

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA ÁREA III
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA

SAMARA PINHEIRO FERREIRA

ANÁLISE DA QUALIDADE CARTOGRÁFICA DE PRODUTOS
GERADOS POR RPAS MULTI-ROTOR DE PEQUENO PORTE

Goiânia, GO
JANEIRO/2022

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Samara Pinheiro Ferreira

Matrícula: 20181011190371

Título do Trabalho: **ANÁLISE DA QUALIDADE CARTOGRÁFICA DE PRODUTOS GERADOS POR RPAS MULTI-ROTOR DE PEQUENO PORTE**

Autorização - Marque uma das opções

- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data 31/12/2022 (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

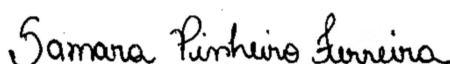
- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☒ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 24 / 02 / 2022.
Local Data



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

SAMARA PINHEIRO FERREIRA

**ANÁLISE DA QUALIDADE CARTOGRÁFICA DE PRODUTOS
GERADOS POR RPAS MULTI-ROTOR DE PEQUENO PORTE**

Projeto do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia
Cartográfica e de Agrimensura do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Campos Macedo

Goiânia, GO
JANEIRO/2022

F383a Ferreira, Samara Pinheiro.

Análise da qualidade cartográfica de produtos gerados por RPAS multi-rotor de pequeno porte / Samara Pinheiro Ferreira. – Goiânia : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2022.

49f.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Campos Macedo.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Departamento Acadêmico da Área III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Contém apêndice.

1. Aerofotogrametria. 2. Drones. 3. Qualidade cartográfica. I. Macedo, Fábio Campos (orientador). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD 629.132 6

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Lana Cristina Dias Oliveira CRB1/ 2.631

Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

ATA Nº ECA 07 - TCC/2021.2

ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA / Câmpus Goiânia

ATA DA SESSÃO PÚBLICA VIRTUAL DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos oito dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e dois, às 16:00 horas, na sala virtual meet.google.com/cqt-nztu-obc, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso da Graduanda Samara Pinheiro Ferreira (matrícula 20181011190371) do curso de Bacharelado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, do Departamento III, Câmpus Goiânia, do Instituto Federal de Goiás, no segundo semestre do ano de dois mil e vinte e um. A banca foi composta pelos seguintes membros:

- Fábio Campos Macedo (Professor-Orientador)
- Leomar Rufino Alves Júnior (Professor-Externo)
- Max Well de Oliveira Rabelo

sob a presidência do primeiro. O trabalho de conclusão de curso tem como título “Análise da qualidade cartográfica de produtos gerados por RPAS multi-rotor de pequeno porte”, sob orientação do Prof. Fábio Campos Macedo. Após a apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso, tendo sido a autora arguida pela Banca Examinadora, a nota obtida foi 9,6 (nove vírgula seis).

Encerrou-se a sessão às 17 horas e 30 minutos. Eu, Profa. Marina Alberti Macedo, dato e assino a presente ata que segue assinada por todos os membros da Banca Examinadora.

Prof. Marina Alberti Macedo (Assinado eletronicamente)

Prof. Fábio Campos Macedo (Assinado eletronicamente)

Prof. Leomar Rufino Alves Júnior (Assinado eletronicamente)

Prof. Max Well de Oliveira Rabelo (Assinado eletronicamente)

Documento assinado eletronicamente por:

- Marina Alberti Macedo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 08/02/2022 17:18:14.
- Leomar Rufino Alves Junior, TECNICO DE LABORATORIO AREA, em 08/02/2022 17:17:56.
- Max Well de Oliveira Rabelo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 08/02/2022 17:17:49.
- Fabio Campos Macedo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 08/02/2022 17:17:17.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/02/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 243213

Código de Autenticação: b47a9dae0a



AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar aqui.

Aos meus pais Francisco e Marcilene, por terem me concedido o milagre que é a vida. Por mostrarem a cada dia que essa trajetória não é fácil e hoje percebo como teria sido impossível sem eles. Agradeço eternamente por todas as oportunidades que me deram, muitas vezes tirando de si para dar a mim, sem vocês não estaria onde estou agora. Todo amor doado, toda esperança depositada, todo sermão educativo, todo olhar carinhoso e compreensivo. Mil vezes obrigada, sem vocês, não sou.

A todos os familiares que sempre estiveram no meu caminho, me ajudando, compreendendo minhas falhas e levantando minha autoestima. A minha irmã, Suellen, por ajudar a me tornar uma pessoa melhor a cada dia, testando sempre minha paciência. Amo você.

Aos meus amigos e colegas de faculdade, vocês deixaram tudo mais fácil. Sou grata pelos companheiros sempre dispostos a ajudar e a dividir. Aos amigos próximos, que aguentaram todas as minhas reclamações e desabafos no dia-a-dia. Sem vocês, seria tudo mais difícil.

Ao meu orientador, Fábio Campos Macedo, por ter aceitado compartilhar comigo seu conhecimento, sempre sendo uma luz em momentos de desespero e incentivo em momentos de desânimo. Ao professor Max Well de Oliveira Rabelo, por todo auxílio e tempo concedido a mim. Aos meus professores sempre tão dedicados a ensinar e passar o conhecimento que possuem. Ao Dr. Leomar Rufino Alves Junior e Dr. Joao Batista Cortes, que contribuíram com a licença do *software* Metashape PhotoScam e ao Empresário e CEO da 3DGeo Mapeamentos Bruno Holtz Gemignani que acreditou no projeto e contribuiu cedendo a licença do *software* Pix4d durante a realização do trabalho.

Obrigada.

“O fundamental é não perder a orientação. Sempre atento à bússola, continuou a guiar seus homens para o norte invisível, até que conseguiram sair da região encantada”.
(Gabriel García Márquez)

RESUMO

Cada vez mais se fala sobre a qualidade e constância dos produtos obtidos com o uso das tecnologias das Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS), sendo o ortomosaico um deles. Neste trabalho os ortomosaicos foram estudados pra se avaliar a qualidade e escalas dos produtos gerados para terem uma escala compatível com uma carta com Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) Classe A. A área de estudo está localizada no estado de Goiás, em sua capital Goiânia, no Jardim Novo Mundo. As imagens obtidas pelo RPAS passaram por nove processamentos, sendo seis deles em dois *softwares* comerciais e três em um *software* livre, e para cada software foram realizados processamentos com zero, quatro e oito pontos de controle. Para a validação dos mesmos, foram coletadas coordenadas (ϕ , λ , h) de 31 pontos pré-sinalizados utilizando um sistema de posicionamento GNSS e técnica de coleta RTK como referência. Com a verificação, pode-se observar que todos os ortomosaicos alcançaram Classe A para as escalas 1:5.000 excetos o ortomosaico sem pontos de controle do *software* OpenDroneMap e o ortomosaico com oito pontos de controle do software MetaShape PhotoScan que alcançaram a Classe A para escalas 1:10.000.

Palavras-chaves: qualidade geométrica. ortomosaico. RPAS. PEC.

ABSTRACT

More and more is being said about the quality and constancy of the products obtained using Remotely Piloted Aircraft (RPAS) technologies, orthomosaics being one of them. In this work the orthomosaics were studied to evaluate the quality and scales of the products generated to have a scale compatible with a topographic map with Standard of Cartographic Accuracy (SCA) Class A. The study area is located in the state of Goiás, in its capital Goiânia, in Jardim Novo Mundo. The images obtained by the RPAS underwent nine processes, six of them in two commercial software programs and three in a free software program, and for each software zero, four and eight control points were processed. For their validation, coordinates (ϕ , λ , h) of 31 pre-sigaled points were collected using a GNSS positioning system and RTK collection technique as reference. With verification, it can be seen that all orthomosaics achieved Class A for scales 1:5,000 except for the orthomosaic without control points from OpenDroneMap software and the orthomosaic with eight control points from MetaShape PhotoScan software which achieved Class A for scales 1:10,000.

Keywords: geometric quality. orthomosaic. RAPS. PEC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Phantom 4.	18
Figura 2 - Modelos de alvos.	20
Figura 3 - Sobreposições longitudinal.	21
Figura 4 - Sobreposição lateral.	21
Figura 5 - Localização da área de estudo.	25
Figura 6 - Fluxograma metodológico.	27
Figura 7 – Modelo de alvo.....	28
Figura 8 – Distribuição dos pontos.....	29
Figura 9 – Leitura de pontos no Q-gis.....	31
Figura 10 – Gráfico de dispersão sem pontos de controle.....	34
Figura 11 – Gráfico de dispersão com quatro pontos de controle.....	35
Figura 12 – Gráfico de dispersão com oito pontos de controle.....	36
Figura 13 – Gráfico das discrepâncias horizontais sem pontos de controle.....	37
Figura 14 – Gráfico das discrepâncias horizontais com quatro pontos de controle.....	38
Figura 15 – Gráfico das discrepâncias horizontais com oito pontos de controle.....	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Especificações Técnicas do Phantom 4.....	19
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da carta segundo a PEC, de 1984.....	23
Tabela 2 - PEC DIGITAL (PEC-PCD).	24
Tabela 3 - Normalidade das amostras	32
Tabela 4 - Estatística descritiva das distâncias	32
Tabela 5 - Resultados PEC-PCD.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARP	Aeronaves Remotamente Pilotadas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GLONASS	<i>Global'naya navigatsionnaya sputnikovaya sistema</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
MNE	Modelo Numérico de Elevação
PCD	Produtos Cartográficos Digitais
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
PPP	Posicionamento por Ponto Preciso
RINEX	<i>Receiver Independent Exchange Format</i>
RPAS	<i>Remotely Piloted Aircraft System</i>
VANT	Veículos Aéreos Não Tripulados

SUMÁRIO

2	INTRODUÇÃO	14
3	OBJETIVOS.....	15
3.1	Objetivo geral.....	15
3.2	Objetivos específicos	15
4	REVISÃO DA LITERATURA	16
4.1	Estado da arte da aerofotogrametria por RPAS.....	16
4.2	Levantamentos aerofotogramétricos com RPAS	17
4.2.1	Phantom 4	18
4.2.2	Aspectos gerais da fotogrametria	19
4.2.3	Procedimentos, planejamento, sobreposição e sinalização	19
4.3	Processamento de dados de levantamentos aerofotogramétricos.....	22
4.3.1	Procedimentos e etapas de processamento.....	22
4.3.2	<i>Softwares</i>	22
4.4	Qualidade de dados obtidos com RPAS.....	23
5	METODOLOGIA	25
5.1	Localização e caracterização da área de estudo.....	25
5.2	Material.....	26
5.3	Procedimentos metodológicos	27
5.3.1	Coleta de dados	28
5.3.2	Processamento e Tratamento dos Dados.....	29
5.3.3	Análises Estatísticas	30
5.4	Estatística descritiva das distâncias	32
5.5	Análise da acurácia e precisão	33
5.6	Discrepâncias horizontais.....	37
5.7	PEC-PCD	39
6	CONCLUSÃO	41

7	REFERÊNCIAS	42
	APÊNDICE A – HISTOGRAMA DOS VALORES DE DISCREPÂNCIA ENTRE OS CENÁRIOS.....	45

1 INTRODUÇÃO

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), define a Cartografia como um conjunto de estudos e operações científicas, técnicas e artísticas que, tendo como base os resultados de observações diretas ou a análise de documentação já existente, visa a elaboração de mapas, cartas e outros. Incluso nessas operações e técnicas está a aerofotogrametria, definida por Tommaselli (2009), como a obtenção de fotografia do terreno a partir de câmeras de precisão embarcadas em uma aeronave.

O *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS), também chamados de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), ou simplesmente drones, tem sua origem e desenvolvimento atrelados ao uso militar. O primeiro VANT remonta ao século 19, quando os austríacos utilizavam balões carregados com explosivos para atacar alvos inimigos (MUNARETO 2017). Já o primeiro VANT a jato controlado remotamente foi o Firebee, apresentado em 1951 e tinha como finalidade servir de alvo para o treinamento de pilotos de caça norte-americanos (BRUCH *et al.* 2019).

No Brasil, o projeto 100% nacional, foi o Arara (Aeronave de Reconhecimento Autônomo e Remotamente Assistida), e tinha como finalidade substituir os levantamentos aéreos agrícolas realizados com aeronaves convencionais (ALVES JÚNIOR, 2015).

