

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

RICARDO TEIXEIRA DUARTE

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PRODUTOS OBTIDOS POR RPAS TIPO
ASA FIXA E PROCESSADO EM SOFTWARE LIVRE E COMERCIAL.**

Goiânia, GO
FEVEREIRO/2022

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

RICARDO TEIXEIRA DUARTE

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PRODUTOS OBTIDOS POR RPAS TIPO ASA
FIXA PROCESSADOS EM SOFTWARE LIVRE E COMERCIAL.**

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 de Goiás.

Orientador: Prof. Dr. Max Well de Oliveira Rabelo

Goiânia, GO
FEVEREIRO/2022

D85a Duarte, Ricardo Teixeira.

Avaliação da qualidade de produtos obtidos por RPAS tipo asa fixa e processado em software livre e comercial / Ricardo Teixeira Duarte. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2022.

46 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Max Well de Oliveira Rabelo.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Inclui apêndice.

1. Sensoriamento remoto. 2. Aerolevantamento. 3. Fotogrametria. I. Rabelo, Max Well de Oliveira (orientador). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD 621.3678

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Karol Almeida da Silva CRB1/ 2.740

Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,

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



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTERIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

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: Ricardo Teixeira Duarte

Matrícula: 20151011190248

Título do Trabalho: Avaliação da qualidade de produtos obtidos por RPAS tipo asa fixa e processado em software livre e comercial.

Autorização - Marque uma das opções

1. (☒) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. (☐) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. (☐) 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: _____

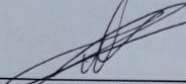
DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

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

- i. 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;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais incluídos 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;
- iii. 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, 14 / 02 / 2022 .
Local Data

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



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 06 - 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 13:00 horas, na sala virtual meet.google.com/dsg-ksxt-zpr, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso do Graduando **Ricardo Teixeira Duarte (matrícula 20151011190248)** 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:

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

sob a presidência do primeiro. O Trabalho de Conclusão de Curso tem como título **“Avaliação da qualidade de produtos obtidos por RPAS asa fixa e processado em softwares livre e comercial”**, sob orientação do Prof. **Max Well de Oliveira Rabelo**. Após a apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso, tendo sido o autor arguido pela Banca Examinadora, a nota obtida foi 9,5 (nove vírgula cinco).

Encerrou-se a sessão às 15 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. Max Well de Oliveira Rabelo (Assinado eletronicamente)

Prof. Leomar Rufino Alves Júnior (Assinado eletronicamente)

Engenheiro Bruno Holtz Gemignani (Assinado eletronicamente)

Prof. Fábio Campos Macedo (Assinado eletronicamente)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Marina Alberti Macedo**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 08/02/2022 15:20:49.
- **Leomar Rufino Alves Junior**, TECNICO DE LABORATORIO AREA, em 08/02/2022 15:19:45.
- **Bruno Holtz Gemignani**, BRUNO HOLTZ GEMIGNANI - 123105 - DIRETOR ADMINISTRATIVO - 3 DGEO (22910963000165), em 08/02/2022 15:19:19.
- **Fabio Campos Macedo**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 08/02/2022 15:19:01.
- **Max Well de Oliveira Rabelo**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 08/02/2022 15:18:36.

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: 243212

Código de Autenticação: ce1ce00d70



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110

(62) 3227-2735 (ramal: 2735)

DEDICATORIA

Dedico esse trabalho aos meus familiares em especial minha esposa e companheira Leticia que tanto me apoiou desde o início do curso e no decorrer de minha vida, o que resultou em mais uma etapa vencida.

Dedico também a todos os amigos e pessoas que me moldam dia após dia a uma formação moral, ética e intelectual.

“Moderação na defesa da verdade é serviço prestado a mentira” (Olavo de Carvalho)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais essa etapa vencida e a todos que contribuíram para a realização desse projeto. Em especial ao Professor Dr. Max Well de Oliveira Rabelo, que mesmo com todo esse momento conturbado de pandemia aceitou me orientar nesse projeto. Ao Professor Dr. Fabio Campos Macedo, que apoiou o projeto e contribuiu com todo seu conhecimento em estatística de dados. Aos Professores Dr. Leomar Rufino Alves Junior e Dr. Joao Batista Cortes, que contribuíram com a disponibilidade dos dados de aerolevantamento utilizados nesse projeto, com a licença do *software* Metashape PhotoScam e com conhecimento técnico e científico de aerofogrametria com a utilização de RPAS 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 presente trabalho.

DUARTE, R.T.; **Avaliação da qualidade de produtos obtidos por RPAS tipo asa fixa processados em *software* livre e comercial.** Monografia (Graduação) – Departamento de Geomática, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG, Goiânia, 2022.

RESUMO

Atualmente as técnicas de sensoriamento remoto empregadas com aeronaves não tripuladas ou RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) em especial as de utilização civil combinada a sensores não métricos de baixo custo, tem provido soluções de mapeamento com alta resolução espacial e temporal, tendo grande potencial em áreas como agricultura de precisão, monitoramento ambiental, construção civil, mineração dentre outras. Apesar dos baixos custos em relação a um aerolevantamento utilizando uma aeronave tripulada ou aquisição de uma imagem orbital com resolução espacial semelhante, os processamentos dos dados obtidos por RPAS geralmente são executados em *softwares* comerciais. O presente trabalho utilizou dados de um aerolevantamento realizado em 2017 no município goiano de Santo Antônio, no qual se utilizou um RPAS asa fixa E-Bee. O trabalho teve por objetivo avaliar a utilização de um *software* gratuito ou *open source* para o processamento dos dados. Foi feita a análise de qualidade entre os *softwares* Pix4d, Metashape PhotoScan e Web ODM em um total de nove processamentos, três em cada *software*, e subdividido em três cenários. O primeiro cenário sem a utilização dos pontos de controle, o segundo cenário utilizando cinco pontos de controle e o terceiro cenário com oito pontos de controle. Posteriormente submeteram-se os resultados das amostras a um teste de normalidade, no qual não se obteve normalidade em todas as amostras, optando-se assim para uma análise de qualidade utilizando a estatística descritiva e a PEC-PCD para se chegar a um resultado. Nos cenários sem pontos de controle todos os *softwares* apresentaram resultados semelhantes gerando produtos classe A da PEC-PCD na escala de 1:50000, nos cenários que utilizaram cinco ou oito pontos de controle notou-se um ganho visível de qualidade em comparação aos cenários sem pontos de controle; os *softwares* Web ODM e Metashape PhotoScan, apresentaram resultados semelhantes nesses cenários, com ortomosaicos com qualidade planimétrica classe A da PEC-PCD na escala 1:5000, já o software Pix4d, apresentou o melhor resultado em ambos cenários com ortomosaicos classe A na escala de 1:1000. Conclui-se que o produto ortomosaico gerado pelo *software* de distribuição gratuita Web ODM, tem qualidade semelhante ao *software* comercial Metashape PhotoScan e tem potencial para uso profissional.

Palavras chave: Aerolevantamento. *Open-source*. Controle de qualidade. PEC-PCD. Escala.

ABSTRACT

Currently, as remote sensing techniques used with unmanned space aircraft or RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) in particular as for civil use combined with low cost non-metric sensors, it has mapping solutions with high resolution and temporal, having great potential in areas such as precision agriculture, environmental monitoring, civil construction, mining, among others. Despite the low costs in relation to an aerial survey using a manned aircraft or acquisition of an orbital image with spatial resolution, the data processing obtained by RPAS is also performed in commercial software. The present work used data from a municipal aerial survey carried out in 2017 in the Goiano de Santo Antônio, in which an RPAS fixed wing E-Bee was used. The objective of this work was to evaluate the use of free or open source software for data processing. A quality analysis was performed between Pix4d, Metashape PhotoScan and Web ODM software in a total of nine processings, three in each software, and subdivided into three scenarios. The first scenario without the use of control points, the second scenario using five control points and the third scenario with eight control points. Subsequently, the results of the collections were submitted to a normality test, in which no normality was obtained in all samples, thus opting for a quality analysis using descriptive statistics and the PEC-PCD to arrive at a sub-meter. - Products without PC scenarios without control points of all software showed similar quality results at 1:5000 scale, in scenarios that used five or eight control points there is no visible quality gain compared to scenarios without points of control; Web ODM and Metashape PhotoScan software showed similar results with scenarios, with PEC-PCD class A planimetric orthomosaics at 1:5000 scale, while Pix4d software presented the best result in both scenarios with class A orthomosaics at scale of 1 :1000. The orthomosaic ODM product is generated by the free Web distribution software, is similar in quality to commercial Metashape PhotoS software, and has potential for professional use.

Keywords: Aerial survey. Open-source. Quality control. PEC-PCD. Scale.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sobreposição Longitudinal.	20
Figura 2 – Sobreposição Lateral.	21
Figura 3 - Representação de um alvo pré-sinalizado em um sensor ocupando 3x3 ou 5x5 pixel.	21
Figura 4 - Implantação de um alvo pré-sinalizado e rastreamento do mesmo.	22
Figura 5 - Alvo pré-sinalizado.	22
Figura 6 - Modelos de alvos pré-sinalizados mais utilizados.	23
Figura 7 - RPAS E-Bee x	27
Figura 8 – Localização da área de estudo.	29
Figura 9 - Fluxograma de trabalho	32
Figura 11 - Bibliotecas utilizadas	34
Figura 12 – <i>Main menu</i> do <i>software</i> Metashape PhotoScam	36
Figura 13 - Etapa de instalação em janela de comando.	38
Figura 14 – <i>Main menu</i> do <i>software</i> WebODM.	38
Figura 15 – <i>Main menu</i> do <i>software</i> Pix4d	40
Figura 16 - Gráfico de dispersão sem pontos de controle	44
Figura 17 - Gráfico de dispersão com cinco pontos de controle	45
Figura 18 - Gráfico de dispersão com oito pontos de controle.	46
Figura 19 - Discrepâncias horizontais sem pontos de controle	47
Figura 20 - Discrepâncias horizontais com cinco pontos de controle	48
Figura 21 - Discrepâncias horizontais com oito pontos de controle.	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) (1984).	23
Quadro 3 - Normalidade das amostras	41
Quadro 4 - Comparativo GSD	42
Quadro 5 - Estatística descritiva das distancias.....	43
Quadro 6 - PEC-PCD	50
Quadro 7 - Resultados PEC-PCD.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i> (Sistema Global de Navegação por Satélite)
GSD	Ground Sample Distance
RPAS	<i>Remotely Piloted Aircraft System</i>
MDS	Modelo digital de superfície
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
VANT	Veículos Aéreos Não Tripulados
ANAC	Agência Brasileira de Aviação Civil
AIC	Circular de Informações Aeronauticas
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
MDT	Modelo Digital de Terreno
MDS	Modelo Digital de Superfície
IGN	<i>Institut Geographique National</i>
RTK	<i>Real Time Kinematic</i> (Posicionamento em Tempo Real)
OSI	<i>Open Source Initiative</i>
ODM	<i>Open Drone Map</i>
SIGEF	Sistema de Gestão Fundiária do INCRA
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
UFG	Universidade Federal de Goiás
IFG	Instituto Federal de Goiás
USD	<i>United States Dollar</i>
GPU	<i>Graphics Processing Unit</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
ET-CQDG	<i>Especificações Técnicas para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVOS.....	18
2.1 Objetivo geral	18
2.2 Objetivos específicos.....	18
3. REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1. Estado da arte.....	19
3.2. Parâmetros e procedimentos relacionados aos levantamentos fotogramétricos.....	20
3.2.1. Sobreposições	20
3.2.2. Sinalização.....	21
3.3. Avaliação da qualidade de dados obtidos com RPAS.....	23
3.4. Levantamentos Aerofotogramétricos com RPAS.	24
3.5. RPAS asa fixa.....	26
3.6. <i>Softwares</i>	27
4. Metodologia.....	29
4.1. Área de estudo	29
4.2. Material.....	29
4.2.1. Dados de Levantamento	30
4.2.2 <i>Softwares</i> e Estação de Trabalho	30
4.3 Procedimentos Metodológicos	31
4.3.1. Processamento	32
4.3.2. Preparação para análise estatística dos dados.....	33
4.3.3. Análise estatística de dados	33
5. RESULTADOS E DISCUSSões	35
5.1 Processamentos em cada <i>software</i>	36

5.1.1 Metashape PhotoScam.....	36
5.1.2 Web ODM	37
5.1.3 Pix4d.....	39
5.2 analise estatistica dos dados	41
5.2.1 Analise de relatórios de processamento e GSD.....	41
5.2.2 Estatística descritiva das distâncias	42
5.2.3 Analise da acurácia e precisão.....	44
5.2.4 Discrepâncias horizontais	46
5.2.5 PEC-PCD.....	49
6. Conclusões e recomendações	51
8. REFERÊNCIAS	52
APENDICE I – histograma dos valores de discrepancia dos tratamentos.	55

1. INTRODUÇÃO

Segundo Wolf (2004) “A fotogrametria foi definida pela Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto como a arte, ciência e tecnologia de obter informações confiáveis sobre objetos físicos e o ambiente por meio de processos de registro, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante registrada e outros fenômenos”. Durante a virada do século a aerofotogrametria com câmeras métricas e sensores embarcados em aeronaves convencionais foi muito utilizada como uma fonte financeiramente cara, mas com ótima qualidade de dados com alta resolução espacial e temporal, uma vez que as imagens orbitais, mesmo algumas com distribuição gratuita algumas vezes não atendiam as expectativas para determinado serviço devido a sua resolução espacial. Com o desenvolvimento de novos satélites e aperfeiçoamento de seus sensores, esse cenário começou a mudar a favor das imagens orbitais, com resolução similar e valores bem competitivos, chegando ao ponto de quase que acabar por completo com a aerofotogrametria feita por aeronaves tripuladas.

