvamento necessárias em caso de rompimento de barragem no Distrito Federal. No mesmo trabalho, é verificada a preocupação da Subsecretaria de Defesa Civil do Distrito Federal com a mancha de inundação, que são os pontos que podem ser atingidos após uma inundação.

A prospecção dos pontos de alagamento pode ser realizada a partir de modelos matemáticos, físicos e numéricos e que levam em consideração os dados do terreno, entre eles o modelo digital de terreno (ANA, 2018).

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), desenvolveu o modelo *height above the nearest drainage* (HAND) que fornece uma forma de se obter os pontos de alagamento (NOBRE *et al.*, 2011, 2015). O modelo foi testado por outros autores e demonstrou correspondência com o que é observado em campo (GOERL; MICHEL; KOBIYAMA, 2017; MOMO *et al.*, 2016).

Por outro lado, a Agência Nacional de Águas (ANA) utiliza o *software* HEC-RAS (*Hydrologic Engineers Corps – River Analysis System*) para simulação de ruptura de barragens e que necessita, como um dos dados de entrada, das curvas de nível da região de interesse (ANA, 2018).

2.3 Atividades desenvolvidas pelo Grupamento de Busca e Salvamento

O Decreto 31.817/10 estabelece que o Grupamento de Busca e Salvamento é uma unidade operacional pertencente ao Comando Especializado, com as competências definidas pelos artigos 22 e 29:

Art. 22. São competências comuns do Comando Operacional, do Subcomando Operacional, do Estado-Maior Operacional, do Comando Especializado e das Unidades a estes subordinadas:

I – promover estudos e análises com vistas ao aprimoramento da gestão de suas atividades e da legislação pertinente;

II – expedir declarações, certidões e outros documentos específicos de sua competência;

III – colaborar com o Estado-Maior Geral no estabelecimento de indicadores de qualidade e produtividade, tanto dos processos, quanto dos recursos humanos e materiais empregados;

IV – cooperar com o Estado-Maior Geral na formulação e no desenvolvimento da doutrina relativa à sua área de atuação;

V – exercer outras atividades que lhe forem conferidas pelas autoridades competentes.

[...]

Art. 29. Compete ao Grupamento de Busca e Salvamento do CBMDF, Unidade operacional especializada de busca, salvamento e resgate, além do previsto no artigo 22 deste decreto:

I – executar no âmbito do Distrito Federal as atividades de busca, salvamento e resgate;

II – promover a capacitação continuada do pessoal lotado nas Unidades de multiemprego para a execução das atividades de busca, salvamento e resgate;

III – levantar a demanda dos materiais de busca, salvamento e resgate junto às Unidades de multiemprego, remetendo-as ao escalão superior;

IV – distribuir os materiais e equipamentos utilizados para as atividades de busca, salvamento e resgate para as Unidades de multiemprego (GDF, 2010, grifo nosso).

O Regimento interno do CBMDF, aprovado por meio da portaria nº 24, de 25 de novembro de 2020 prevê ainda as atribuições ao GBS pelos artigos 446 e 503:

Art. 446. São competências comuns do Comando Operacional, Subcomando Operacional, Estado-Maior Operacional, Comando Especializado, comandos de área e unidades a estes subordinadas:

I - desenvolver na comunidade a consciência para os problemas relacionados com incêndios, acidentes em geral e pânico;

II - promover e participar de campanhas educativas direcionadas à comunidade em sua área de atuação;

III - executar as ações de segurança pública que lhe forem cometidas, em caso de grave comprometimento da ordem pública e durante a vigência de estado de defesa, de estado de sítio e de intervenção no Distrito Federal;

IV - promover estudos e análises com vistas ao aprimoramento da gestão de suas atividades e da legislação pertinente;

V - expedir declarações, certidões e outros documentos específicos de sua competência;

VI - colaborar com o EMG no estabelecimento de indicadores de qualidade e produtividade, tanto dos processos quanto dos recursos humanos e materiais empregados;

VII - cooperar com o EMG na formulação e desenvolvimento da doutrina relativa à sua área de atuação;

VIII - analisar e proferir decisão nos atos, solicitações, reclamações ou processos administrativos de sua competência;

IX - sugerir temas de pesquisa aos cursos de carreira da Corporação relacionados à sua área de competência;

X - desenvolver e manter atualizados os mapeamentos de processo do setor e dos órgãos subordinados;

XI - orientar e coordenar os órgãos subordinados.

[...]

Art. 503. Ao Grupamento de Busca e Salvamento, além das atribuições constantes no art. 446, compete:

I - executar as atividades de busca, salvamento e resgate no âmbito do Distrito Federal;

II - promover a capacitação continuada do pessoal lotado nas unidades de multiemprego para a execução das atividades de busca, salvamento e resgate;

III - levantar a demanda dos materiais de busca, salvamento e resgate junto às unidades de multiemprego, remetendo-a ao COESP;

IV - fiscalizar e controlar a distribuição de materiais, equipamentos e viaturas relacionados às atividades de busca, salvamento e resgate para as unidades do COMOP;

V - elaborar pedidos e instruir processos visando a contratação de serviços e aquisição de materiais relativos à área de atuação do Grupamento;

VI - propor e difundir a doutrina de busca, salvamento e resgate da Corporação;

VII - produzir e manter atualizados os Procedimentos Operacionais Padrão - POP relacionados à busca, salvamento e resgate;

VIII - executar as atividades de guarda e segurança do seu quartelamento.

IX - executar as atividades administrativas relativas ao subgrupamento (CBMDF, 2020).

Verifica-se, portanto, que entre as atribuições definidas por meio de legislação específica, o GBS atua como unidade operacional de pronto emprego para as atividades de busca, salvamento e resgate e ainda na realização de capacitação da tropa.

2.3.1 Missões fora do Distrito Federal

O CBMDF recorrentemente é demandado para atuação em apoio as outras unidades federativas do Brasil e até mesmo fora do território nacional. O GBS torna-se o ponto focal dessas demandas quando o socorro especializado necessário é o de busca, salvamento e/ou resgate.

Como exemplo de missões em que o GBS se fez presente como representante do CBMDF, tem-se o acidente com o avião da companhia aérea da GOL em 2006; o terremoto no Haiti em 2010; o desastre de rompimento da barragem de rejeitos em Brumadinho-MG em 2019 e a busca por afogado no Vale da Lua em Alto Paraíso-GO em 2020 (CBMDF, 2010, 2019a, 2019b; RODRIGUES, 2016).

2.4 Softwares utilizados

De forma a seguir os conceitos de fase aeroespacial e fase decorrente, introduzidos pelo decreto nº 2.278, de 17 de julho de 1997 (BRASIL, 1997), para fins de organização desta pesquisa, os *softwares* avaliados também foram classificados quanto às fases do levantamento.

Para a escolha dos *softwares* utilizados em cada fase e discutido a seguir, foram consideradas as opções disponíveis que dispensem a administração da contratação ou aquisição de licenças, evitando assim gastos desnecessários coadunando com o princípio constitucional da eficiência.

2.4.1 Fase aeroespacial

Para o auxílio do planejamento de voo e da coleta das imagens em campo, existem diversos *softwares* disponíveis no mercado, com versões pagas e gratuitas, cada qual com sua gama de compatibilidade de equipamentos e características, entre os exemplos, tem-se Pix4D Capture, DroneHarmony, Precision Flight⁵ e DroneDeploy. (EMBRAPA, 2018). A fabricante DJI disponibilizou o DJI Ground Station Pro, um *software* próprio para a realização de planejamentos de voos (DRONENG, 2017).

A figura 14 ilustra como é feito o planejamento de voo utilizando o DroneDeploy. A partir dos dados de entrada fornecidos pelo operador (altura de voo e definição do quadrante a ser coberto), o aplicativo já fornece uma prévia do tempo estimado para a coleta das imagens, a área que será coberta, o local mais indicado para posicionamento inicial, quantidade de imagens, baterias necessárias para o levantamento, a GSD (resolução espacial das imagens) bem como os locais que a RPA irá passar para coletar as imagens, onde é levado em consideração a sobreposição necessária para as imagens.

2.4.1.1 Comparativo entre *softwares* disponíveis para a fase aeroespacial

O quadro da figura 13 ilustra o comparativo entre as funcionalidades dos

⁵ Na confecção do quadro da figura 13 foi suprimido o *software* Precision Flight por não se encontrar referencial teórico sobre o aplicativo e a instalação ter apresentado erros, impossibilitando a obtenção de informações.

principais softwares de mapeamento disponíveis.

Figura 13 – Quadro comparativo – fase aeroespacial

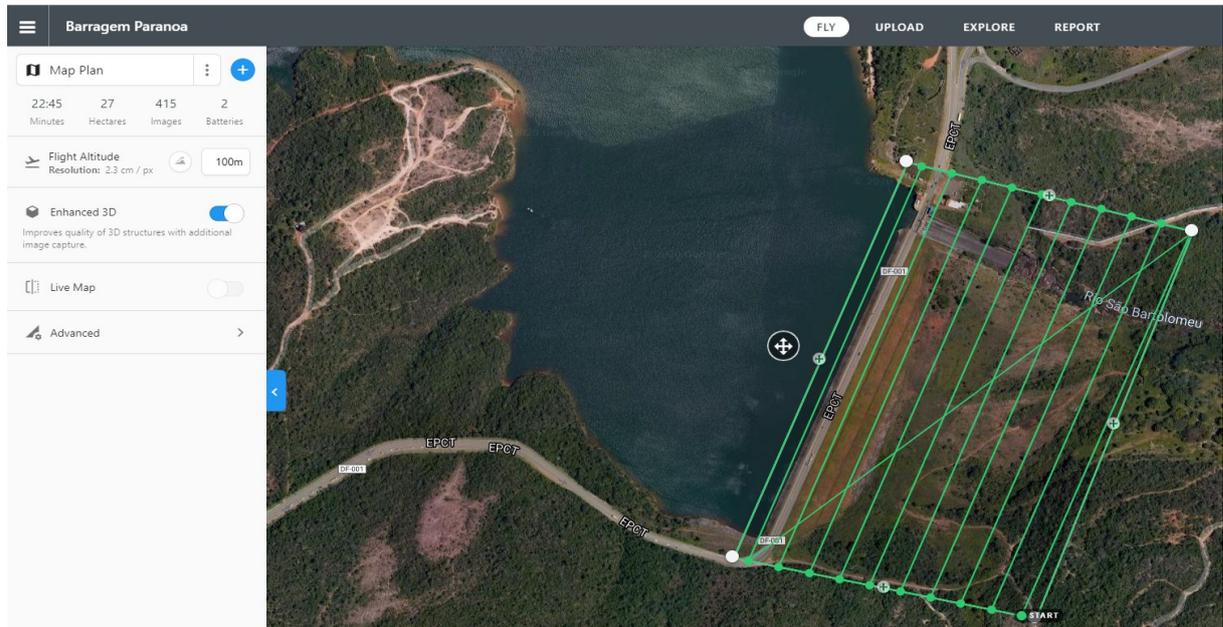
| SOFTWARE | COMPATIBILIDADE | CUSTOS | OBSERVAÇÕES |
|------------------------------|---|---|---|
| DroneDeploy | Compatibilidade com a maioria das aeronaves da fabricante DJI. | O planejamento e execução do voo são feitos com a versão gratuita do <i>software</i> . | Todas as aeronaves adquiridas pelo CBMDF são compatíveis com o <i>software</i> , exceto a utilização de câmeras térmicas. Possibilidade de uso em sistemas operacionais Android ou iOS. Possui constante desenvolvimento para compatibilidade de mais aeronaves. Possui integração om plataforma <i>web</i> , que permite o planejamento do voo pelo computador e execução com uso de celular ou tablet. |
| Drone Harmony | Compatibilidade com a maioria das aeronaves da fabricante DJI. | Necessário o pagamento de licença com custo inicial de US\$ 33/mês para aeronaves da série Phantom, Mavic, Inspire e Spark. Para aeronaves da série Matrice, se faz necessário o pagamento de licença com valor de US\$ 99/mês. | Possui recursos avançados que permitem a configuração de opções de cada foto no momento da coleta e interface <i>web</i> que permite o planejamento do voo a partir de um computador. Compatível com o sistema operacional Android. |
| Pix4D Capture | Compatibilidade com a maioria das aeronaves da fabricante DJI e ainda da fabricante Parrot. | O planejamento e execução do voo são feitos com a versão gratuita do <i>software</i> . | Todas as aeronaves adquiridas pelo CBMDF são compatíveis com o <i>software</i> . Disponível para sistemas Android e iOS. Possibilidade de configurações avançadas de sobreposição, altura e direção do voo. Possui constante desenvolvimento para compatibilidade de mais aeronaves. |
| DJI Groud Station PRO | Compatibilidade apenas com aeronaves da fabricante DJI. | Possível executar 5 modalidades de mapeamento de forma gratuita. Funções avançadas de mapeamento devem ser contratadas com o fornecedor. | Possibilidade de instalar apenas em celulares e tablets da fabricante Apple que possuam o sistema operacional iOS 9.2 ou superior. |

Fonte: O Autor adaptado de (DJI, 2018; DRONEDEPLOY, 2021; DRONEHARMONY, 2021; DRONENG, 2017; PIX4D, 2021)

Com a versão gratuita do DroneDeploy é possível ainda realizar configurações

avançadas de sobreposição lateral e frontal, direção e velocidade do voo, e as opções de coleta de imagem com voo perimetral e cruzado.

Figura 14 – Planejamento de voo com o DroneDeploy



Fonte: O autor

2.4.1.2 Altura de voo

A altura do voo da RPA é definida durante a fase de planejamento de voo e de acordo com a legislação não pode ultrapassar 120 metros, conforme estabelecido pelo DECEA (2020). Possui influência direta na resolução espacial das imagens, no tempo de voo necessário para cobrir toda a área a ser mapeada e na quantidade de fotografias a serem obtidas (EMBRAPA, 2018).

A resolução espacial (GSD vertical e horizontal) relaciona-se com a altura de voo por meio das equações abaixo (EMBRAPA, 2018).

$$GSD_h = \frac{h_v \cdot h_{sensor}}{f \cdot h_p} \quad (1)$$

$$GSD_w = \frac{h_v \cdot w_{sensor}}{f \cdot w_p} \quad (2)$$

Onde h_v é a altura do voo; f é a distância focal do sensor utilizado; h_{sensor} e w_{sensor} são respectivamente as dimensões vertical e horizontal do sensor; h_p e w_p são

respectivamente a resolução vertical e horizontal da imagem gerada (em *pixel*). Se assumidas todas as medidas em centímetros, têm-se como resultado a resolução espacial em *cm/pixel* (EMBRAPA, 2018).