Lima (2018) destaca que o VANT é um equipamento de alta tecnologia que viabiliza a obtenção de fotografias aéreas de forma prática, rápida e sem necessidade de piloto a bordo, possibilitando assim uma grande diversidade de aplicações como o mapeamento aéreo e o levantamento topográfico através da fotogrametria. Santos (2016) relaciona o crescimento da utilização do VANT nessas áreas com a facilidade de manuseio do instrumento, ao acesso, compartilhamento entre os diferentes usuários, agilidade e principalmente a vantagem econômica.

Pedreira (2017) diz que os avanços tecnológicos do VANT “aplicados na extração de informações geoespaciais através de levantamentos aerofotogramétricos, tem proporcionado uma ferramenta muito eficaz para a produção de modelos digitais de elevação (MDE).

Com isso, esta pesquisa pretende avaliar o processamento e geração de Modelo Digital de Superfície (MDS) e Ortomosaico considerando a coleta de dados utilizando drone de pequeno porte do tipo multi-rotor em uma área urbana. Em específico compara os resultados obtidos através de ferramentas gratuitas e comerciais com o objetivo de reduzir custos dos serviços de campo, mas ao mesmo tempo manter a qualidade dos produtos gerados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

A proposta do trabalho consiste em analisar a qualidade dos ortomosaicos e do Modelo Digital de Superfície - MDS, gerados a partir de dados obtidos por RPAS do tipo multi-rotor (asa rotativa) e processados em *softwares* comerciais e livres.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos propostos neste trabalho são:

- Analisar as influências externas durante o processo de coleta dos dados utilizando RPAS do tipo asa móvel;
- Avaliar a qualidade dos produtos cartográficos de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC e Produtos Cartográficos Digitais- PCD classe A;
- Avaliar o efeito das diferentes quantidades de pontos de controle na qualidade dos produtos cartográficos processados pelos diferentes *softwares*;
- Analisar de forma comparativa pontos comuns entre os *softwares* comerciais versus livres
- Verificar a relação custo-benefício do usuário utilizando os diferentes *softwares*.
 - Caracterização de interfaces
 - Tempo de processamento
 - Facilidade de uso em ambiente

3 REVISÃO DA LITERATURA

Para realização deste trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os seguintes conceitos que envolvem esse trabalho de conclusão.

3.1 Estado da arte da aerofotogrametria por RPAS

Há, atualmente, uma gama de produtos que podem ser gerados a partir de um levantamento aerofotogramétrico possibilitando a produção de diferentes produtos cartográficos, como por exemplo, mapas, cartas topográficas, modelos digitais de elevação dentre outros.

Segundo Cruz (2011), o Modelo Digital da Superfície (MDS) é uma das inúmeras terminologias para designar modelos que representem a superfície terrestre e seu relevo. O que diferencia o MDS de um Modelo Digital de Terreno (MDT) é o fato de que nele são acrescentados à superfície qualquer objeto que esteja sobre ela, ou seja, carros, árvores e construções, que interferem na produção do modelo digital.

O ortomosaico é o resultado da união digital de ortofotos, que são imagens que foram ortorretificadas, ou seja, retificadas e tiveram os pixel ortoprojetados em um plano, a partir de informações de altura obtidas em um modelo numérico de elevação (MNE) (ANDRADE, 2003; BRITO e COELHO FILHO, 2007).

Devido a essas características, os ortomosaicos permitem a restituição de feições planimétricas e, portanto, a elaboração de mapas temáticos ou plantas de situação com precisão centimétrica, rapidez e a baixo custo. (TORRES e PATRIOTA, 2020).

Alves Júnior (2015) afirma que o uso de VANT tem se popularizado, “principalmente para atualização e confecção de mapas, em áreas longínquas ou pequenas onde o uso da fotogrametria convencional torna a execução do trabalho economicamente inviável”.

Para que se possa representar a superfície real do terreno foram utilizados os *softwares* de processamento como Pix4D e PhotoScan, que através de modelos de interpolação de pontos retiram esses objetos da superfície do terreno.

É importante ressaltar que os produtos elaborados a partir da aerofotogrametria necessitam de passar por uma análise de qualidade a fim de se definir em quais situações eles podem ser empregados, ou quais produtos podem ser considerados adequados.

Lopes (2019) desenvolveu uma pesquisa que tinha como objetivo principal aprofundar os estudos sobre a qualidade e constância dos dados obtidos com o uso das tecnologias das

Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), demonstrando a acurácia posicional do bloco fotogramétrico e procurando gerar Modelos Digital de Superfície (MDS) e Terreno (MDT) que representassem seguramente a área de interesse. Segundo o mesmo autor, neste trabalho, a área do estudo está localizada no Campus da Anhanguera Educacional no município de Leme, estado de São Paulo, Brasil. Foram feitos dois voos aerofotogramétricos utilizando a aeronave de modelo DJI Phantom 4 Pro, com linhas de voo em sobreposição de 80% frontal e 80% lateral, altura de voo de 100 metros, utilizando pontos de controle em solo com coordenadas geográficas obtidas com equipamentos com tecnologia *Global Navigation Satellite System* (GNSS) de precisão milimétrica, além do processamento de imagens com *software* especializado.

Concluiu-se nesse trabalho de Lopes (2019) que os produtos gerados podem ser utilizados em cartografia e gestão territorial e notou-se que incorporação da tecnologia de RPA é fundamental para obtenção de geoinformação de uma maneira mais rápida e mais acessível, sem deixar de lado a qualidade e constância de resultados, pois ficou exemplificada a necessidade de apoiar os dados em pontos georreferenciados.

3.2 Levantamentos aerofotogramétricos com RPAS

Na última década os chamados Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) tiveram um desenvolvimento significativo e se mostraram bastante presentes no meio civil. Porém foi desenvolvido em grande escala durante a Segunda Guerra Mundial, principalmente para fins militares (AGOSTINHO e OLIVEIRA FILHO, 2011).

O RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System* ou Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada) refere-se ao que antes era conhecido como VANT, aeronave cujo piloto opera a remotamente de uma interface qualquer (computador, dispositivo digital, controle remoto, etc.).

Segundo Moutinho (2015), os modelos de VANT utilizados para levantamentos geoespaciais, dois são mais comuns: os multi-rotores e os de asa fixa. O referido autor afirma que possivelmente o mais conhecido entre eles são os multi-rotores, atualmente. Devido a sua capacidade de planar e levantar voo verticalmente estes são úteis para decolagem em locais de difícil acesso e tem fácil aplicação na aerofotogrametria. Inicialmente os multi-rotores foram desenvolvidos para fins de entretenimento e para o setor de fotografia comercial. Porém, com a expansão do mercado e avanços na tecnologia de processamento, foram adaptados para utilização no mapeamento aéreo.

Para Siebert e Teizer (2014) os helicópteros de quatro hélices levam vantagens com relação aos outros modelos de VANT, em função do baixo custo operacional de investimento inicial e de manutenção. São equipamentos de fácil pilotagem, porém uma de suas limitações é a autonomia de voo, com bateria que dura apenas de 20 a 30 minutos, dependendo do equipamento que está sendo utilizado. Outro fator limitante é o fato de que eles são mais vulneráveis às condições atmosféricas, tais como vento frontal e lateral e chuva de média a alta intensidade.

Os drones multi-rotores são classificados, de acordo com sua construção, com base no número de rotores que possuem em sua plataforma e podem ser do tipo Quadricóptero, Hexacóptero e Octacóptero, sendo os Quadricópteros os modelos mais comuns (Linhares, 2016). Neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), foi utilizado o equipamento denominado Phantom 4.

3.2.1 Phantom 4

O modelo Phantom 4 é um drone fabricado pela empresa chinesa DJI e equipado com câmera de 12 Megapixels, sistema GNSS capaz de captar sinais dos sistemas *Global Positioning System* (GPS) e *Global'naya navigatsionnaya sputnikovaya sistema* (GLONASS) e possui uma autonomia de voo médio de 30 minutos por bateria. A Figura 1 mostra o modelo de RPA utilizado neste TCC.



Fonte: DJI (2021)¹

¹ DJI. *Phantom Series*-Imagens aéreas com nível profissional, 2021. Site comercial. Disponível em: <https://www.dji.com/br/products/phantom?site=brandsite&from=nav>. Acesso em: 20, jun. 2021.

O Quadro 1 mostra as características principais do equipamento Phantom 4.

Quadro 1 - Especificações Técnicas do Phantom 4.

Autonomia de voo	30 Minutos
Distância de controle	7.000 metros
Velocidade máxima	72 Km/h
Resolução de vídeo	4K 60FPS, 1080p 120FPS
Sensor da câmera	20
Estabilização	Gimbal de 3 eixos (pitch, roll, yaw)
Sensores de detecção	Frontal, traseira e inferior
Armazenamento de dados	Micro SD até 128GB
Controle por gestos	NÃO
Live Stream	SIM
GPS	SIM
Peso montado	1388 grama

Fonte: DJI (2021)

3.2.2 Aspectos gerais da fotogrametria

Segundo Tommaselli (2009), em 1842 Francis Arago, diretor do Observatório de Paris, demonstrou a possibilidade de utilização de imagens fotográficas para auxiliar levantamentos topográficos e o uso da fotografia aérea se concretizou com a ciência chamada Aerofotogrametria. Somente após o advento da concepção do avião e com a difusão dos estudos da fotogrametria que foi possível, pela primeira vez, a utilização de fotografias aéreas para a realização de mapeamentos. Essa técnica teve grande evolução durante o período das Guerras Mundiais, sendo utilizada principalmente para fins militares.

Kangas *et al.* (2018) afirma que a fotogrametria digital tem se apresentado como uma válida alternativa devido ao grau de acurácia que proporciona e pelo baixo custo financeiro.

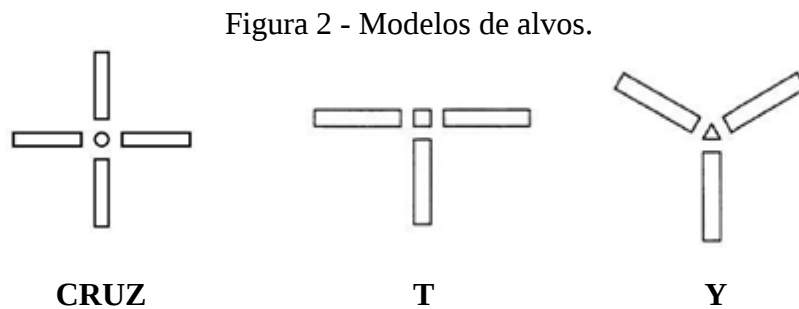
3.2.3 Procedimentos, planejamento, sobreposição e sinalização

Corrêa e Quaresma (2018) apresentam os “procedimentos básicos a serem executados, dentro e fora do escritório e os produtos gerados a partir de software de processamento de imagem, o qual faz junção de ciência (fotogrametria), tecnologia (DRONES) e engenharia (topografia)”.

A primeira etapa seria o planejamento do voo. Esta etapa consiste no reconhecimento da área, com auxílio de uma imagem de satélite, planejamento da distribuição dos pontos de apoio, altitude e velocidade de voo. É nessa etapa também que são estabelecidas a sobreposição frontal e lateral das imagens.

Segundo Alves Júnior (2015), os pontos de apoio e pontos de verificação tem como objetivo serem facilmente identificáveis nas fotografias e nos ortomosaicos e devem ser distribuídos de forma homogênea na área de estudo. Posteriormente os mesmos serão ocupados por receptores GNSS empregados para a aquisição das coordenadas geográficas precisas.

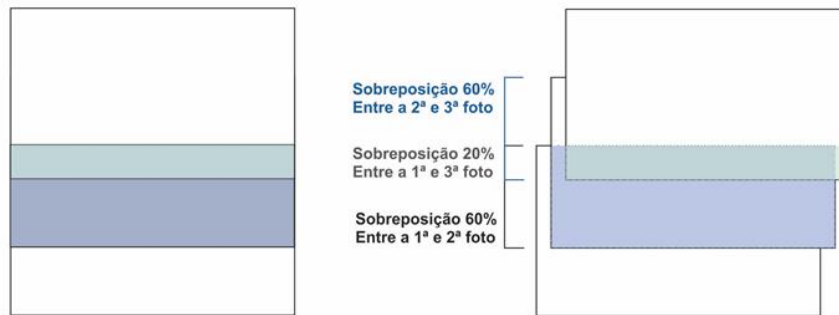
Estes alvos podem ter tamanhos e formas diferentes desde que seja possível as identificações do seu centro nas imagens pois serão utilizados como parâmetros na fase de processamento. A Figura 2 mostra alguns modelos de alvo.



