

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO

**AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL DE DADOS ESPACIAIS GERADOS A
PARTIR DO USO DA RPA**

DAYANNE VIEIRA DE OLIVEIRA

UBERLÂNDIA/MG
2019

DAYANNE VIEIRA DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL DE DADOS ESPACIAIS GERADOS A
PARTIR DO USO DO RPA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Geografia.

Área de Concentração: Geografia e Gestão do Território.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luís Silva Brito

**Uberlândia/MG
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

O48a
2019 Oliveira, Dayanne Vieira de, 1990-
Avaliação da acurácia posicional de dados espaciais gerados a partir do uso do RPA [recurso eletrônico] / Dayanne Vieira de Oliveira. - 2019.

Orientador: Jorge Luís Silva Brito.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.605>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Geografia. 2. Processamento de imagens. 3. Imagens-Interpretação. 4. Imagens como recursos de informação. I. Brito, Jorge Luís Silva, 1966- (Orient.) II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 910.1



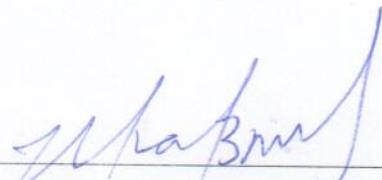
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Programa de Pós-Graduação em Geografia

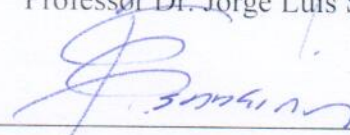


DAYANNE VIEIRA DE OLIVEIRA

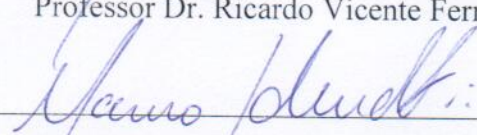
AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL DE DADOS
ESPACIAIS GERADOS A PARTIR DO USO DA RPA



Professor Dr. Jorge Luis Silva Brito - UFU



Professor Dr. Ricardo Vicente Ferreira - UFTM



Professor Dr. Marcio Augusto Reolon Schmidt – UFU

Data: 06 / 02 de 2019

Resultado: Aprovado com
distinção

DEDICATÓRIA

*Ao meu pai Edmar, minha mãe Valdirene e meu
irmão Willian.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades ao longo da pós-graduação.

Ao Instituto de Geografia, seu corpo docente, discente, técnicos e todos que trabalham no instituto.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida.

Ao meu orientador, pelo suporte, pelas correções, ensinamentos e incentivos.

Aos meus pais Edmar e Valdirene e meu irmão Willian, pelo amor, incentivo, paciência e apoio incondicional.

Aos laboratórios LabTopo (Laboratório de Topografia) da Faculdade de Engenharia Civil em Monte Carmelo e Uberlândia pelos equipamentos cedidos. Em especial, à Josildo Azevedo, Josildo Júnior de Azevedo e Lisbeth Del Carmen Segovia Materano pelo auxílio no trabalho de campo.

E todos que direta ou indiretamente fizeram parte dessa etapa tão importante de minha vida, o meu muito obrigada!

"Feliz do homem que encontrou a sabedoria, daquele que adquiriu a inteligência, porque mais vale este lucro que o da prata, e o fruto que se obtém é melhor que o fino ouro."

(Provérbios 3: 13-14)

RESUMO

As Aeronaves Remotamente Pilotadas (*Remotely Piloted Aircraft* - RPA) são exemplos de novos equipamentos disponibilizados no mercado para atender ao consumidor na obtenção de imagens aéreas de alta resolução. Diante do contexto de desenvolvimento dessa aeronave no meio civil e levando-se em consideração as vantagens dessa tecnologia na obtenção de dados cadastrais, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a acurácia posicional dos dados espaciais gerados a partir do uso da RPA PHANTOM 3 para fins de geração e atualização de plantas cadastrais. A área de estudo está localizada no campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia. A metodologia compreendeu o planejamento de voo, a seleção de 52 pontos de apoio coletados mediante levantamento pós-processado no modo estático através de receptores *GNSS* e nivelamento geométrico realizado por meio do Nível Digital DL-202 Ruide, criação de sinalizadores dos alvos e processamento fotogramétrico utilizando o software *Pix4Dmapper Pro - Trial*. A avaliação da acurácia foi realizada no ortomosaico e MDT obtidos sem pontos de controle (PC), com PC distribuídos e PC agrupados para a escala 1:1.000 através da análise de tendência, usando estatística inferencial, e da análise de precisão, por meio do teste Qui-Quadrado e do Decreto-Lei 89.817/ET-CQDG. Para comparar as discrepâncias obtidas entre os dados posicionais de teste e de referência nas diferentes distribuições dos PC, utiliza-se a Análise de Variância (ANOVA) e teste Tukey. Os resultados da acurácia posicional planimétrica foram aprovados para as imagens PC Distribuídos e PC Agrupados. O teste Tukey também apontou que essas imagens, PC Distribuídos e PC Agrupados, não diferem estatisticamente entre si. Possivelmente, o fato de pertencerem ao mesmo agrupamento influenciou nos resultados da acurácia posicional serem semelhantes. Portanto, o uso da RPA pode ser considerado para mapeamento urbano, sendo capaz de obter produtos com qualidade cartográfica aceitável para levantamentos cadastrais.

Palavras-Chave: Ortomosaico, levantamentos cadastrais, análise de tendência, análise de precisão.

ABSTRACT

Remotely Piloted Aircraft (RPA) is an example of equipment available in the market to meet the consumers' need to obtain high-resolution aerial imagery. Considering the rapid acceptance of this equipment in the civilian environment and the advantages of the use of this technology for obtaining registration data, this study aims to evaluate the positional accuracy of spatial data obtained using a PHANTOM-3 RPA for purposes of updating registration databases. The study area is located in the Glória campus of the Federal University of Uberlândia. The methodology included: flight planning; the collection of 52 control points, collected through post-processing static positioning using GNSS receptors and geometric levelling using a Ruide DL-202 Digital Level; creation of target flags and photogrammetric processing using the software Pix4Dmapper Pro - Trial. The accuracy evaluation was performed using orthomosaic and DTM obtained: without the use of control points (PC); using distributed PC; and, using PC grouped to the scale of 1:1.000 through tendency analysis, using inferential statistics, and precision analysis, through the Chi-Square test and the decree-law 89.817/ET-CQDG. In order to compare the discrepancies obtained between the test positional data and the reference data in different distributions of the PC, it was used the Analysis of Variance (ANOVA) and the Tukey test. The results obtained regarding the planimetric positional accuracy were approved for the images Distributed PC and Grouped PC. In addition, the Tukey test pointed out that these images do not differ statistically from each other. The fact that the images are from the same grouping might have favoured to obtain similar positional accuracy results. Therefore, RPA might be used for urban mapping, once it is capable of providing products with acceptable cartographic standards for cadastral surveys.