2.4.2 Fase decorrente

Para fins de processamento e restituição das imagens na fase decorrente, as opções existentes no mercado geralmente cobram valores de aluguel ou aquisição de licença. Entre os exemplos de *softwares* disponíveis, estão o OpenDroneMap e as versões pagas do Pix4D e do DroneDeploy.

2.4.2.1 Comparativo entre *softwares* disponíveis para a fase decorrente

O quadro da figura 15 ilustra o comparativo entre os custos dos principais *softwares* para o processamento de imagens aéreas.

Figura 15 – Quadro comparativo – fase decorrente

| SOFTWARE | CUSTOS |
|---------------------|--|
| DroneDeploy | Custo inicial de US\$ 99/mês para o processamento de até 1.000 imagens. Para a criação de nuvem de pontos e uso de GCP entre outros produtos, o valor passa para US\$ 299/mês. |
| Pix4D | Possui diversas ferramentas com funcionalidades e planos distintos: - Pix4Dmapper (US\$ 291,67/mês ou US\$ 4.990 para a licença perpétua). - Pix4Dsurvey (US\$ 160/mês). - Pix4Dmatic (US\$ 332,5/mês). - Pix4Dcloud (US\$165,83/mês). - Pix4Dreact (US\$ 32,5/mês ou US\$ 990 para a licença perpétua). - Pix4Dfields (US\$ 166,67/mês ou US\$ 3.500,00 para a licença perpétua). |
| OpenDroneMap | <i>Software</i> livre gratuito. Pode ser adquirido suporte técnico anual pelo preço de US\$57,00 ou pelo valor de US\$147.00 para suporte pelo período de 1 ano com resposta em no máximo 24h. |

Fonte: O Autor adaptado de (DRONEDEPLOY, 2021; DRONENG, 2017; OPENDRONEMAP, 2020b; PIX4D, 2021)

2.4.3 OpenDroneMap - ODM

O OpenDroneMap (ODM) é um conjunto de ferramentas, em linha de comandos, para processar imagens aéreas. Foi criado em 2014 e tornou-se o padrão em código aberto para esse tipo de processamento (OPENDRONEMAP, 2020b).

De forma geral, é um programa utilizado para transformar imagens simples em dados geográficos bi e tridimensionais. É um *software* livre, está disponível para o

sistema operacional Windows, Linux e Mac e possui projetos integrados que aumentam suas funcionalidades, entre eles o WebODM que é uma interface *web* amigável para facilitar a visualização, armazenamento e processamento das imagens (OPENDRONEMAP, 2020b).

Está licenciado sob a GNU *General Public License* v3.0 e é desenvolvido por uma comunidade de desenvolvedores de forma colaborativa, portanto, não possui empresa que gerencie ou seja proprietária do projeto. O ODM pode ser pago anualmente para recebimento de auxílio nas instalações e suporte técnico, ou utilizado gratuitamente sem suporte técnico (OPENDRONEMAP, 2020b).

2.4.3.1 Formatos suportados

Como arquivos de entrada para o processamento, o ODM suporta os formatos de imagens JPEGs, TIFFs (8 e 16 bits) e arquivos contendo as informações de ponto de controle no terreno (GCP) (OPENDRONEMAP, 2020b).

Os formatos de saída suportados são imagens ortoretificadas, modelos digitais de superfície, modelos digitais de terreno, modelos 3D texturizados e nuvem de pontos (OPENDRONEMAP, 2020b).

2.4.3.2 Requisitos de Hardware

O *hardware* mínimo recomendado para ser utilizado com o ODM é descrito pelo manual do programa (OPENDRONEMAP, 2020a) e possui as seguintes especificações:

- Processador de 64 bits – produzido após 2010
- 20 GB de espaço livre em disco
- 4 GB de memória RAM

Contudo, de acordo com o próprio manual, a recomendação mínima permite processar entre 100 e 200 imagens no máximo e sem muitos níveis de detalhamento, pois o *software* exige muita memória. Assim, para permitir o processamento de mais imagens é necessário mais espaço em disco e o aumento de memória RAM

linearmente com o aumento de imagens a serem processadas.

O uso de processadores mais rápidos e com mais núcleos tornará o processo mais rápido, enquanto que placas gráficas modernas e com grande poder computacional não influenciam na performance do processamento, uma vez que o aplicativo ainda não possui a funcionalidade de utilizar o poder de processamento de placas de vídeo (OPENDRONEMAP, 2020a).

2.4.3.3 WebODM

Devido à dificuldade em se trabalhar com linha de comando, foi desenvolvido o WebODM, que é uma interface *web* acessada por navegador de internet, do computador onde o ODM e WebODM estão instalados, ou até mesmo a partir de outros computadores pela rede. Possui incluso um visualizador de mapas, visualizador de imagens 3D, suporte a múltiplos usuários, suporte a um sistema de *plugins* além das funcionalidades ilustradas pela figura 16 (OPENDRONEMAP, 2020b).

Figura 16 – Funcionalidades disponíveis no WebODM



Fonte: Adaptado de OpenDroneMap (2020c)

3 METODOLOGIA

Para Gil (2017), a rotulação da pesquisa de acordo com critérios disponibilizados por um sistema de classificação permite ao pesquisador a aplicação lógica de requisitos para efetivação da pesquisa.

Considerando que a pesquisa pretende adquirir o conhecimento necessário para potencializar o emprego de imagens obtidas por RPA de forma prática, quanto à natureza, a presente pesquisa foi do tipo aplicada. A lógica seguida partiu do estudo dos casos gerais para o particular, portanto, conforme abordado por Prodanov e Freitas (2013), o método de abordagem da pesquisa foi o dedutivo.

Quanto aos procedimentos adotados para obtenção das informações necessárias, foram realizadas pesquisas classificadas como bibliográficas, documentais, pesquisa de campo e levantamento. Bibliográfica uma vez que foram utilizadas publicações científicas, bem como livros e outras publicações que esclareçam sobre o assunto. Documental pois foram utilizadas publicações institucionais do CBMDF, leis, normas, portarias e documentos iconográficos. Levantamento pois foi realizada entrevista com o Comandante do GBS e aplicado questionário com gestores que realizam o SARP em outras Corporações. Por fim, pesquisa de campo uma vez que foram obtidas imagens em sobrevoo realizado em campo e pelo tratamento das imagens por meio de processamento computacional.

Foi realizada entrevista semiestruturada com o Comandante do GBS, visando conhecer como as RPAs são utilizadas atualmente no serviço de busca e salvamento, obter as atuais demandas daquele grupamento para o sistema de aeronaves remotamente pilotadas, bem como possíveis aplicações para as imagens restituídas por meio de processamento computacional.

A entrevista com o Comandante do GBS permitiu conhecer as atuais demandas do serviço prestado naquele Grupamento Especializado no que se refere ao uso de imagens aéreas, permitindo focar o desenvolvimento da pesquisa de forma a atender as referidas necessidades.

Os questionários foram aplicados em âmbito nacional, de forma *on-line*. Foram buscadas as Corporações que possuíam o serviço aéreo com aeronaves

remotamente pilotadas estruturado há pelo menos 3 anos e ainda, que possuíam curso para formação de operadores dessas aeronaves. O questionário foi aplicado também ao Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás (CBMGO), devido à atuação conjunta daquela Corporação com o CBMDF em algumas situações e ocorrências nos limites geográficos do Distrito Federal. Em cada Corporação selecionada como amostra, buscou-se que o responsável por responder ao questionário tivesse o respaldo corporativo legal, competências e experiências para discorrer sobre o tema.

Não foram identificadas todas as Corporações que atendessem aos requisitos impostos para aplicação do questionário, desta forma, a amostra foi composta por cinco representantes de acordo com os critérios apresentados, conforme segue: Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG), Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC), Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás (CBMGO), Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ) e Polícia Militar da Bahia (PMBA).

Por meio do questionário aplicado aos gestores das seções que operam RPA em Corporações de outros Estados da Federação, foi possível conhecer o procedimento adotado atualmente para se atender às demandas do SARP naquelas instituições.

Em função dos critérios adotados para seleção das amostras bem como da representatividade que possuem, a técnica de amostragem se deu de forma não-probabilística, tanto para os questionários como para a entrevista realizada.

A natureza das variáveis, bem como a forma de tratamento dos dados foi classificada como qualitativa, uma vez que os resultados obtidos a partir da entrevista, questionário e das imagens obtidas pelo levantamento de campo foram de caráter puramente qualitativo.

Considerando que já existe certo conhecimento do uso de aerofotografias no CBMDF por meio de estudo anterior realizado em 2011 pelo então Cap. QOBM/Comb. Pimentel (PIMENTEL, 2011), e ainda, a necessidade de se utilizar técnicas padronizadas para a coleta de dados pretendidos para a presente pesquisa, conforme discutido por Gil (2017), quanto aos objetivos, a presente pesquisa classifica-se em

descritiva.

Foi realizada a padronização da forma de obtenção das imagens aéreas com RPAs, por meio de treinamento prévio com os militares e assim foi possível realizar o processamento dessas imagens por meio de *software* específico. Os sobrevoos com RPA para obtenção de imagens para o estudo foram de acordo com as normas de segurança e com autorização emitida por meio da Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARPAS). Foram realizados dois sobrevoos nas dependências do Grupamento de Busca e Salvamento e um sobrevôo à jusante da barragem do lago Paranoá.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Considerações iniciais

Para o presente estudo, foi utilizado como plataforma um equipamento multirrotor modelo Mavic Platinum da fabricante DJI, com câmera fotográfica convencional cujo sensor é do tipo RGB 1/2,3", com distância focal de 4,98 mm, largura do sensor de 6,16 mm e altura de 4,62 mm, acoplado e estabilizado por Gimbal de 3 eixos. As imagens possuem largura de 4.000 pixels e altura de 3.000 pixels. Tais equipamentos eram os disponíveis para uso pelo CBMDF quando foram realizados os voos para coleta de imagens.

Seguindo a divisão das fases do aerolevanteamento em fase aeroespacial e fase decorrente, discutido nas seções 2.4.1 (fase aeroespacial) e 2.4.2 (seção decorrente). Foram utilizados aplicativos específicos e distintos para cada fase.

Entre os *softwares* de planejamento de voo com mais funcionalidades, compatibilidade, populares e utilizados, encontram-se o DroneDeploy e o Pix4D Capture. Conforme quadro presente na figura 13, ambos os aplicativos possuem diversas funções e se adequam perfeitamente para o uso com as aeronaves do CBMDF sem necessidade de pagamento de licenças.

Para a presente pesquisa, na fase aeroespacial, foi utilizada a versão gratuita do *software* DroneDeploy, por apresentar as características necessárias para execução do planejamento de voo e coleta de dados com a sobreposição necessária para a restituição das imagens. Possui o diferencial de possibilitar o planejamento por meio de navegador instalado em computador, motivo pelo qual foi escolhido para ser utilizado.

Com a funcionalidade de planejamento de voo pelo computador disponível no DroneDeploy, basta que o interessado realize o planejamento sobre a área de interesse que as informações são sincronizadas em nuvem, desta forma, basta que a equipe em campo se desloque para o local que precisa ser mapeado sem necessidade de retornar até um local específico para pegar as novas coordenadas. Da mesma forma, o responsável pelo planejamento não precisa ir a campo para indicar onde será realizado o sobrevoo.

Na fase decorrente, apesar de existir a possibilidade de processamento das imagens por meio do DroneDeploy e do Pix4D Capture, se faz necessário o pagamento de mensalidade em ambos os aplicativos. Diante do exposto e considerando que não há verba disponibilizada para a realização da pesquisa, optou-se por um programa que permita o processamento sem a necessidade de aquisição de licenças para o funcionamento.

Para a fase decorrente desta pesquisa, foi utilizado o OpenDroneMap, uma vez que possibilita o processamento das imagens sem necessidade de pagamento de licenças. Utilizou-se ainda o sistema operacional Linux Ubuntu 18.04, instalado em computador do tipo *desktop*, dotado de processador Intel Core i5 8400 e 16 GB de memória RAM.

4.2 Sobrevoos de treinamento

No dia 12 de agosto de 2020, no período vespertino, foi realizado no Grupamento de Busca e Salvamento um treinamento com os pilotos de RPA do CBMDF que estavam lotados no GAVOP. Nesse treinamento foi repassado o conhecimento inicial necessário para operação das aeronaves com o uso do *software* DroneDeploy, bem como a forma de se realizar o planejamento de voo, padronização na coleta das imagens e conselhos para solução de problemas ordinários que podem acontecer.

O treinamento serviu de termômetro para indicar a situação em que se encontrava o serviço com RPA do CBMDF, conhecimento dos pilotos pelo pesquisador e para balizar as principais dúvidas apresentadas pelos pilotos com a inserção da nova tecnologia.

Foram coletadas 203 imagens, com tamanho médio de 5,17 MB por foto, resolução de 4.000 pixels na horizontal e 3.000 pixels na vertical. O voo se deu a uma altitude de 90 metros e a área mapeada foi de aproximadamente 5 ha (50.000 m²). Do total de fotos, 152 foram com o sensor a Nadir (figura 17) e 51 foram com o sensor em ângulo oblíquo (figura 18), para melhorar o mapeamento 3D da imagem processada, uma vez que a opção foi marcada no *software* DroneDeploy.

Figura 17 – Voo de treinamento. Ângulo do sensor a Nadir



Fonte: O autor

A GSD calculada utilizando-se as equações (1) e (2) da seção 2.4.1.1, foi de 2,78 cm/pixel tanto na horizontal quanto na vertical.