Fonte: Adaptado de US Army (2002)

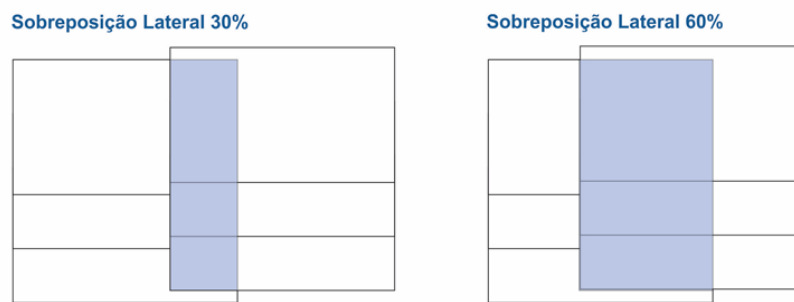
O processo de sobreposição das imagens é um dos mais importantes nessa etapa, pois é quem vai possibilitar uma maior confiabilidade aos produtos gerados. Segundo Wolf e Dewitt (2000) a sobreposição mínima exigida na fotogrametria é de 60% de sobreposição longitudinal e de 30%, na sobreposição lateral, garantindo assim o recobrimento total da área. Nas Figuras 3 e 4 são mostrados os tipos de sobreposição longitudinal e lateral.

Figura 3 - Sobreposição longitudinal.



Fonte: Droneng Drones e Engenharia (<https://blog.droneng.com.br/buracos-no-ortofotomosaico-como-evitar/>. Acesso em: 20 jul 2021.)

Figura 4 - Sobreposição lateral.



Fonte: Droneng Drones e Engenharia (<https://blog.droneng.com.br/buracos-no-ortofotomosaico-como-evitar/>. Acesso em: 20 jul 2021.)

A segunda etapa está relacionada ao voo e tomada das imagens. Nessa etapa é comum a utilização de *software* especializado em planejamento de voo automatizado que atende a todos os parâmetros anteriores, *software* esse que normalmente acompanha o drone, no processo de compra do mesmo para fins profissionais. É importante que iniciado o voo, o operador acompanhe todo o trajeto no visor do equipamento, para garantir que as imagens estejam sendo tomadas de forma satisfatória.

A terceira etapa é a obtenção das coordenadas dos pontos de apoio. Paralelamente ao voo é necessário fazer o levantamento dos pontos previamente sinalizados no terreno com tecnologia GNSS, para então realizar o georreferenciamento da imagem. Andrade (2003) frisa a importância dos pontos de apoio fotoidentificáveis, sendo fundamental não só a sua quantidade, mas também a distribuição apropriada desses pontos na área de interesse. Segundo Gemaél (1994), amostras com 30 ou mais elementos tendem a apresentar uma distribuição normal. Estes devem ser distribuídos de forma homogênea na área de estudo a fim de auxiliarem no controle planimétrico e altimétrico dos produtos obtidos.

3.3 Processamento de dados de levantamentos aerofotogramétricos

Nesse tópico será abordado os procedimentos e etapas de processamento dos dados obtidos por RPAS e os softwares empregados.

3.3.1 Procedimentos e etapas de processamento

Logo após a aquisição das fotografias da região determinada, estas serão processadas por meio do *software* escolhido para a obtenção e análise dos produtos cartográficos propostos. Dentre os principais destacam-se: o Modelo Digital de Terreno (MDT), o Modelo Digital de Superfície (MDS), curvas de nível e ortomosaico.

Primeiramente é realizado o alinhamento das fotografias captadas pelo VANT, são identificados pontos correspondentes entre as imagens, é gerada uma nuvem de pontos esparsos e esta possibilita a entrada das coordenadas dos pontos de controle para o georreferenciamento. Em seguida é feita uma interpolação criando uma nova nuvem de pontos mais densa onde é possível visualizar uma representação adequada do terreno e, por fim, são criados o MDT, o MDS e o ortomosaico.

Os programas utilizados nessa etapa de processamento possuem versões comerciais (pagas) e versões gratuitas e/ou *Open Sources*.

3.3.2 Softwares

Devido ao avanço da fotogrametria digital, novos softwares foram construídos com a mais recente evolução de algoritmos de visão computacional, trazendo soluções fotogramétricas, em conjunto com veículos aéreos não tripulados, disponíveis para mais pessoas, desde o hobby até aos fins profissionais (MOUTINHO, 2015).

É fato que os principais desenvolvedores de programas publicaram soluções comerciais. No entanto, atualmente, vários programas são disponibilizados para download e uso gratuito, contanto que encontre o software de fotogrametria mais adequado para a produção de produto cartográfico específico.

Moutinho (2015), no seu estudo, analisou diversas regiões de interesse, processando os dados coletados com 3 softwares: PhotoScan, Pix4Dmapper e MicMac. Os dois primeiros são os mais vendidos em termos comerciais e o último de código aberto para comparar recursos entre eles, a fim de avaliar o seu desempenho em cenários distintos.

O *software* MicMac foi capaz de alcançar os melhores resultados na reconstrução fotogramétrica, o de código aberto tem os piores resultados na equalização radiométrica e construção de mosaico, mas, por outro lado, apresenta alguns dos melhores resultados com limites de edifícios, algo que Pix4Dmapper falha na maioria das vezes. Por outro lado, o PhotoScan revelou ser o mais consistente no desempenho global em georreferenciação, reconstrução e representação visual.

Outra solução de código aberto para processamento de imagens de drones aéreos é o OpenDroneMap. Ele transforma o processamento de fotografias digitais não métricas, aquelas obtidas por câmeras digitais de uso doméstico e adaptadas para esse tipo de trabalho, em dados geográficos tridimensionais que podem ser usados em combinação com outros conjuntos de dados geográficos.

3.4 Qualidade de dados obtidos com RPAS

Existem diferentes métodos para se avaliar a qualidade posicional dos produtos cartográficos produzidos por Vant, a mais usual é a baseada em SOUZA (2006), que segue as seguintes etapas: identificação de erros grosseiros, e sua remoção; Testes de Tendência e de Precisão e aplicação da Norma Brasileira, o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC.

No Brasil, tem-se o Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, “estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional”. O decreto dispõe sobre os procedimentos que devem ser seguidos para elaborações cartográficas, inclusive apresenta os valores de Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e o Erro Padrão (EP) para planimetria e altimetria para então classificá-las como Classe A, B ou C. A Tabela 1 mostra as classificações.

Tabela 1 - Classificação da carta segundo a PEC, de 1984.

Classe	Planimetria		Altimetria	
	PEC (mm)	EP (mm)	PEC (mm)	EP (mm)
A	0,5 x Ec.	0,3 x Ec.	1/2 x Eq.	1/3 x Eq.
B	0,8 x Ec.	0,5 x Ec.	3/5 x Eq.	2/5 x Eq.
C	1,0 x Ec.	0,6 x Ec.	3/4 x Eq.	1/2 x Eq.

Fonte: Brasil, 1984

Onde:

Ec. – Escala

Eq. – Equidistância

Ainda no art. 8º, do Decreto nº 89.817/1984, as cartas quanto à sua exatidão devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC, os seguintes critérios:

- 1) Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfico Planimétrico, estabelecido;
 - 2) Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas-de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfico Altimétrico estabelecido.
- § 1º - Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos.

Rocha (2002) afirma que devido aos avanços da informática e os recursos tecnológicos utilizados na elaboração de uma carta fizeram com que as mesmas tivessem uma qualidade elevada e, portanto, os valores de PEC devem ser atualizados a essa nova realidade.

Assim, a Comissão Nacional de Cartografia estipulou alguns parâmetros para o Padrão de Exatidão Cartográfico Digital (PEC-PCD), como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - PEC DIGITAL (PEC-PCD).

PEC- PCD	1:1000		1:2000		1:5000		1:10000	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70
B	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,00	3,00
C	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,00	5,00
D	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00

Fonte: Adaptado de DSG, 2016

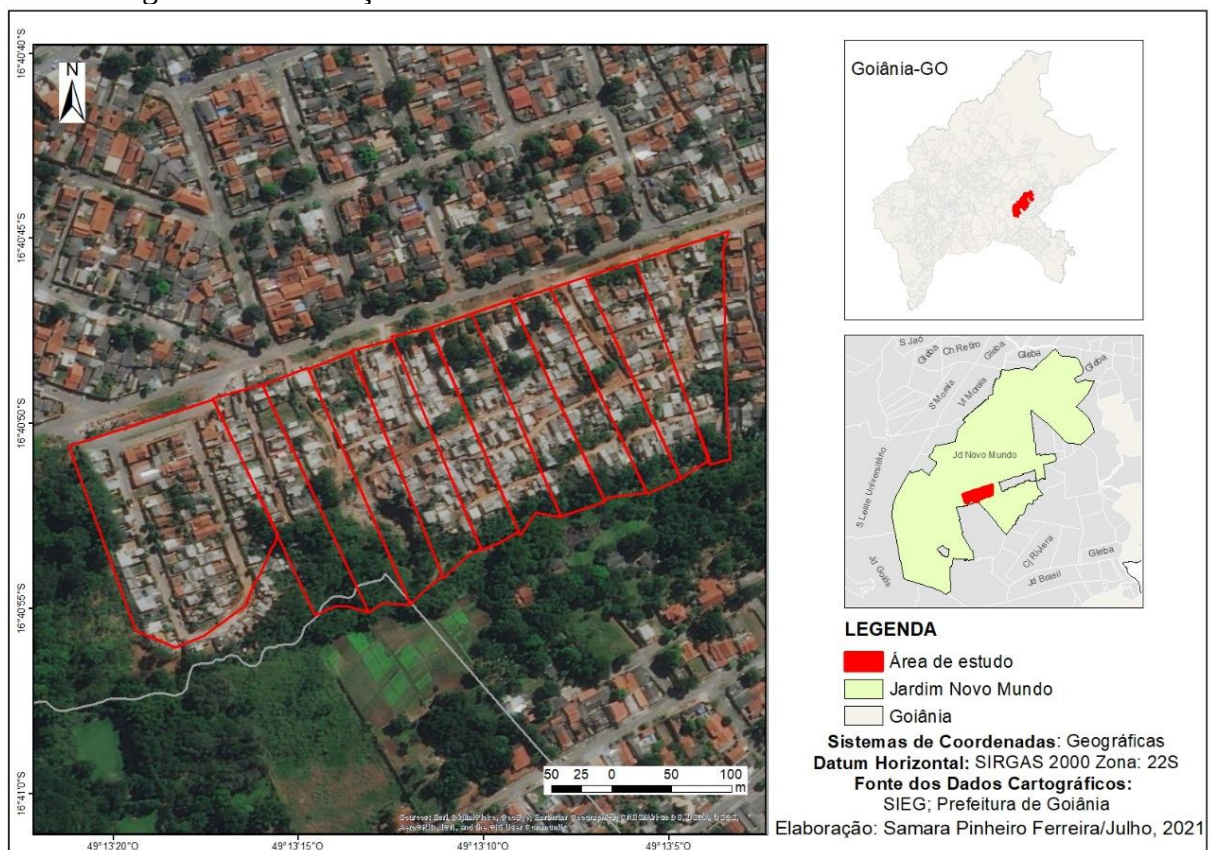
4 METODOLOGIA

Esta pesquisa é classificada, quanto à finalidade, como do tipo aplicada, quanto aos objetivos, exploratória e quanto à abordagem do problema, quantitativa. Nessa etapa serão abordados a localização e caracterização da área de estudos, o material a ser utilizado no trabalho e os procedimentos metodológicos.

4.1 Localização e caracterização da área de estudo

O local de estudo do presente trabalho está localizado no Jardim Novo Mundo, região Leste da cidade de Goiânia, capital do estado de Goiás, como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Localização da área de estudo – Chácaras no Jardim Novo Mundo.



Fonte: A autora (2021)

A área em questão foi ocupada por moradores em situação de vulnerabilidade socioeconômica no início de 2008 e não apresenta projeto urbanístico. As moradias construídas no local, não respeitam as distâncias mínimas das Áreas de Proteção Permanente (APP) do

Córrego Buriti, onde já existia uma grande erosão, e as faixas de domínio da rede de alta tensão, sendo assim ferem uma série de legislações de ocupação e uso do solo (IFG-SPU, 2020).

Os dados utilizados no trabalho foram adquiridos pelo projeto de extensão do Câmpus Goiânia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG, intitulado “Levantamentos e apoio a projetos para regularização fundiária, em parceria com a Superintendência do Patrimônio da União em Goiás - SPU-GO, em imóveis da União invadidos, localizados no Jardim Novo Mundo em Goiânia-GO”, e teve como objetivo contribuir para a reorganização da área, por meio de uma série de levantamentos e coleta de dados em campo e geração de informações, com vistas à transformação social e à melhoria da qualidade de vida da comunidade local (IFG-SPU, 2020).