O conceito de aeronaves não tripuladas não é novo, mas foi muito restrito, no passado, a aplicações militares. Atualmente com a miniaturização da tecnologia, como câmeras digitais, sistemas inerciais e *Global Navigation Satellite System* (GNSS) ou Sistema Global de Navegação por Satélite cada vez menores e leves, paralelo a isso a popularização de aeromodelismos e consequentemente desenvolvimento de plataformas remotamente pilotadas ou simplesmente *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS) em especial as de utilização civil, tem provido soluções de imageamento e mapeamento com uma hiper resolução espacial e alta resolução temporal, tendo grande potencial em áreas de estudo como agricultura de precisão, monitoramento ambiental, construção civil, mineração dentre outros. Apesar dos baixos custos em relação a um aerolevantamento convencional ou aquisição de imagens orbitais de hiper resolução espacial, o processamento das imagens obtidas e geração de modelos digitais para análises mais específicas do terreno em sua grande maioria são feitos em *softwares* comercializados, muitas vezes podendo inviabilizar estudos ou serviços de pequeno porte, devido ao orçamento baixo.

Neste contexto, é interessante avaliar a qualidade dos produtos obtidos pelos RPAS, para validar sua utilização nas diversas áreas supracitadas, bem como buscar ferramentas alternativas gratuitas para realizar o processamento dos dados e obtenção dos produtos, como

ortomosaicos, modelos digitais de elevação e modelos digitais de terreno, possibilitando maior acessibilidade para profissionais que estão ingressando na atuação profissional na aerofotogrametria utilizando RPAS.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa foi a avaliação da qualidade dos ortomosaicos gerados a partir de dados obtidos por RPAS do tipo asa fixa, processados tanto em *softwares* livres quanto comerciais.

2.2 Objetivos específicos

O presente trabalho teve por objetivos específicos:

- Avaliar a qualidade posicional planimétrica dos ortomosaicos gerados, conforme o Padrão de Exatidão Cartográfica de Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD);
- Analisar comparativamente os *softwares* comerciais e livres quanto ao tempo de processamento; a caracterização de interfaces; e, a automatização de etapas disponíveis nos softwares;
- Analisar o efeito da quantidade de pontos de controle na qualidade dos produtos cartográficos processados nos diferentes *softwares*.

3. REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura aborda somente os itens pertinentes a essa pesquisa como *softwares*, RPAS, análises estatísticas de avaliação de qualidade e aerolevantamentos.

3.1. Estado da arte

Segundo Wolf *et al.* (2004) A aerofotogrametria tem sua origem no meio militar, ao qual se empregavam uma plataforma voadora podendo ser dirigíveis ou aviões para identificar posições inimigas. Após o fim dos conflitos de escala global e certa popularização dos aviões a aerofotogrametria passou a ser uma alternativa viável para determinados trabalhos civis, mas ainda sim envolvia grandes custos operacionais. Atualmente com a popularização das aeronaves não tripuladas aliado a miniaturização da tecnologia com câmeras digitais e receptoras GNSS cada vez menores e mais leves foi possível obter soluções de imageamento e mapeamento com alta resolução espacial e temporal a um relativo baixo custo, se comparado a aerofotogrametria convencional com uso de aviões e câmeras métricas. A utilização dessas plataformas tem se mostrado de grande potencial para diversas áreas civis como agricultura, construção civil, monitoramento ambiental, mineração dentre outras.

Niethammer *et al.* (2012, apud RODRIGUES, 2016) em seu trabalho de análise de deslizamento de terra utilizando um RPA e comparando o ortomosaico resultante com outro gerado por fotogrametria convencional, identificou uma precisão planimétrica de 0.5 m e altimétrica de 0.31 m. Os autores concluíram que "o uso de RPAS para a tomada de fotografias de alta resolução constitui uma alternativa barata, rápida e eficaz."

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) ou atualmente chamados de RPAS, sigla da expressão na língua inglesa "*Remotely Piloted Aircraft System*" são definidos pela Agência brasileira de Aviação Civil (ANAC) através de seu Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial número 94 (RBAC-E 94) como "aeronave não tripulada pilotada a partir de uma estação de pilotagem remota com o enlace de pilotagem e qualquer outro componente, como especificado no seu projeto".

Segundo Dutra e Guimarães (2015), atualmente existem vários tipos de RPAS como: dirigíveis, helicópteros, aviões ou asas fixas, quadricópteros/hexacópteros etc. (prefixo determinado pela quantidade de motores). Os mais comuns para trabalhos destinados ao uso civil, são os tipos: asa fixa e multirotores.

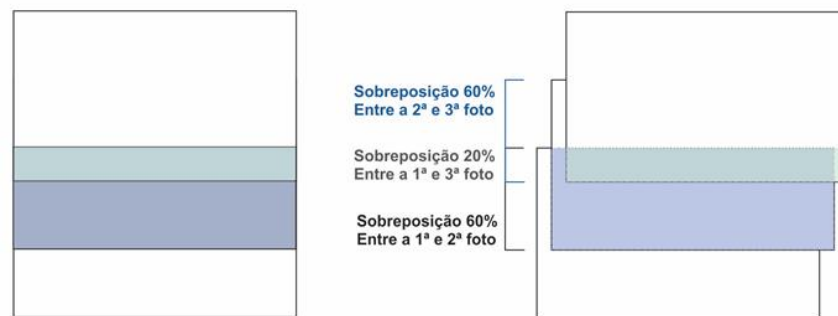
3.2. Parâmetros e procedimentos relacionados aos levantamentos fotogramétricos

Para realização dos levantamentos fotogramétricos e obtenção dos produtos, diversos parâmetros e procedimentos devem ser observados. A seguir serão abordados os itens mais relevantes.

3.2.1. Sobreposições

Em aerofotogrametria é importante garantir a integridade e continuidade das imagens evitando assim os chamados "buracos" nos ortomosaicos gerados, que são falhas que normalmente ocorrem quando o *software* não identifica pontos homólogos ou (*tie points*) nas imagens geradas da área mapeada prejudicando o processo de amarração dos pontos e das diversas imagens. Para evitar esse problema tem se utilizado as sobreposições longitudinais e laterais das imagens no planejamento de um projeto aerofotogramétrico. A sobreposição longitudinal (Figura 1) consiste em criar uma área comum entre duas fotos adjacentes no sentido da linha de voo, geralmente essa sobreposição é definida em porcentagem de uma foto sobre a outra.

Figura 1 – Sobreposição Longitudinal.



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

A sobreposição lateral (segue o mesmo conceito da longitudinal, mas ocorre paralelo a linha de voo e geralmente com área de sobreposição menor)

Figura 2 – Sobreposição Lateral.



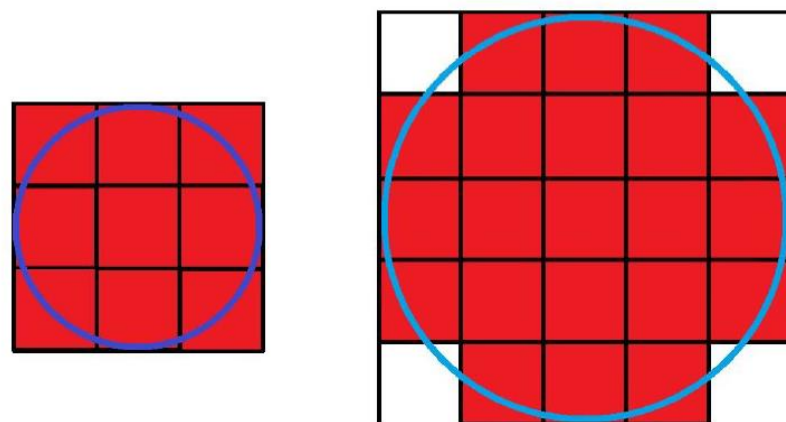
Fonte: Droneng Drones E Engenharia (<https://blog.droneng.com.br/buracos-no-ortofotomosaico-como-evitar/>). Acesso em: 20 jul. 2021.)

A sobreposição mínima exigida na fotogrametria segundo Wolf *et al.* (2013) é de 60% na sobreposição longitudinal e de 30% na sobreposição lateral.

3.2.2. Sinalização

A sinalização é utilizada para materializar os pontos de controle em campo com o auxílio de um receptor GNSS, para posteriormente verificar a acurácia do ortomosaico gerado. Segundo Rodrigues (2016) "o alvo pré-sinalizado possui todas as suas dimensões proporcionais ao círculo central e este, por sua vez, está em função do *Ground Sample Distance* (GSD)" (Figura 3).

Figura 3 - Representação de um alvo pré-sinalizado em um sensor ocupando 3x3 ou 5x5 pixel.



Fonte: Queiroz Junior e Magalhães (2021)

Ainda segundo Rodrigues (2016), na fotogrametria digital o alvo pré-sinalizado deve ser representado na fotografia como uma matriz 3x3 ou 5x5, pois a identificação de seu centro fica inequívoca.

Alves Júnior (2015) em seu trabalho optou pelo padrão sugerido por Wolf (2004) e Ministério do Exército (1984). O modelo consistia em um círculo de 30 cm de diâmetro, sem faixas laterais. O autor destaca na imagem que o alvo foi representado com dimensão em solo de uma matriz de 3x3 pixels (Figura 4).

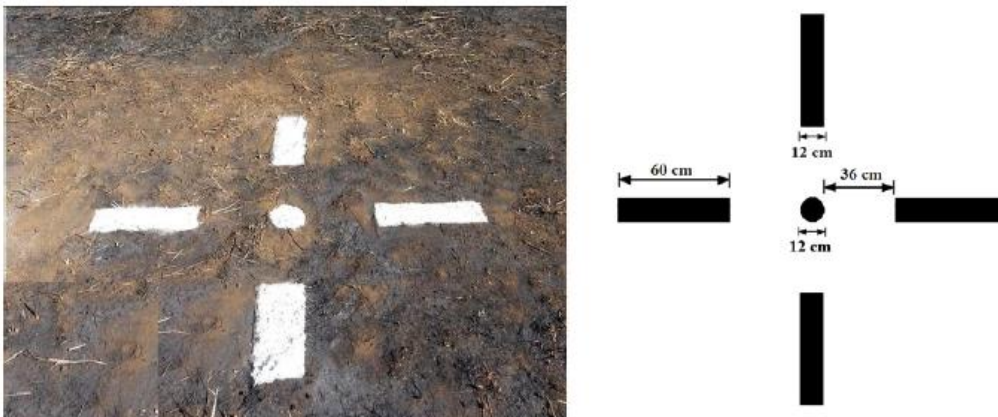
Figura 4 - Implantação de um alvo pré-sinalizado e rastreamento do mesmo.



Fonte: Alves Júnior (2015)

Rodrigues (2016) optou pelo mesmo modelo, mas com faixas laterais, para facilitar a identificação dos alvos no terreno (Figura 5).

Figura 5 - Alvo pré-sinalizado.



Fonte: Rodrigues (2016).

A Figura 6 mostra mais alguns modelos de alvos pré-sinalizados sugeridos pelo Brasil (1984) através do Ministério do Exército e Wolf (2004).

Figura 6 - Modelos de alvos pré-sinalizados mais utilizados



Fonte: Wolf (2004)

3.3. Avaliação da qualidade de dados obtidos com RPAS.

Alves Júnior *et al.* (2015) em seu trabalho com um RPAS *Swinglet Cam* do tipo asa fixa, avaliaram a qualidade dos produtos gerados (ortomosaico e MDS) a partir dos dados coletados por essa plataforma e processados no *software* comercial Pix4D. Para se calcular a acurácia e a precisão dos produtos gerados os autores sugerem, avaliar os mesmos pelas discrepâncias calculadas entre as coordenadas tridimensionais dos pontos de verificação, obtidas com receptor GNSS (adotadas pelos autores como *Ground Truth* ou verdadeiras e isentas de erros), com as coordenadas dos mesmos pontos lidas nos produtos finais.

No trabalho dos autores o MDT e ortomosaico foram avaliados para terem escala compatível com uma Carta de Exatidão Cartográfica (PEC) de classe A, segundo o Decreto Federal 89.817 (1984), conforme mostra o Quadro 1 - Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) (1984).

Quadro 1 - Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) (1984).

Classe	Planimetria		Altimetria	
	PEC	Erro Padrão	PEC	Erro Padrão
	Carta (mm)	Carta (mm)	Carta (mm)	Carta (mm)
A	0,50	0,30	1/2 * Equidist.	1/3 * Equidist.
B	0,80	0,50	3/5 * Equidist.	2/5 * Equidist.
C	1,00	0,60	3/4 * Equidist.	1/2 * Equidist.