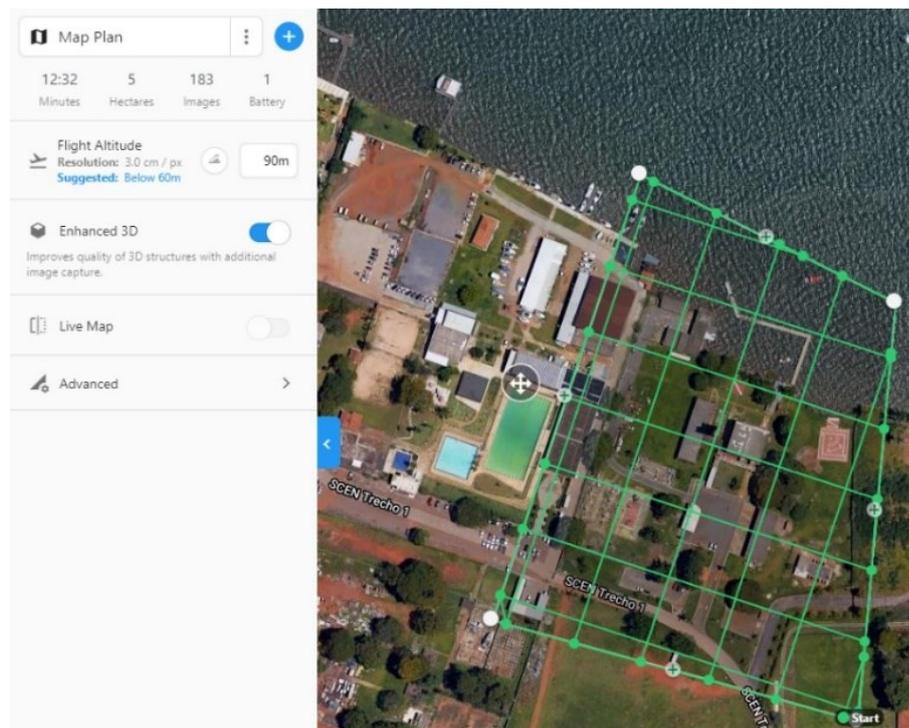
Figura 18 – Voo de treinamento. Ângulo do sensor oblíquo



Fonte: O autor

O plano de voo foi confeccionado pelos próprios militares que estavam participando do treinamento e está ilustrado na figura 19.

Figura 19 – Plano de voo de treinamento



Fonte: O autor

4.3 Sobrevoos realizados à jusante da barragem do Paranoá

No dia 29 de agosto de 2020, foi determinado para a equipe de serviço no GAVOP, que já tinha participado do treinamento, que realizasse sobrevoos e coleta de imagens à jusante da barragem do lago Paranoá. O plano de voo executado foi o representado pela figura 14 e foi criado pelo pesquisador, enquanto a execução em campo foi realizada com auxílio dos militares de serviço.

O sobrevoos se deu a uma altitude de 100 metros, foram coletadas 394 imagens, sendo que 289 fotografias tiradas com o sensor a Nadir (figura 20) e 105 com o sensor oblíquo (figura 21) devido a opção para o melhoramento 3D ativado.

Figura 20 – Imagens com sobreposição e ângulo do sensor a Nadir



Fonte: O autor

O tamanho médio de cada imagem foi de 4,95 MB, resolução de 4000 pixels na horizontal e 3000 pixels na vertical. Foram mapeados aproximadamente 27 ha (270.000 m²) e para a missão foram utilizadas as duas baterias disponíveis no CBMDF para o equipamento empregado.

A GSD calculada utilizando-se as equações (1) e (2) da seção 2.4.1.2, foi de

3,09 cm/pixel tanto na horizontal quanto na vertical.

Figura 21 – Imagens com sobreposição e ângulo oblíquo do sensor



Fonte: O autor

4.3.1 Tempo e tipos de processamento

O tempo de processamento para restituição das imagens foi influenciado por diversos fatores, entre eles a capacidade do computador utilizado, a quantidade e resolução das fotos e as opções de processamento escolhidas.

A tabela 1 demonstra os tempos de processamento para o mesmo conjunto de 394 imagens referente ao sobrevoo realizado à jusante da barragem do Paranoá e utilizando o mesmo computador, mas com opções de processamento distintas.

No OpenDroneMap existem ainda diversas opções de processamento, que podem ser mais indicadas a depender do que se propõe as imagens restituídas. De forma geral, quanto maior o nível de detalhamento pretendido, maior será o tempo necessário para completar o processamento.

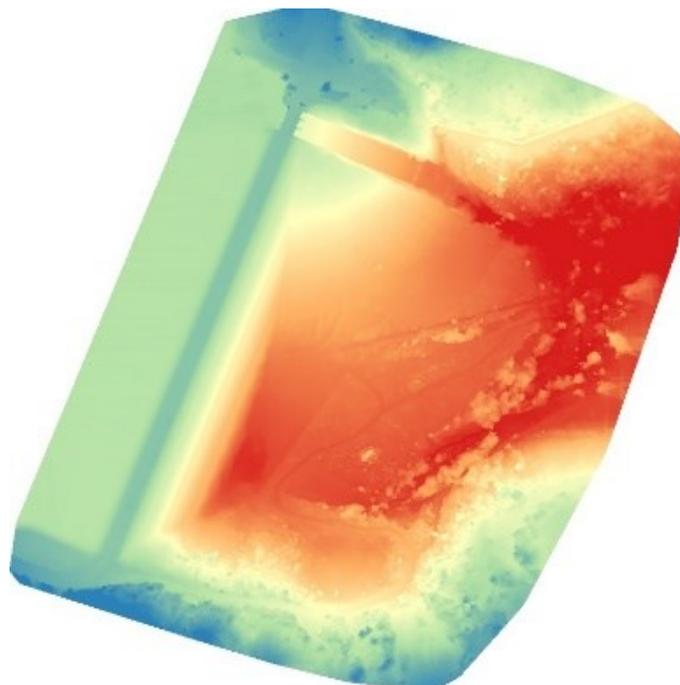
Tabela 1 – Tempos de processamento em diferentes configurações

| Opções de processamento | Tempo de Processamento (hh:mm:ss) |
|--|--|
| MDS Modelagem 3D Ortofoto | 06:14:15 |
| MDS Sem processamento 3D Ortofoto Imagem original redimensionada para 50% | 02:19:01 |
| Apenas produção de ortofoto | 01:29:58 |

Fonte: O autor

4.3.2 Modelo digital de superfície e mapa hipsométrico

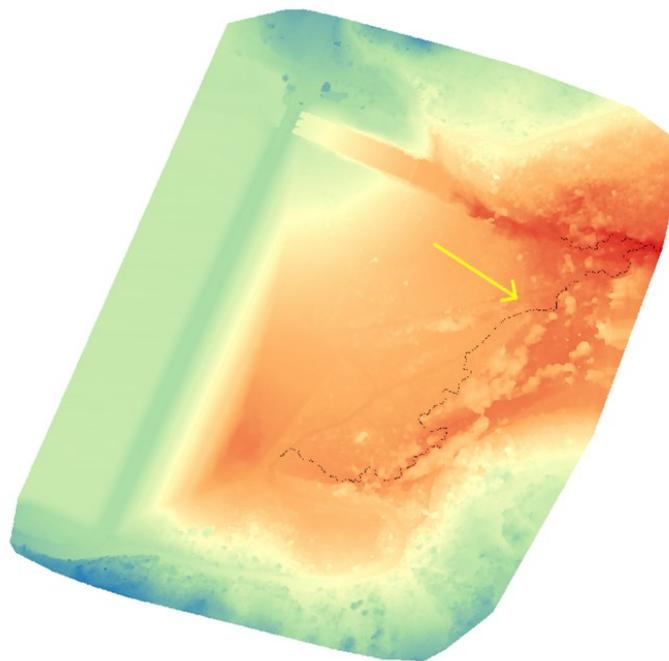
O modelo digital de superfície gerado pelo ODM permitiu a criação do mapa hipsométrico ilustrado pela figura 22. Por meio da identificação das cores, é possível afirmar quais são os pontos mais altos e mais baixos no terreno e assim, avaliar possíveis locais para focar as operações de busca ou que indiquem um melhor caminho para progredir no terreno. Para a referida imagem, as cores voltadas para o vermelho indicam cotas mais baixas enquanto as cores voltadas para o azul indicam as cotas mais altas. As cores de mesma tonalidade possuem a mesma cota.

Figura 22 – Mapa hipsométrico

Fonte: O autor

Como forma de demonstrar o potencial de uso das imagens restituídas, ainda com o modelo digital de superfície, foi utilizado o modelo HAND para localização dos locais de escoamento hidráulico, conforme tracejado preto (indicado pela seta amarela) sobreposto ao mapa hipsométrico da figura 22 e demonstrado pela figura 23. Opção ao modelo HAND para tal tipo de atividade, pode-se envidar esforços para emprego do *software* HEC-RAS, conforme discutido na seção 2.2.9.4 (Modelos computacionais de alagamento).

Figura 23 – Possíveis locais de escoamento hidráulico no terreno



Fonte: O autor

Por meio do produto demonstrado na figura 23, é possível prever o local de alagamento em caso de rompimento de barragens e nortear as operações de busca.

4.3.3 Ortofoto

Conforme pode ser observado pela tabela 1, a ortofoto (figura 24) foi o produto disponibilizado de forma mais rápida pelo processamento das imagens capturadas. A imagem restituída pode ser utilizada para montagem do croqui atualizado do terreno, no posto de comando de um incidente, ou para definição de possíveis quadrantes de busca em terreno, em acordo com a literatura discutida na seção 2.2.9.1 (Mapeamento da área atingida) e na seção 2.2.9.2 (Gerenciamento de risco em eventos).

Figura 24 – Ortofoto da região à jusante da barragem do Paranoá



Fonte: O autor

As imagens do tipo demonstrada pela figura 24 também podem ser distribuídas para auxiliar a localização e orientação pelas equipes em campo. De fato, durante as operações de Busca em Brumadinho-MG, houve a distribuição de imagens atualizadas do terreno, plastificadas e em alta resolução que facilitaram muito a localização e definição da estratégia pelas equipes no terreno (figura 25).

Figura 25 – Planjemaneto das ações de busca com auxílio de imagem do terreno



Fonte: Acervo pessoal do autor

As ortofotos permitem ainda a realização de medidas de distância no terreno, sem levar em consideração o relevo, mas pode ser de valia para o planejamento de

rotas a serem seguidas por equipes em campo, bem como para auxiliar em ações de evacuação de vítimas, conforme apresentado por Pix4D (2020a) e discutido na seção 2.2.9.1 (Mapeamento da área atingida).

4.4 Sobrevoos para o salvamento veicular

No dia 07 de dezembro de 2020, foi realizado sobrevoos nas dependências do Grupamento de Busca e Salvamento para coleta de imagens em uma cena de acidente veicular pré-montada para posterior restituição da imagem em 3D.

O sobrevoos, com planejamento realizado pelo DroneDeploy, se deu a uma altitude de 20 metros, foram coletadas 126 imagens, sendo que 103 fotografias tiradas com o sensor a Nadir e 23 com o sensor oblíquo. A GSD calculada utilizando-se as equações (1) e (2) da seção 2.4.1.2, foi de 0,62 cm/*pixel* tanto na horizontal quanto na vertical.

Foram tiradas ainda 45 fotografias de forma manual para melhorar a imagem restituída. A posição em que cada fotografia foi obtida pode ser observada pela figura 26, onde a seta amarela indica as fotografias manuais e a seta em vermelho indica as fotografias coletadas automaticamente pelo DroneDeploy.

Figura 26 – Posição em que cada fotografia foi obtida



Fonte: O autor

A diferença de qualidade das imagens restituídas pode ser observada pela figura 27, onde “a” indica a imagem restituída somente com fotografias coletadas automaticamente e “b” é a imagem restituída utilizando-se fotografias coletadas de maneira automática complementadas por fotografias coletadas manualmente.

Figura 27 – Diferença de qualidade da imagem restituída



Fonte: O autor

O processamento em 3D permite a realização de medidas envolvendo altura na cena, conforme pode ser verificado pela figura 28. Tais aferições podem ser de interesse para auxiliar na análise da cena e indicar se a técnica pretendida possui aplicação viável ou não, contudo, deve sempre ser considerado que há erros associados às medidas e caso seja necessário alta fidelidade nas aferições realizadas, se faz necessário aquisição de equipamentos do tipo RTK/PPK ou aprimoramento por meio de GCP, conforme discutido na seção 2.2.6 (Precisão).

Figura 28 – Aferições realizadas sobre as imagens restituídas



Fonte: O autor

4.4.1 Aplicação no resgate veicular

O processamento das imagens voltadas para o salvamento veicular foi focado na restituição 3D, uma vez que possibilita ao usuário visitar e visualizar a cena de vários ângulos e assim, planejar ou estudar possíveis técnicas para atuação em situações reais.

Considerando as atribuições legais do GBS, apresentadas por meio da seção 2.3 (Atividades desenvolvidas pelo Grupamento de Busca e Salvamento), no que diz respeito à capacitação continuada dos militares lotados nas demais unidades operacionais, a técnica apresentada poderia ser utilizada para confecção de materiais de ensino à distância, o que economizaria tempo no repasse das instruções teóricas e padronizaria o conteúdo. Poderiam ser montadas cenas subsequentes para demonstrar a evolução de uma ocorrência e assim demonstrar uma possível solução para a retirada de vítimas.

Além do estudo de cenas pré-montadas, a técnica apresentada poderia ser utilizada para estudo de caso em ocorrências reais, o que possibilitaria um melhor entendimento da dinâmica e estudo do acidente em tempo oportuno, permitindo assim a retroalimentação do ciclo operacional conforme proposto pelo Plano de Preparo do CBMDF, conforme discutido na seção 2.2.9.3.

Destaca-se ainda que o uso de imagens 3D restituídas foi empregado em situação de deslizamento de terras na Colômbia, para consciência situacional e assim melhor empregar as ações de busca e salvamento, conforme discutido na seção 2.2.9.1.

4.5 Entrevista realizada

Na entrevista realizada com o Comandante do GBS foram apresentados alguns resultados dos sobrevoos realizados durante o desenvolvimento da presente pesquisa e realizadas três perguntas que tinham objetivo e respostas conforme disposto a seguir:

Pergunta 1 – Atualmente o serviço de aeronaves remotamente pilotadas possui aplicação ou já é utilizado pelo GBS? Em quais situações?

Objetivo: conhecer como as RPAs são utilizadas atualmente no serviço de busca e salvamento.

Resposta: O serviço de aeronaves remotamente pilotadas possui muita aplicação às atividades do GBS e já foi utilizado por meio do GAVOP, a exemplo de uma busca de afogado no lago Paranoá ocorrida em outubro de 2020 e em um resgate ocorrido em novembro de 2020, nestas duas operações a RPA forneceu imagens em tempo real. O serviço pode ser utilizado em situações de buscas em geral, levantamento estratégico para planejamento de operações complexas, avaliação de risco, atendimento de ocorrências com Produtos Perigosos, onde é necessário que os militares estejam em local seguro, observação, etc.

Pergunta 2 – Com base nos produtos do processamento de imagem aéreas, tais imagens possuem aplicação no serviço prestado pelo GBS? Em quais serviços?

Objetivo: obter as atuais demandas daquele grupamento para o sistema de aeronaves remotamente pilotadas.