4.2 Material

Os equipamentos e materiais a serem utilizados no presente trabalho serão apresentados conforme as duas etapas de desenvolvimento: levantamento de campo e processamento e tratamento dos dados.

Na primeira etapa – levantamento de campo, foram utilizados:

- 01 RPAS de pequeno porte do tipo multi-rotor, da marca DJI, modelo Phantom 4 para o levantamento aerofotogramétrico;
- 01 par de receptores GNSS GR3 – Topcon;
- 01 molde para os 30 alvos pré-sinalizados que serão pintados diretamente no solo;
- 01 galão de tinta PVA para os alvos pré-sinalizados;
- 01 (uma) Marreta;
- Piquetes de madeira; e,
- Estação fotogramétrica: Processador Intel Core i7-4770 CPU @3.40GHz e Placa de vídeo NVIDIA Quadro K4000.

Na segunda etapa – processamento e tratamento dos dados serão utilizados:

- *Software* Pix4Dcapture, desenvolvido pela empresa Suíça de mesmo nome, para a elaboração do plano de voo e o Pix4Dmapper processamento fotogramétrico;
- *Software* Agisoft PhotoScan, também conhecido como Agisoft Metashape, desenvolvido pela empresa Russa Agisoft;
- *Software* Open Drone Map, que pode ser usado tanto off-line como em nuvem, que possui licença gratuita ou paga (cerca de USD 57,00).

- *Software* Meshroom, desenvolvido pela empresa AliceVision. Inicialmente foi desenvolvido apenas como um *software* de fotogrametria, posteriormente foi adaptado para a aerofotogrametria com RPAS. Possui licença gratuita.

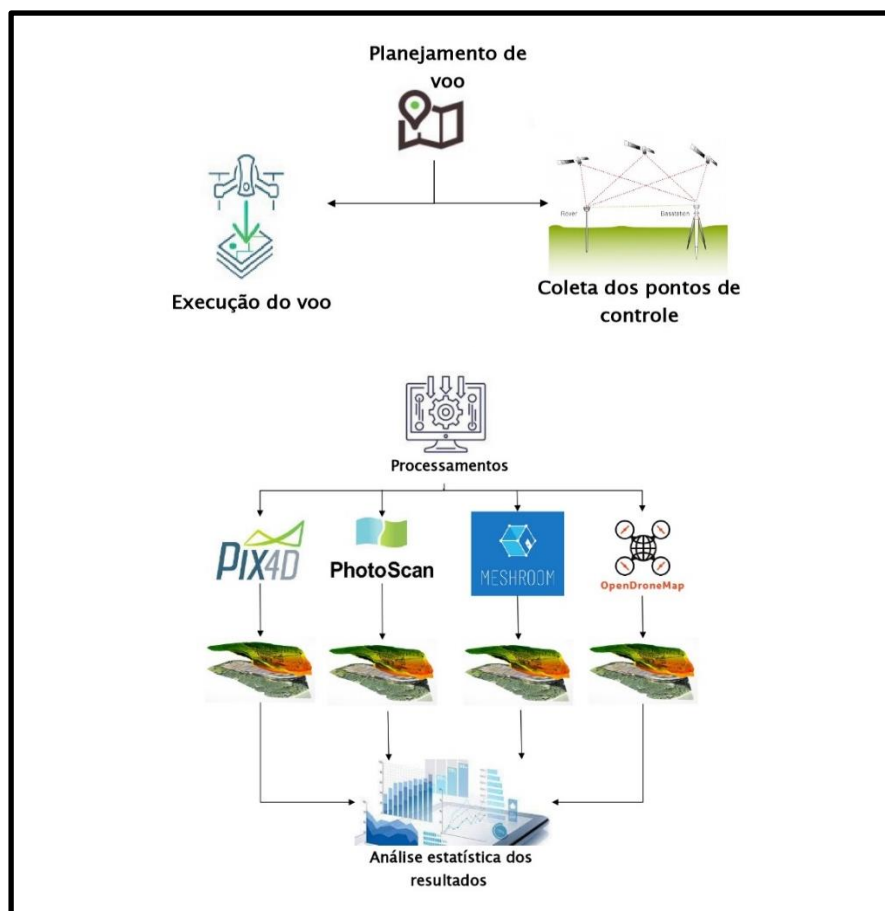
- *Software* Qgis, aplicativo profissional GIS Livre e de Código Aberto, construído a partir de Software Livre e de Código Aberto, Freeand Open Source Software (FOSS), multiplataforma de sistema de informação geográfica que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados. Será utilizado para confecção dos mapas.

- Linguagem de programação *Python* no ambiente Google COLAB.

4.3 Procedimentos metodológicos

Os principais procedimentos metodológicos realizados para a execução do presente estudo são mostrados no fluxograma da Figura 6.

Figura 6 - Fluxograma metodológico



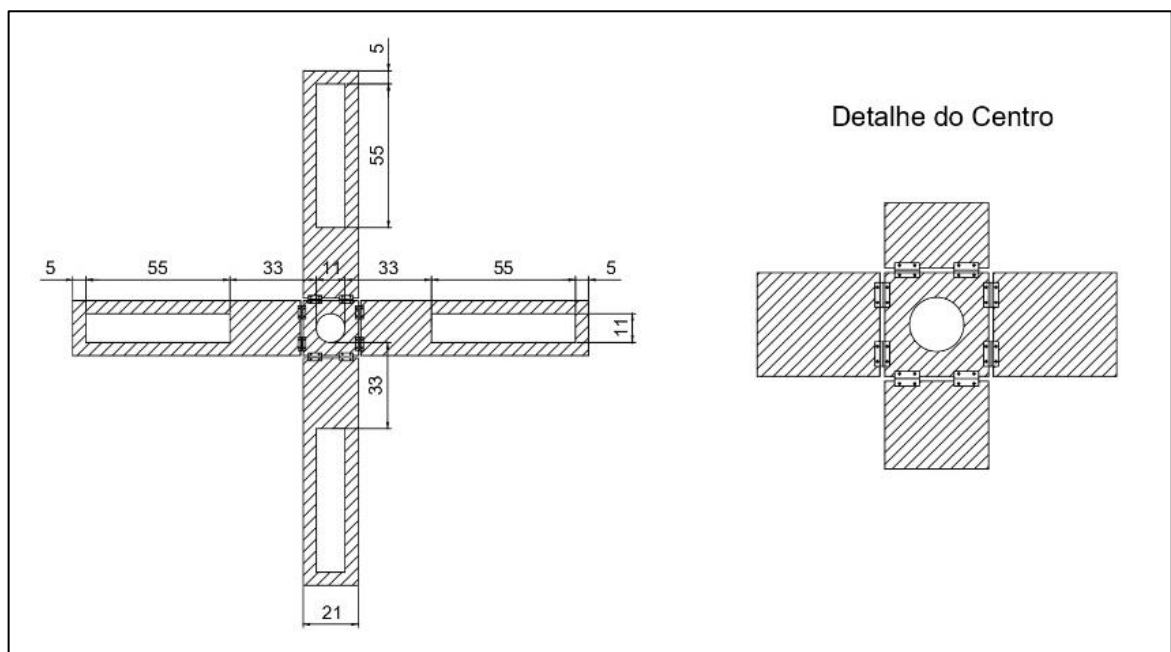
Fonte: A autora (2021)

4.3.1 Coleta de dados

A seguir serão descritas as etapas já realizadas, que envolveram planejamento e execução do voo bem como a coleta dos pontos de controle.

A primeira etapa consiste na identificação da área (Google Earth), a escolha dos pontos, de controle levando em consideração vértices de fácil identificação nas imagens e elaboração do plano de voo no software Pix4Dcapture. Posteriormente foi realizada a implementação dos pontos de controle in loco. Os alvos foram pintados diretamente no solo, com tinta PVA na cor branca e com o auxílio de um molde de madeira no formato do alvo (circunferência de 30 cm de diâmetro e 4 faixas laterais) como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Modelo de alvo.

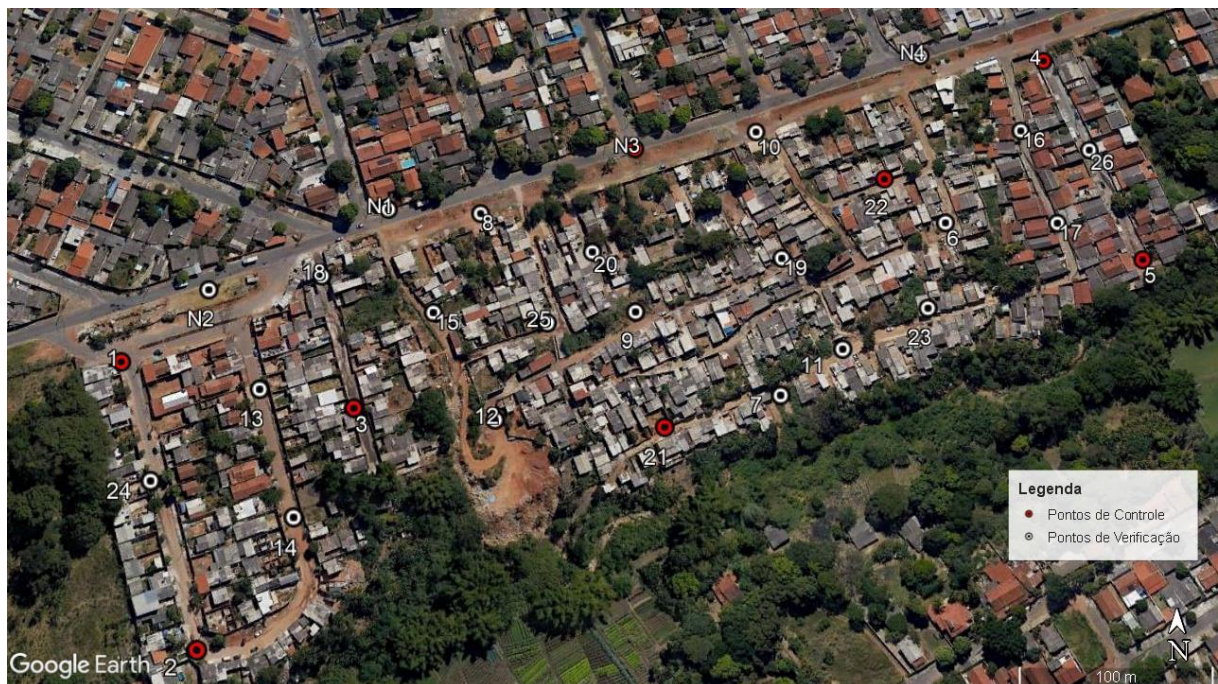


Fonte: IFG-SPU, 2020

A segunda etapa foi a execução do voo com o Phantom 4 e paralelamente a coleta das coordenadas através do método estático-rápido dos pontos previamente escolhidos e sinalizados utilizando um par de receptores GNSS modelo GR3 fabricados pela empresa Topcon, com o tempo de ocupação variando de 5 (cinco) a 8 (oito) minutos por ponto. Posteriormente esses foram processados utilizando o serviço online, disponibilizado pelo IBGE denominado Posicionamento por Ponto Preciso – PPP, que é um serviço online gratuito para o pós-processamento de dados GNSS. Ele permite que os usuários obtenham coordenadas

referenciadas ao Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas SIRGAS2000 através de um processamento preciso, sendo necessário apenas que se informe o arquivo de observação no formato *Receiver Independent Exchange Format* (RINEX), a altura da antena e um e-mail válido. Ao final do processamento será disponibilizado um link para obtenção dos arquivos com os resultados. (IBGE 2021). A Figura 8 mostra a distribuição desses pontos.

Figura 8 - Distribuição dos pontos de controle e verificação



Fonte: IFG-SPU, 2020

4.3.2 Processamento e Tratamento dos Dados

Na terceira etapa foram realizados então os processamentos desses dados utilizando três dos quatro softwares escolhidos, sendo dois comerciais e um livre e em ambos os *softwares* foram gerados três ortomosaicos distintos. O primeiro processamento não utilizou nenhum ponto de controle (ncp), ou seja, o mosaico foi gerado utilizando somente os parâmetros de orientação exterior oriundos do sistema de navegação e do sistema inercial a bordo do RPAS. O segundo foi gerado utilizando-se quatro pontos de controle (4cp) e o terceiro foi gerado utilizando-se oito pontos de controle (8cp), totalizando assim nove processamentos. Em ambos os cenários os procedimentos para obtenção dos produtos finais foram basicamente os mesmos.