Fonte: O autor (2021)

Para a avaliação de precisão e acurácia de qualquer produto cartográfico, Merchant (1982) propôs os testes estatísticos t-Student e qui-quadrado, dê de que os as amostras apresentem uma distribuição normalizada, assim como demonstrados em seus trabalhos por Nazareno *et al.* (2009), Alves Júnior *et al.* (2015), Rodrigues (2016), caso o contrário a comparação deve ser realizada apenas com as estatísticas descritivas.

3.4. Levantamentos Aerofotogramétricos com RPAS.

Jaud *et al.* (2016) investigaram e compararam os resultados de um modelo digital de superfície (MDS) obtido por um RPAS, plataforma multirrotor (hexacoptero), equipado com uma câmera não métrica Nikon D700 com 12 Megapixels e gerado em um pos-processamento por um software comercial (Agisoft PhotoScan) e um software aberto (IGN MicMac). A região escolhida para o estudo citado foi um rio na região de Riviere des Remparts, a geomorfologia do terreno é muito acidentada formada por inúmeros terremotos e erupções vulcânicas, é considerada um departamento ultramarino francês no oceano Índico no continente africano. Foram implementados 24 alvos georreferenciados no solo, sendo 12 pontos de controle e 12 pontos de validação para testar a qualidade dos produtos gerados por ambos os *softwares*. O voo foi executado com uma altura média de voo de 100 m com um *Ground Sample Distance* (GSD) de 1,7 cm. O resultado dos erros verticais e horizontais dentro da região com pontos de controle e sem pontos de controle, foram similares para ambos os *softwares*, com uma pequena vantagem ao PhotoScan, encontrando uma precisão de 3 a 4 centímetros para ambos *softwares*. A qualidade do MDS também foi comparada entre os *softwares* e dados coletados por um *laser scan*. Os MDS e a nuvem de pontos gerados nos *softwares* também foram comparados quanto a sua escala de recursos, com a diferença de que o Agisoft Photoscan apresentou um resultado de qualidade um pouco melhor e ser mais simples de usar (amigável ao usuário), mas o código é fechado, já o IGN MicMac, necessita de maior experiência do usuário e tendo o código aberto.

Niethammer *et al.* (2011), em um workshop realizado no encontro anual da *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS) ou sociedade internacional de fotogrametria e sensoriamento remoto, apresentaram seu trabalho de pesquisa no qual buscaram analisar duas pequenas regiões de deslizamento de terra através de uma plataforma de sensoriamento remoto de baixo custo e mantendo a mesma linha de baixos recursos financeiros processando os dados obtidos em *software* livre ou *open-source* (código aberto). As áreas de estudo foram: Um pequeno deslizamento da face norte do Barcelonnette Basin nos Alpes franceses, que tem se deslizado a uma velocidade média de 40 cm por dia, e outro deslizamento localizado nos Alpes Vorarlberg na Áustria, que apresenta também um deslizamento de poucos centímetros por dia. A aquisição das imagens foi obtida por um RPAS quad-rotor controlado de forma manual e equipado com uma câmera não métrica e sem a utilização de pontos de controle no solo, os autores levantaram voo a uma altura de cerca de

200 metros e um GSD cerca de 6 cm e tiravam uma foto, posteriormente pousavam o RPA e analisavam manualmente a imagem direto na câmera e depois repetiam o mesmo procedimento em outra área definida de forma que todas as imagens apresentasse pontos naturais homólogos. O processamento das imagens se deu com a elaboração do ortomosaico, posteriormente a geração do MDS e por último a projeção do ortomosaico no MDS. Para analisar a qualidade do produto gerado, os autores compararam os resultados obtidos com um estudo prévio da região utilizando a técnica de *LaserScan* identificando algumas diferenças e distorções significativas. Apesar disso os autores concluem que os algoritmos de código aberto usados por eles na época do estudo de forma geral foram capazes de lidar com o processamento dos dados e os modelos gerados podendo ser comparável aos modelos gerados pelo sensoriamento remoto clássico e ressaltam a necessidade de aperfeiçoamento dos algoritmos de código aberto, pois na época da realização do estudo muitos dos códigos utilizados eram fornecidos apenas em versões betas, apresentavam muitos problemas. Vale ressaltar que muitos dos softwares utilizados e indicados pelos autores já não estão mais disponíveis ou foram descontinuados.

Alves Júnior (2015) teve por objetivo principal em seu trabalho analisar a precisão e acurácia em áreas urbanas e rurais de ortomosaicos e MDS gerados a partir de um aerolevanteamento realizado com uma aeronave não tripulada ou RPAS do tipo asa fixa e sensor não métrico de baixo custo e pós-processado por *software* comercial de aerofotogrametria (pix4d). Para a realização do estudo, foram distribuídos alvos (pontos de controle e pontos de validação) que obtiveram suas coordenadas estabelecidas em campo com o auxílio de um GNSS geodésico no método *Real Time Kinematic* (RTK). “A avaliação do padrão de exatidão cartográfica (PEC) foi realizada pelas discrepâncias entre essas coordenadas”. Para analisar a tendenciosidade e a precisão pela probabilidade, foram utilizados os testes de t de Student e do qui-quadrado, considerando o ortomosaico Classe A conforme PEC estabelecido no Decreto n. 89.817 de 20/06/1984.

Em outro trabalho realizado em conjunto por Alves Júnior, Cortes, Silva e Ferreira (2015) o qual avaliam a qualidade dos ortomosaicos e MDS gerados sem pontos de apoio e com pontos de apoio utilizando um RPAS do tipo asa-fixa de pequeno porte e processando os dados a partir do *software* Pix4d e após a aplicação dos testes estatísticos como t-student e qui-quadrado concluem que os ortomosaicos gerados sem ponto de apoio apresentaram maiores discrepâncias planialtimétricas de 54 vezes maior no eixo E, 111 vezes maior no eixo

N, 10 vezes maior no eixo Z e tendenciosidade se comparado ao ortomosaico e mds gerado com 8 pontos de apoio. Na mesma linha Rodrigues (2016) que utilizou um RPAS do tipo multi-rotor e processou os dados no software PhotoScam conclui que: “é de suma importância a utilização de pontos de controle para a geração do MDS e do ortomosaico. Ficou demonstrado que os ortomosaicos gerados sem pontos de controle apresentaram rotação, translação e fator de escala quando comparados com o referencial de terreno. O mesmo foi observado no MDS”.

3.5. RPAS asa fixa

Um RPAS muito utilizado em todo o mundo é o modelo E-Bee fabricado pela empresa suíça SenseFly (figura 7) e comercializado no Brasil pela empresa Santiago & Cintra Geotecnologias, com sua carga útil embarcada composta por um receptor GNSS, uma câmera não métrica modelo SenseFly Aeria X de 24 Mpix, com distância focal fixa de 16 mm. Fabricada pela própria empresa. O RPAS E-Bee possui uma envergadura de 116 cm velocidade de cruzeiro de 40 km/h a 110 km/h. A sua decolagem é feita de forma manual estilo lançamento e sua aterrissagem automática de barriga, podendo ter o voo realizado de forma autônoma ou controlado pelo operador via rádio. A autonomia de voo é de 90 min, dependendo do peso da aeronave, possui uma carga máxima de decolagem de até 1,6 kg e possui um raio de alcance de até 37 km em relação ao ponto de lançamento.

Figura 7 - RPAS eBee



Fonte: SenseFly (<https://www.sensefly.com/pt/drone/ebex/> Acesso em 05 jun. 2021).

3.6. Softwares

O desenvolvimento dos RPAS na atualidade só foi possível pelo desenvolvimento computacional e desenvolvimento de algoritmos ou *softwares* capazes de atender as necessidades de tais plataformas. Necessidades essas, como planejamento e monitoramento de voo e processamento e tratamento dos dados obtidos durante o voo.

O presente trabalho aprofunda-se apenas nos softwares relacionados ao processamento dos dados obtidos por RPAS, tenta-se responder a que ponto um *software open-source* ou código aberto é capaz de gerar produtos como ortomosaicos, em comparação com os softwares comerciais já consolidados no mercado.

Segundo a *Open Source Initiative* (OSI), a definição de um software *open-source* ou código aberto não significa apenas acesso ao código-fonte. Os termos de distribuição do *software* de código aberto devem obedecer aos seguintes critérios como distribuição gratuita, o código fonte deve estar disponível ao usuário de forma gratuita ou por um valor mínimo apenas para algum eventual custo operacional do mesmo, a licença deve permitir

modificações e trabalhos derivados e permitir que os mesmos sejam distribuídos sob os mesmos termos da licença do *software* original, para a licença de uso do *software* não pode haver discriminação de usuários que podem usar ou não e os *softwares* desenvolvidos devem respeitar os direitos autorais de estilos e *layouts* de outros *softwares* comerciais ou não.

Atualmente em aerofotogrametria com a utilização de RPAS destaca-se pela popularidade de utilização em diversos trabalhos tanto acadêmicos quanto no meio profissional, os softwares comerciais Pix4d e Agisoft PhotoSacam ou Metashape. Timidamente começam a aparecer em trabalhos acadêmicos a utilização de softwares de código aberto como na pesquisa de Jaud et al (2016) que fizeram um comparativo de qualidade entre o IGN Mic Mac e Agisoft Photoscan ou na pesquisa de Martínez Batlle J.R. (2018) que utilizou o *software Open Drone Map* (ODM). No meio profissional não foi possível mensurar a utilização desses softwares devido à falta de publicações ou informações de profissionais ou empresas que trabalham com produtos gerados através de aerolevanteamento com RPAS

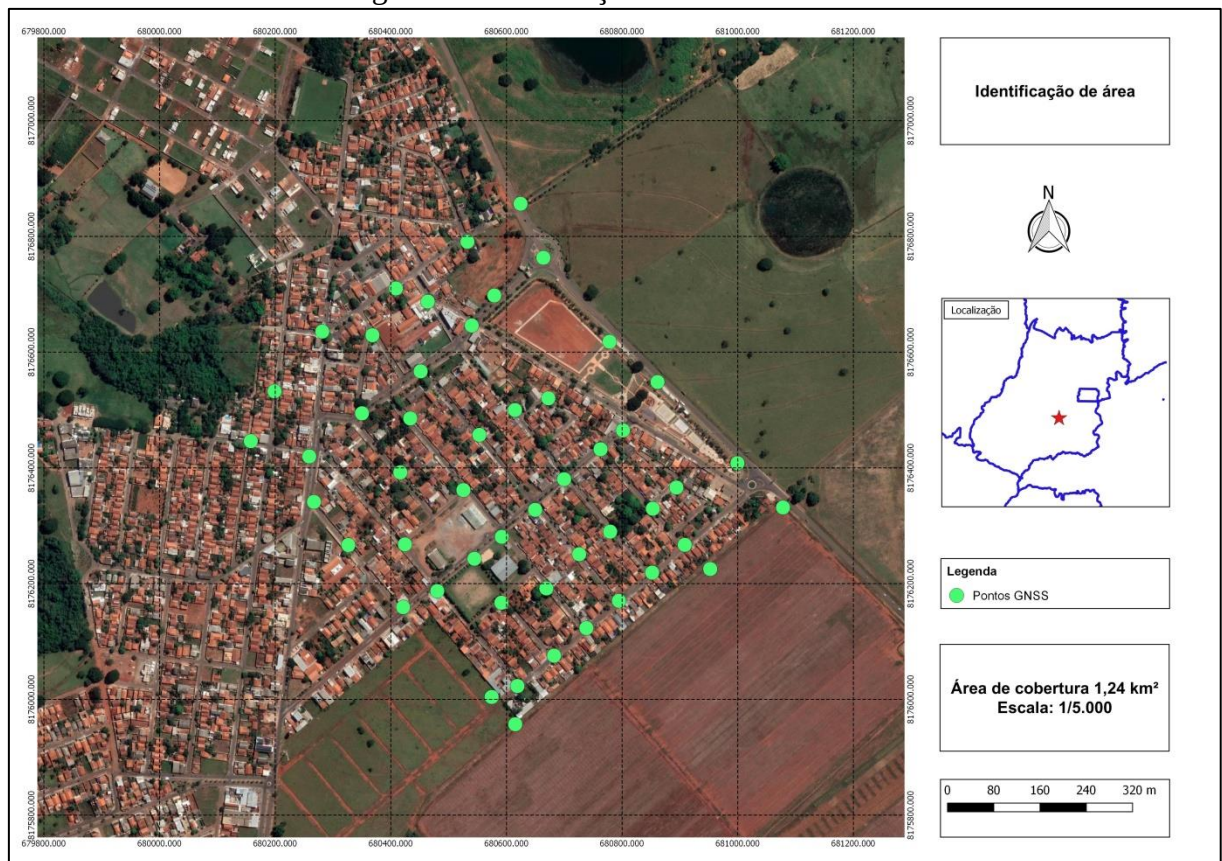
4. METODOLOGIA

Esta pesquisa é classificada, quanto à finalidade, como do tipo aplicada, e quanto aos objetivos, exploratória.