Resposta: As ortofotos podem ser utilizadas em buscas em geral, levantamento estratégico para planejamento de operações complexas, avaliação de risco, observação, identificação de acessos, planejamento de rotas. Os mapas hipsométricos podem ser utilizados no planejamento de operações, facilitando o estabelecimento de hipóteses de avanço do sinistro, como rompimento de barragem, ocorrência de cabeça d'água, ou grandes enchentes que eventualmente ocorram. Os modelos 3D podem ser utilizados para planejamento de operações complexas como operações de Busca e Resgate em Estruturas Colapsadas, ocorrências de maior complexidade como acidentes metroviários/ferroviários, acidentes organizacionais como incêndios em grandes indústrias, hospitais, ensino à distância, aplicação de avaliações para cursos em geral.

Pergunta 3 – Como as imagens restituídas poderiam ser melhor empregadas para atender as demandas do Grupamento de Busca e Salvamento?

Objetivo: verificar possíveis aplicações para as imagens restituídas por meio do processamento computacional, com base no conhecimento e sob a ótica do Comandante do GBS.

Resposta: Importante ter um serviço que forneça o produto tempestivamente, como notebook com boa capacidade de processamento de imagens, tablet, impressora, etc. A informação precisa estar disponível ao responsável pela operação no local do sinistro/evento. Hoje vejo que há uma precariedade no serviço justamente no fornecimento das informações ao demandante, pois não existem recursos disponíveis para otimizar o fornecimento destas imagens.

4.5.1 Análise das respostas

De acordo com o apresentado pelo Comandante do Grupamento de Busca e Salvamento, existem aplicações práticas para os produtos resultantes do processamento das imagens, em situações de ocorrências atendidas por aquele quartel especializado. As aplicações elencadas pelo entrevistado potencializariam o atual emprego das RPAs no CBMDF, uma vez que, apesar de já serem empregadas em ocorrências reais, são utilizadas apenas as imagens e filmagens adquiridas em tempo real, sem nenhum tipo de processamento ou metodologia para a coleta das imagens.

Corroboram os apontamentos realizados pelo Comandante do GBS as ações realizadas e discutidas conforme seção 2.2.9 (Aplicação em desastres e eventos adversos), especialmente nas situações de desastres naturais, onde foi necessário o mapeamento das áreas atingidas e no gerenciamento de riscos em eventos, bem como na identificação das áreas de alagamento por meio de modelos computacionais.

As atividades de ensino são atribuídas legalmente ao GBS e podem ser beneficiadas conforme já discutido na seção 4.4.1 (Aplicação no resgate veicular). Merece destaque o ensino à distância, principalmente no período de pandemia devido ao surto do Coronavírus, onde o emprego de ferramentas de ensino à distância foram requisitadas.

Destaca-se a necessidade de obtenção dos resultados do processamento das imagens em tempo oportuno, conforme relatado na resposta à pergunta de número 3. Conforme discutido na seção 2.4.3.2 (Requisitos de Hardware), o uso de processadores mais rápidos e com mais núcleos, diminui o tempo de processamento das imagens e devido ao avanço tecnológico, já existem computadores portáteis com

alto poder de processamento e capacidade maior que o modelo utilizado para o processamento na presente pesquisa, permitindo assim, que as imagens sejam fornecidas durante o atendimento à ocorrência e sem a necessidade da equipe que opera a RPA retornar para algum quartel para realizar tal processamento.

Com a aquisição de computador portátil com grande poder de processamento, as imagens podem ser processadas no local do atendimento à ocorrência possibilitando que os resultados sejam apresentados em tempo oportuno ao demandante e assim, auxiliarem nas ações de resposta ao incidente.

4.6 Questionário aplicado

Para a compreensão da forma de utilização de RPA por forças militares de outras Unidades Federativas, foi formulado um questionário com 12 (doze) questões, divididas em 3 (três) seções. Ao final de cada seção, havia uma pergunta que permitia o prosseguimento para a seção seguinte ou finalizava o questionário imediatamente e remetia as respostas.

4.6.1 Divisão das perguntas

A primeira seção serviu para identificação da corporação e do responsável pelo preenchimento do formulário. Possuía 4 (quatro) perguntas, descritas a seguir:

1 - Em qual Corporação e Unidade Federativa trabalha?

2 - Qual seu posto/graduação e nome completo?

3 - Qual a função desempenhada?

4 - A Corporação onde trabalha, possui serviço de operação de aeronaves remotamente pilotadas?

A questão de número 4 era do tipo múltipla escolha e caso fosse respondido “Não” o questionário era encerrado, caso respondido “Sim”, passava-se para a segunda seção de perguntas.

A segunda seção possuía 3 (três) perguntas e era destinada à compreensão

da finalidade de uso das RPAs, conforme discriminadas a seguir:

5 - Para quais atividades as aeronaves remotamente pilotadas são utilizadas?

6 - Para as ocorrências da questão anterior, quais procedimentos adotados no atendimento?

7 - Utiliza *softwares* para planejamento de voo e processamento das imagens?

A questão 5 era do tipo *checkbox*, permitindo marcações múltiplas de opções pré-estabelecidas bem como a opção “outras”, onde o responsável pelo preenchimento poderia escrever a resposta de forma livre. A questão de número 7 era do tipo múltipla escolha e caso fosse respondido “Não” o questionário era encerrado, caso respondido “Sim”, passava-se para a terceira seção de perguntas.

A terceira seção possuía 5 (cinco) perguntas que visavam identificar os *softwares* utilizados para o planejamento de voo e para o processamento das imagens. Tinha como objetivo ainda, saber quais os produtos do processamento das imagens que eram utilizados, em quais atividades esses produtos eram utilizados e se existia na corporação, algum procedimento operacional padrão que norteasse as ações durante o atendimento às ocorrências. As perguntas foram as descritas a seguir:

8 - Quais *softwares* são utilizados para o planejamento de voo?

9- Quais *softwares* são utilizados para processamento das imagens?

10 - Quais os produtos do processamento de imagens são utilizados?

11 - Em quais atividades são aplicadas os produtos do processamento?

12 - A corporação possui Procedimento Operacional Padrão para o uso em ocorrências? Em caso afirmativo, o POP pode ser compartilhado com o *e-mail* do pesquisador?

A pergunta 12 era do tipo múltipla escolha e possuía 3 (três) opções para resposta: “Sim”, “Não” e “Sim, mas não pode ser compartilhado”.

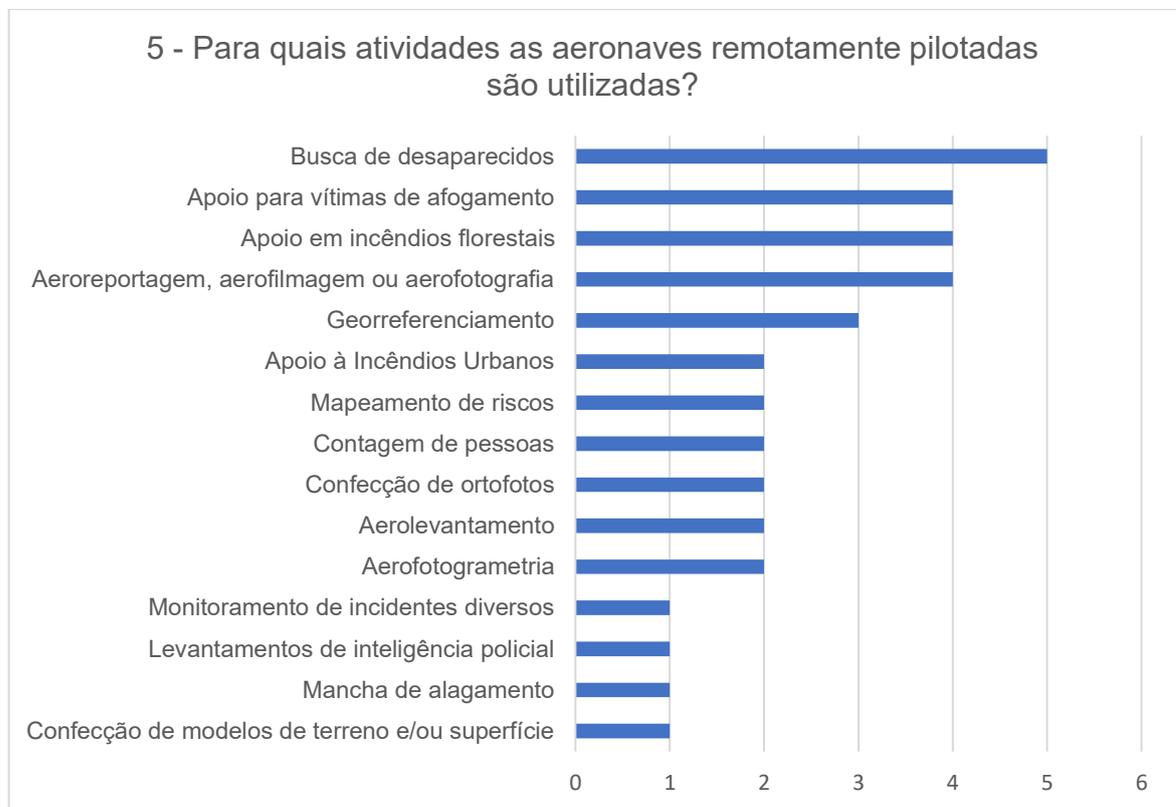
4.6.2 Análise das respostas

Considerando-se que a primeira seção possuía respostas com dados pessoais dos entrevistados e serviu apenas para identificação de onde as respostas vinham, os dados apresentados nesta pesquisa foram tão somente os referentes à seção 2 e seção 3.

4.6.2.1 Seção 2 – questões 5 a 7

A questão 5, com respostas condensadas por meio da figura 29, demonstra que as RPAs já são utilizadas em várias atividades, com predominância para as atividades de busca de desaparecidos. Merece destaque as atividades que só são possíveis graças ao processamento de imagens, entre elas a criação de manchas de alagamento, georreferenciamento, confecção de ortofotos, confecção de modelos digitais de superfície/terreno, aerolevanteamento, aerofotogrametria e que já estão sendo realizadas em outras corporações.

Figura 29 – Respostas referentes à questão 5



Fonte: O Autor

A questão 6 tinha por objetivo verificar se eram adotados procedimentos específicos na atuação com RPAs diferentes daqueles adotados durante os sobrevoos realizados na presente pesquisa. As respostas estão disponíveis por meio do quadro da figura 30.

Para a questão 7 (Utiliza *softwares* para planejamento de voo e processamento das imagens?), somente o representante da PMBA respondeu negativamente e assim não seguiu para a terceira seção de perguntas. Em conversa com este pesquisador, o referido participante informou que não realizam o serviço de aerolevante pois necessitam autorização do Ministério da Defesa, mas que já possuem um dos pré-requisitos que é a portaria interna que atribui o serviço para órgão naquela Corporação.

Figura 30 – Quadro de respostas referentes à questão 6

6 - Para as ocorrências da questão anterior, quais procedimentos adotados no atendimento?

| CORPORAÇÃO | RESPOSTA |
|------------|---|
| CBMGO | Durante a época de incêndio florestal temos um piloto de prontidão. Fora essa época o atendimento é sob demanda. Estamos tentando viabilizar uma viatura com duas RPA's e dois pilotos remotos para ficarem permanentemente em prontidão 24h em 2021. |
| CBMMG | São muitos, listados na Instrução Técnico Operacional que enviarei ao pesquisador. |
| CBMSC | Elaboramos uma série de <i>check list</i> a serem sempre observados em todas as operações, assim como é feito na aviação tripulada. |
| PMBA | Recepção da demanda, planejamento e execução. |
| CBMERJ | Diretrizes internas do CBMERJ, sendo todas de acordo com as normativas ou diretrizes do COMAER e da ANAC. |

Fonte: O Autor

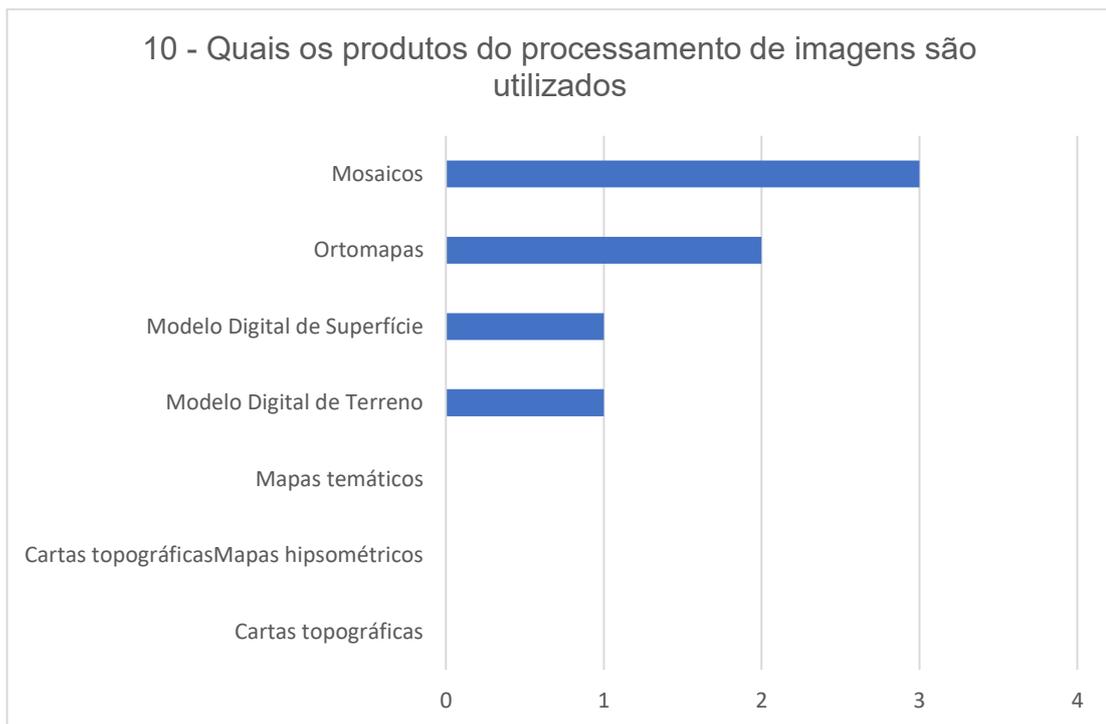
4.6.2.2 Seção 3 – questões 8 a 12

As perguntas 8 e 9 eram do tipo *checkbox*, possuíam opções pré-definidas e permitia ao respondedor marcar mais de uma opção. As respostas foram idênticas para as duas questões, resultado possível uma vez que existem *softwares* que podem realizar as duas fases do aerolevante (aeroespacial e decorrente), contudo não era um resultado esperado, pois para a fase decorrente, nenhuma corporação faz uso do OpenDroneMap.