Primeiramente foi feita a inserção das fotografias obtidas no voo dentro do *software*, a importação dos pontos de controle (no caso dos dois últimos cenários) e de verificação e a importação das coordenadas das fotografias. Posteriormente foi realizada uma análise visual

das imagens a serem utilizadas, onde poderia ser identificada e retirada imagens com algum tipo de ruído, tais como imagens desfocadas, imagens muito claras ou muito escuras e posteriormente foi analisado se tais imagens obedeceram aos padrões de sobreposição esperados.

Em seguida, foi realizado o alinhamento das fotografias e a procura por pontos homólogos presentes nas imagens fazendo a combinação dos mesmos (também no caso dos dois últimos cenários). Nesse passo, foi gerada uma nuvem de pontos com a posição em que a câmara estava no momento da tomada de cada fotografia.

Para execução dos próximos passos no caso dos cenários com pontos de controle, foi preciso identificar manualmente o centro dos alvos verificando se os mesmos estavam na posição correta. Em seguida foram associados a estes pontos, as coordenadas planialtimétricas coletadas com o auxílio do GNSS. Os pontos de verificação foram utilizados para avaliar a qualidade dos produtos gerados.

Após a marcação dos pontos de controle, foi realizada a otimização e calibração dos parâmetros de orientação interior e em seguida gerada a nuvem densa de pontos, onde o programa cria pelas posições dos pontos de controle, as informações de profundidade para cada imagem, melhorando assim a acurácia dos dados.

A fase seguinte foi a construção dos modelos digitais de superfície (MDS) e de terreno (MDT) por meio da reconstrução da malha tridimensional que representa a superfície do objeto. Por fim então foram gerados os ortomosaicos da área de estudo e o relatório completo dos procedimentos executados dentro do programa, nesse relatório é possível obter dados como GSD, número de fotografias utilizadas, altitude do voo, calibração da câmera, quantidade de pontos de passagens utilizados, tempo gasto em cada etapa etc.

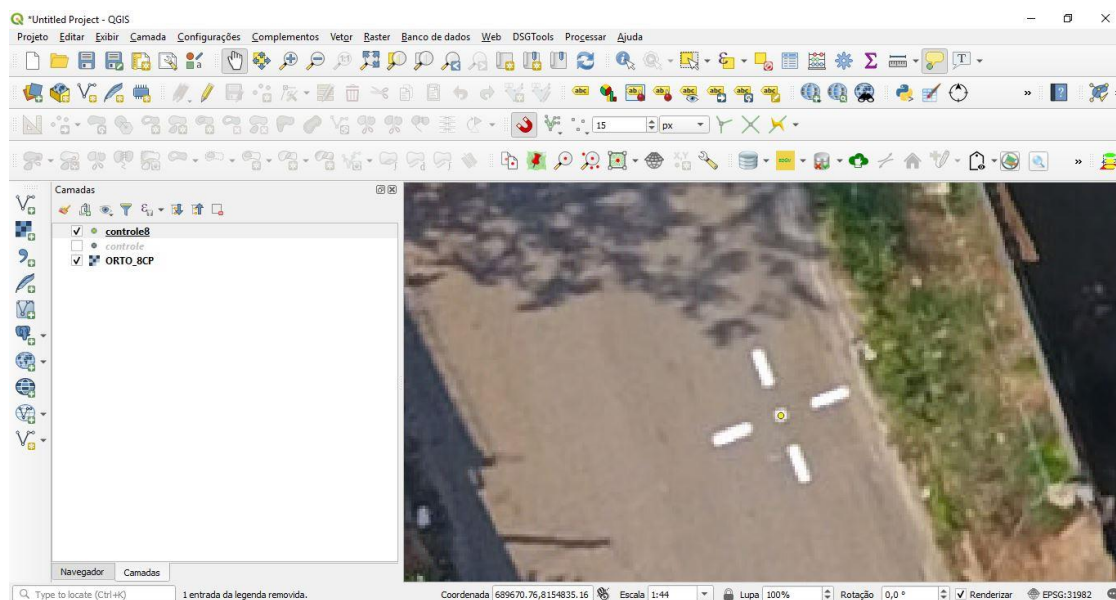
Os *softwares* escolhidos foram: Pix4D, Agisoft PhotoScan e Open DroneMap. O Meshroom não foi utilizado no trabalho por ser um *software* ainda não otimizado para se chegar aos produtos finais necessários a pesquisa.

4.3.3 Análises Estatísticas

A quarta e última etapa foi a análise de qualidade dos ortomosaicos. Primeiramente foram avaliadas as discrepâncias calculadas entre as coordenadas planimétricas dos pontos de verificação obtidas com um par de receptores de sinais GNSS com as coordenadas dos mesmos pontos lidas nos ortomosaicos. A leitura dessas coordenadas foi realizada no *software* Qgis como mostrado na Figura 9. As coordenadas planialtimétricas com um par de receptores de

senais GNSS no método de posicionamento RTK foram consideradas como verdadeiras (referencia).

Figura 9 – Leitura de pontos no Qgis



Fonte: A autora (2021)

Após a leitura dos pontos em todos os ortomosaico gerados, essas coordenadas foram então tabuladas em uma planilha digital no formato .xls, e a mesma foi inserida no ambiente colaborativo da plataforma Google Colab onde, utilizando a linguagem Python, foram realizadas então as análises estatísticas dos produtos para identificar se ambos teriam qualidades similares através de análise dos gráficos gerados. As bibliotecas utilizadas foram Matplotlib, Pandas, Numpy, Seaborn e IO em linguagem Python.

As análises estatísticas programadas foram: teste de normalidade das diferenças, histograma dos valores de discrepância dos tratamentos, gráficos de dispersão de pontos para cada cenário, cálculo das estatísticas descritivas das distâncias, gráfico *boxplot* das distâncias e análise da qualidade cartográfica segundo a PEC-PCD.

Antes de se realizar os testes de precisão e acurácia, foi necessário verificar se as distribuições das amostras poderiam ser consideradas normais, pois os testes t-student e qui-quadrado somente poderiam ser aplicados caso as amostras fossem consideradas normais.

Para essa análise, programou-se a função *normaltest* na plataforma Google Colab, na qual para um cenário ter suas amostras planimétricas consideradas normais, as mesmas devem apresentar normalidade no eixo E e N. A amostra somente será considerada normal se o valor P (soma das diferenças entre as amostras e as referências e divididas pelo número total de amostras), for maior que a significância adotada de 0.05. Assim analisando a Tabela 3, percebe-

se que das nove amostras quatro delas não passaram no teste de normalidade. Por esse motivo não se pode realizar os testes t-student e qui-quadrado, optando-se então por fazer a análise da qualidade com as estatísticas descritivas e análise dos gráficos de dispersão, distância entre as amostras e analisar a qualidade cartográfica pela PEC-PCD.

Tabela 3 – Normalidade das amostras

Cenários	Eixo E	Eixo N	Normal
ODM NCP	2.762699e-01	4.394048e-01	True
MTS NCP	3.412995e-01	6.894148e-01	True
P4D NCP	3.910647e-01	7.696403e-01	True
ODM 4CP	2.982952e-01	8.827761e-01	True
MTS 4CP	6.100230e-04	3.724468e-05	False
P4D 4CP	3.095860e-03	5.023793e-10	False
ODM 8CP	2.483858e-02	3.946662e-02	False
MTS 8CP	4.091285e-01	7.405335e-01	True
P4D 8CP	2.209668e-03	1.117178e-10	False

Fonte: A autora (2022)

Resultados e Discussões

4.4 Estatística descritiva das distâncias

A Tabela 4 mostra o resultado das estatísticas descritivas das distâncias horizontais encontradas em cada cenário. Os cenários foram divididos de acordo com a abreviação do nome de cada *software* e a quantidade de pontos de controle utilizadas. OpenDroneMap (ODM), MetaShape (MTS) e Pix4D (P4D), nos cenários sem pontos de controle (NCP), com 4 pontos de controle (4CP) e 8 pontos de controle (8CP).

Tabela 4 – Estatística descritiva das distâncias

	ODM NCP	MTS NCP	P4D NCP	ODM 4CP	MTS 4CP	P4D 4CP	ODM 8CP	MTS 8CP	P4D 8CP
Total de amostras	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Média	0,78	0,68	0,71	0,66	0,66	0,14	0,22	0,98	0,13
Desvio Padrão	0,48	0,16	0,18	0,32	0,15	0,18	0,16	0,20	0,18
Min	0,27	0,36	0,40	0,08	0,48	0,01	0,05	0,63	0,01

25%	0,46	0,58	0,58	0,41	0,60	0,03	0,15	0,84	0,04
50%	0,60	0,69	0,72	0,67	0,63	0,08	0,19	0,99	0,07
75%	0,90	0,77	0,83	0,94	0,66	0,15	0,21	1,09	0,11
Max	2,22	0,97	1,04	1,25	1,04	0,61	0,72	1,46	0,60

Fonte: A autora (2022)

Nota-se que em relação à média, desvio padrão, máximas e mínimas houve uma melhoria quando utilizamos pontos de controle no processamento dos dados exceto quando observamos o processamento com oito pontos de controle realizado no MetaShape, quando o software passou a mostrar uma piora nos resultados.

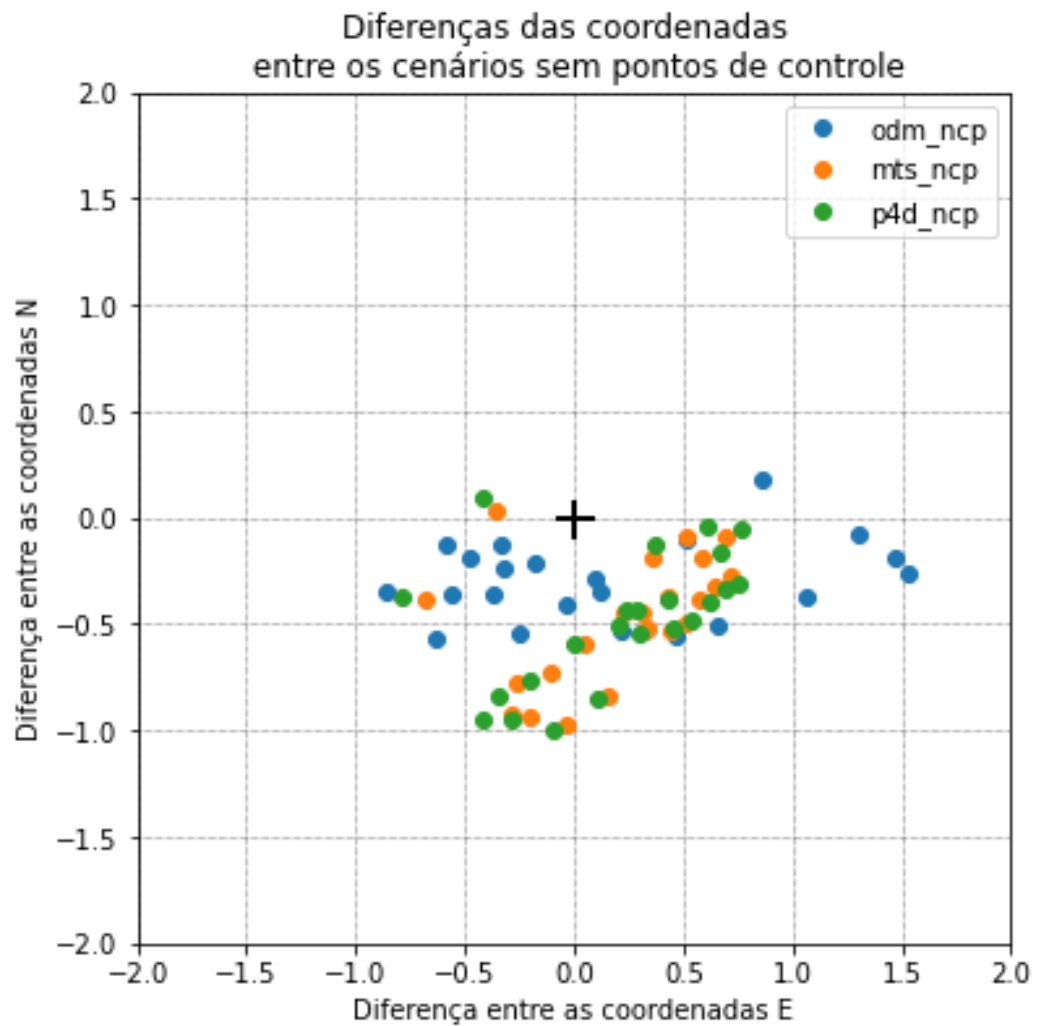
Quanto a acurácia nota-se que a média das distancias entre as amostras e suas referências no processamento sem pontos de controle se mantiveram próximas, já nos cenários em que se utilizou pontos de controle a maior diferença pode ser observada no *software* Pix4d, que se destaca pelas menores distâncias entre amostras e referencias. E mais uma vez o processamento com oito pontos de controle no MetaShape se mostrou diferente uma vez que o valor da distância aumentou ao invés de diminuir, como era o esperado.