Keywords: Orthomosaic, cadastral surveys, tendency analysis, precision analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Primeiro RPA no mundo, em 1916.....	28
Figura 2: Predador em uso militar.....	28
Figura 3: RPA para uso civil (Helios, Proteus, Altus).	29
Figura 4: O dirigível e estação de terra (a), o sistema embarcado (b) e parte da interface humano-máquina (c) do projeto AURORA.	30
Figura 5: Categorização geral das aeronaves, dependendo do princípio do voo e modo de propulsão.	32
Figura 6: Modelos de aeronaves de Asa Fixa.....	33
Figura 7: Modelo da aeronave de Asa Rotativa quadrirotor.	33
Figura 8: Modelo de aeronave híbrida (a); aeronave não tripulada híbrida See Eagle (b).....	34
Figura 9: Diferentes parcelas que compõe um imóvel.	44
Figura 10: a) Imóveis não contíguos; b) imóveis contíguos.....	45
Figura 11: Fotografias aéreas e a relação da inclinação do sensor.....	51
Figura 12: Voo fotogramétrico apresentando em a) sobreposição lateral e b) sobreposição longitudinal.....	52
Figura 13: Acurácia e precisão.....	57
Figura 14: Área de estudo.....	58
Figura 15: PHANTOM 3 ADVANCED	59
Figura 16: Fluxograma da metodologia adotada.	61
Figura 17: Plano de voo elaborado no aplicativo <i>Pix4D Capture</i> com altura de 80 metros e tempo de voo de 14 minutos.....	63
Figura 18: Distribuição dos pontos levantados com GNSS.	66
Figura 19: Ortomosaico gerado com 8 pontos de controle distribuídos.....	67
Figura 20: Ortomosaico gerado com 8 pontos de controle agrupados.	68
Figura 21: Sinalização artificial dos alvos.....	69
Figura 22: Dimensões do sinalizador artificial de alvo.	69
Figura 23: Sinalização e visualização dos pontos de apoio na área de estudo (a_i , b_i) e na foto obtida pela RPA (a_{ii} , b_{ii}).....	70
Figura 24: Visualização dos alvos naturais na área de estudo.....	70
Figura 25: Trecho do Nivelamento (Sentido de Referência de Nível para a Base).....	74
Figura 26: Verificação da qualidade do processamento no <i>software Pix4Dmapper Pro - Trial</i>	78

Figura 27: Ortomosaico (a) e MDS (b) da área de estudo.....	79
Figura 28: Posições iniciais da imagem (a); Imagem computada/PC/Posições manuais de pontos de amarração (b); (c) Simulação dos pontos correspondentes calculados.....	80
Figura 29: Marcação dos pontos de controle.....	82
Figura 30: (a) Ortomosaico; (b) MDS; (c) MDT.....	85
Figura 31: Etapas para a avaliação da acurácia posicional.....	87
Figura 32: Etapas de aplicação do Decreto-Lei para avaliação de dados espaciais.	90
Figura 33: Discrepâncias observadas para o ortomosaico e MDT sem PC.....	100
Figura 34: Discrepâncias observadas para o ortomosaico e MDT com PC distribuídos.	100
Figura 35: Discrepâncias observadas para ortomosaico e MDT com PC agrupados.....	100
Figura 36: Boxplot das discrepâncias posicionais planimétricas e altimétricas.....	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Regulamentos de acordo com a classificação da aeronave.	27
Quadro 2: Atividades em RPA no Brasil.....	31
Quadro 3: RPA fabricadas no Brasil.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação entre altura do voo, GSD e área de cobertura.	60
Tabela 2: Comparação de altura de voo, GSD e tempo de voo no PHANTOM 3 ADVANCED.	62
Tabela 3: Coordenadas UTM no fuso 22S e referencial geodésico SIRGAS 2000 da base e dos pontos de apoio.	72
Tabela 4: Transporte da RN para o ponto Base.	75
Tabela 5: Pontos de apoio nivelados.	76
Tabela 6: Padrão de Exatidão Cartográfica da Planimétrica dos Produtos Cartográficos Digitais.	92
Tabela 7: Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrica para a produção de Produtos Cartográficos Digitais.	93
Tabela 8: Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais após a retirada de outliers. .	102
Tabela 9: Coordenadas planimétricas dos pontos de verificação extraídas do terreno e da imagem.	103
Tabela 10: Coordenadas planimétricas dos pontos de verificação extraídas do terreno e da imagem.	104
Tabela 11: Coordenadas altimétricas dos pontos de verificação extraídas do terreno e da imagem.	105
Tabela 12: Resultado da avaliação posicional do ortomosaico sem PC utilizando o Decreto-lei 89.817.	106
Tabela 13: Coordenadas planimétricas dos pontos de verificação extraídas do terreno e da imagem.	107
Tabela 14: Coordenadas planimétricas dos pontos de verificação extraídas do terreno e da imagem.	108
Tabela 15: Coordenadas altimétricas dos pontos de verificação extraídas do terreno e da imagem.	109
Tabela 16: Resultado da avaliação posicional do ortomosaico com PC distribuídos utilizando o Decreto-lei 89.817.	110
Tabela 17: Coordenadas planimétricas dos pontos de verificação extraídas do terreno e da imagem.	111
Tabela 18: Coordenadas planimétricas dos pontos de verificação extraídas do terreno e da imagem.	112

Tabela 19: Coordenadas altimétricas dos pontos de verificação extraídas do terreno e da imagem.	113
Tabela 20: Resultado da avaliação posicional do ortomosaico com PC agrupados utilizando o Decreto-lei 89.817.	114
Tabela 21: Resultado do teste Qui-Quadrado.	114
Tabela 22: Resultados do teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov para o nível de confiança 90%.	116
Tabela 23: Resultados das análises de tendência.	116
Tabela 24: Resultado da ANOVA.	117
Tabela 25: Resultado das comparações múltiplas com o Teste Tukey.	118
Tabela 26: Resultados da avaliação da acurácia posicional.	119

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIC	Circular de Informações Aeronáuticas
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ARARA	Aeronaves de Reconhecimento Assistidas por Rádio e Autônomas
AURORA	Autonomus Unmanned Remote Monitoring Robotic Airship
AVOMD	Autorização de Sobrevoos do Ministério da Defesa
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight (Operação Além da Linha de Visada Visual)
CAVE	Certificado de Autorização de Voo Experimental
CENPRA	Centro de Pesquisas Renato Archer
CNPDIA	Embrapa Instrumentação Agropecuária
CTA	Centro Técnico Espacial
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
EUA	Estados Unidos da América
ERAST	Environmental Research Aircrafts and Sensor Technology
FAA	Federal Aviation Administration
ICA	Instrução do Comando da Aeronáutica
LAANC	Low Altitude Authorization and Notification Capability
OACI	Organização da Aviação Civil Internacional
RBAC-E	Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial
RPA	Remotely Piloted Aircraft (Aeronave Remotamente Pilotada)
RPAS	Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada
SARPAS	Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas
SISANT	Sistema de Aeronaves não Tripuladas
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
USP	Universidade de São Paulo
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	17
1.1 TEMA E CONTEXTUALIZAÇÃO	17
1.2 OBJETIVOS.....	24
1.2.1 Objetivo Geral	24
1.2.2 Objetivos Específicos	24
CAPÍTULO 2 – DEFINIÇÃO E CONCEITOS BÁSICOS	25
2.1 AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA	25
2.1.1 Conceitos e Nomenclatura.....	25
2.1.2 Classificação.....	26
2.1.3 Iniciativas Globais e no Brasil.....	27
2.1.4 Categorias	31
2.1.5 Regulamentação.....	36
2.2 CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO	42
2.2.1 Normalização Vigente no Brasil.....	45
2.2.2 O Sistema Geodésico Brasileiro	49
2.3 FOTOGRAMETRIA	50
2.4 ACURÁCIA POSICIONAL	55
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS	58
3.1 ÁREA DE ESTUDO	58
3.2 MATERIAIS	59
3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	61
3.3.1 Planejamento de Voo.....	61
3.3.1.1 Autorização de voo	64
3.3.2 Determinação da Distribuição Espacial dos Pontos de Apoio	65
3.3.3 Sinalização dos Alvos.....	68
3.3.4 Determinação Planimétrica dos Pontos de Apoio	71
3.3.5 Determinação Altimétrica dos Pontos de Apoio	73
3.3.6 Processamento Fotogramétrico.....	77
3.3.6.1 Orientação exterior do modelo	81
3.3.6.2 Nuvem de pontos e malha triangular.....	83
3.3.6.3 Geração do ortomosaico, MDS e MDT.....	84
3.3.7 Critérios de Avaliação da acurácia posicional de dados espaciais	86