Diante do exposto, a questão 8 (Quais *softwares* são utilizados para o planejamento de voo?) e a questão 9 (Quais *softwares* são utilizados para processamento das imagens?) obtiveram como resultado que 3 corporações utilizam o DroneDeploy e as 4 corporações utilizam o Pix4D. Assim, entre os participantes da terceira seção de perguntas, somente o CBMERJ não utiliza o DroneDeploy para nenhuma fase do aerolevanteamento.

Na questão 10, pretendia-se conhecer quais produtos do processamento das imagens eram empregados para alguma atividade, para então confrontar com as aplicações visualizadas pelo autor no decorrer da pesquisa, no que concerne ao serviço desempenhado pelo Grupamento de Busca e Salvamento. As respostas se fazem presentes por meio da figura 31.

Figura 31 – Respostas referentes à questão 10



Fonte: O Autor

A questão 11 trata-se de uma complementação direta da questão 10 e possui as respostas apresentadas por meio do quadro da figura 32. Merece destaque a resposta fornecida pelo representante de Minas Gerais, o qual possui bastante alinhamento com as atividades desenvolvidas pelo Grupamento de Busca Salvamento e que está definido como objetivo específico do presente trabalho.

Figura 32 – Quadro de respostas referente à questão 11

11 - Em quais atividades são aplicadas os produtos do processamento?

| CORPORAÇÃO | RESPOSTA |
|------------|--|
| CBMGO | Mapeamento de área queimada Perícia de incêndio Busca por pessoas Operações de Defesa Civil |
| CBMMG | Busca e resgate, mas especialmente na Missão Brumadinho. |
| CBMSC | Ainda estamos aprofundando nesta área específica. |
| PMBA | - |
| CBMERJ | Atividades de Defesa Civil e respostas à Desastres (deslizamentos e/ou desmoronamentos) |

Fonte: O Autor

Apesar de dois participantes do questionário terem respondido a questão de número 12 com “Sim”, apenas Minas Gerais compartilhou a documentação. O objetivo de incluir tal questão era obter algum procedimento padronizado para a realização do planejamento de voo e da coleta das imagens e assim nortear a metodologia a ser sugerida ao CBMDF, contudo, a documentação produzida em Minas Gerais não inclui tais tipos de procedimentos.

4.7 Metodologia de coleta de imagens

De acordo com o discutido na seção 2.2.4 (Sobreposição e correspondência de imagens), para que a restituição das imagens por meio de processamento ocorra de forma satisfatória, se faz necessário um apropriado planejamento de voo, onde a sobreposição de imagens seja adequada, para que então, o *software* que irá fazer a restituição (seção 2.2.5) utilize entre outras características, os fenômenos da paralaxe (seção 2.2.2.4) e da estereoscopia (seção 2.2.2.5) para produzir imagens com profundidade, modelos digitais de elevação, ortofotos, entre outras.

Diante do exposto, faz-se mister que as imagens sejam capturas seguindo-se uma metodologia, para que os resultados obtidos atendam a uma finalidade previamente apresentada.

Para que o planejamento de voo seja bem realizado, entre as informações que devem ser fornecidas pelo demandante das imagens áreas é o tipo de produto

requerido, entre eles, modelo digital de superfície, imagem 3D ou ortofoto. Outra informação necessária e que refletirá diretamente na altura de voo da RPA, é a resolução espacial, discutido nas seções 2.2.8.1 e 2.4.1.2. Por fim, para facilitar a correspondência de pontos em imagens sobrepostas, o ideal é o direcionamento do ângulo do sensor diretamente para baixo, em ângulo nadir.

Para facilitar todos os procedimentos e configurações, sugere-se o emprego do *software* DroneDeploy para o planejamento do sobrevoo. Apesar de permitir ajustes manuais, a maioria das configurações já são preenchidas de forma automática e cabe ao responsável por planejar o sobrevoo: inserir a área a ser mapeada; a altura do voo limitado ao máximo de 100 metros e; se deverá coletar imagens para aprimoramento 3D. Com o voo planejado, basta a equipe de voo ir a campo para executar o plano proposto. As capturas de tela que exemplificam o procedimento de planejamento de voo a ser realizado na fase aeroespacial estão disponíveis no Apêndice A.

Após a obtenção das imagens na fase aeroespacial⁶, essas devem ser transferidas para o *software* OpenDroneMap⁷, onde deve ser configurado o tipo de produto de processamento que se queira obter⁸.

Para uso da Corporação, o OpenDroneMap encontra-se instalado em servidor da Diretoria de Tecnologia da Informação e Comunicação (DITIC), operando e acessível pela rede interna do CBMDF por meio do *link* <http://veraneio.cbm.df.gov.br>. Trata-se de uma máquina virtual com pouco poder de processamento, mas que já permite a realização de testes. Possui dois processadores e 8 Gb de memória RAM, que admite o processamento de 300 imagens no máximo, dependendo das configurações realizadas para a restituição. As capturas de tela que exemplificam o procedimento de envio das fotografias para processamento e que deve ser realizado na fase decorrente estão disponíveis no Apêndice B.

Por fim, o adestramento e capacitação necessários para que as equipes que realizam a operação de RPA no CBMDF aprendam como proceder com o planejamento de voo, execução do planejamento em campo e o processamento das

⁶ Detalhes na seção 2.4.1.

⁷ Características apresentadas na seção 2.4.3.

⁸ Produtos típicos do processamento de imagens na seção 2.2.7.

imagens é rápido e possível de ser feito em apenas um dia de treinamento.

O quadro presente na figura 33 resume os passos a serem seguidos em cada etapa para aquisição das fotografias, de forma que seja possível a obtenção de produtos típicos do processamento de imagens aéreas.

Figura 33 – Passos a serem seguidos em cada fase

| FASE E SOFTWARE | PROCEDIMENTO | OBSERVAÇÃO |
|-------------------------------------|--|---|
| Aeroespacial DroneDeploy | Obter informações sobre a área a ser mapeada, o tipo de produto a ser fornecido ao solicitante e a resolução necessária. | As informações serão importantes para indicar a altura do sobrevoo e se será necessário realizar coleta de imagens com maior sobreposição |
| | A partir das informações fornecidas pelo solicitante, realizar o plano de voo utilizando-se a plataforma <i>web</i> do DroneDeploy e sincronizar o aplicativo do controle da RPA com o planejamento realizado. | O planejamento do voo pela plataforma <i>web</i> é mais fácil. Ajustes podem ser realizados em campo, contudo, devido ao tamanho da tela do controle da RPA e a dependência de acesso ao sinal de internet, o planejamento pode ficar comprometido. |
| | Encaminhamento da equipe e equipamentos para o local a ser mapeado e execução do plano de voo. | Ao se realizar o planejamento de voo, já é indicado o melhor local para decolagem da RPA, contudo, caso seja um local de difícil acesso, o sobrevoo pode ser iniciado em qualquer lugar das proximidades. |
| Decorrente OpenDroneMap | As imagens obtidas da fase aeroespacial devem ser enviadas para o OpenDroneMap, por meio de plataforma <i>web</i> . | As imagens podem ser enviadas para o servidor do CBMDF, disponível pelo <i>link</i> http://veraneio.cbm.df.gov.br . Caso seja adquirido computador portátil com desempenho adequado conforme discutido na seção 2.4.3.2, o processamento pode ser realizado no local da coleta das imagens. |
| | Selecionar as opções de processamento disponíveis no OpenDroneMap a partir das informações prévias coletadas com o demandante. | Neste momento que se seleciona os produtos a serem gerados, por exemplo: restituição 3D, modelo digital de superfície ou ortofoto. Quando mais opções de processamento e quanto maior a resolução solicitada, maior será o tempo de processamento. |
| | Aguardar o término do processamento. | Quanto maior for a capacidade de processamento do computador utilizado, mais rápido será o processamento. As imagens podem ser copiadas em formato digital ou impressas para consulta em formato físico, a depender da disponibilidade de equipamentos de impressão. |

Fonte: O Autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral da presente pesquisa foi alcançado conforme metodologia apresentada na seção 4.7 (Metodologia de coleta de imagens) e ao se cumprir os objetivos específicos, uma vez que os princípios da fotogrametria foram elencados na seção 2.2; foi possível conhecer como as RPAs e quais os produtos do processamento de imagens são utilizados em outras corporações, conforme resultados apresentados e discutidos por meio da seção 4.6; por fim, lançou-se mão de *softwares* nas duas fases do aerolevanteamento, conforme discutido na seção 2.4 e com resultados aplicados ao serviço do Grupamento de Busca e Salvamento conforme apresentados nas seções 4.2, 4.3 e 4.4.

Verifica-se que o método de obtenção e processamento de imagens com os *softwares* propostos possui aplicação prática para as atividades desempenhadas pelo Grupamento de Busca e Salvamento, ratificado por meio da entrevista realizada com o Comandante do GBS e apresentada na seção 4.5.

No CBMDF, para que seja possível realizar o serviço de aerolevanteamento conforme discutido na seção 2.1, a referida imputação legal pode ser feita mediante estabelecimento de atribuição no Regimento Interno; por meio de Portaria do Comandante-Geral ou por Portaria do Comandante Operacional. Assim, para que se tenha o respaldo legal, principalmente em casos em que as imagens possam ser utilizadas como provas em processos administrativos, mantendo-se assim maior integridade da cadeia de custódia, verifica-se a necessidade de tal publicação para posterior entrada de pedido junto ao Ministério da Defesa.

Apesar da pesquisa utilizar apenas sensores do tipo RGB, existem no mercado sensores que operam em outras bandas espectrais e que poderiam ser utilizados para estudo dos alvos em solo. Pode ser citado por exemplo, o sensor termal (banda do infravermelho) que equipa as RPAs adquiridas recentemente pelo CBMDF mas que não foi possível aplicar no presente estudo pois se encontram em fase de recebimento no processo licitatório. Nesse sentido, será necessário estudo de viabilidade de aplicação da técnica apresentada nesta pesquisa, utilizando-se o sensor termal e com aplicação ao serviço de busca e salvamento.

Além do sensor termal, existem sensores que aprimoram a confecção de modelo digital de terreno, pois permite que seja mapeada apenas o nível do solo, descartando a superfície vegetal, diferentemente do que foi realizado com o modelo digital de superfície, conforme discutido na seção 4.3.2.

Outro tipo de sensor que trabalha com bandas separadas, são os sensores multiespectrais. As técnicas que utilizam composição de diversas bandas, identificam o alvo de acordo com o comportamento espectral conforme discutido nas seções 2.2.1 e pelos conhecimentos discutidos na seção 2.2.2. As imagens obtidas por esses sensores podem ser restituídas para formação de ortofotos e possuem suporte do OpenDroneMap, conforme funcionalidades implementadas pelo WebODM e verificada por meio da figura 16.

Destaca-se que o serviço de busca de pessoas desaparecidas, a princípio, não seria aplicável utilizando-se imagens restituídas. Entende-se que em caso de pessoa com capacidade de deambular, essa poderia aparecer em várias fotografias, mas em pontos distintos, o que contraria as ideias de sobreposição e correspondência de imagens conforme discutido em 2.2.4. Como consequência, a vítima desaparecida poderia aparecer em vários pontos da imagem restituída ou nem mesmo aparecer.

Faz-se necessário o aprimoramento da técnica e do conhecimento na área de alagamento em caso de rompimento de barragem, partindo-se do estudo de mapas hipsométricos e modelos digitais de elevação, de forma a tornar os procedimentos aplicáveis com boa margem de precisão.

Recomenda-se que as futuras aquisições de RPAs seja sempre adquirido em conjunto, sistema Gimbal com 3 eixos de estabilização e que possua suporte a pelo menos um dos *softwares* de planejamento de voo mais utilizados (DroneDeploy ou Pix4D Capture).

Recomenda-se ainda a aquisição de computadores portáteis de grande poder de processamento e memória RAM, para trabalhar em conjuntos com as RPA, assim, o processamento das imagens poderá ocorrer em campo, de forma rápida e tornará possível o fornecimento das imagens tempestivamente ao solicitante, fato evidenciado necessário conforme entrevista realizada com o Comandante do GBS.

Por fim, faz-se importante destacar que a presente pesquisa não exclui ou substitui o trabalho realizado por Pimentel (2011). De fato, caso seja adotado o procedimento de aquisição de aerofotografias por meio de sensores acoplados em aeronaves tripuladas conforme sugerido pelo referido pesquisador, será possível que a restituição de tais imagens seja realizada com a utilização do OpenDroneMap conforme proposta na presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANA. **Manual Básico HEC-RAS 5.0.3 Ruptura de Barragem**. [s.l.] : ANA, 2018. Disponível em: [https://capacitacao.ana.gov.br/conhecercerh/bitstream/ana/3273/1/Apostila de REC HAS.2.pdf](https://capacitacao.ana.gov.br/conhecercerh/bitstream/ana/3273/1/Apostila%20de%20REC%20HAS.2.pdf). Acesso em: 16 nov. 2020.

ANAC. **ANACpédia**. [s.d.]. Disponível em: <https://www2.anac.gov.br/anacpedia/index.html>. Acesso em: 23 out. 2020.

ANAC. Resolução nº 377, de 15 de março de 2016. Regulamenta a outorga de serviços aéreos públicos para empresas brasileiras e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília-DF, 17 de mar., 2016. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-377-de-15-de-marco-de-2016-21395976#:~:text=Regulamenta>. Acesso em: 26 set. 2020.

ANDRADE, Lúcio Kleber Batista De. **Gestão da segurança com ênfase nos requisitos organizacionais para operações com aeronaves remotamente pilotadas no cbmdf**. 2017. Dissertação (Curso de Altos Estudos Para Oficiais) - Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2017.

ASPRS. **What is ASPRS? – ASPRS**. 2020. Disponível em: <https://www.asprs.org/organization/what-is-asprs.html>. Acesso em: 26 set. 2020.

BRASIL. Decreto-lei nº 1.177, de 21 de junho de 1971. Dispõe sobre aerolevanteamento no território nacional e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília-DF, 21 de jun., 1971. Disponível em: http://esteio.com.br/downloads/legislacao/_decreto-lei1177.pdf. Acesso em: 26 set. 2020.