Em relação a precisão, observa-se que o desvio padrão nos processamentos sem pontos de controle mostra uma grande variação entre os *softwares* tendo o ODM o pior resultado e nos processamentos com pontos de controle nota-se uma melhora em ambos os *softwares*, exceto novamente o processamento com oito pontos de controle do MetaShape.

4.5 Análise da acurácia e precisão

Considerando que algumas amostras não apresentaram uma distribuição normal e assim não foi possível aplicar testes específicos como t-student e qui-quadrado, foram então gerados gráficos de dispersão de pontos para possibilitar a visualização dos padrões de acurácia e precisão em cada cenário. Figuras 10, 11 e 12.

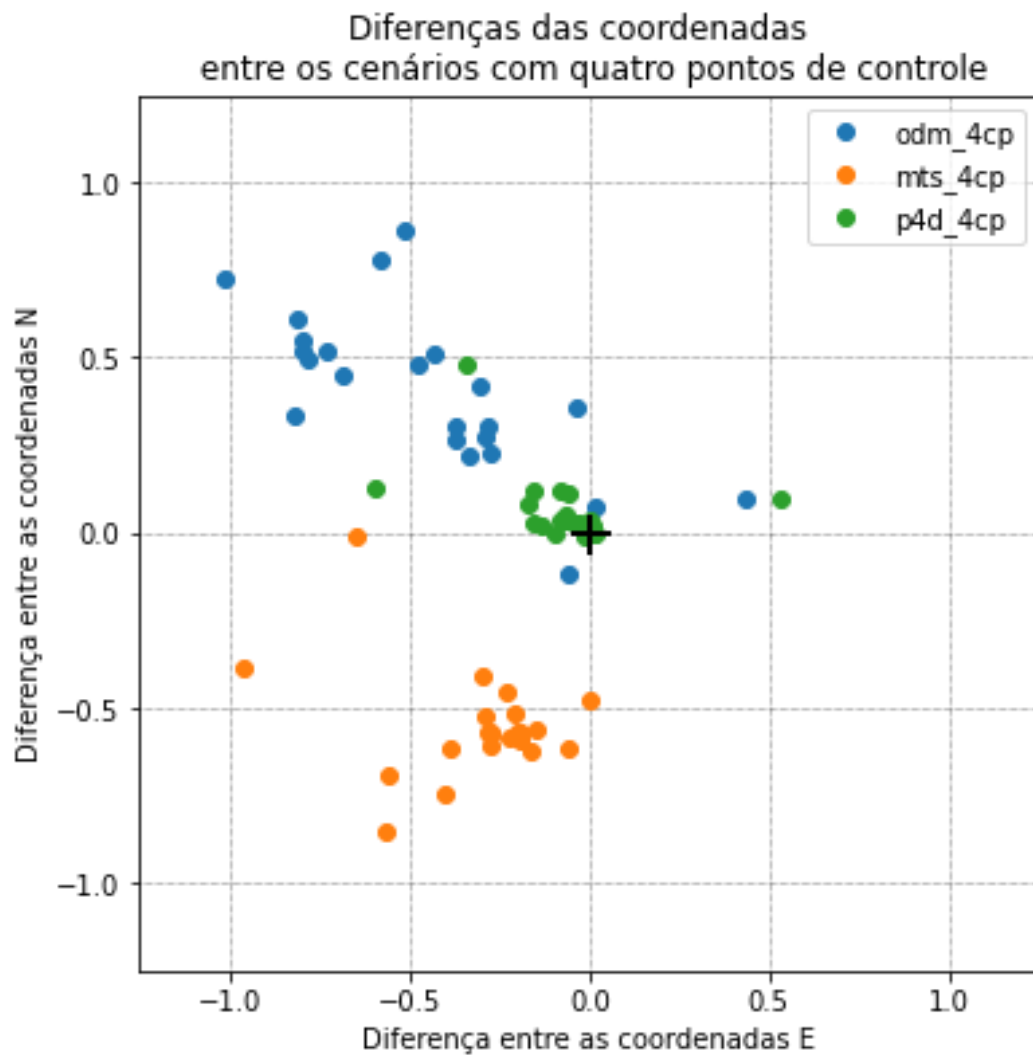
Figura 10 – Gráfico de dispersão sem pontos de controle



Fonte: A autora (2022)

Nota-se que no cenário sem pontos de controle todos os *softwares* mostraram comportamentos semelhantes, valores de precisão baixos, porém parecidos e ambos possuem tendência.

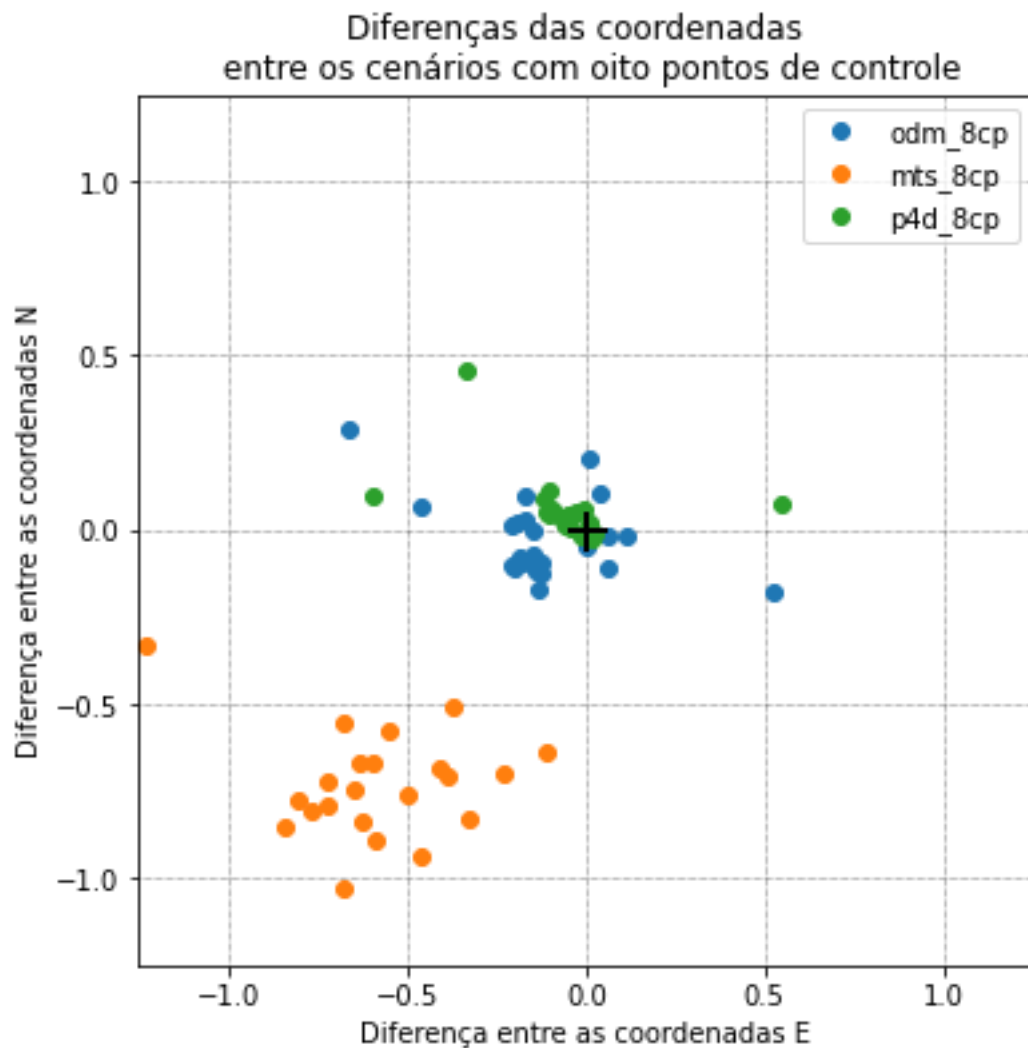
Figura 11 – Gráfico de dispersão com quatro pontos de controle



Fonte: A autora (2022)

No cenário com quatro pontos de controle, nota-se que o Pix4d apresentou bons resultados tanto de acurácia quanto de precisão. O MetaShape apresentou precisão, porém sem acurácia, além de possuir dados tendenciosos. Os *softwares* apresentaram melhor desempenho tanto na acurácia como na precisão. E o OpenDroneMap apresentou os piores resultados com dados sem acurácia, baixa precisão e possuindo tendência

Figura 12 – Gráfico de dispersão com oito pontos de controle



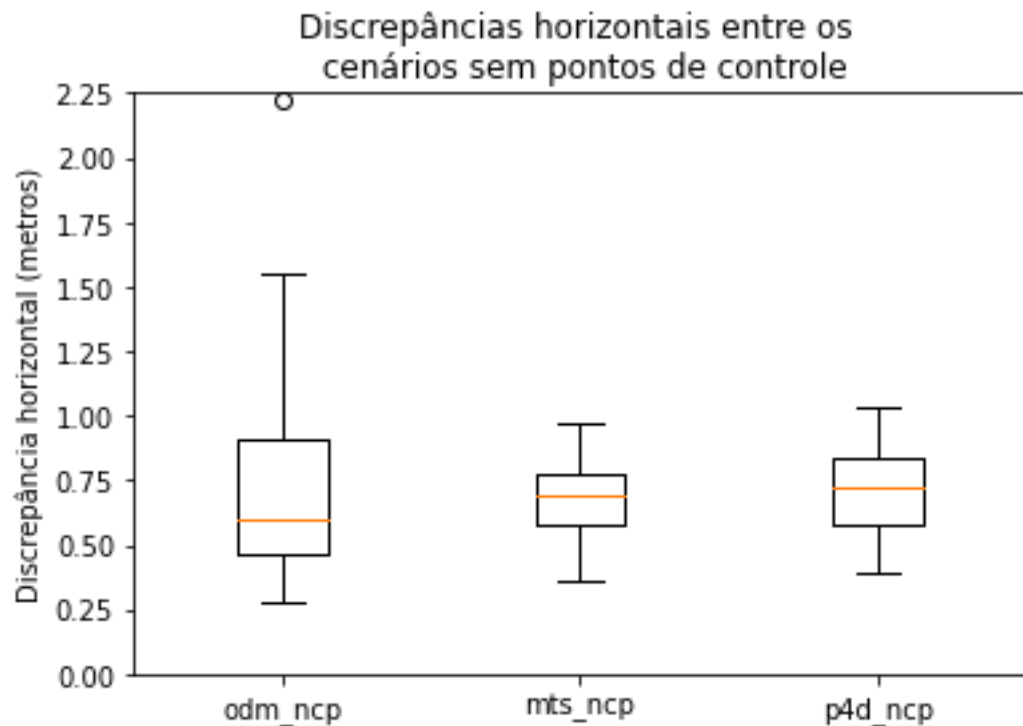
Fonte: A autora (2022)

Por fim, no cenário com oito pontos de controle, o *software* Pix4d continua apresentando bons resultados tanto de acurácia quanto de precisão. O MetaShape apresenta o pior resultado com dados de baixa precisão e sem acurácia e apresentando tendência nos dados processados. E o OpenDroneMap apresentou uma melhora tendo dados com precisão e acurácia, e uma leve tendência.

4.6 Discrepâncias horizontais

Para análise das discrepâncias horizontais, foram gerados gráficos *Box-Plot* para cada grupo de cenários, conforme o número de pontos de controle utilizado em cada *software*. Figuras 13, 14 e 15.