3.3.7.1 Detecção de Outliers.....	88
3.3.7.2 Análise de Precisão.....	89
3.3.7.2.1 Aplicação do Decreto-Lei 89.817/ET-CQDG.....	89
3.3.7.2.2 Teste Qui-Quadrado	93
3.3.7.3 Análise de tendência.....	94
3.3.7.3.1 Teste da normalidade da amostra	94
3.3.7.3.2 Análise da presença de tendência.....	96
3.3.7.4 ANOVA e Teste Tukey	97
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	99
4.1 ANÁLISE DE PRECISÃO	102
4.1.1 Aplicação do Decreto-Lei 89.817/ET-CQDG	102
4.1.2 Teste Qui-Quadrado	114
4.2 ANÁLISE DE TENDÊNCIA.....	115
4.2.1 Teste de Normalidade dos Dados	115
4.2.2 Análise da Presença de Tendência.....	116
4.3 ANOVA e Teste Tukey	117
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	122
REFERÊNCIAS	125
APÊNDICE A	135

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 TEMA E CONTEXTUALIZAÇÃO

Segundo os dados disponíveis pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), o Brasil possuía até 31 de dezembro de 2014, um total de 67 milhões de parcelas urbanas, ocupando 5.407.700 ha (FARIAS et al., 2017), totalizando menos de 1% da área territorial e concentrando mais de 160.000.000 de pessoas, ou seja, 84,3% da população brasileira. Dos 5.570 municípios brasileiros existentes a estimativa da população de residentes nos município de pequeno porte com data de referência em 1º de julho de 2017, aponta que 3.804 possuem até 20 mil habitantes, ou seja, cerca de 68,3% (IBGE, 2017). No entanto, uma quantidade expressiva desses imóveis urbanos ainda não possui registro em um Banco de Dados Georreferenciado (BDG).

O Registro Imobiliário no Brasil com função de transcrever aquisições imobiliárias teve origem pela Lei 1.237 de 1864. Em 31 de dezembro de 1973 foi publicada a Lei de Registros Públicos - LRP (Lei 6.015), que definiu os dispositivos referentes aos registros de imóveis. A partir da LRP a matrícula passou a ser uma para cada imóvel, o memorial de loteamento urbano passou a conter a descrição textual da identificação do imóvel, feita mediante indicação de suas características e confrontações, localização, logradouro e número (BRASIL, 1973).

Entretanto, mesmo ante esses avanços legais muitas descrições realizadas nos memoriais descritivos foram caracterizadas pela precariedade de informações, não coincidência a sua realidade e conflitos de informações. Apenas em 2001, com a aprovação dos planos diretores participativos e instrumentos urbanísticos previstos no Estatuto da Cidade (Lei 10.257/2001), foi identificada a necessidade de definição precisa para eliminar a

existência de sobreposições ou vazios nas adjacências dos imóveis urbanos e a importância da organização das informações em sistemas informatizados.

Diante da inconsistência de informações e em meio ao surgimento de novas ferramentas tecnológicas e metodológicas, o Ministério das Cidades implementou a Política Nacional de Desenvolvimento Urbano com o objetivo de capacitar os técnicos e gestores municipais. Em 2003, criou o Programa Nacional de Capacitação das Cidades (PNCC). Em 2007, formou um grupo de trabalho (GT-Cadastro) para formular uma proposta de diretrizes compatível com as diversas realidades dos municípios brasileiros (Portaria N° 516, de 16/10/2007) e assim, consolidou a Portaria Ministerial N° 511 publicada no Diário Oficial da União em 07/12/2009 normatizando a criação, instituição e atualização do Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros.

Essa Portaria Ministerial N° 511 estipula que o CTM é o inventário territorial oficial e sistemático do município e embasado no levantamento dos limites de cada parcela, que deve receber uma identificação numérica inequívoca e ser referenciado ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Também, estabelece que a cartografia cadastral deve obedecer aos padrões definidos para a INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais) e às normas relativas à Cartografia Nacional, de acordo com o artigo 4° do Decreto 6.666/2008 (BRASIL, 2008).

Perante a necessidade de organização cadastral urbana, em 2016, surgiu o Decreto 8.764 que dispõe sobre o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais (SINTER) e, em 2018, o Decreto 9.310 que institui os procedimentos aplicáveis à Regularização Fundiária Urbana e estabelece os procedimentos para a avaliação e a alienação dos imóveis da União e no seu art. 29 parágrafo 1° a 7° determina o levantamento topográfico georreferenciado, onde os limites das unidades imobiliárias serão definidos por vértices georreferenciados ao SGB, esses vértices terão natureza tridimensional e erro posicional igual ou menor a 8 cm de raio.

Apesar dessas iniciativas, a maioria dos municípios está sem adequadas especificações. Na maioria das cidades, principalmente nas de pequeno porte, o funcionamento do cadastro na prefeitura ainda é composto por trabalhos manuais como a análise do Boletim de Logradouros (BL), Boletim de Cadastro Imobiliário (BCI), plantas dos loteamentos em formato analógico e sistema computacional apenas para o gerenciamento de dados imobiliários, com o auxílio mínimo de tecnologia.

É importante lembrar, que o cadastro urbano no Brasil carece de critérios técnicos de mensuração ainda não definidos em legislação, conforme estabelecido no cadastro rural. Sendo de competência de cada município apresentar a legislação que irá nortear sobre questões urbanas. No entanto, com a concretização recente do SINTER inicia-se uma etapa importante para o cadastro brasileiro.

Um fundamento na organização cadastral é de ordem gerencial e financeira. Segundo Amorim, Souza e Dalaqua (2004) as prefeituras de pequenos municípios em sua maioria não dispõem de recursos financeiros que promovam a implantação desse sistema, mesmo sendo de suma importância para a organização e desenvolvimento do município. Também, alguns municípios que apresentam um CTM muitas vezes estão desatualizados devido aos custos para atualização.

Diante do exposto, além da implantação de legislações e da rede cadastral para integrar o sistema é importante verificar os métodos de obtenção de dados para compor o cadastro. Visto que, o ambiente urbano é de difícil monitoramento devido a diversidade de objetos existentes que podem causar interferências nos levantamentos e tornar difícil a obtenção de um posicionamento acurado, dessa forma é fundamental pesquisar e avaliar as diversas tecnologias existentes e escolher aquela que melhor se aplica para atingir as determinadas especificações de acurácia.