4.1. Área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Santo Antônio de Goiás, situado na região metropolitana de Goiânia no estado de Goiás, conforme é mostrado na Figura 8. É uma zona urbana compondo uma área de cobertura de aproximadamente 1,24 km² composta por 73 imagens obtidas por um RPAS do tipo asa fixa, modelo E-Bee.

Figura 8 – Localização da área de estudo.



Fonte: O autor, adaptado de Pereira et al. (2017).

4.2. Material

A seguir estão relacionados os materiais utilizados para a realização da pesquisa, que foram segmentados em dois subitens: Dados de Levantamento e *Softwares* e estação de trabalho.

4.2.1. Dados de Levantamento

Os dados de levantamento que foram utilizados na análise da qualidade entre os *softwares* foram obtidos em campo durante a pesquisa “Verificação da precisão de um ortomosaico em função do número de pontos de apoio” realizada por Pereira et al. (2017), que utilizaram um RPAS do tipo asa fixa, modelo E-Bee para a obtenção das imagens. Os dados foram gentilmente cedidos pelos autores.

O planejamento e a execução do voo foram executados utilizando o *software* eMotion com altura de voo de 250 metros, tempo aproximado por voo de 37 a 42 minutos e recobrimento longitudinal da imagem de 70% e o lateral de 60%. Foram implementados 50 alvos pré sinalizados, sendo 9 considerados pontos de controle e 41 como pontos de verificação. Os alvos tinham formato circular, o mesmo foi dimensionado em função de um GSD de 8 cm. As coordenadas dos alvos foram obtidas através do método de posicionamento relativo estático-rápido, usando um par de receptores GNSS R4 fabricados pela empresa Trimble e outro par do modelo GR3 fabricados pela empresa Topcon, com o tempo de ocupação de 20 minutos.

4.2.2 *Softwares* e Estação de Trabalho

Os *softwares* de fotogrametria que foram testados nesse trabalho são divididos em duas categorias, são elas: *Softwares* comerciais (Pix4d e PhotoScam) e Livre ou *Open Source* (WebODM). Em parceria com o Instituto Federal de Goiás (IFG), a licença comercial do software Pix4d foi cedida pela empresa 3DGeo Mapeamentos, e a licença do software Photoscam cedida pela Universidade Federal de Goiás (UFG).

Pix4d: *Software* desenvolvido pela empresa Suíça de mesmo nome. O custo de sua licença de uso atualmente pode variar de USD 160,00 a USD 320,00 por mês dependendo do pacote escolhido pelo usuário.

Agisoft PhotoScam: Atualmente conhecido como Agisoft Metashape, desenvolvido pela empresa russa Agisoft. Sua licença de uso atualmente tem o valor de USD 170,00 por mês .

WebODM: *Software* desenvolvido pela OpenDroneMap, pode ser usado tanto off-line como em nuvem, possui licença gratuita ou paga, cerca de USD 57,00. A versão paga refere-se à forma de instalação, neste caso em um arquivo executável, caso o usuário opte pela versão gratuita, deve-se instalar o *software* de maneira manual, procedimento este um pouco

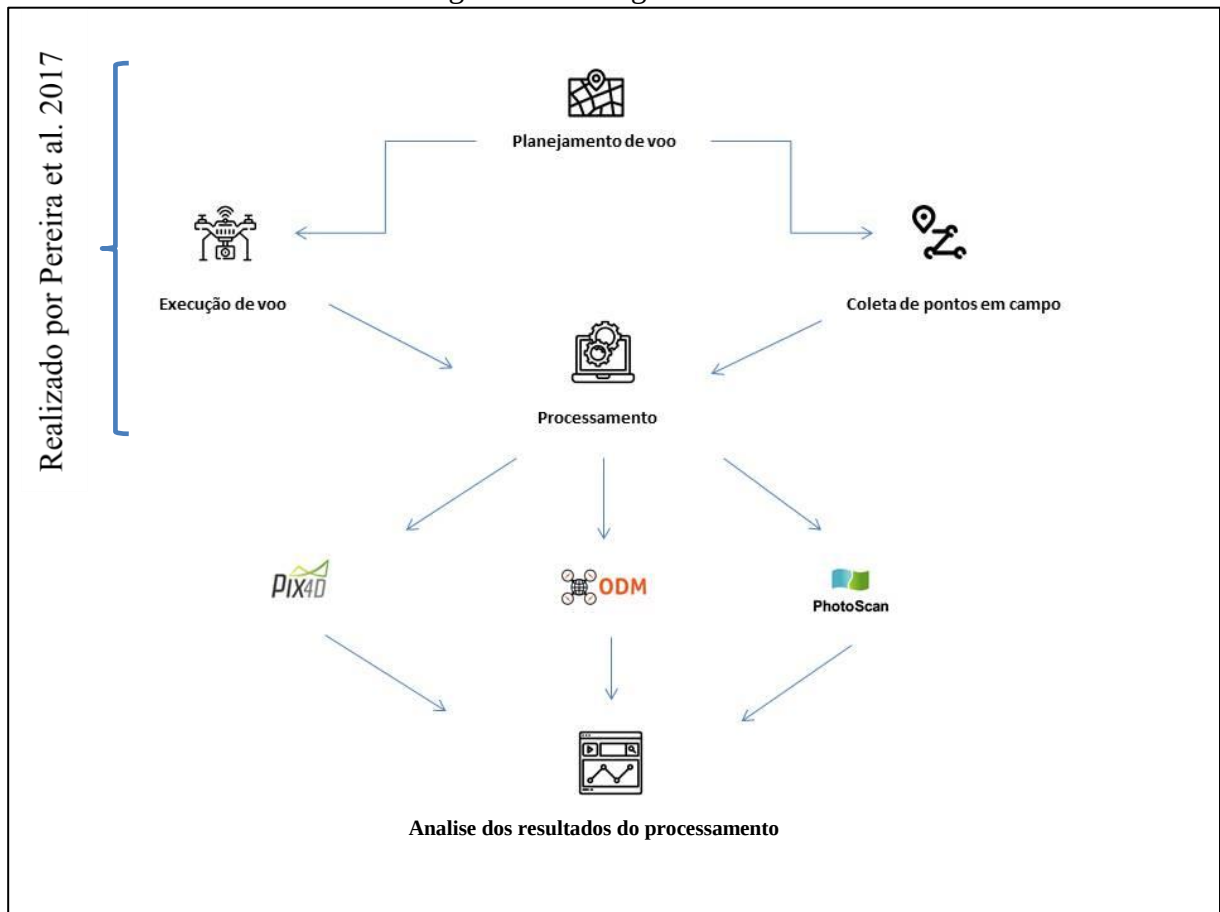
mais complexo, mas possível de realizar utilizando tutoriais em língua inglesa disponibilizados pelo próprio desenvolvedor.

O computador (estação de trabalho) que processou os dados nos *softwares* citados foi disponibilizado pelo IFG em seu laboratório de fotogrametria. O computador possui a seguinte configuração: Intel Core i7 (4770) que trabalha a uma frequência de 3.4 GHz de processamento da CPU (*Central Processing Unit*), com 8 Gb de memória RAM (*Random Access Memory*) e uma placa gráfica ou GPU Nvidia Quadro K4000 de 3 Gb de memória gráfica.

4.3 Procedimentos Metodológicos

Os procedimentos metodológicos realizados para a execução do presente estudo estão divididos conforme é mostrado no fluxograma da Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma de trabalho



Fonte: O autor (2021).

4.3.1. Processamento

No presente trabalho se optou por elaborar três cenários para cada *software* gerando um total de nove processamentos. São eles:

Cenário 1: Os dados foram processados sem a utilização dos pontos de apoio e adotou-se o sufixo *nep* (*non control points*) para designar as coordenadas desse cenário em planilha digital e posteriormente para fins de programação em linguagem *python* das análises estatísticas.

Cenário 2: Realizou-se com a utilização de cinco pontos de apoio e adotou-se o sufixo *5cp* (*5 control points*) para designar as coordenadas desse cenário em planilha digital e posteriormente para fins de programação em linguagem *python* das análises estatísticas.

Cenário 3: Realizou-se com a utilização de oito pontos de apoio e adotou-se o sufixo *8cp* (*8 control points*) para designar as coordenadas desse cenário em planilha digital e posteriormente para fins de programação em linguagem *python* das análises estatísticas.

Basicamente nessa etapa todos os softwares apresentaram a mesma lógica de processamento.

- 1- Selecionar as imagens do projeto
- 2- Alinhamento das imagens
- 3- Inserção de pontos de apoio caso houver
- 4- Construção da nuvem de pontos e densificação da mesma.
- 5- Construção da malha
- 6- Texturização da malha
- 7- Geração do MDT e Orthomosaico

4.3.2. Preparação para análise estatística dos dados.

Nessa etapa utilizou-se um software do tipo SIG (Sistema de Informação Geográfica) no caso específico, utilizou-se o *software open source* Q-GIS.

No Q-GIS foram inseridos os pontos de verificação, coletados em campo com receptor GNSS geodésico em modo estático-rápido. Os mesmos foram considerados como verdade absoluta e adotou-se o sufixo *ref* (*reference*) para designar as suas coordenadas em planilha digital e posteriormente para fins de programação em linguagem *python* das análises estatísticas. Posteriormente, foi inserido de forma individual o orthomosaico referente a cada cenário e marcado no mesmo de forma manual os alvos pré-sinalizados que representavam os respectivos pontos de verificação. Após esse procedimento, os pontos marcados manualmente foram exportados para uma planilha digital no formato xls. que continha as respectivas coordenadas de cada ponto. As coordenadas utilizadas estavam no formato UTM e no datum Sirgas 2000.

Ao final dessa etapa, obteve-se as coordenadas tabuladas em planilha digital de cada ponto de verificação em cada cenário e em cada *software*.

4.3.3. Análise estatística de dados

A análise estatística dos dados constituiu na obtenção e tabulação das coordenadas dos pontos de verificação tidos como verdade ou *ref* e pontos de cada cenário para cada um dos três softwares Pix4d, Metashape e ODM.

Foi desenvolvido um código no ambiente colaborativo na plataforma Google Colab utilizando as bibliotecas Matplotlib, Pandas, Numpy, Seaborn e IO em linguagem python. (Figura 10). Para utilização do código desenvolvido basta alimenta-lo com uma planilha em formato .xls contendo as coordenadas de referência e as coordenadas de cada cenário dos respectivos pontos.

Figura 10 - Bibliotecas utilizadas

```
[ ] import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
import io
from google.colab import files
from os import stat
from scipy.stats import normaltest
from sklearn import preprocessing
from matplotlib import axes
import math
```

Fonte: O autor (2021)

Foram sistematizados os processos de análises estatísticas como teste de normalidade das diferenças, geração de histograma dos valores de discrepância dos tratamentos, gráficos de dispersão de pontos para cada cenário, calculo das estatísticas descritivas das distancias, gráfico *boxplot* das distancias e análise da qualidade cartográfica segundo a PEC-PCD.

Para se analisar em qual escala o produto gerado se encontra na PEC-PCD, segundo a Norma das Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) do Exército Brasileiro, primeiro é necessário calcular o erro (e_x, e_y) em cada componente planimétrica para o universo de pontos considerados. Os pontos do produto que serão testados são identificados pelo sufixo (t) e os pontos de referência (controle) são identificados pelo sufixo (r). Dado pelas equações (1) e (2)

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

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

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.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A apresentação dos resultados e sua respectiva discussão será realizada abordando a experiência a respeito da etapa de processamento em cada um dos softwares, e em seguida serão abordados os aspectos relacionados à análise de qualidade dos produtos gerados e à parte estatística dos resultados.

Alguns softwares apresentaram maior automação no processo como Pix4d e ODM e menor como o Metashape.