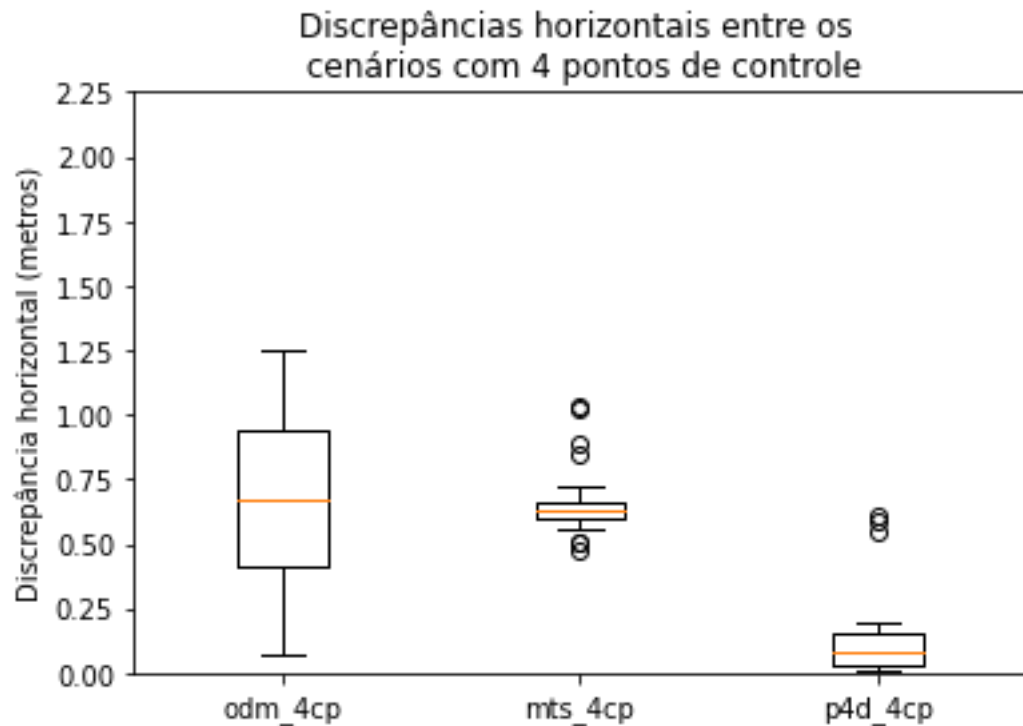
Figura 13 – Gráfico das discrepâncias horizontais sem pontos de controle



Fonte: A autora (2022)

No cenário sem pontos de controle pode-se constatar que o *software* MetaShape PhotoScan apresenta a melhor precisão, o segundo melhor resultado foi do Pix4D seguido do OpenDroneMap, porém todos apresentaram uma baixa acurácia com amostras distantes de suas referências.

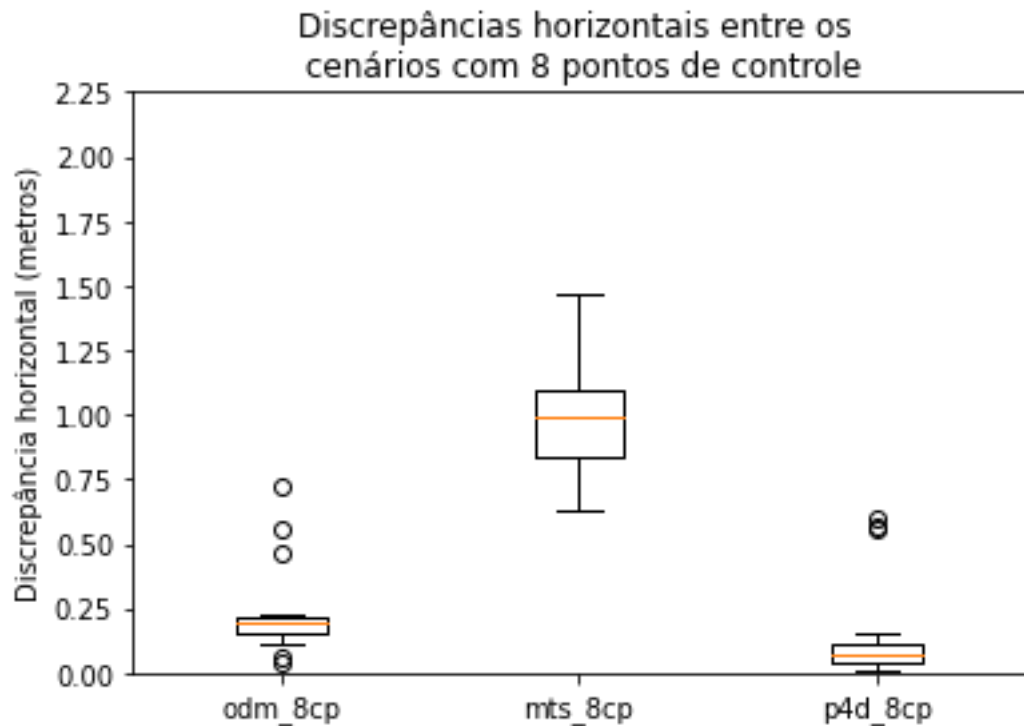
Figura 14 – Gráfico das discrepâncias horizontais com quatro pontos de controle



Fonte: A autora (2022)

No cenário com quatro pontos de controle, nota-se que o *software* MetaShape se mostrou bem mais acurado, porém com baixa precisão. O ODM por sua vez apresentou dados mais precisos, porém sem acurácia e o *software* Pix4d apresentou o melhor resultado no que diz respeito à acurácia e precisão apesar de apresentar *outlier*.

Figura 15 – Gráfico das discrepâncias horizontais com oito pontos de controle



Fonte: A autora (2022)

No cenário com oito pontos de controle nota-se que os *softwares* ODM e Pix4D apresentaram dados com melhora significativa tanto em acurácia quanto em precisão, e apenas o MetaShape se comportou de diferente, apresentando dados menos acurados e menos precisos se comparado inclusive com os resultados do processamento com quatro pontos de controle.

4.7 PEC-PCD

Para se analisar em qual escala o produto gerado se encontra segundo a Norma das Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) do Exército Brasileiro, primeiro é necessário calcular o erro em cada componente planimétrica para o universo de pontos considerados. Dados pelas Equações 1 e 2

$$e_x = x_t - x_r \quad (1)$$

$$e_y = y_t - y_r \quad (2)$$

Onde:

x_t e y_t = coordenadas a serem testadas

x_r e y_r = coordenadas de referência

Posteriormente calcula-se a componente horizontal dos erros para todos os pontos (i) das amostras. Equação 3

$$e_{Hi} = \sqrt{e_{xi}^2 + e_{yi}^2} \quad (3)$$

Calcula-se o erro médio quadrático (EMQ) dos erros das amostras. Equação 4

$$EMQ_H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_{Hi}^2)}{n}} \quad (4)$$

Após os cálculos compara-se cada valor de e_{Hi} com o erro máximo admissível (EM) da tabela PEC para cada classe. O produto se enquadra onde tiver pelo menos 90% de pontos com erro inferior ao EM. Posteriormente compara-se o valor de EMQ_H com o erro-padrão da tabela PEC para a classe identificada. Se for menor, o resultado é a classe encontrada no passo anterior. Se for maior, caminha-se na tabela PEC até encontrar um valor menor.

Após os cálculos mencionados chegou-se ao resultado na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados PEC-PCD

Cenários	Erro 90%	EMQ	Escala PEC-PCD - CLASSE A
ODM_NCP	1.553059	0.912199	1:10.000
MTS_NCP	0.962116	0.701726	1:5.000
P4D_NCP	1.002158	0.735959	1:5.000
ODM_4CP	1.017040	0.725592	1:5.000
MTS_4CP	1.026920	0.680410	1:5.000
P4D_4CP	0.587286	0.228981	1:5.000
ODM_8CP	0.555434	0.268597	1:5.000
MTS_8CP	1.450642	1.093072	1:10.000
P4D_8CP	0.566338	0.220632	1:5.000

Fonte: A autora (2022)

Observa-se que no primeiro cenário onde os ortomosaicos são gerados sem a utilização de pontos de controle, o OpenDroneMap foi considerado classe A para a escala 1:10.000 enquanto MetaShape e Pix4D foi considerado classe A em uma escala 1:5.000. Já no segundo e terceiro cenário onde se utilizou quatro e oito pontos de controle sucessivamente, todos se adequaram a escala 1:5.000, exceto o processamento com oito pontos de controle no *software* MetaShape, onde foi considerado classe A em uma escala 1:10.000.

5 CONCLUSÃO

Sobre os softwares utilizados no trabalho pode-se concluir que ambos possuem interface bastante amigáveis e rotinas bem intuitivas. O Metashape PhotoScan em especial possui uma aba chamada workflow, onde conseguimos visualizar de forma clara todas as etapas a serem executadas e onde antes de cada etapa o operador pode configurar de acordo com as necessidades do trabalho. No Pix4D e também no OpenDroneMap essas configurações são feitas antes do início do processo e então as demais etapas são feitas de forma automatizadas.

Quanto a instalação, os softwares comerciais apresentaram uma maior facilidade quando comparado ao ODM, que possui como diferencial o fato de ser executado em uma janela de navegador de internet através do endereço <http://localhost:8000>. Por não ser um software totalmente otimizado apresenta dificuldade ao processar um volume maior de fotografias e por não utilizar os recursos da placa de vídeo do computador no processamento, sobrecarrega o processador e as memórias RAM. Todos os softwares ao final dos processos têm como arquivos de saída os modelos digitais de terreno e superfície e o ortomosaico, em formato GeoTiff, e o relatório de processamento em formato PDF.

Pelos gráficos pode-se concluir que de fato, os melhores resultados foram obtidos utilizando-se o software comercial Pix4D, porém, em uma situação de indisponibilidade de softwares livres, com pode-se observar com os resultados obtidos com o ODM, também é possível o uso de ferramentas livres.

Vale lembrar que se as escalas adotadas podem variar levando em consideração o objetivo de seu trabalho, altura de voo, tipo de equipamento (RPAS) utilizado, e câmara fotogramétrica disponíveis.

Com respeito aos produtos cartográficos, utilizando-se os dados coletados e os softwares de processamento, este trabalho pode gerar produtos cartográficos na escala 1:5000,

considerando-se o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) do tipo Classe A de acordo com o Decreto nº 89.817 de 1984, mostrando assim ser uma metodologia útil para verificar a qualidade do produto. Como propostas para trabalhos futuros recomenda-se sejam realizados outros testes de qualidade utilizando outra plataforma que não seja um RPAS do tipo multi-rotor, como utilizado no presente trabalho e também que no *software* Web ODM seja realizado um novo processamento com uma quantidade menor de imagens e com qualidade alta uma vez que, devido o *software* ainda estar em fase de otimização o presente trabalho foi executado em qualidade média, podendo assim inclusive se obter uma melhor qualidade do GSD do produto final.

6 REFERÊNCIAS

Acordo de Cooperação Técnica entre A UNIÃO e O INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS – IFG. Processo nº 10154.150634/2020-64. SEI nº 10184521 - Plano de Trabalho. LIVRO n.º 18 FOLHAS n.º 66 a 68. Verificar autenticidade em: [hp://sei.fazenda.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](http://sei.fazenda.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0) código verificador 10184521 e o código CRC 56D55E75. Goiânia, 2020.

AGOSTINHO, F; OLIVEIRA FILHO, P. C. de. **Obtenção de fotografias aéreas de pequeno formato e videografia por meio de aeromodelo artesanal adaptado.** In XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, Brasil, 2011. Anais p 8984 – 8991, 2011.

ALVES JÚNIOR, L. R. **Análise de produtos cartográficos obtidos com câmera digital não métrica acoplada a um veículo aéreo não tripulado em áreas urbanas e rurais no estado de Goiás.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - UFG. Goiânia, 2015. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/4952>. Acesso em: 27 jul. 2021.

ANDRADE, J.B. **Fotogrametria.** Curitiba: SBEE, 274 p., 2003.

BRASIL, **Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984 – Normas Técnicas da Cartografia Nacional,** Diário Oficial da União, Brasília, Brasil, 1984. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d89817.htm. Acesso em: 11 jun. 2021.

BRITO, J. L. N. S ; COELHO FILHO, L.C.T. **Fotogrametria digital** – Rio de Janeiro: Editora UERJ, 2007. 196 p.

BRUCH, A. F.; CIROLINI, A. B. T.; A.; CARNEIRO, M. **Avaliação da acurácia das cubagens de volumes de mineração através de levantamentos convencionais e fotogramétricos.** Revista Brasileira de Geografia Física v.12n.01 (2019) 283-298. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/237851/32217>. Acesso em: 11 jun. 2021.

CORRÊA, A. L.; QUARESMA, J.; EDUARDO. **Uso de drone em levantamento planialtimétrico para obtenção de ortofoto e modelo digital do terreno**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVIII, N°. 000147, 23/11/2018. Disponível em: <https://semanaacademica.com.br/artigo/uso-de-drone-em-levantamento-planialtimetrico-para-obtencao-de-ortofoto-e-modelo-digital-do>. Acesso em: 27 jul. 2021.