As Aeronaves Remotamente Pilotadas (*Remotely Piloted Aircraft* - RPA) são exemplos de novos equipamentos disponibilizados no mercado para atender ao consumidor na obtenção de imagens aéreas de alta resolução. Segundo Eick (2010), o uso dessa tecnologia aumentou nos campos militar e de inteligência e são cada vez mais utilizadas no setor civil, resultante da crescente convergência entre forças armadas, inteligência e segurança civil, política, economia, tecnologia e pesquisa.

De acordo com Paula (2012), as principais vantagens na utilização de RPA frente a aeronaves tripuladas são o custo de produção e manutenção muito menores, a maior flexibilidade, podendo executar manobras ou locomover-se em locais de difícil acesso para aeronaves convencionais, além de eliminar prováveis riscos que uma aeronave tripulada possa expor a sua tripulação. Ainda, com esse veículo é possível obter informação e transmiti-la em tempo real para a estação de controle terrestre (EISENBEISS, 2009), obter elevada qualidade no imageamento de pequenas áreas, resolução espacial diferenciada e com alto nível de detalhamento (WATTS et al., 2010).

No Brasil, a regulamentação das operações de aeronaves não tripuladas entrou em vigor em 3 de maio de 2017, desde então, até abril de 2018, 41.338 veículos aéreos não tripulados foram cadastrados no país por meio do Sistema de Aeronaves não Tripuladas (SISANT), gerenciado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Dessas 26.843 são de uso recreativo e 14.855 destinam-se ao uso profissional. O sistema da ANAC mostra ainda que há 36.902 registros de aeronaves não tripuladas em nome de pessoas físicas e 2.086 cadastros em nome de pessoas jurídicas (ANAC, 2018).

Nesse contexto de desenvolvimento no meio civil e levando-se em consideração as vantagens de obtenção de dados por meio da RPA surgiram diversas aplicações do potencial desse veículo para mapear diferentes alvos, inclusive alguns estudos no Brasil e no exterior mostram a capacidade da RPA em obter dados cadastrais.

Rijsdijk et al. (2013) verificaram os sistemas aéreos não tripulados no processo de determinação de limites das propriedades. Para o experimento, as avaliações foram executadas em dois locais diferentes, a primeira ocorreu na pirâmide de Austerlitz e a segunda em um pequeno bairro na cidade de Nunspeet. Usou-se os mini veículos aéreo não tripulado AscTec Falcon 8 e Microdrone MD-4. Os ortomosaicos gerados foram tão precisos quanto os levantamentos terrestres convencionais e mostraram precisão geométrica máxima de 3 centímetros. Apesar dos excelentes resultados, os custos desses equipamentos ainda estavam muito altos em comparação com métodos convencionais.

Pegoraro (2013) estudou o potencial de um veículo aéreo não tripulado/quadrirrotor MD4-1000 como plataforma na obtenção de dados cadastrais. Foram efetuadas oitenta e quatro decolagens e pousos que serviram para avaliar o potencial deste equipamento, as imagens obtidas foram processadas em diversos aplicativos computacionais, resultando em produtos tais como: imagens panorâmicas, imagens verticais em variadas escalas, pares estereoscópicos, mosaicos semicontrolados e faixas contínuas de voo. O autor destacou que a atualização do cadastro urbano em cidades de pequeno e médio porte, onde a meta principal é a identificação das alterações de ocupação do solo, estas imagens podem ser utilizadas, com vantagem em relação aos custos dos recobrimentos tradicionais, uma vez que é possível retificar estas imagens através de aplicativos computacionais específicos de forma rápida e segura, bem mais simples que os usados na fotogrametria analógica. O fato de se limitar a levantamentos de pequenas áreas pode ser contornado por planejamentos fragmentados de áreas e posteriormente fazer a composição destas.

Volkman e Barnes (2014) discutem os resultados de testes piloto realizados na Albânia no final de 2013. Um dos objetivos era projetar e testar uma metodologia baseada em aeronaves não tripuladas para produzir dados precisos de limites georreferenciados que possam ser usados para atualizar ou regularizar dados cadastrais existentes. Usaram uma

câmera com uma distância focal de 16 mm, voando a uma altura de 75m acima do solo, obtendo um GSD (*Ground Sample Distance*) de 2 cm na área de teste urbano. Os testes mostraram que as RPA oferecem uma abordagem nova para mapeamento e aquisição de dados espaciais e permitem que indivíduos e pequenas empresas em países em desenvolvimento tenham capacidades de realizar mapeamento em altas resoluções, além da economia de tempo e custo, visto que a aeronave usada está disponível a custos unitários inferiores aos preços de estação total convencional ou receptores GNSS.

Antunes e Hollatz (2015) com o trabalho titulado Cadastro Técnico Multifinalitário de Baixo Custo Utilizando VANT verificaram o uso de imagens obtidas da câmara digital Sony NEX3 de 14 MegaPixels a bordo do VANT modelo SMARTBIRD X260 é adequado para extração de limites das propriedades, a fim de compor o CTM com ênfase em estudos fundiários, visando à gestão municipal. Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados um mosaico advindo de 14 imagens digitais adquiridas em voo com GSD de 6 cm, o software utilizado para a fototriangulação e construção do ortomosaico foi o sistema LPS (Leica Photogrammetry Suite) que atingiu a precisão de 0,04 metros com 11 pontos de controle em campo. O estudo foi realizado para a escala de 1:2000, a pesquisa mostrou-se eficaz para oferecer informações cartográficas para classificação PEC-B.

Pelegrina et al. (2016) avaliaram a qualidade geométrica de produtos cartográficos levantados por RPA aplicados ao cadastro predial no município de Capanema/PR e compararam as discrepâncias entre as coordenadas observadas no produto cartográfico gerado por RPA e as coordenadas de referência de uma base cartográfica preexistente.

Fonseca Neto et al. (2017) avaliaram a acurácia posicional planimétrica de um ortomosaico gerado a partir de um sensor embarcado em uma plataforma RPA, através da aplicação dos métodos de feições pontuais e lineares, de acordo com o padrão de acurácia posicional brasileiro (Decreto-lei 89.817 aliado à Especificação Técnica para Estruturação de

Dados Geoespaciais Vetoriais - ET-ADGV), considerando como referência um levantamento topográfico executado utilizando a tecnologia GNSS e método de posicionamento RTK. Os resultados alcançados demonstram que tanto o método de feição linear (método Buffer Duplo) quanto o método de feição pontual apresentaram resultados similares, obtendo-se segundo o Decreto-lei nº 89.817 em concordância com a ET-ADGV classificação classe B para a escala 1:1000.