BRASIL. Decreto nº 2.278, de 17 de julho de 1997. Regulamenta o Decreto-Lei nº 1.177, de 21 de junho de 1971, que dispõe sobre aerolevanteamentos no território nacional e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília-DF, 18 de jul., 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2278.htm. Acesso em: 12 out. 2020.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nos 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília-DF, 11 de abr., 2012. Disponível em:

<https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/1031606/lei-12608-12>. Acesso em: 5 nov. 2020.

CBMDF. Despacho do Governador, em 19 de janeiro de 2010. Autorização de afastamento de militares do País, para auxiliar nos eventos advindos do terremoto no Haiti. **Boletim Geral nº 21**, Brasília-DF, 1º de fev., 2010.

CBMDF. Plano de Preparo. O Plano de Preparo (PPREP) do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) tem por finalidade preparar e articular, previamente, os órgãos constitutivos e os integrantes da Corporação para atendimento das atividades definidas em lei. **Boletim Geral nº 030**, Brasília-DF, 10 de dez., 2012.

CBMDF. Portaria 11, de 11 de abril de 2017. Aprova e publica o Plano Estratégico do CBMDF, ciclo 2017-2024. **Boletim Geral nº 72**, Brasília-DF, 13 de abr., 2017.

CBMDF. Afastamento de militares com destino a outra Unidade Federativa. Autorização de afastamento de militares com destino a Brumadinho-MG. **Boletim Geral nº 26**, Brasília-DF, 6 de fev., 2019a.

CBMDF. Afastamento de militares com destino a outra Unidade Federativa. Autorização de afastamento de militares com destino a Alto Paraíso - GO. **Boletim Geral nº 242**, Brasília, 24 de dez., 2019b.

CBMDF. Portaria nº 24, de 25 de novembro de 2020. Aprova o regimento interno do corpo de bombeiros militar do distrito federal, revoga a Portaria nº 6, de 15 de abril de 2020 e dá outras providências. **Suplemento ao BG 223**, Brasília-DF, 1º de dez., 2020.

COELHO, Luiz; BRITO, Jorge Nunes. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007.

DECEA. MCA 56-4. Portaria DECEA nº 111/DGCEA, de 22 de maio de 2020. Aprova a edição do MCA 56-4, Manual que trata de "Aeronaves não tripuladas para uso em proveito dos órgãos de Segurança Pública, da Defesa Civil e de Fiscalização da Receita Federal". **BCA nº 096**, Comando da Aeronáutica, 2020. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=5246>. Acesso em: 13 out. 2020.

DJI. **DJI GS PRO User Manual**. 2018. Disponível em: https://dl.djicdn.com/downloads/groundstation_pro/20181102/GS_Pro_User_Manual_v2.0_EN_201811.pdf. Acesso em: 3 jan. 2021.

DRONEDEPLOY. **DroneDeploy supports industry-leading drones and hardware.**

2021. Disponível em: <https://www.dronedeploy.com/product/supported-drones/>. Acesso em: 3 jan. 2021.

DRONEHARMONY. **Drone Harmony**. 2021. Disponível em: https://droneharmony.com/wp-content/uploads/2020/05/DH_Supported-Hardware-Software.pdf. Acesso em: 3 jan. 2021.

DRONENG. **5 aplicativos de voo automatizado para mapeamento aéreo**. 2017. Disponível em: <https://blog.droneng.com.br/aplicativos-de-voo-automatizado/>. Acesso em: 3 jan. 2021.

EMBRAPA. **Produção de ortomapas com VANTs e OpenDroneMap**. Campinas-SP: EMBAPA, 2018. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1102033/1/OrtomapsCirc05.pdf>. Acesso em: 13 out. 2020.

ESCANDAR, Nizar. **Review Gimbal Zhiyun Smooth-Q2 para SmartPhones: Ótimo Gimbal de viagem perfeito para usar seu Celular**. 2020. Disponível em: <https://blog.emania.com.br/review-gimbal-zhiyun-smooth-q2-para-smartphones-otimo-gimbal-de-viagem-perfeito-para-usar-seu-celular/>. Acesso em: 23 out. 2020.

FEYNMAN, Richard Phillips; SANDS, Matthew L.; LEIGHTON, Robert B. **Feynman : lições de física**. Porto Alegre-RS: Bookman, 2008.

FITZ, Paulo Roberto. **Cartografia básica**. São Paulo-SP: Oficina de Textos, 2008.

GDF. DECRETO Nº 31.817, DE 21 DE JUNHO DE 2010. Regulamenta o inciso II, do artigo 10-B, da Lei nº 8.255, de 20 de novembro de 1991, que dispõe sobre a Organização Básica do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. **Diário Oficial do Distrito Federal**, Poder Executivo, Brasília-DF, 22 de jun., 2010. Disponível em: http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/63268/Decreto_31817_21_06_2010.html. Acesso em: 4 nov. 2020.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GOERL, Roberto Fabris; MICHEL, Gean Paulo; KOBAYAMA, Masato. Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação com o modelo HAND e análise do seu desempenho em diferentes resoluções espaciais. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 69, p. 61–69, 2017.

GOMIDE, Daniel Saraiva. **Estudo técnico sobre o planejamento das operações**

de busca e salvamento em caso de rompimento de barragens no Distrito Federal. 2020. Dissertação (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais) - Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília-DF, 2020.

HALLIDAY, David; WALKER, Jearl; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna.** 9. ed. Rio de Janeiro - RJ: LTC, 2012.

HOFMAM, Maurício; CARVALHO, Felipe G.; SZENBERG, Flávio; RAPOSO, Alberto; GATTASS, Marcelo. Um Estudo sobre Marcas Fiduciais em Realidade Aumentada : Combinando Detecção de Linhas com Calibração de Câmera. **VIII Symposium on Virtual Reality**, Belém-PA, p. 337–348, 2006.

HORUS AERONAVES. **O que é processamento e pós-processamento de imagens?** 2019. Disponível em: <https://horusaeronaves.com/o-que-e-processamento-e-pos-processamento-de-imagens-com-drones/>. Acesso em: 15 nov. 2020.

LIMA, Elen Marten De; THOMAZ, Thiago A. Marques; SEVERO, Tiago Cavagnoli. **Mapeamento aerofotogramétrico digital utilizando fotografias de médio formato.** 2010. Monografia (Bacharelado em Engenharia Cartográfica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2010.

LIMA, Efraim Miranda. **Drones de asas rotativas nas atividades operacionais do CBMDF: Análise de possibilidades de uso.** 2016. Dissertação (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais) - Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília-DF, 2016.

MAPPA. **ANÁLISES DE PÓS-PROCESSAMENTO: O QUE SÃO E COMO SOLICITAR.** 2020. Disponível em: <https://mappa.ag/ajuda/analises-de-pos-processamento/>. Acesso em: 15 nov. 2020.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati De; ROSA, Antonio Nuno de Castro Santa; SANO, Edson Eyji; SOUZA, Edilson Bias De; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello; BRITES, Ricardo Seixas. **Introdução ao processamento de imagem de sensoriamento remoto.** Brasília-DF: Cnpq/Unb, 2012.

MINISTÉRIO DA DEFESA. Portaria Normativa nº 101/GM-MD, de 26 de dezembro de 2018. Dispõe sobre aerolevantamento no território nacional e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Ministério da Defesa/Gabinete do Ministro, Brasília-DF, 28 de dez., 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/57221160/do1-2018-12-28-portaria-normativa-n-101-gm-md-de-26-de-dezembro-de-2018-57220914. Acesso em: 21 set. 2020.

MINISTÉRIO DA DEFESA. **Compêndio de legislações e questões técnicas e legais sobre aerolevamento**. Brasília-DF: Seção de geoinformação, meteorologia e aerolevamento, 2020. a. Disponível em: https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/cartografia/divcar/2020/compendio-de-referencias-para-aerolevamento_v6_30-jul-20.pdf. Acesso em: 13 out. 2020.

MINISTÉRIO DA DEFESA. **Conjunto plataformas-sensores aprovados para aerolevamento**. 2020b. Disponível em: https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/cartografia/dica/conjunto-plataformas-sensores-aprovados-para-aerolevamento_31_08_2020.pdf. Acesso em: 21 set. 2020.

MOMO, Marcos Rodrigo; PINHEIRO, Adilson; SEVERO, Dirceu Luís; CUARTAS, Luz Adriana; NOBRE, Antonio Donato. Desempenho do modelo hand no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre-RS, v. 21, n. 1, p. 200–208, 2016.

NEX, Francesco; REMONDINO, Fabio. UAV for 3D mapping applications: A review. **Applied Geomatics**, Trento, Italy, v. 6, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/260529522_UAV_for_3D_mapping_applications_A_review.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; HODNETT, M.; RENNÓ, C. D.; RODRIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WATERLOO, M.; SALESKA, S. Height Above the Nearest Drainage - a hydrologically relevant new terrain model. **Journal of Hydrology**, [S. l.], v. 404, n. 1–2, p. 13–29, 2011.

NOBRE, Antonio Donato; CUARTAS, Luz Adriana; MOMO, Marcos Rodrigo; SEVERO, Dirceu Luís; PINHEIRO, Adilson; NOBRE, Carlos Afonso. HAND contour: A new proxy predictor of inundation extent. **Hydrological Processes**, Published online in Wiley Online Library, v. 30, n. 2, p. 320–333, 2015.

NOVO, Evlyn M. L. de Moraes. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4. ed. São Paulo-SP: Blucher, 2010.

NUSSENZVEIG, H. M. **Mecânica. Curso de física básica**. 4. ed. São Paulo-SP: Edgard Blücher LTDA, 2002.

OLIVEIRA, Cêurio De. **Curso de cartografia moderna**. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

OPENDRONEMAP. **Welcome to OpenDroneMap's documentation**. 2020a. Disponível em: <https://docs.opendronemap.org/index.html#>. Acesso em: 6 nov. 2020.

OPENDRONEMAP. **Drone Mapping Software - OpenDroneMap**. 2020b. Disponível

em: <https://www.opendronemap.org/>. Acesso em: 7 nov. 2020.

OPENDRONEMAP. **OpenDroneMap/WebODM**. 2020c. Disponível em: <https://github.com/OpenDroneMap/WebODM>. Acesso em: 7 nov. 2020.

PIMENTEL, Norberto Magno Marins. **Sensoriamento remoto: a aplicabilidade da aerofotografia nas atividades de combate a incêndio florestal do CBMDF**. 2011. Dissertação (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais) - Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília-DF, 2011.

PIX4D. **Drone mapping saves lives in landslides**. 2017. Disponível em: <https://www.pix4d.com/blog/drone-mapping-saves-lives-rescuav-landslide-in-colombia>. Acesso em: 3 jan. 2020.

PIX4D. **Making events safer with drone mapping**. 2018. Disponível em: <https://www.pix4d.com/blog/safer-events-pix4d-drone-mapping>. Acesso em: 3 jan. 2020.

PIX4D. **DRONEBIRD disaster rescue squad**. 2020a. Disponível em: <https://www.pix4d.com/blog/drone-disaster-rescue>. Acesso em: 3 jan. 2021.

PIX4D. **How is drone mapping used for crash investigation**. 2020b. Disponível em: <https://www.pix4d.com/blog/drone-mapping-crash-investigation>. Acesso em: 3 jan. 2020.

PIX4D. **Pix4D**. 2021. Disponível em: <https://www.pix4d.com/>. Acesso em: 3 jan. 2021.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar De. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo - RS: Feevale, 2013. Disponível em: [http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book Metodologia do Trabalho Cientifico.pdf](http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad-1538f3aef538/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf). Acesso em: 8 out. 2020.

RAMO, Nayara Cielly Freire Do. **Método para contagem automática de pessoas em multidões utilizando drones**. 2017. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Computação) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2017.

RODRIGUES, Mateus. **Bombeiro do DF relembra resgate do voo 1907 da Gol: “nada te prepara”**. 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/distrito-federal/noticia/2016/09/bombeiro-do-df-relembra-resgate-do-voo-1907-da-gol-nada-te-prepara.html>. Acesso em: 15 nov. 2020.

SARAIVA, Maria de Fátima O. **Esfera Celeste**. 2016. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~fatima/fis2016/aulas/esfcel.htm>. Acesso em: 25 jan. 2021.

SAUSEN, Tania Maria; LACRUZ, María Silvia Pardi. **Sensoriamento remoto para desastres**. 1. ed. E-Book. ISBN: 978-85-7975-178-3. São Paulo-SP: Oficina de Textos, 2015. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Acervo/Publicacao/181533>. Acesso em: 5 nov. 2020.

SILVA, Vinicius Santos. **Análise organizacional do serviço de aeronaves remotamente pilotadas do CBMDF instituído pela portaria nº 16 de 4 de julho de 2019**. 2020. Dissertação (Curso de Altos Estudos Para Oficiais) - Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília-DF, 2020.

SOUSA, Henrique Lima De. Sensoriamento Remoto com VANTs: uma nova possibilidade para a aquisição de geoinformações. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba-PR, Brasil, v. 5, n. 3, p. 326, 2017. a.

SOUSA, Henrique Lima De. Sensoriamento Remoto com VANTs: uma nova possibilidade para a aquisição de geoinformações. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba-PR, Brasil, v. 5, n. 3, p. 326, 2017. b. DOI: 10.3895/rbgeo.v5n3.5511.

STRICKLAND, JONATHAN. **What is a gimbal -- and what does it have to do with NASA?** 2008. Disponível em: <https://science.howstuffworks.com/gimbal.htm>. Acesso em: 23 out. 2020.

TACHIBANAYA, TsuruZoh. **Description of EXIF file format**. 2001. Disponível em: [http://aboveallohio.com/vcbackup/HTMLbum5/backup/2012-10-15/Canon Exif file format.pdf](http://aboveallohio.com/vcbackup/HTMLbum5/backup/2012-10-15/Canon%20Exif%20file%20format.pdf). Acesso em: 25 out. 2020.

TEMBA, Plínio. **Fundamentos da Fotogrametria**. [s.l.] : UFMG - Departamento de Cartografia, 2000. Disponível em: csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/fotogrametria.pdf. Acesso em: 4 out. 2020.

TOMAŠTÍK, Julián; MOKROŠ, Martin; SUROVÝ, Peter; GRZNÁROVÁ, Alžbeta; MERGANIČ, Ján. UAV RTK/PPK method-An optimal solution for mapping inaccessible forested areas? **Remote Sensing**, Basel, Switzerland, v. 11, n. 6, 2019. DOI: 10.3390/RS11060721. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/6/721/htm>. Acesso em: 5 nov. 2020.