5.1 Processamentos em cada *software*.

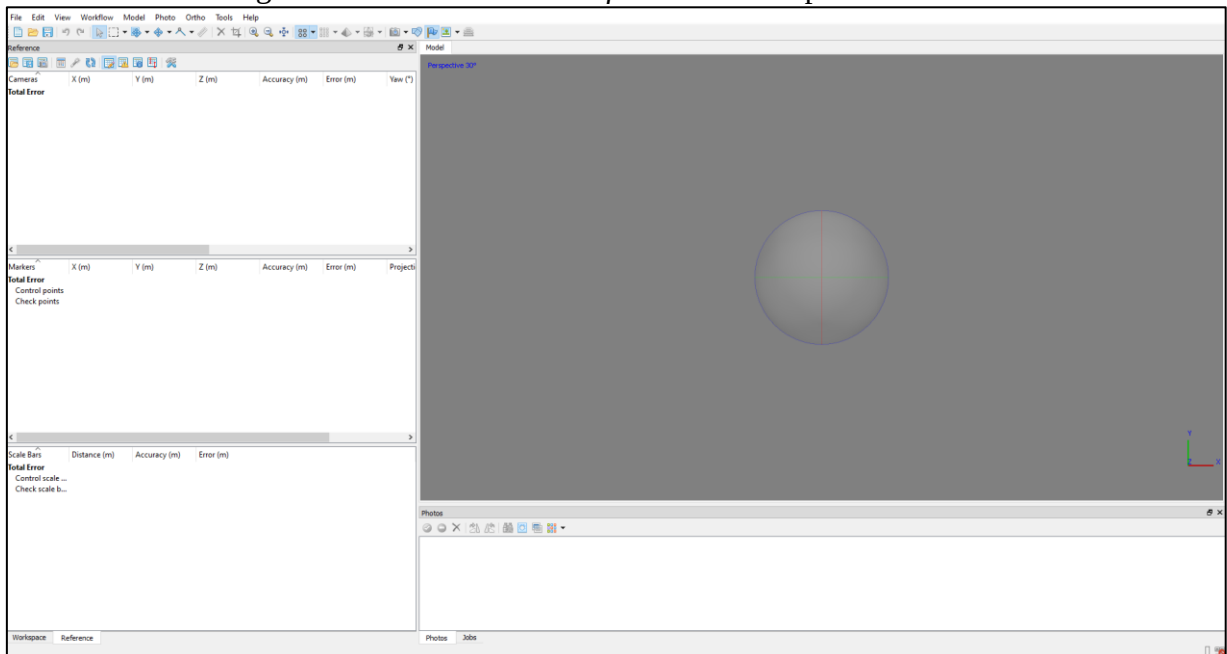
Nesse tópico avalia-se de forma geral cada *software* no quesito facilidade de uso, automação e otimização computacional dos mesmos. Ressalta-se que as observações são percepções do autor relatadas durante os processamentos e algumas são relatos de outros casos de usuários. Todos os processamentos foram elaborados utilizando a configuração *default* (padrão) de cada *software*.

5.1.1 Metashape PhotoScam

Software comercial de origem russa desenvolvido pela empresa Agisoft. A versão utilizada nessa pesquisa foi a 1.5.0.

O *software* é de fácil instalação e possui uma interface amigável e intuitiva de uso podendo ser toda personalizada as preferencias do usuário. Figura 11

Figura 11 – *Main menu* do *software* Metashape PhotoScam



Fonte: O autor (2021)

O *software* em sua configuração padrão apresenta uma sequencia de trabalho bem intuitiva representada pela sua aba *workflow*. O primeiro passo é inserir as fotografias no software, alinhar as mesmas, inserir e marcar os pontos de controle em todas as fotografias, aplicação das correções de distorções do sistema de lentes (otimização da câmera), densificação dos pontos, classificação dos pontos por filtragem em pontos de terreno, geração

do modelo digital de superfície, geração do modelo digital do terreno, geração do ortmosaico e relatório de processamento.

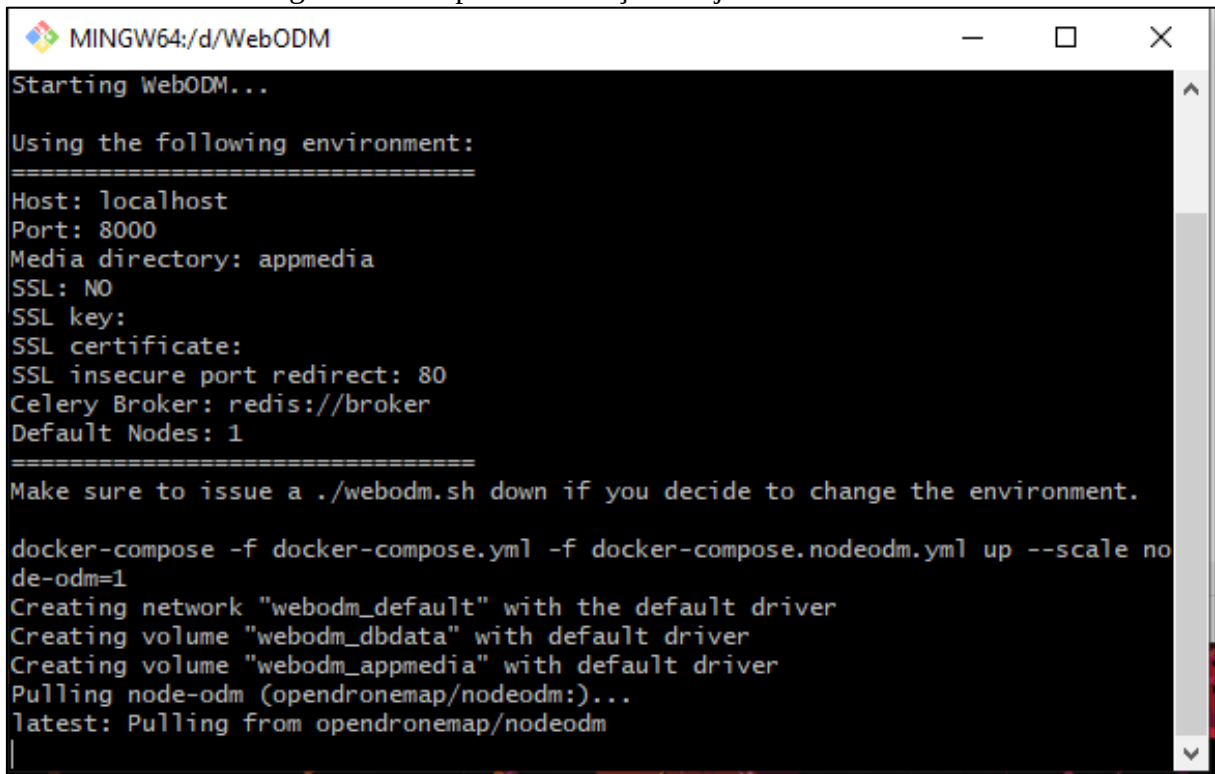
Cada etapa do processo pode ser configurada de forma a atender as necessidades específicas do trabalho a ser realizado, diferente dos outros softwares comparados que apresentam essa etapa de configuração antes do início do processo e depois essas etapas citadas são feitas de forma automatizadas, ou seja, sem interação do usuário.

O tempo total de processamento, ou seja, apenas o trabalho da máquina foi de aproximadamente de quinze minutos, ressalta-se que algumas etapas como inserir e marcar os pontos de controle nas imagens, necessita de interação direta do usuário e por isso essa etapa não foi computada no tempo aproximado.

5.1.2 Web ODM

Software desenvolvido pela comunidade OpenDroneMap é um *open source*, apesar disso para facilitar sua instalação o usuário pode optar pela compra do instalador a um valor único de USD 57,00 ou instalar o mesmo de forma gratuita e manual em tela de comando (Figura 12), procedimento esse que é um pouco mais difícil, mas a própria desenvolvedora disponibiliza em seu site o *tutorial* em língua inglesa, por esse motivo torna esse software o mais complicado de se instalar em comparação ao Metashape PhotoScam e Pix4d.

Figura 12 - Etapa de instalação em janela de comando



```

MINGW64:/d/WebODM
Starting WebODM...

Using the following environment:
=====
Host: localhost
Port: 8000
Media directory: appmedia
SSL: NO
SSL key:
SSL certificate:
SSL insecure port redirect: 80
Celery Broker: redis://broker
Default Nodes: 1
=====
Make sure to issue a ./webodm.sh down if you decide to change the environment.

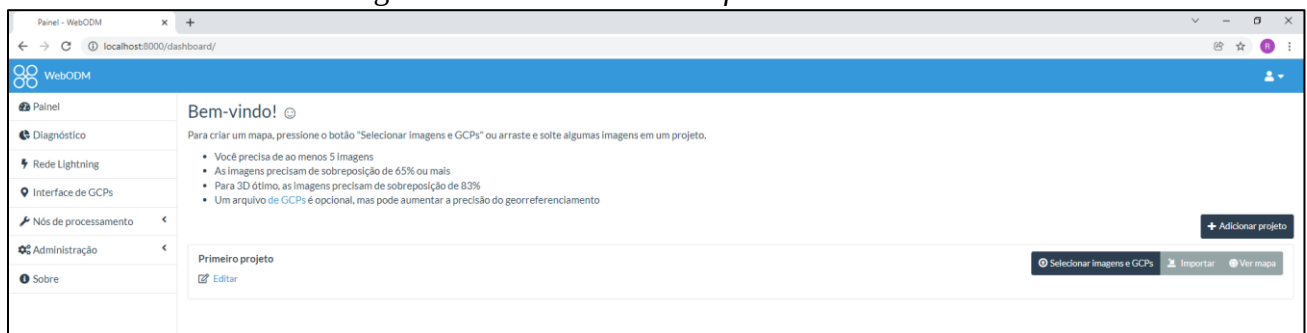
docker-compose -f docker-compose.yml -f docker-compose.nodeodm.yml up --scale no
de-odm=1
Creating network "webodm_default" with the default driver
Creating volume "webodm_dbdata" with default driver
Creating volume "webodm_appmedia" with default driver
Pulling node-odm (opendronemap/nodeodm:)...
latest: Pulling from opendronemap/nodeodm

```

Fonte: O autor (2021)

Em relação ao seu *layout* (Figura 13) e operacionalidade, o mesmo diferente dos demais é executado em uma janela de navegador de internet através do endereço <http://localhost:8000>, apesar de ser executado em um navegador, não necessariamente necessita de uma conexão com a internet.

Figura 13 – Main menu do software WebODM



Fonte: O autor (2021)

O *software* é muito amigável ao usuário e de fácil utilização. Diferente do Metashape PhotoScam e mais semelhante ao Pix4d, a etapa de todas as configurações do processo e

inserção de pontos de controle, ocorre antes do início do processo. Ressalta-se que a etapa de inserção dos pontos de controle é a mais difícil entre os *softwares* analisados e necessita de um conhecimento básico de computação e formatos de coordenadas.

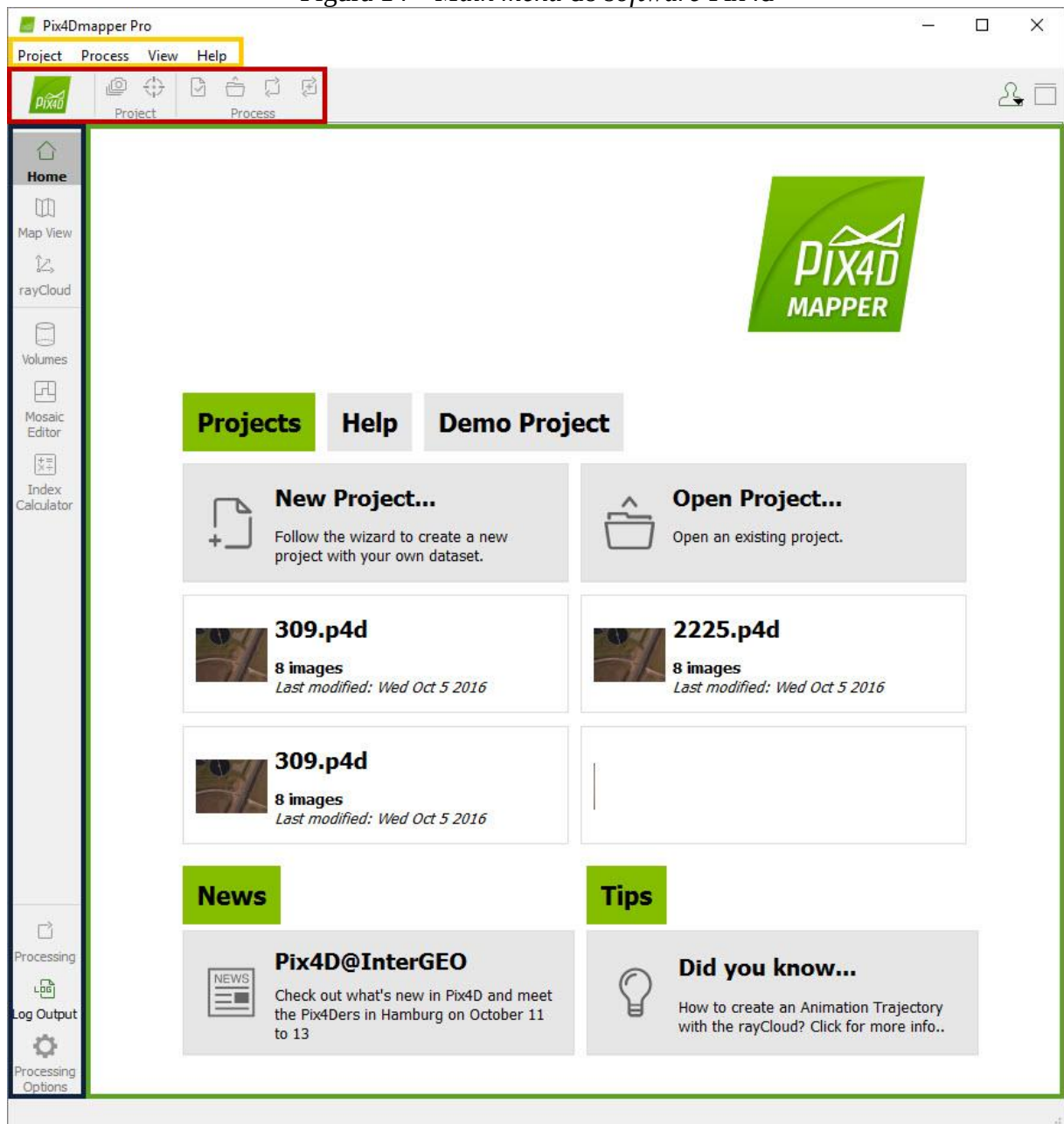
Após todas as configurações feitas o processo ocorre de forma automatizada sem nenhuma interação com o usuário, no caso do presente trabalho o software processou 73 imagens em cerca de oito minutos gerando ao final do processo os modelos digitais de terreno e superfície e o ortomosaico, todos em formato GeoTiff, e o relatório de processamento em formato PDF.