Diante desses resultados, considera-se a RPA com potencial para se tornar uma alternativa para aquisição de dados dos imóveis urbanos. Visto que, além do alto custo, outra problemática para o uso de estação total ou teodolito é a delimitação do imóvel por um muro de concreto, na qual impede a visada dos vértices localizados no fundo do imóvel. Por outro lado, os métodos de posicionamento GNSS (Global Navigation Satellite Systems), como por RTK (Real-time Kinematic) possibilitam medir inúmeros pontos em um curto intervalo de tempo, mas nem sempre cumprem todas as tarefas, devido as eventuais perdas de sinais por obstruções que possam existir nas áreas de interesse. Dessa forma, é importante buscar por soluções em termos de tecnologias e técnicas que possibilitem a acurácia de delimitação de imóveis urbanos e ao mesmo tempo rapidez e economia no levantamento de dados de modo a permitir implantação e atualização do CTM principalmente em cidades de pequeno porte.

Ante da realidade apresentada e visto que o uso da tecnologia RPA tem propiciado alternativas para a coleta e espacialização de informações para a elaboração de mapas em escalas e níveis mais detalhados e imageamento de uma mesma área em curto intervalo de tempo a custos mais baixos se comparado com a aquisição dessas informações através de satélites ou de câmaras acopladas em grandes aeronaves, o presente trabalho investigou o desempenho e a qualidade dos produtos gerados por uma RPA de baixo custo para aplicações no âmbito cadastral. E, trabalha com a hipótese que uma RPA de baixo custo tem acurácia

compatível com as exigências de escala para ter suas imagens utilizadas no CTM para gestão municipal.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Este projeto tem o objetivo geral de avaliar a acurácia posicional de dados espaciais gerados a partir do uso do RPA para fins de elaboração e atualização de plantas cadastrais.

1.2.2 Objetivos Específicos

Tem por objetivos específicos:

- a) Verificar a acurácia planialtimétrica do levantamento aerofotogramétrico com RPA PHANTOM 3, através de pontos de controle pré-sinalizados;
- b) Analisar os ortomosaicos gerados sem pontos de controle através das fotos obtidas pelo RPA PHANTOM 3;
- c) Realizar uma análise comparativa dos dados espaciais obtidos por meio do RPA PHANTOM 3 com os dados adquiridos através do uso de receptores GNSS e nível;
- d) Investigar através de análise de tendência e teste de precisão se a escala obtida é viável para geração e atualização de plantas cadastrais municipais.

CAPÍTULO 2 – DEFINIÇÃO E CONCEITOS BÁSICOS

2.1 AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA

2.1.1 Conceitos e Nomenclatura

No Brasil, as Aeronaves Não Tripuladas ainda são amplamente conhecidas como Drones (do Inglês zangão, termo muito utilizado pelos órgãos de imprensa), Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), nomenclatura oriunda do termo Unmanned Aerial Vehicle (UAV) e considerado obsoleto na comunidade aeronáutica internacional, Aeromodelo ou Aeronave Remotamente Pilotada (BRASIL, 2016a).

De acordo com Brasil (2016a) há dois tipos diferentes de aeronaves não tripuladas. A primeira, automática, o piloto não está a bordo, mas controla aeronave remotamente de uma interface qualquer, seja computador, simulador, dispositivo digital ou controle remoto. A segunda é a chamada autônoma que, uma vez programada, não permite intervenção externa durante a realização do voo.

Segundo a legislação brasileira caracteriza-se como RPA toda aeronave projetada para operar sem piloto a bordo, esta, porém há de ser de caráter não recreativo e possuir carga útil embarcada. Sendo assim, um veículo aéreo não tripulado utilizado para lazer ou esporte enquadra-se por definição legal, na legislação pertinente aos aeromodelos (BRASIL, 2018a).

O termo adotado tecnicamente pela OACI (Organização da Aviação Civil Internacional), com abrangência internacional, para aeronaves não tripuladas e de caráter não recreativo é RPA. Apesar disso, no Brasil os órgãos controladores e as autoridades aeronáuticas como a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), DECEA

(Departamento de Controle do Espaço Aéreo) e ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) utilizam o termo Drone, em suas páginas de informações e cadastros na internet.

Há ainda o termo RPAS (Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada) quando citamos não só a aeronave envolvida mais todos os recursos do sistema que a faz voar, entre eles a estação de pilotagem remota, o link ou enlace de comando que possibilita o controle da aeronave e seus equipamentos de apoio (BRASIL, 2016a).

2.1.2 Classificação

Não há normas internacionalmente aceitas, assim cada país desenvolve suas próprias regras para agrupar as RPA em diversas categorias.

No Brasil, a RPA é classificada de acordo com o peso máximo de decolagem (PMD) da seguinte maneira (BRASIL, 2017a):

Classe 1: RPA com peso máximo de decolagem maior que 150 kg;

Classe 2: RPA com peso máximo de decolagem maior que 25 kg e menor ou igual a 150 kg;

Classe 3: RPA com peso máximo de decolagem menor ou igual a 25 kg.

Em relação a sua categoria, cada equipamento é regido por normas específicas do DECEA, ANAC e ANATEL. De acordo com Brasil (2017a) para pilotar a aeronave o piloto deverá seguir os critérios estabelecidos no Quadro 1 segundo a sua classificação.

Quadro 1: Regulamentos de acordo com a classificação da aeronave.

Classificação/Regulamentos	Classe 1	Classe 2	Classe 3	
Características	RPA com peso máximo de decolagem maior que 150 kg.	RPA com peso máximo de decolagem maior que 25 Kg e até 150 Kg.	Aeromodelos ou RPA com peso máximo de decolagem maior que 250 g até 25 Kg.	Aeromodelos ou RPA com peso máximo de decolagem de até 250 g.
Idade para pilotar	> 18 anos.	>18 anos.	>18 anos.	>18 anos.
Possuir seguro de danos a terceiros.	Sim	Sim	Sim	Não
Fazer uma avaliação de risco operacional (IS-ANAC nº E94-003)	Sim	Sim	Sim	Não
Possuir licença e habilitação emitidos ou validada pela ANAC.	Sim	Sim	Não (Apenas acima de 400 pés (120 m))	Não
Possuir Certificado Médico Aeronáutico (CMA).	Sim	Sim	Não	Não
Certificado de Aeronavegabilidade.	Sim	Sim	Não (apenas para BVLOS até 400 pés ou qualquer voo acima de 400 pés)	Não
Possuir cadastro emitido junto à ANAC e sua identificação na aeronave	Sim	Sim	Sim	Não
Executar uma Inspeção Anual de Manutenção (IAM) no sistema de RPA a cada 12 meses.	Sim	Não	Não	Não
Possuir manual de voo	Sim	Sim	Sim	Não
Possuir certificado de marca experimental ou certificado de matrícula	Sim	Sim	Não (apenas para BVLOS até 400 pés ou qualquer voo acima de 400 pés)	Não
Permitido trocar de piloto remoto em comando durante a operação.	Sim	Sim	Sim	Sim
Permitido operar apenas um único sistema de RPA por vez.	Sim	Sim	Sim	Sim
Permitido operar apenas em áreas distantes de terceiros (no mínimo 30 metros horizontais).	Sim	Sim	Sim	Não

Fonte: A autora.

2.1.3 Iniciativas Globais e no Brasil

O primeiro RPA com piloto automático foi criado pelos americanos Lawrence e Elmer Sperry em 1916 e este é apresentado na Figura 1 (NONAMI, 2007). Nesta época os RPA serviam apenas para uso militar.

Figura 1: Primeiro RPA no mundo, em 1916.



Nonami (2007).