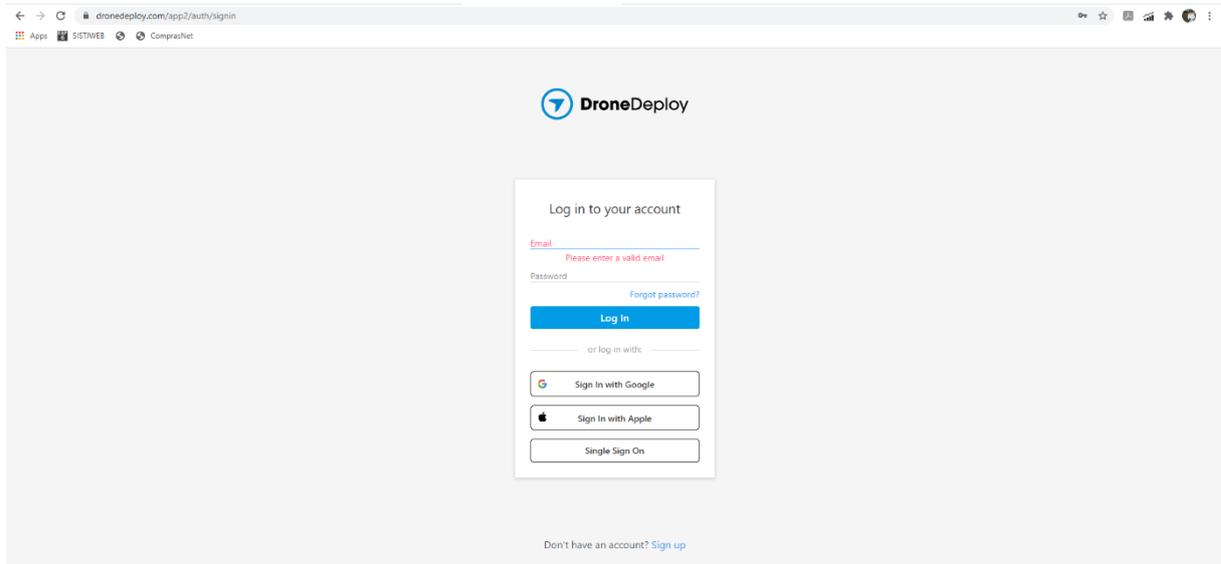
TZU, Sun. **A arte da guerra: Por uma estratégia perfeita**. Trad: Heloísa Sarzana Pugliesi e Márcio Pugliesi, São Paulo: Madras Editora LTDA, 2005.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Imagens do *software* para a fase aeroespacial

O planejamento de voo realizado por meio de navegador de internet foi realizado pelo *site* <http://www.dronedeploy.com>. Após o acesso, foi realizada autenticação na tela conforme ilustrado na figura A-1.

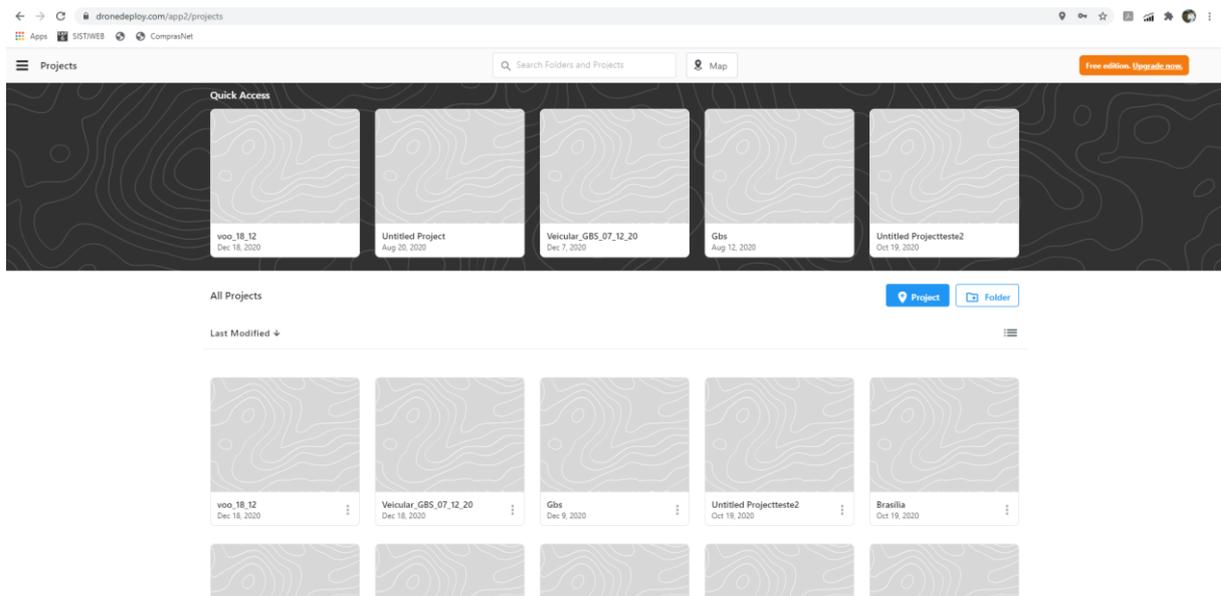
Figura A-1 – Tela de autenticação do *site* do DroneDeploy



Fonte: O autor.

Depois de realizar a autenticação com uma conta devidamente cadastrada, foi demonstrado os projetos já existentes, conforme disponível na figura A-2.

Figura A-2 – Relação de planejamentos disponíveis

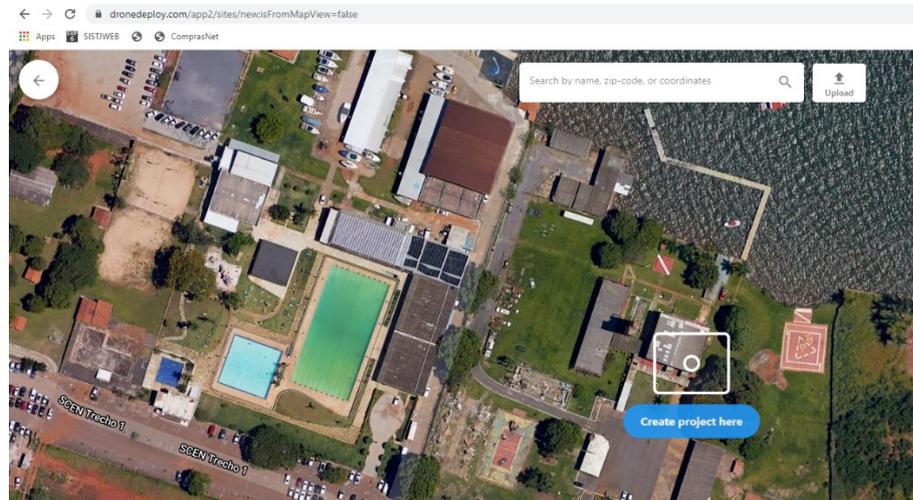


Fonte: O autor.

A criação de uma novo projeto levou à tela ilustrada pela figura A-3, onde foi

necessário definir o local onde seria realizado o sobrevoo.

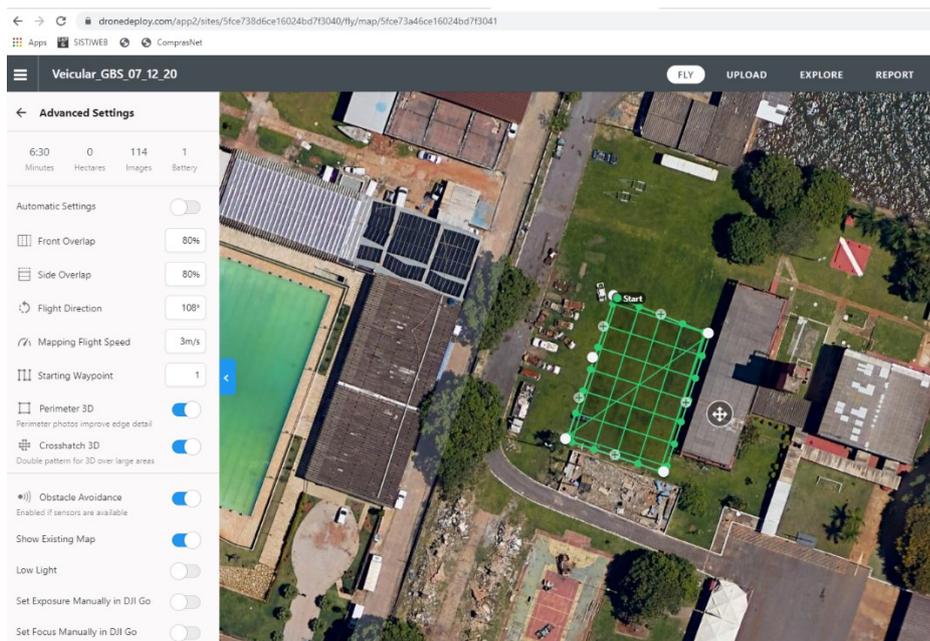
Figura A-3 – Definição do local do novo projeto de plano de voo



Fonte: O autor.

A figura A-4 ilustra as opções avançadas disponíveis para o planejamento de voo, entre elas a área de cobertura lateral e frontal, direção de voo, entre outras. A figura ilustra ainda quais são os locais por onde a RPA irá passar durante a coleta das imagens, destacado pela malha em verde.

Figura A-4 – Mapeamento da área a ser coberta e opções avançadas

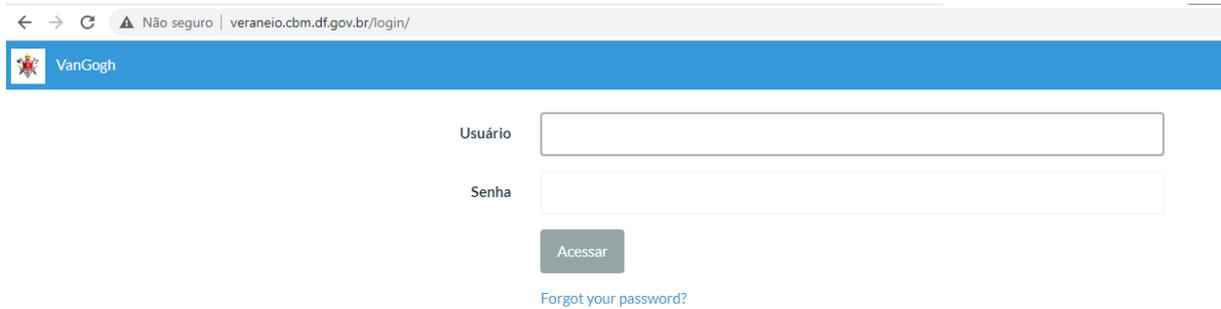


Fonte: O autor.

APÊNDICE B – Imagens do *software* para a fase decorrente

Para o processamento das imagens, o acesso ao *software* OpenDroneMap se dá pelo *link* <http://veraneio.cbm.df.gov.br>, conforme ilustrado pela figura B-1. O acesso é disponível apenas a partir da rede interna do CBMDF.

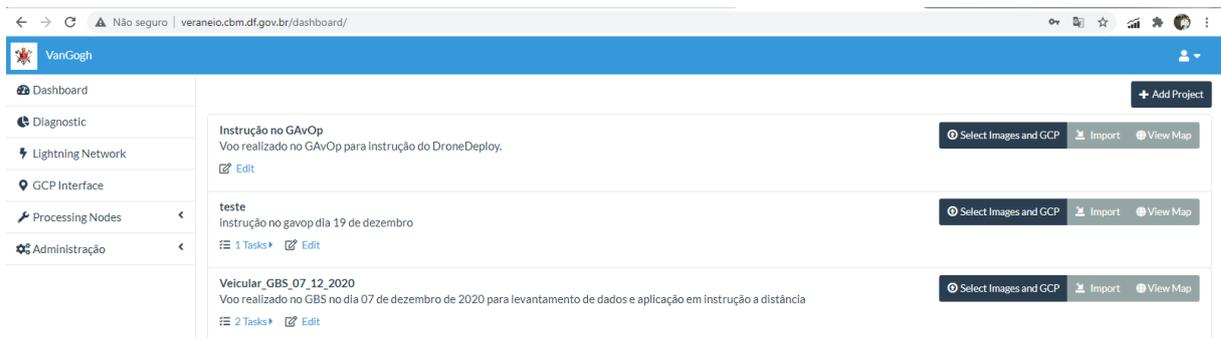
Figura B-1 – Tela de autenticação do OpenDroneMap



Fonte: O autor.

Após a autenticação com uma conta devidamente cadastrada, o sistema disponibiliza os projetos já criados conforme figura B-2.

Figura B-2 – Relação de projetos já criados



Fonte: O autor.

Como forma de organização, o OpenDroneMap permite a criação de tarefas dentro de cada projeto, conforme demonstrado pela figura B-3, que ilustra ainda as tarefas já realizadas, tempo de processamento, quantidade de imagens utilizadas em cada processamento, dia de realização do processamento, opções de processamento utilizadas, entre outras.

Figura B-3 – Dentro do projeto, relação de tarefas já realizadas

The screenshot displays the VanGogh dashboard for a specific project. The left sidebar contains navigation options: Dashboard, Diagnostic, Lightning Network, GCP Interface, Processing Nodes, and Administração. The main content area lists tasks with the following details:

- Instrução no GAVOp**: Voo realizado no GAVOp para Instrução do DroneDeploy. Status: Completed. Actions: Select Images and GCP, Import, View Map.
- teste**: Instrução no gavop dia 19 de dezembro. Status: Completed. Actions: Select Images and GCP, Import, View Map.
- Veicular_GBS_07_12_2020**: Voo realizado no GBS no dia 07 de dezembro de 2020 para levantamento de dados e aplicação em Instrução a distância. Status: Completed. Actions: Select Images and GCP, Import, View Map.

Under the 'Veicular_GBS_07_12_2020' task, two sub-tasks are listed:

- 3D + DSM**: Created on: 18/12/2020 14:32:39. Processing Node: node-odm-1 (manual). Options: use-3dmesh: true, dsm: true. Status: Completed. Actions: Download Assets, View Map, View 3D Model, Restart, Delete, Edit.
- Ortofoto**: Created on: 18/12/2020 14:29:02. Processing Node: node-odm-1 (manual). Options: fast-orthophoto: true. Status: Completed. Actions: Download Assets, View Map, View 3D Model, Restart, Delete, Edit.

Fonte: O autor.

A figura B-4 ilustra uma ortofoto restituída.