Apesar do tempo de processamento ser menor que do Metashape PhotoScam e semelhante ao Pix4d, o Web ODM ainda não está bem otimizado como *software*, pois não utiliza os recursos da placa de vídeo do computador no processamento, sobrecarregando assim o processador e as memórias RAM, dado esse inclusive divulgado pela própria comunidade desenvolvedora. Há relatos nas comunidades desenvolvedoras de que o mesmo não foi capaz de processar cerca de 1600 imagens, já que o mesmo sobrecarregou a memória RAM do computador e os softwares comerciais conseguiram finalizar o processo na mesma estação de trabalho, outro relato corriqueiro de usuários é que o *software* também apresentou problemas em não reconhecer arquivos no formato txt com as *GeoTag* das imagens, pois alguns RPAS como o brasileiro Arator 5B, fabricado pela empresa Xmobots não disponibilizam imagens com GeoTag inseridas, mas um arquivo no formato txt com as informações de coordenadas geográficas para todas as imagens.

5.1.3 Pix4d

Software comercial desenvolvido pela empresa Suíça de mesmo nome. O *software* apresenta um *layout* amigável ao usuário e de fácil utilização. Figura 14.

Figura 14 – Main menu do software Pix4d



Fonte: Pix4d (<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557839-Interface> - Acesso em 21 nov de 2021)

Diferente do Metashape PhotoScam e mais semelhante ao Web ODM, a etapa de configuração dos parâmetros ocorre antes do início do processo, o usuário caso queira também pode escolher algumas configurações sugeridas pelo próprio *software*. Durante o termino de cada etapa de processo o *software* permite ao usuário pre visualizar o resultado do mesmo e apresenta um relatório de processamento, os produtos que podem ser pre visualizados são: nuvem de pontos, posição das câmeras, modelos digitais de terreno e

superfície e por fim o orthomosaico. O tempo médio de processamento para esse trabalho foi cerca de oito minutos.

5.2 análise estatística dos dados

Antes de se realizar qualquer teste de precisão e acurácia, foi necessário verificar se as distribuições das amostras poderiam ser consideradas normal, 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. As discrepâncias nas coordenadas somente seriam considerada normal se o valor P fosse maior que a significância adotada de 0.05. Assim analisando o Quadro 2, percebe-se que as amostras do software Metashape PhotoScam em todos os cenários, não passaram no teste de normalidade.

Quadro 2 - Normalidade das amostras

Cenários	Eixo E (m)	Eixo N (m)	Significância	Normal
ODM NCP	0.982368	0.401141	0.05	True
MTS NCP	0.284135	0.001986	0.05	False
P4D NCP	0.214023	0.102586	0.05	True
ODM 5CP	0.772823	0.055935	0.05	True
MTS 5CP	0.020833	0.463509	0.05	False
P4D 5CP	0.211637	0.941476	0.05	True
ODM 8CP	0.835297	0.249409	0.05	True
MTS 8CP	0.013400	0.326740	0.05	False
P4D 8CP	0.735152	0.215843	0.05	True

Fonte: O autor (2021)

Por esse motivo não foi possível realizar os testes T-student e Qui-quadrado, optando-se então fazer a análise da qualidade com as estatísticas descritivas e análise dos gráficos de dispersão, distancia entre as amostras e analisar a qualidade cartográfica pela PEC-PCD conforme estabelecido na análise de qualidade e acurácia posicional da ET-CQDG (2016)

5.2.1 Análise de relatórios de processamento e GSD

Ao final de cada processamento todos os *softwares* geraram relatórios de pos-processamento com dados como GSD, numero de fotografias utilizadas, quantidade de pontos de passagens utilizados etc.

A fim de realizar uma análise mais objetiva no quesito qualidade de processamento elaborou-se o Quadro 3.

Quadro 3 - Comparativo GSD

Cenários	GSD	Fotografias utilizadas
ODM NCP	16,2 cm	72
MTS NCP	8,68 cm	72
P4D NCP	8,78 cm	72
ODM 5CP	16,6 cm	72
MTS 5CP	8,64 cm	72
P4D 5CP	8,81 cm	72
ODM 8CP	16,6 cm	72
MTS 8CP	8,65 cm	72
P4D 8CP	8,77 cm	72

Fonte: O autor (2021)

Observa-se que *software* Web ODM apresentou o maior GSD, praticamente o dobro em relação aos seus pares comerciais, isso se deve ao fato de optar-se pela qualidade média de processamento para não sobrecarregar a estação de trabalho e consequentemente não correr o risco de acontecer uma falha no processamento.

5.2.2 Estatística descritiva das distâncias

O quadro 4 reúne os resultados relacionados à estatística descritivas das distâncias horizontais encontradas em cada cenário. Reitera-se que o valor de distância corresponde à resultante da discrepância nas coordenadas N e E, em cada ponto.

Quadro 4 - Estatística descritiva das distancias

	ODM NCP	MTS NCP	P4D NCP	ODM 5CP	MTS 5CP	P4D 5CP	ODM 8CP	MTS 8CP	P4D 8CP
Total de amostras	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Média	4,64	5,20	4,38	0,49	0,47	0,09	0,53	0,45	0,09
Desvio Padrão	2,18	1,09	0,12	0,27	0,27	0,05	0,31	0,25	0,05
Min	0,49	1,57	4,14	0,08	0,13	0,003	0,06	0,06	0,01
25%	3,11	4,66	4,32	0,28	0,29	0,06	0,23	0,27	0,06
50%	4,46	5,45	4,36	0,45	0,38	0,08	0,49	0,40	0,08
75%	6,35	5,95	4,45	0,62	0,57	0,11	0,77	0,59	0,11
Max	8,49	6,81	4,70	1,21	1,34	0,23	1,20	1,01	0,27

Fonte: O autor (2021)

Primeiramente pode se notar como já demonstrado por Alves Júnior (2015) e Rodrigues (2016) a grande melhoria quando se utiliza pontos de controle no processamento dos dados, pois em todos os quesitos: Média, desvio padrão, máximas e mínimas houve uma melhoria na qualidade em cerca de nove vezes, entre os cenários com pontos de controle e sem pontos de controle. Também como já demonstrado por Alves Júnior (2015) pode se notar que trabalhar com cinco pontos de controle ou mais, não gera mudanças significativas.

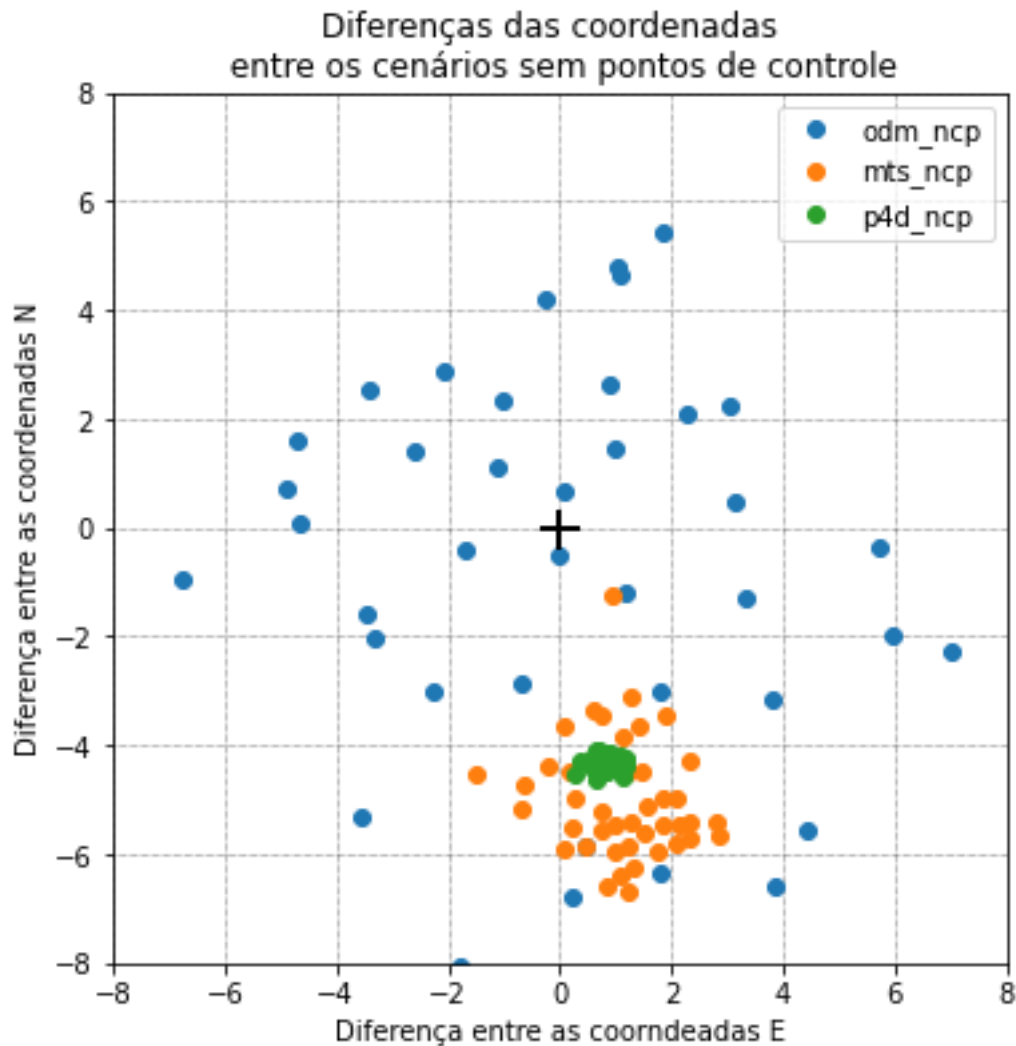
Em relação a acurácia nota-se que a média das distancias entre as amostras e as suas respectivas referencias se mantiveram semelhantes, menos de um ponto de diferença entre elas no cenário em que se processou sem pontos de controle, já nos cenários em que se utilizou pontos de controle a maior diferença pode ser observada no *software* Pix4d, que se destaca pelas menores distancias entre amostras e referencias.

Em relação a precisão, no cenário em que se trabalha sem pontos de controle demonstra a maior diferença entre os *softwares*, variando o desvio padrão em cerca de 100% de um *software* para outro, tendo o Web ODM com o pior resultado e o Pix4d com o melhor resultado. Nos cenários em que se trabalha com cinco e oito pontos de controle respectivamente o *software* Web ODM se equipara ao Metashape PhotoScam, não havendo uma diferença significativa e o *software* Pix4d apresentou os melhores resultados, cerca de cinco vezes melhor que o seus pares.

5.2.3 Análise da acurácia e precisão

Como algumas amostras não apresentaram uma distribuição normal não foi possível aplicar testes específicos como t-student e qui-quadrado. Neste contexto, foram gerados gráficos de dispersão de pontos para possibilitar a visualização dos padrões de acurácia e precisão em cada contexto de utilização de pontos de controle (Figuras 15, 16 e 17).