Na 2ª Guerra Mundial a utilização militar expandiu em termos da engenharia alemã, mas o seu uso só se popularizou nos anos 80, a partir de modelos desenvolvidos em Israel (TELO, 2002). Desde a década de 1970 a pesquisa e o desenvolvimento em larga escala estavam em andamento e depois da Guerra do Vietnã, os EUA e Israel começaram a desenvolver RPA menores e mais baratos que carregavam uma câmara de vídeo e transmitiam imagens para a base do operador (NONAMI, 2007).

Na guerra do Golfo os EUA usaram esses pequenos RPA para observação e reconhecimento da área. No Afeganistão foi o primeiro conflito em que foram utilizados RPA armados, conhecido por Predator, foi o primeiro a ser equipado com mísseis (TELO, 2002), o qual é apresentado na Figura 2.

Figura 2: Predator em uso militar.



Nonami (2007).

Em contrapartida, no século XXI a NASA começou a se concentrar na pesquisa dos RPA para uso civil. O projeto ERAST (*Environmental Research Aircrafts and Sensor Technology*) começou nos anos 90 para desenvolver RPA operados remotamente ou de forma autônoma para realizar missões ambientais em altas altitudes, incluindo desenvolvimento de tecnologia para voos prolongados, motores e sensores aprimorados (NONAMI, 2007). A Figura 3 mostra os RPA desenvolvidos por este projeto.

Figura 3: RPA para uso civil (Helios, Proteus, Altus).



Nonami (2007).

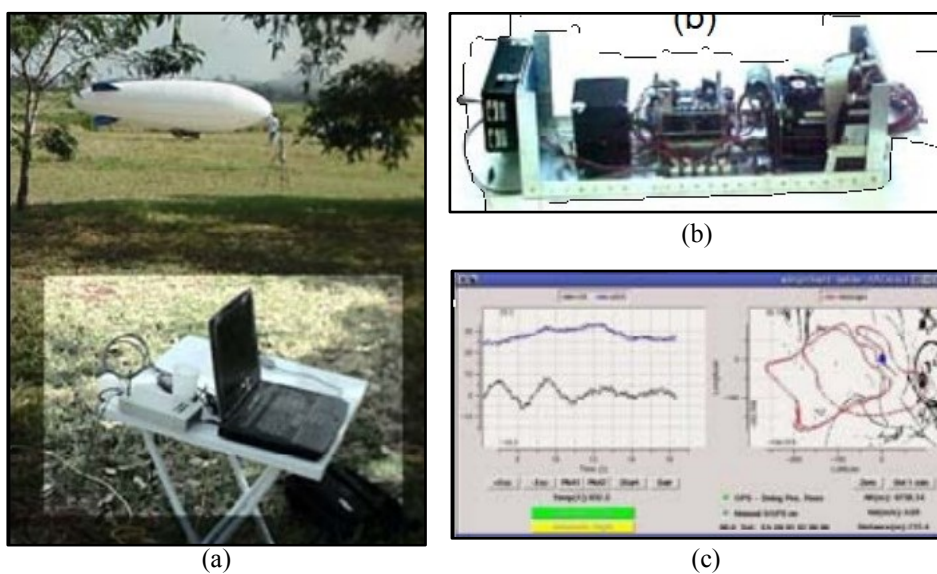
No Brasil, o primeiro registro de desenvolvimento de um RPA ocorreu em 1982, quando o Centro Técnico Espacial (CTA) desenvolveu o projeto Acauã. Um veículo não tripulado a jato foi produzido, mas o projeto foi encerrado em 1991 antes do seu primeiro voo (MEDEIROS, 2007). Posteriormente, outras empresas e institutos de pesquisa investiram nessa tecnologia.

O Projeto AURORA (Autonomus Unmanned Remote Monitoring Robotic Airship) foi desenvolvido pelo CENPRA (Centro de Pesquisas Renato Archer), em 1997, com o objetivo de criar uma tecnologia para a operação autônoma de veículos aéreos não tripulados, para desenvolver atividades em áreas como monitoração ambiental e inspeção aérea (ELFES et al., 1998).

No AURORA, foram desenvolvidos, como mostra a Figura 4, as infraestruturas sensorial, de hardware e software (de tempo real e usando padrões abertos) tanto embarcada na aeronave quanto na estação de operação em terra; de comunicação entre os sistemas

embarcados e em terra, e a interface humano-máquina de operação; o sistema automático de controle e navegação baseado em sensores como GPS, bússola, central inercial e sonda de vento (RAMOS; BUENO, 2007).

Figura 4: O dirigível e estação de terra (a), o sistema embarcado (b) e parte da interface humano-máquina (c) do projeto AURORA.



Fonte: Ramos e Bueno (2007).

Em 1999, o Projeto ARARA (Aeronaves de Reconhecimento Assistidas por Rádio e Autônomas) foi desenvolvido no Laboratório de Computação de Alto Desenvolvimento do Departamento de Ciências de Computação e Estatística – USP São Carlos em parceria com a Embrapa-CNPDIA e construiu um veículo não tripulado para monitoramento, tendo como principal objetivo a substituição das aeronaves convencionais utilizadas na obtenção de imagens aéreas para o monitoramento de plantações e áreas sob controle ecológico (NERIS, 2001).

As RPA estão em constante evolução e atualmente podem-se encontrar diferentes concepções de plataformas aéreas para o monitoramento e aquisição de dados. O Quadro 2 apresenta alguns dos projetos que foram desenvolvidos no Brasil desde sua iniciativa.

Quadro 2: Atividades em RPA no Brasil.

Projeto	Ano	Objetivo	Resultados
Acauã	1984 - 1991	Avião teleoperado	Aeronave e amplificador de sinal de radio-controle
Aeromot	1986	Alvo móvel K1AM	Aeronave e eletrônica, voo “linear” estabilizado
Helix	1991 - 2000	Helicóptero não-tripulado para inspeção	Aeronave, sistemas embarcado e em terra, modelo, controle.
AURORA	1997	Dirigível não-tripulado para inspeção e monitoramento.	Sistemas embarcado e em terra, modelo, de controle – realizou voo autônomo.
AeroDesign	1999	Avião radio-controlado.	Aeronaves (aeromodelo) para competições.
ARARA	1999	Avião não-tripulado para inspeção e monitoramento.	Aeronave, sistemas embarcado e de terra, controle – realizou voo autônomo.
FITEC	2003	Avião	Aeronave, sistemas embarcado e em terra.
AGROROBOT	2003	Avião para pulverização.	Aeronave.
CESAR-ITA	2004	Avião para inspeção de linhas de transmissão.	Projeto de aeronave, de controle, modelagem.
SiDeVAAN	2004	Avião para inspeção.	Aeronave, sistemas embarcado e em terra, controle – realizou voo autônomo.
CARCARA-HEXPANSION	2004	Helicóptero para inspeção de linhas de transmissão.	Sistemas embarcado e de terra, modelo, controle.
VANT CTA	2005	Avião	Sistemas embarcado e em terra, controle.
EPUSP-Mecatr	2005	Avião	Aeronave e sistemas.
UAV-UFBA	2005	Infra estrutura para VRA.	Sistema embarcado.
UAV EEUSP-SC	2006	Avião	Sistema embarcado e controle.
ITA	2006	Avião	Aeronave e sistemas embarcado e em Terra.
Watch dog / Flight Solutions	2007	Avião	Aeronave e sistemas embarcado e em Terra.
UFRN	2007	Helicóptero	Sistemas embarcado e em terra, controle