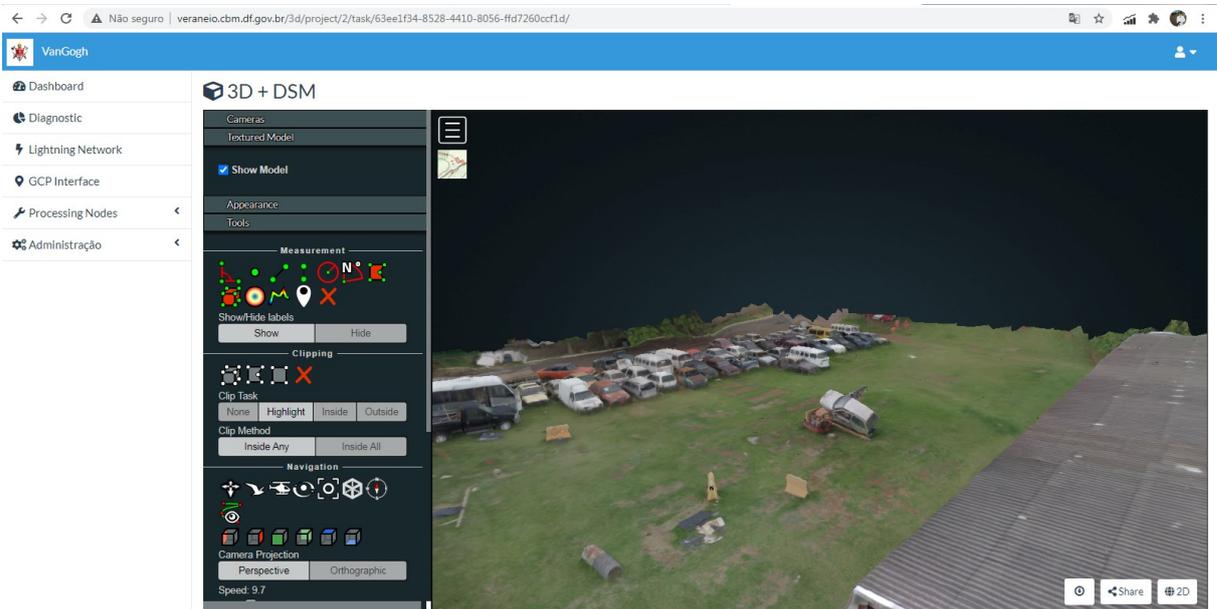
Figura B-4 – Exemplo de ortofoto restituída

The screenshot shows the VanGogh interface displaying a 3D orthophoto. The left sidebar is identical to the previous screenshot. The main map area is titled 'Ortofoto' and shows a 3D perspective view of a residential area with buildings and greenery. The interface includes a scale bar (10 m, 50 ft), coordinates (-15.78693, -47.54695), an opacity slider, and a 'Share' button. The right-hand toolbar contains icons for Orthophoto, Plant Health, and other map functions.

Fonte: O autor.

A figura B-5 ilustra uma imagem 3D restituída.

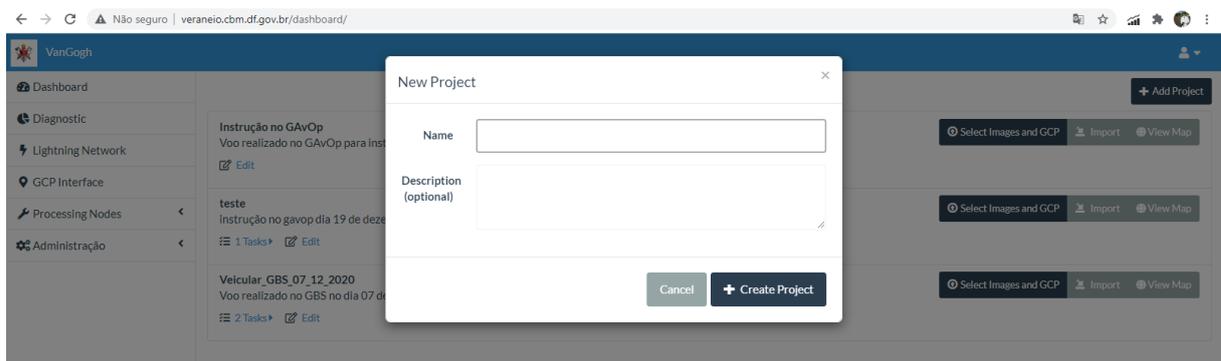
Figura B-5 – Exemplo de imagem 3D restituída



Fonte: O autor.

Para a criação de um novo projeto, deve-se clicar sobre o botão AddProject e então é solicitado o fornecimento de um nome e descrição para o novo projeto, conforme ilustrado pela figura B-6.

Figura B-6 – Tela para criação de novo projeto



Fonte: O autor.

A figura B-7 ilustra a inserção do novo projeto criado e a opção para inserir as imagens as serem processadas por meio do botão “Select Images and GCP” para criação de uma nova tarefa.

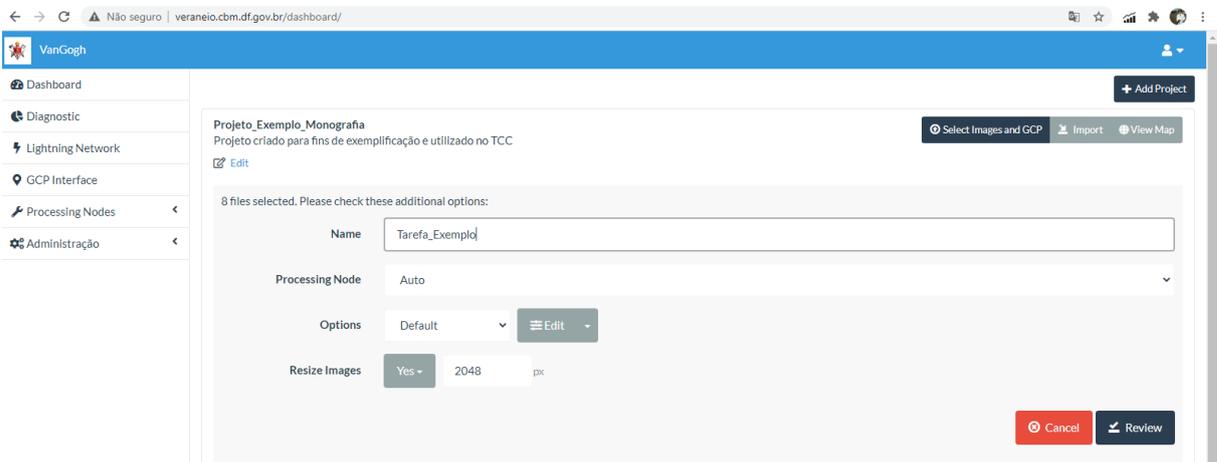
Figura B-7 – Novo projeto inserido na relação de projetos



Fonte: O autor.

A figura B-8 demonstra as opções para a criação de uma nova tarefa de processamento. Neste momento que são inseridas as opções de processamento, necessidade de redimensionamento das imagens e o nome da tarefa.

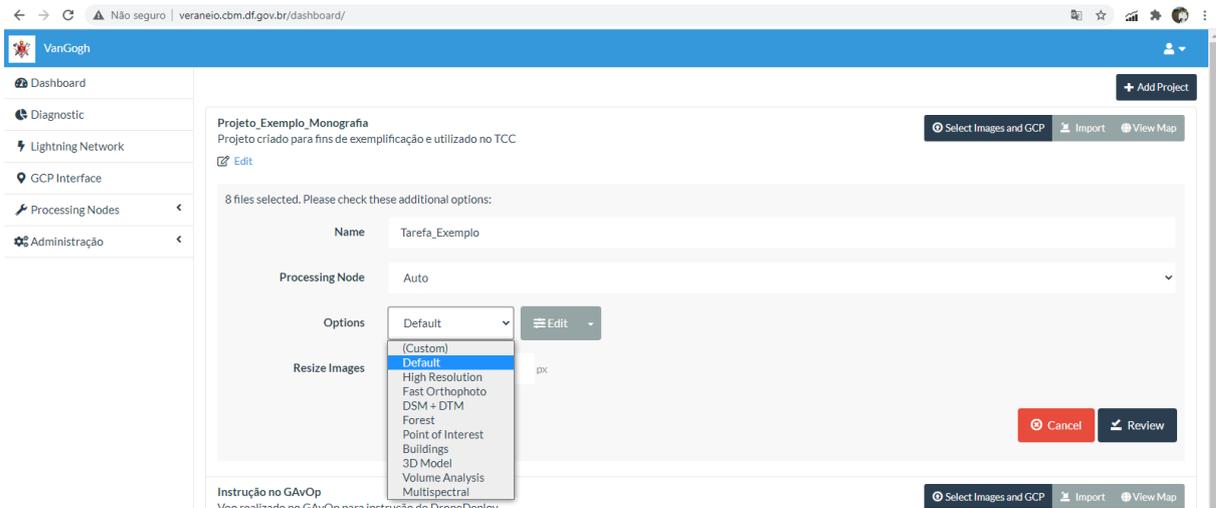
Figura B-8 – Tela de criação de nova tarefa relacionado ao projeto



Fonte: O autor.

A figura B-9 ilustra as opções pré-definidas de processamento. Essas opções visam uma configuração padrão e a agilidade para iniciar o processamento, contudo, de acordo com a finalidade das imagens restituídas, podem ser selecionadas opções avançadas de processamento, conforme demonstra pela figura B-10.

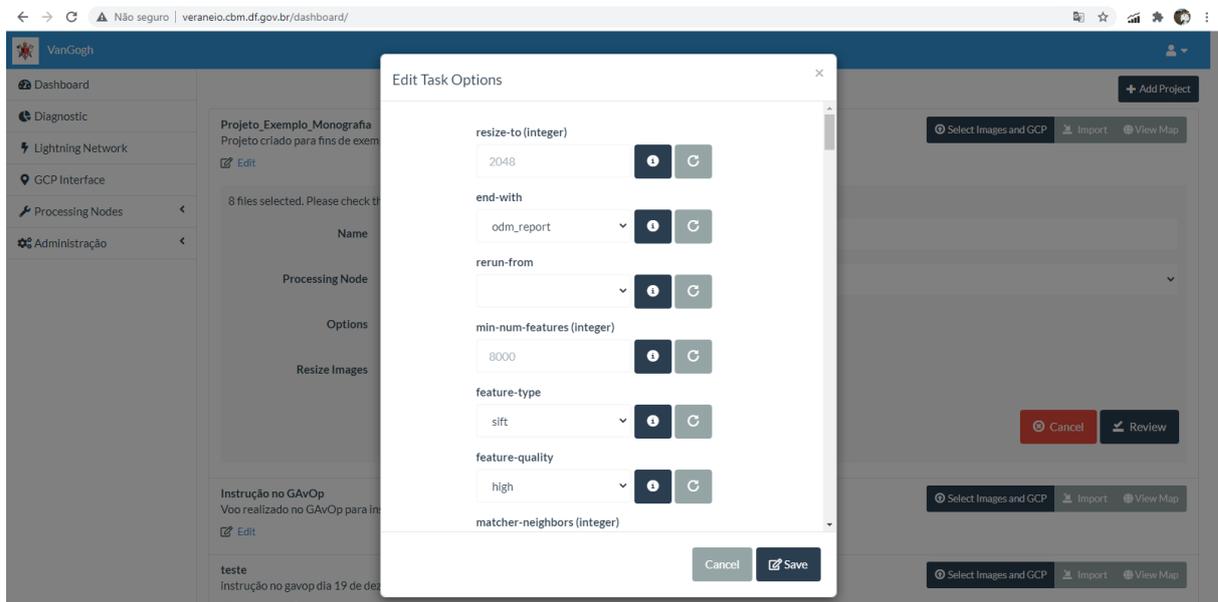
Figura B-9 – Opções pré-definidas de processamento



Fonte: O autor.

Conforme já mencionado, a figura B-10 demonstra opções avançadas de configuração para o processamento das imagens. Podem ser selecionadas opções que tornem as imagens restituídas de maior ou menor qualidade, o que irá refletir no tempo de processamento.

Figura B-10 – Opções de configurações de processamento



Fonte: O autor.

A figura B-11 demonstra o andamento do processamento da tarefa.

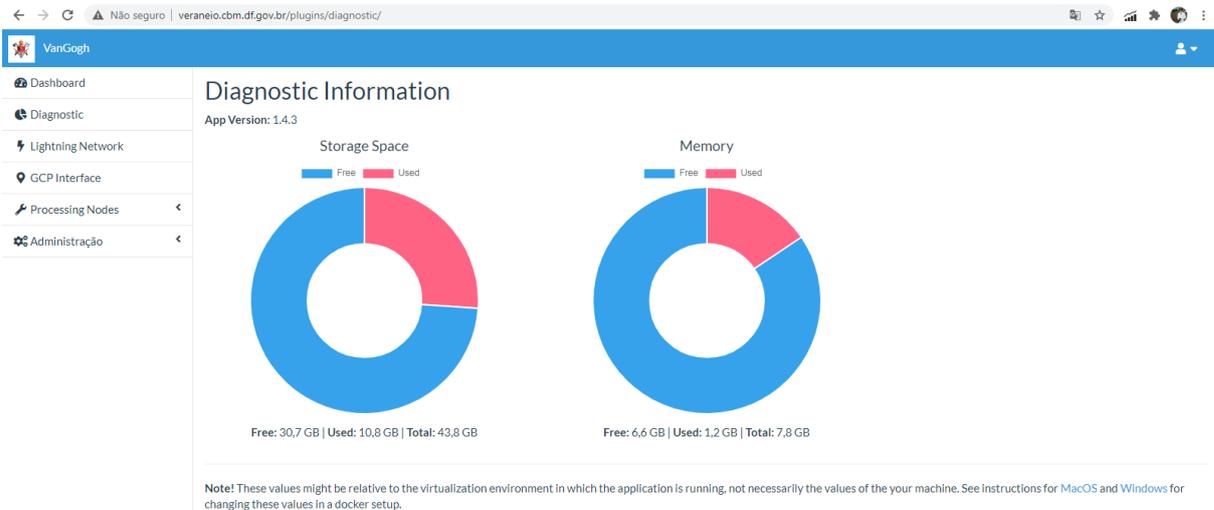
Figura B-11 – Tela de processamento



Fonte: O autor.

A figura B-12 demonstra a tela de diagnóstico do sistema, onde é possível verificar a versão do aplicativo, bem como consumo de memória RAM e espaço em disco no servidor.

Figura B-12 – Tela de diagnóstico do sistema



Fonte: O autor.