CRUZ, C. B. M. *et al.* **Avaliação da exatidão planialtimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do LIDAR**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. Anais....Curitiba: Sbsr, 2011. p. 5463 -5470. Disponível em: <http://mar.te.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/06.27.14.49/doc/p1096.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2021.

DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO - DSG. Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), 2016. Brasília-DF. Disponível em: https://docs.ufpr.br/~deni_ern/CD2020/A1/ET_ADGV_2a_Edicao_2016_Textual_Anexo_A_Assinado.pdf. Acesso em: 27 jul. 2021.

DJI. **Home Page**. Disponível em: <https://www.dji.com/>. Acesso em 10 jun. 2021.

ELIAS, E. N. N.; MIRANDA, P. C. A.; CUNHA, A. A., FERNANDES, V. O. **Aplicação do Padrão de Exatidão Planimétrica para produtos cartográficos digitais (PEC-PCD)**. Geonordeste, Salvador. (Anais do Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto). 2017. Disponível em: <https://docplayer.com.br/81167804-Aplicacao-do-padrao-de-exatidao-planimetria-para-produtos-cartograficos-digitais-pec-pcd>. Acesso em 10 jun. 2021.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações. Aplicações geodésicas**. Curitiba, Editora da UFPR, 1994. 320p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Glossário Cartográfico**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/glossario/glossario_cartografico.shtm. Acesso em: 17 de jul. de 2021.

KANGAS A.; GOBAKKEN, T.; PULITI S., HAUGLIN, M.; NÆSSET, E. **Value of airborne laser scanning and digital aerial photogrammetry data in forest decision making**. Silva Fennica vol. 52 no. 1 article id 9923. 19 p. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328031930_Value_of_airborne_laser_scanning_and_digital_aerial_photogrammetry_data_in_forest_decision_making. Acesso em: 17 de jul. de 2021.

LIMA, Pedro David Rodrigues. Aerofotogrametria por meio de VANTS: análise da viabilidade no levantamento planialtimétrico. 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/6058>. Acesso em 10 jun. 2021

LINHARES, M. M. de A. **Uso de veículo aéreo não tripulado na determinação de Índice de vegetação em área de pastagem em Nova Mutum-MT**. Dissertação (Mestrado). Goiânia, UFG. 2016. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/5956>. Acesso em: 15 de jul. de 2021.

LOPES, T. **Avaliação do uso de RPA quadrimotor para aplicações de mapeamento**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/11949>. Acesso em: 15 de jul. de 2021.

MOUTINHO, O. **Evaluation of Photogrammetric Solutions for RPAS: Commercial vs Open Source**. 2015. 120f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Geográfica, Universidade Do Porto, Porto, 2015. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/82382>. Acesso em: 18 jul. 2021.

PEDREIRA, Wallace John Pereira; DE ANDRADE OLIVEIRA, Joanito; SANTOS, Pablo Santana. **AValiação DA ACURÁCIA ALTIMÉTRICA USANDO A TECNOLOGIA VANT**. *Caminhos de Geografia*, v. 21, n. 73, p. 209–222-209–222, 2020. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/48071>. Acesso em: 15 de jul. de 2021.

SANTOS, L. F. B. dos. **Avaliação de modelo digital de terreno gerado através de VANT em planícies pantaneiras**. 2016. 53 f. TCC (Graduação) Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2016. Disponível em: <https://silo.tips/download/avaliaao-de-modelo-digital-de-terreno-gerado-atraves-de-vant-em-planicies-pantan>. Acesso em: 15 de jul. de 2021.

SIEBERT, Sebastian; TEIZER, Jochen. **Mobile 3D Mapping for Surveying Earthwork Projects Using na Unmanned Aerial Vehicle (UAV) System**. Disponível em: <https://www.iaarc.org/publications/fulltext/isarc2013Paper363.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2021.

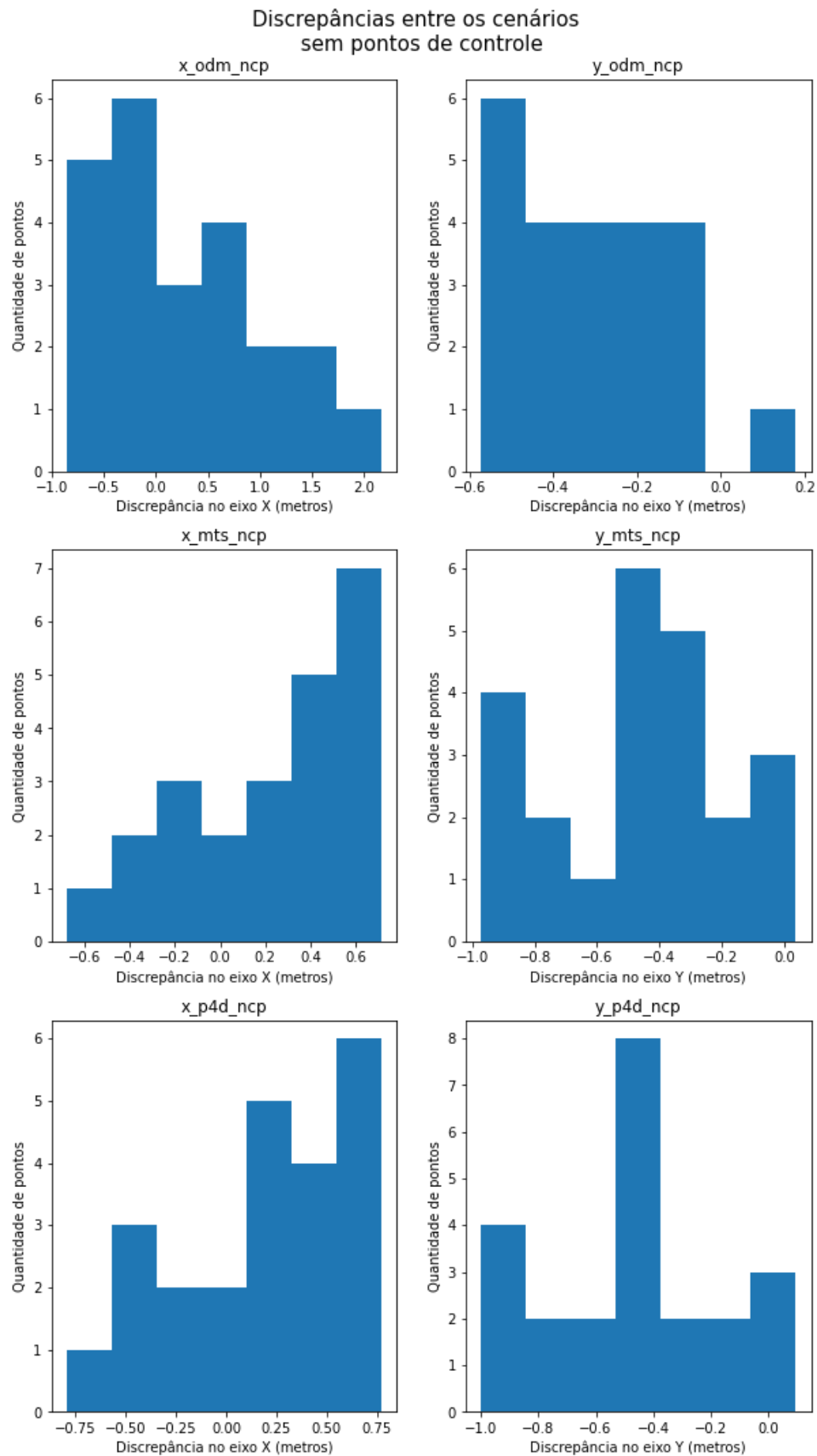
TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica**. 2009. Disponível em: http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/891/introducao_a_fotogrametria.pdf. Acesso em: 15 de jul. de 2021.

TORRES, M. S. S.; PATRIOTA, R. C. **Aquisição de dados espaciais e análise da qualidade de produtos cartográficos obtidos através de RPA**. *Revista Geociências UNESP*, v. 39, n. 2, jul. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v39i2.13763>. Acesso em: 18 jul. 2021.

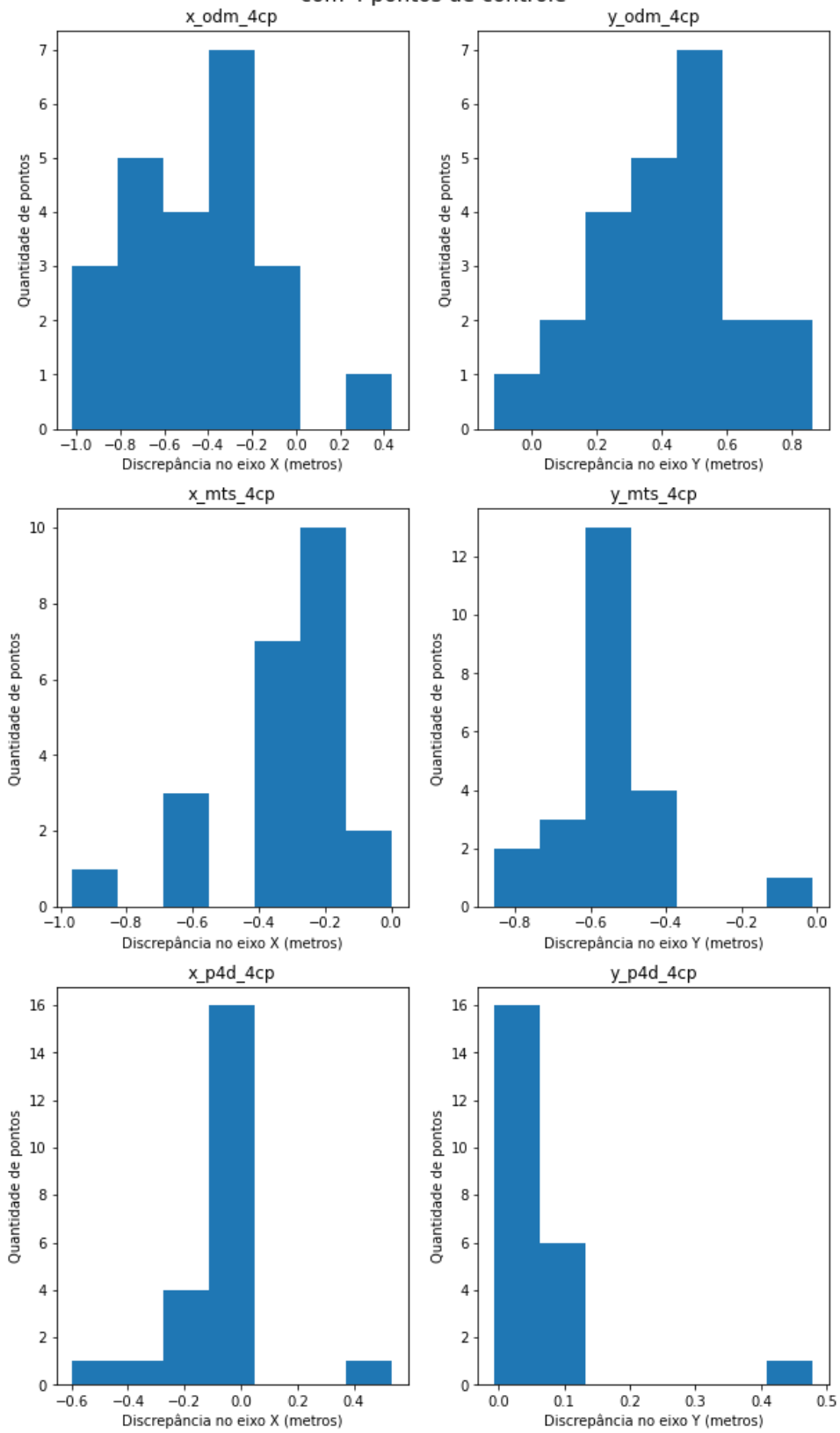
U.S Army. **PHOTOGRAMMETRIC MAPPING – EM 1110-1-1000 – Engineer Manual (Series Engineering and Design)**. U.S. Army Corps of Engineers. Washington DC, Estados Unidos: 2002. Disponível em: <https://corpslakes.erdc.dren.mil/employees/policy/EM/EM-1110-1-1000.pdf>. Acesso em: 15 de jul. de 2021

WOLF, P.R.; DEWITT, B.A. **Elements of Fotogrammetry: with Application in GIS**. 3rd edition. USA: McGraw-Hill, 2004.

APÊNDICE A – HISTOGRAMA DOS VALORES DE DISCREPÂNCIA ENTRE OS CENÁRIOS.



Discrepâncias entre os cenários
com 4 pontos de controle



Discrepâncias entre os cenários
com 8 pontos de controle