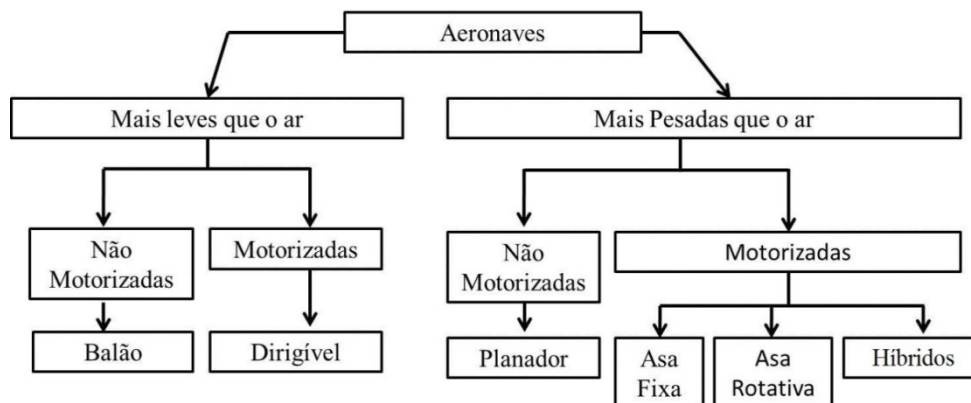
Fonte: Ramos e Bueno (2007).

2.1.4 Categorias

O progresso da tecnologia e o aprimoramento de materiais têm permitido desenvolver equipamentos cada vez menores e na busca de aumentar atributos como tempo de voo e a carga útil dos veículos aéreos, diversas configurações surgiram com diferentes tamanhos,

capacidades e tempos de voo distintos. Assim, Bouabdallah, Murrieri e Siegwart (2004) categorizaram as aeronaves em relação ao princípio de voo e o modo de propulsão como mostra a Figura 5.

Figura 5: Categorização geral das aeronaves, dependendo do princípio do voo e modo de propulsão.

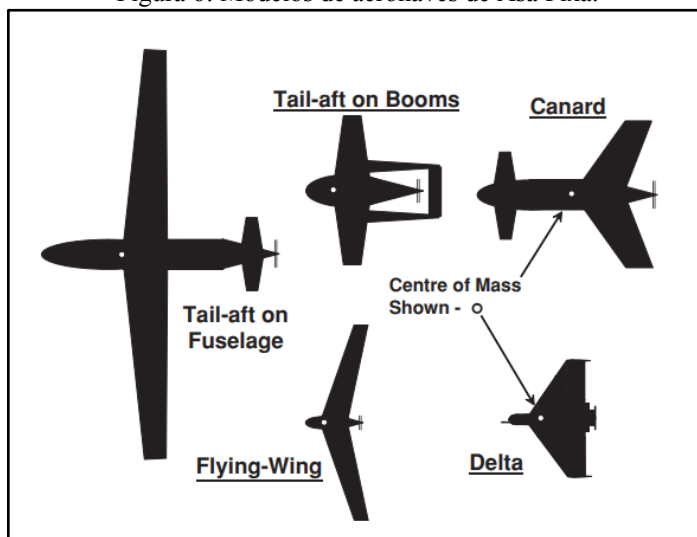


Fonte: Adaptado Bouabdallah, Murrieri e Siegwart (2004).

Nessa categorização, as RPA, aeronaves mais pesadas que o ar e motorizadas, dividem-se em três categorias: asa fixa, asa rotativa e híbridas.

As aeronaves de asa fixa, apresentadas na Figura 6, são semelhantes aos aviões, geram sustentação através da passagem do ar ao longo de suas asas fixas, são capazes de realizar rotas longas de voo devido a sua maior autonomia, atinge maiores velocidades e maior capacidade de carga. O formato da asa similar a de um avião promove maior sustentação e com isso um gasto energético baixo permitindo o mapeamento de grandes áreas em um menor tempo. Esse tipo de aeronave necessita de área de pouso e decolagem livre de obstáculos ou podem ser arremessados em voo manualmente ou com o auxílio de lançadores especiais (BEHNCK, 2014). O centro de massa é situado à frente do centro das asas e é equilibrado com uma asa na traseira providenciando uma velocidade aerodinâmica e maior estabilidade no plano horizontal (AUSTIN, 2010).

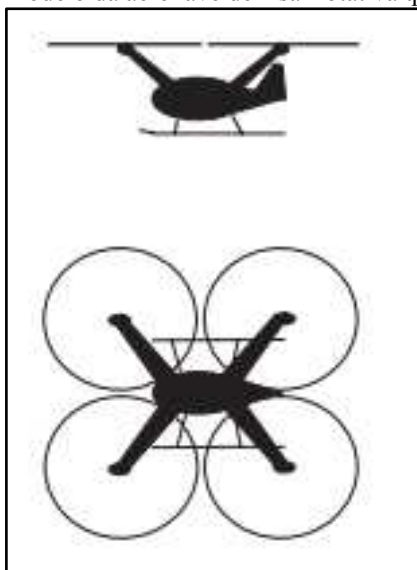
Figura 6: Modelos de aeronaves de Asa Fixa.



Fonte: Austin (2010).

As aeronaves de asa rotativa (Figura 7) possuem hélices rotativas que geram a sustentação da aeronave durante o voo, possuem maior capacidade de manobras podendo operar mais perto dos objetos, destacam-se pela capacidade de decolagem e pouso vertical e podem pairar no ar (EISENBEISS, 2011). São conhecidas também por multirotores e são denominados pelas combinações de rotores, como por exemplo, quadrirotor (4), hexarotor (6), octorotor (8).

Figura 7: Modelo da aeronave de Asa Rotativa quadrirotor.

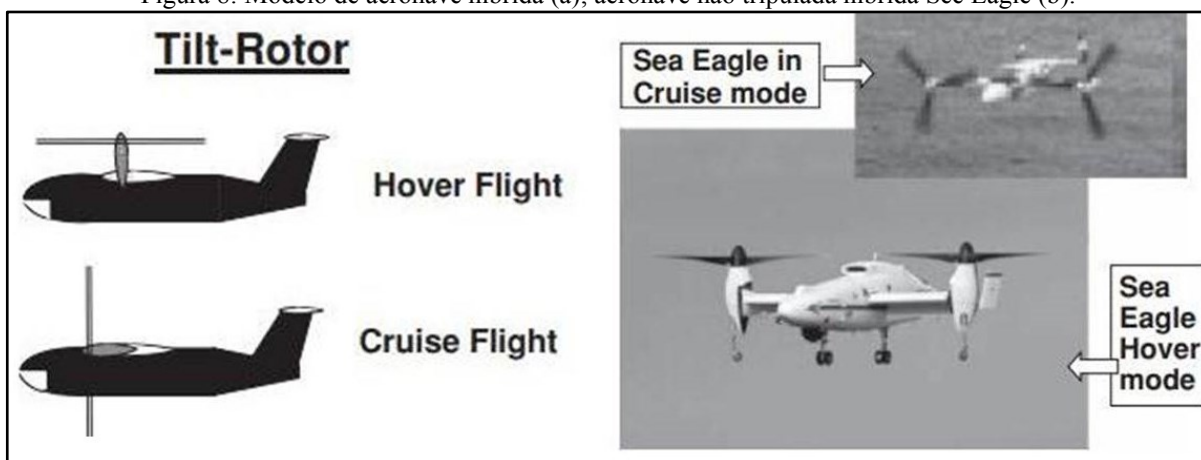


Fonte: Austin (2010).