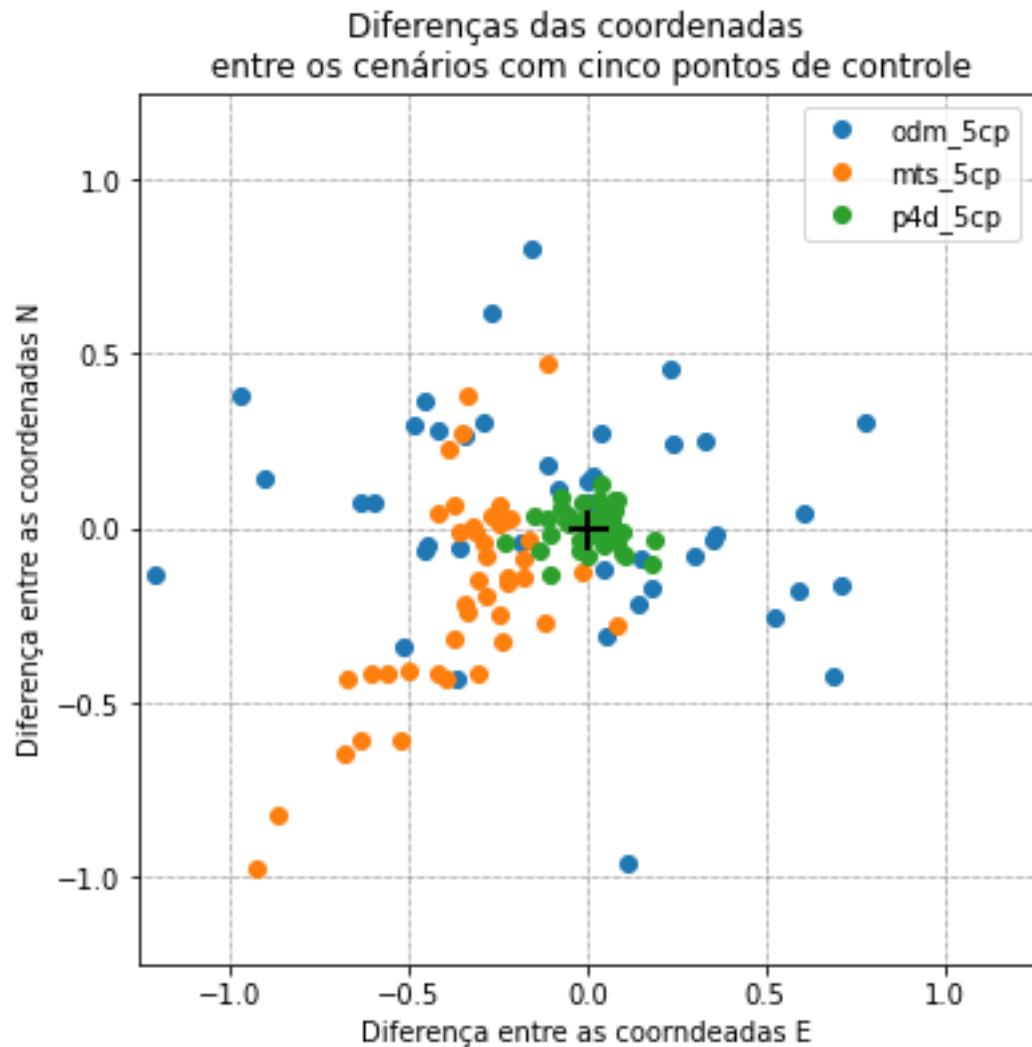
Figura 15 - Gráfico de dispersão sem pontos de controle



Fonte: O autor (2021)

Nota-se que em um cenário sem pontos de controle nenhum software apresentou alta acurácia, entretanto o software Metashape PhotoScam e Pix4d apresentaram melhor precisão, se comparados com o software WebODM. Entretanto, é visível que todos apresentaram tendenciosidade.

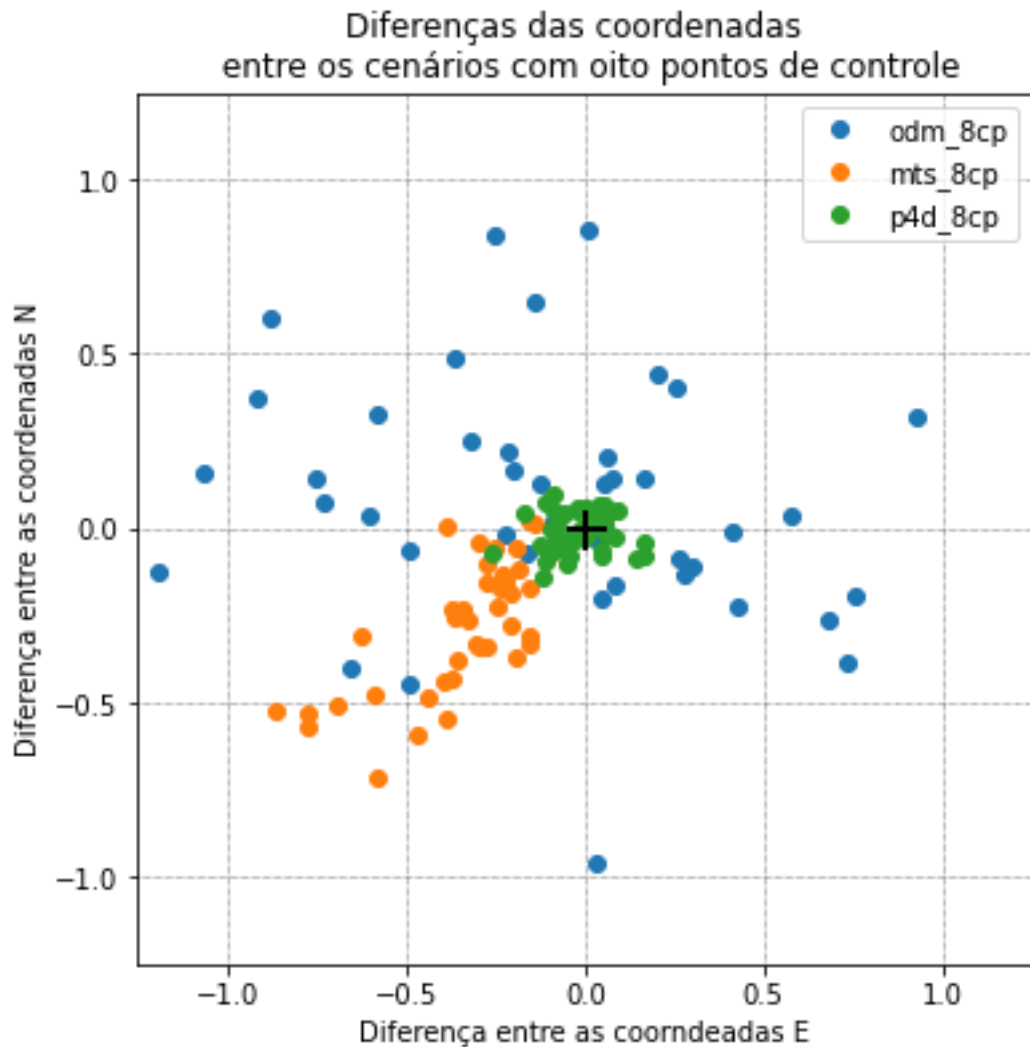
Figura 16 - Gráfico de dispersão com cinco pontos de controle



Fonte: O autor (2021)

Nesse cenário com cinco pontos de controle, todos os *softwares* apresentaram melhor desempenho tanto na acurácia como na precisão, se comparados com o cenário sem pontos de controle. Entretanto, em uma comparação livre entre os softwares, com a utilização de cinco pontos de controle o software Pix4d apresentou os melhores resultados enquanto os seus pares apresentaram certa tendenciosidade.

Figura 17 - Gráfico de dispersão com oito pontos de controle



Fonte: O autor (2021)

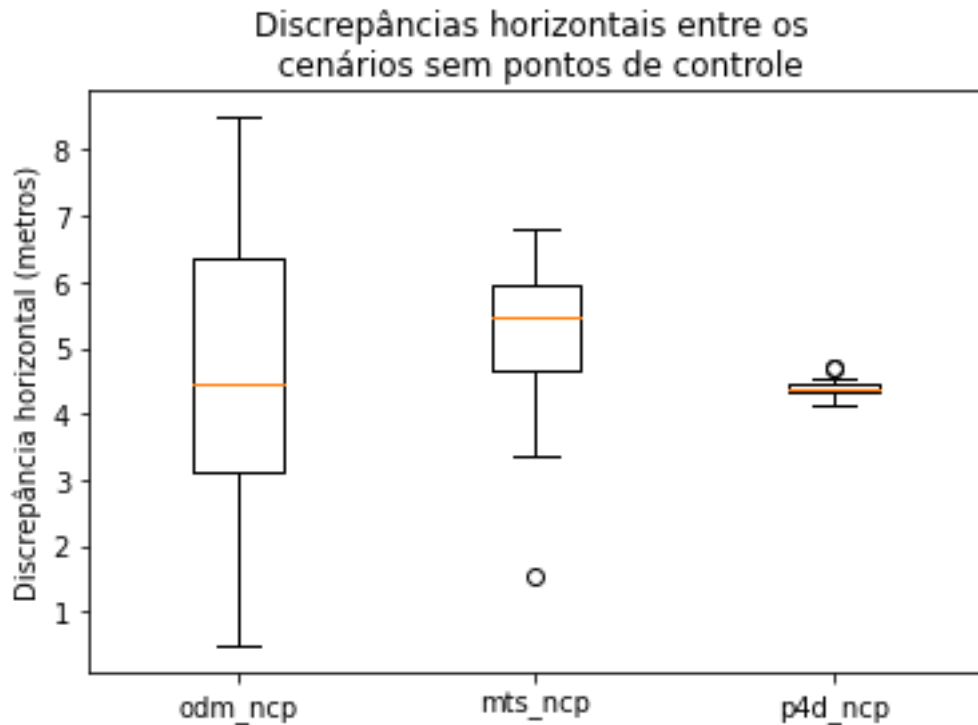
No cenário com oito pontos de controle nota-se que não houve um ganho expressivo na qualidade em comparação ao cenário com cinco pontos de controle, permanecendo praticamente igual os dois cenários.

Percebe-se que em todos os cenários os resultados do *software* Web ODM apresentou a menor precisão e acurácia em quanto o Pix4D apresentou os melhores resultados, já o *software* Metashape PhotoScam apresentou a maior tendenciosidade ou menor acurácia em todos os cenários. Nota-se também o aumento significativo de precisão e acurácia quando se trabalha com cinco pontos de controle, mas não há uma diferença marcante quando se insere mais três pontos de controle que é o caso do terceiro cenário de oito pontos.

5.2.4 Discrepâncias horizontais

As figuras 18 a 20 amostram os gráficos *Box-Plot* com os valores das discrepâncias horizontais para cada grupo de cenários, conforme o número de pontos de controle utilizado em cada *software*.

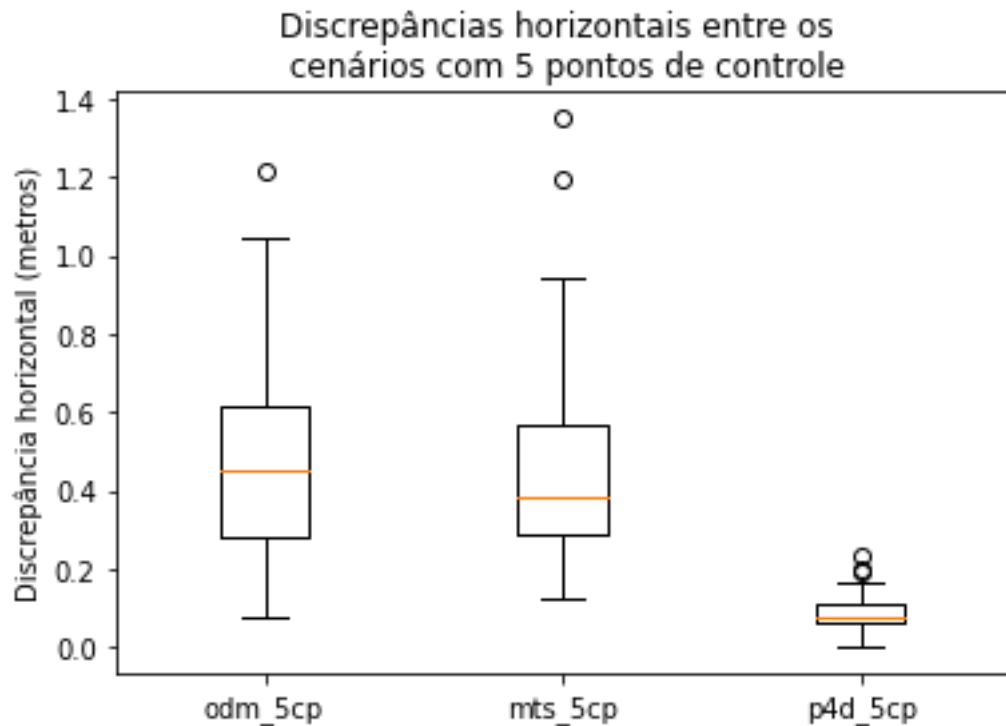
Figura 18 - Discrepâncias horizontais sem pontos de controle



Fonte: O autor (2021)

No cenário sem pontos de controle pode-se constatar que o *software* Pix4d apresenta o melhor acurácia com a maioria das amostras discrepante de suas respectivas referencias cerca de 4,5m, o segundo melhor resultado foi do Metashape PhotoScam com a maioria de suas amostras no intervalo de 6m a 5m, já o Web ODM nota-se que algumas amostras *outlier* se aproximaram de suas respectivas referencias, mas a maioria ficou entre 3,5 m e 6,5 m e observa-se que pelo formato do gráfico esse *software* apresentou a pior acurácia.

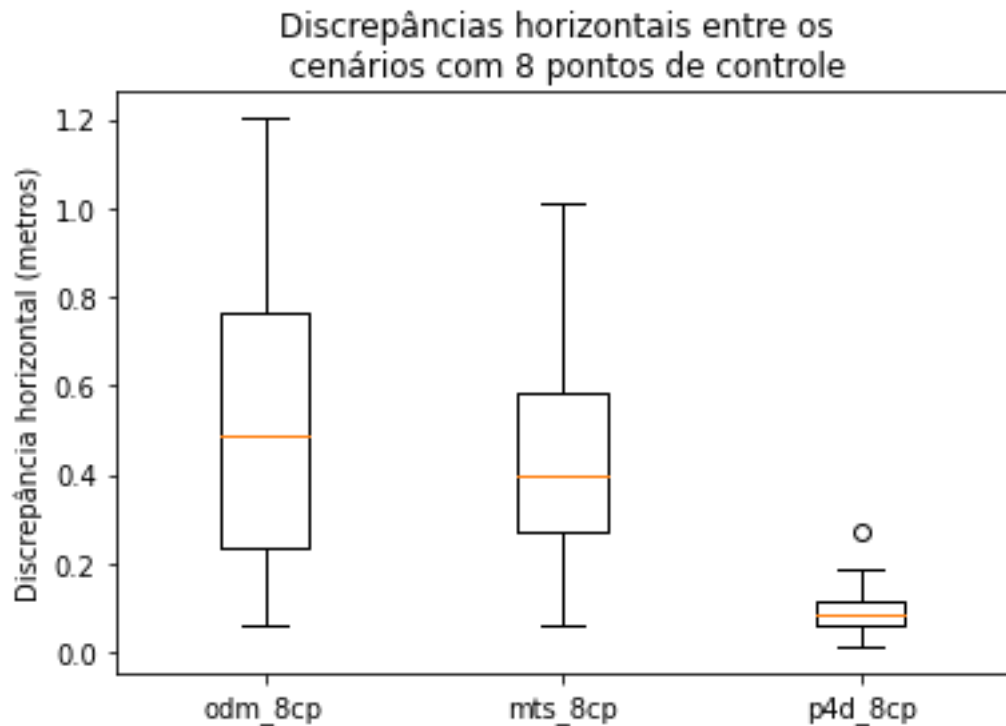
Figura 19 - Discrepâncias horizontais com cinco pontos de controle



Fonte: O autor (2021)

Em um cenário com cinco pontos de controle, primeiramente percebe-se um ganho significativo de qualidade em todos os *softwares*, pois no cenário anterior tinha-se a maioria das discrepâncias das amostras com suas respectivas referências em um intervalo de 3,5 m a 6,5 m; ao utilizar cinco pontos de controle, esse mesmo intervalo diminuiu drasticamente para 0,1 m a 0,6 m. O *software* Pix4d continua apresentando o melhor resultado no que diz respeito à acurácia e precisão com a maioria de suas amostras no intervalo de 0,1 m e 0,18 m e o Web ODM se aproxima bastante do Metashape PhotoScam com a maioria de suas amostras discrepantes de suas referências cerca de 0,25 m e 0,60 m.

Figura 20 - Discrepâncias horizontais com oito pontos de controle



Fonte: O autor (2021)

Nesse cenário com oito pontos de controle, no que diz respeito a qualidade de forma geral, não se vê diferença significativa em relação ao cenário anterior com cinco pontos de controle. O *software* Pix4d continua apresentando melhores resultados, o Metashape PhotoScan manteve basicamente os mesmos resultados e o que se observa de mudança significativa é a piora na qualidade dos dados do *software* Web ODM, que nesse cenário apresentou a maioria das discrepâncias de suas amostras em um intervalo de 0,2 m a 0,79 m e no cenário com cinco pontos de controle esse intervalo era de 0,25 m a 0,60 m.

5.2.5 PEC-PCD

Os ortomosaicos de todos os cenários foram avaliados para a maior escala conforme os requisitos do Padrão de exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) classe A. No Quadro 5 é possível observar os valores de erro admitidos em um produto cartográfico classe A e sua respectiva escala.

Quadro 5 - PEC-PCD

PEC - PCD	1:1000		1:2000		1:5000		1:10000		1:25000		1:50000	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	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	7,00	4,25	14,00	8,51

Fonte: O autor (2021)

O Quadro 6 apresenta os resultados dos cálculos relacionados à classificação da escala dos produtos obtidos em cada cenário, conforme a PEC-PCD. Para classificação da escala, o erro de 90% dos dados deve estar abaixo do valor da PEC estabelecido, e o EMQ (Erro médio quadrático) contido dentro dos limites de EP (Erro permitido) da classe.

Quadro 6 - Resultados PEC-PCD

Cenários	Erro 90%	EMQ	Escala PEC-PCD
ODM NCP	8,267007	5,114597	1:50000
MTS NCP	6,372425	5,303048	1:50000
P4D NCP	4,532725	4,384923	1:50000
ODM 5CP	0,913740	0,558492	1:5000
MTS 5CP	0,880525	0,536450	1:5000
P4D 5CP	0,167610	0,102154	1:1000
ODM 8CP	0,990509	0,619217	1:5000
MTS 8CP	0,924741	0,510027	1:5000
P4D 8CP	0,173488	0,106683	1:1000

Fonte: O autor (2021)

Observa-se que no primeiro cenário, no qual se processou os dados sem o auxílio de pontos de controle, todos os *softwares* se adequaram a escala 1/50000. Já no segundo cenário ao qual se utilizou cinco pontos de controle como esperado e comprovado em diversos testes estatísticos o *software* Pix4d se saiu melhor se adequando a escala 1/1000 enquanto os demais, Metashape PhotoScam e Web ODM, se adequaram a escala 1/5000. No terceiro cenário em que se trabalha com oito pontos de controle, como já demonstrado que não houvesse mudanças significativas. Se comprova com os *softwares* mantendo as mesmas

escalas do cenário anterior de cinco pontos de controle, com os dados processados no Pix4d se adequando a escala 1/1000 e os demais na escala 1/5000.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A aerofotogrametria realizada com RPAS, sem sombra de dúvidas tem resolvido diversos gargalos em especial o financeiro para a viabilização de determinados projetos, sendo muito mais barato e tendo resultados semelhantes ou melhores que a aerofotogrametria com aeronaves tripuladas ou imagens orbitais.

A questão de diminuir custos de todo o processo de aerolevantamento com RPAS e de forma que não comprometesse significativamente a qualidade dos produtos gerados, com certeza se passa pela utilização dos *softwares* de processamento que na maioria das vezes são comerciais e necessitam de uma licença para seu uso. Com o sucesso e disseminação dos *softwares open source* para a área de geomática em especial a fotogrametria, tendo como exemplo o Web ODM, se fez necessário a análise de quanto esse *software open source* são capazes de atender as demandas mercadológicas e outras, de forma satisfatória.

Conclui-se que no primeiro cenário, os produtos obtidos sem a utilização de pontos de controle, todos os *softwares* apresentaram produtos classe A para serem utilizados na escala 1/50000 sem muita diferença nas medias das discrepâncias tendo assim uma precisão de certa forma semelhante, destacando a questão da acurácia que houve maior diferença entre os *softwares*. Com a utilização de cinco pontos de controle, os *softwares* MetaShape PhotoScam e Web ODM geraram produtos classe A na escala 1/5000 com precisão e acurácia estatisticamente semelhantes enquanto o Pix4d gerou produtos a serem trabalhados na escala 1/1000. No terceiro cenário, com oito pontos de controle as escalas se mantiveram as mesmas ao anterior.

Embora o *software* Web ODM, tenha apresentado de forma geral resultados inferiores aos seus pares comerciais, essa qualidade inferior não se mostrou significativa a ponto de inviabilizar o seu uso, pois nota-se que em todos os cenários em que se foi comparado e adequado ao PEC-PCD, o mesmo se encaixa nas mesmas escalas do *software* comercial MetaShape PhotoScam. Em resultado semelhante da presente pesquisa pode ser observado em pesquisa realizada por Jaud et al (2016), no qual os autores comparam os resultados dos

ortomosaicos obtidos pelo Metashape PhotoScam ao *software* desenvolvido pela universidade francesa de geografia o MicMac.

Como demonstrado o *software* que apresentou melhores resultado em todos os cenários, sendo significativa a melhoria nos cenários com a utilização de pontos de controle foi o Pix4d.

No quesito qualidade o *software open source* Web ODM, apresentou resultados satisfatórios podendo ser utilizado em diversos projetos para diversos fins. Recomendam-se mais testes, podendo utilizar uma quantidade menor de imagens aumentando assim a qualidade do GSD do produto final, pois o Web ODM como alertado pela própria comunidade desenvolvedora e diversos relatos de usuários não está totalmente otimizado, sobrecarregando assim a estação de trabalho utilizada e necessitando de maiores quantidade de poder computacional que seus pares comerciais para processar a mesma quantidade de dados. Recomenda-se também que seja realizado testes de qualidade utilizando outra plataforma que não seja um RPAS do tipo asa fixa, como utilizado no presente trabalho.

8. REFERÊNCIAS

ALVES JÚNIOR, L. R.; CÔRTEZ, J. B. R.; SILVA, J. R.; FERREIRA, M. E. **Validação de ortomosaicos e modelos digitais de terreno utilizando fotografias obtidas com câmera digital não métrica acoplada a um VANT** Revista Brasileira de Cartografia, nº 67 vol 7, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/handle/ri/17173>. Acesso em: 05 jun. 2021.

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: 05 jun. 2021.

BARTOS, K.; PUKANSKÁ, K.; SABOVÁ, J. **Overview of Available Open-Source Photogrammetric Software, its Use and Analysis**. Article in International Journal for Innovation Education and Research · April 2014

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: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d89817. Acesso em: 05 jun. 2021.

DUTRA, E. P.; GUIMARÃES, A. M. **Uso de VANTs na agricultura – obtenção e tratamento de dados** X Congresso Brasileiro de Agro informática, Paraná, 2015.

JAUD, M.; PASSOT, S.; LE BIVIC, R.; DELACOURT, C.; GRANDJEAN, P.; LE DANTEC, N. **Assessing the Accuracy of High Resolution Digital Surface Models Computed by PhotoScan® and MicMac® in Sub-Optimal Survey Conditions.** Remote Sensing Journal vol. 8, Received: 1 February 2016; Accepted: 25 May 2016; Published: 1 June 2016. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/8/6/465>. Acesso em: 05 jun. 2021

KOYYNEV, M.; ZASLAVSKY, M. **Review of Photogrammetry Techniques for 3D Scanning Tasks of Buildings.** Conference of Open Innovations Association, FRUCT (Helsinki) (2021) Disponível em: <https://fruct.org/publications/acm28/files/Kov.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2021.

MARTINES BATLLE, J. R. (2018). **Digital photogrammetry of historical aerial photographs using open-source software.** Disponível em: <https://doi.org/10.31223/osf.io/bna95>. Acesso em: 05 jun. 2021.

MERCHANT, D. C. **Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps.** In: Technical Congress on Surveying and Mapping. Proceedings. v. 1, p. 222 - 231, 1982.

NAZARENO, N. R. X.; FERREIRA, N. C.; MACEDO, F. C. **Avaliação da Exatidão Cartográfica da Ortoimagem Quickbird e da Ortofoto Digital do Município de Goiânia.** In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal-RN. Anais, p. 1771 - 1778, 2009. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.12.01.18/doc/1771-1778.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2021.

NIETHAMMER, U.; ROTHMUND, S.; SCHWADERER, U.; ZEMAN, J.; JOSWIG, M. **OPEN SOURCE IMAGE-PROCESSING TOOLS FOR LOW-COST UAV-BASED LANDSLIDE INVESTIGATIONS.** International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-1/C22, 2011 ISPRS Zurich 2011 Workshop, 14-16 September 2011, Zurich, Switzerland.

PARK, J. W.; JEONG, H. H.; KIM, J. S.; CHOI, C. U. **Development of Open source-based automatic shooting and processing UAV imagery for Orthoimage Using Smart Camera UAV.** The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B7, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/304340418_Development_of_Open_source-based_automatic_shooting_and_processing_UAV_imagery_for_Orthoimage_Using_Smart_Camera_UAV. Acesso em: 07 jun. 2021.

QUEIROZ JUNIOR, A. C. V.; MAGALHÃES, A. R.; **O uso de fotografias aéreas tomadas com o auxílio de RPAS para a determinação volumétrica de uma pilha de minério.** Monografia (Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura) – Departamento de Geomática, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG, Goiânia, 2021.

RODRIGUES, A. A. **Uso de veículos aéreos não tripulados para mapeamento e avaliação de erosão urbana.** 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de

Goiás, Goiânia, 2016. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/6646>. Acesso em: 10 jun. 2021.

SANTOS, T. G. P.; ROSA, T. S. **Análise da qualidade geométrica do gerreferenciamento de imóveis rurais realizado por veículo aéreo não tripulado**. Relatório final do PIBIC/PIBITI/CNPq/IFG 2018.

WOLF, D. **Elements of Photogrammetry with Applications in GIS**. Third edition - The McGraw-Hill Companies, 2004.

Sensefly. Home Page. <https://www.sensefly.com/drone/ebec-x-fixed-wing-drone/> Acesso em 05 jun. 2021.

DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO - (DSG). Norma da especificação técnica para controle de qualidade de dados geoespaciais (ET-CQDG). 1ª Edição-2016. Disponível: http://www.geoportal.eb.mil.br/portal/images/PDF/ET_CQDG_1a_edicao_2016.pdf. Acesso em: 05 jun. 2021.

PEREIRA, D. S.; PEREIRA, F. S.; LACERDA, M. A. C.; SILVA, T. D. **Verificação da precisão de um ortomosaico em função do número de pontos de apoio**. Monografia (Graduação) – Departamento de Geomática, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG, Goiânia, 2017.

APENDICE I – HISTOGRAMA DOS VALORES DE DISCREPANCIA DOS TRATAMENTOS.