As aeronaves híbridas foram criadas com o intuito de inserir a função de decolar e pousar de maneira vertical e dessa forma misturam as capacidades das configurações de asa fixa com as capacidades das configurações de asas rotativas (AUSTIN, 2010).

A Figura 8 mostra o modelo de RPA híbrida e um exemplo desse tipo de aeronave, a Sea Eagle, que tem o motor fixo na fuselagem.

Figura 8: Modelo de aeronave híbrida (a); aeronave não tripulada híbrida Sea Eagle (b).



Fonte: Austin (2010).

Segundo Pecharromán e Veiga (2017) em relação a tipos de RPA, os de asa rotativa dominam o mercado com uma participação de 77%, os de asa fixa têm 21%, uma vez que a sua base de clientes é menor, e têm um preço mais elevado, e os híbridos como são um conceito inovador, ainda possuem um baixo número de unidades no mercado.

O Quadro 3 mostra RPA fabricadas no Brasil e algumas de suas características informadas pelos fabricantes.

Quadro 3: RPA fabricadas no Brasil.

Fabricante	Equipamento		Características
AEL Sistemas	Da Vinci		VTOL e multirrotor, para voos em baixa altitude. Desenvolvido para gerar e transmitir imagens em tempo real via datalink.
AGX Tecnologia Ltda	Arara II		Aeronave de Reconhecimento Assistidas por Rádio e Autônoma, foi projetada de forma a minimizar custos e diminuir o tempo de construção.
ARPAC	Biodrone		Usado para aplicação de produtos para o controle biológico de pragas. Autonomia de voo de até 67 minutos, cobertura de até 1000 ha por dia.
Avibras	Falcão		Destinado a missões de reconhecimento, aquisição de alvos, apoio à direção de tiro, avaliação de danos e de vigilância terrestre e marítima.
Avionics Services	Caçador		De uso militar, pode voar mais de 40 horas a uma altitude máxima de 30.000 pés, com um alcance de mais de 600 milhas.
BRVANT	BRV - 03D		Mini VTOL, destinado ao monitoramento pontual e em curta distância, principalmente vigilância urbana e rural.
Brasil Aircrafts	Falco 170		Alvo aéreo de baixo custo pilotado por controle remoto que simula a ameaça de aeronaves asa fixa ou rotatória para os sistemas de defesa antiaérea de mísseis ou canhões Guepard. Autonomia de voo de 35 minutos.
FT Sistemas SA	FT-100		Aplicações de curto alcance, como mapeamento aéreo, operações de vigilância e monitoramento, coleta de dados e informações. Autonomia máxima de voo de 2h.
Gyrofly Innovations	GYRO 500 X4		Possui grande estabilidade de voo, é compacto e leve. Ideal para operações em ambientes hostis e complexas como em operações de segurança pública e privada, mineração e engenharia.
Horus	Verok		Asa fixa, automático, com autonomia de até 2 horas, cobrindo até 4300 hectares.
Santos Lab Comercio e Industria Aeroespacial Ltda	Parrot Disco-Pro AG		Asa fixa, aplicado na agricultura de precisão, com autonomia de voo de 30 minutos.
SkyDrones	Pelicano		Multirrotor, aplicação na agricultura de precisão e saúde pública. Tempo de voo de 10 a 15 minutos.
XMobots	Arator 5A		Asa fixa, totalmente automático, ideal para mapeamento de áreas agrícolas. Autonomia de voo de 60 minutos.
Sensormap	UX-SPYRO		Multirrotor, uso noturno. Autonomia de 30 minutos.

Fonte: Adaptado manual dos fabricantes.

2.1.5 Regulamentação

Os EUA investem em regulamentações para integrar as aeronaves não tripuladas do uso civil no país e estimular o crescimento de empregos e o avanço de inovações científicas. A Parte 107 do título 14 do Código de Regulamentos Federais apresenta normas de segurança desses veículos com peso inferior a 55 libras (aproximadamente 25 kg) que estão conduzindo operações profissionais. O regulamento exige que os pilotos devam ser capazes de ver a aeronave não tripulada ao longo de todo o voo, exerçam operações somente durante o dia e com altitude inferior a 400 pés acima do nível do solo, tenham no mínimo 16 anos e possuam certificado de piloto remoto ou estejam sob a supervisão direta de um piloto remoto com tal certificado. Para adquirir esse certificado é necessário passar por um teste de conhecimentos aeronáuticos e ser aprovado pela FAA (Federal Aviation Administration) (CFR, 2016).

Para ajudar a determinar se existem quaisquer restrições ou requisitos em vigor no local onde as aeronaves querem voar a FAA possui um aplicativo de smartphone denominado B4UFLY. O indicador de status de vôo B4UFLY (vermelho, laranja ou amarelo) é acionado por leis e regulamentos, em especial a Lei Pública 112-95, Seção 336, voltado para usuários de aeronaves não tripuladas que voam por hobby ou recreação (FAA, 2017).

A fim de expandir o sistema, em maio de 2018, a FAA começou a testar um modelo automatizado que fornecerá processamento em tempo quase real de solicitações de autorização de espaço aéreo para operadores de aeronaves não tripuladas em todo o EUA, a implantação final está prevista para setembro do mesmo ano. A denominada *Low Altitude Authorization and Notification Capability* (LAANC) ajudará a apoiar a integração segura de aeronaves não tripuladas no espaço aéreo, visto que os operadores podem receber autorizações de espaço aéreo quase em tempo real. Isso diminui drasticamente a espera com o

uso do processo de autorização manual e permite que os operadores planejem rapidamente seus voos (FAA, 2018).

No Brasil o uso de veículos aéreos não tripulados é controlado pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) responsável pelo desenvolvimento das telecomunicações, pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) responsável pelo controle do espaço aéreo e pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) responsável por promover a segurança da aviação civil.

Atualmente, existem no Brasil, documentos oficialmente emitidos que versam especificamente sobre veículos aéreos não tripulados, abaixo são apresentados alguns desses:

1) Resolução nº 242, novembro/2000 (ANATEL), tem por finalidade aprovar o Regulamento para Certificação e Homologação de Produtos para Telecomunicações (BRASIL, 2000);

2) Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) 100-12, outubro/2016 (DECEA), tem por finalidade regulamentar, no Brasil, as Regras do Ar previstas no Anexo 2 à Convenção de Aviação Civil Internacional (ICAO, 2005);

3) Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) 100-40, dezembro/2016 (DECEA), tem por finalidade regulamentar os procedimentos e responsabilidades necessários para o acesso seguro ao espaço aéreo brasileiro por sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS) (BRASIL, 2016a);

4) Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial (RBAC-E) nº 94, maio/2017 (ANAC), tem a finalidade de regular o uso de aeronaves não tripuladas de uso civil capazes de sustentar-se e/ou circular no espaço aéreo mediante reações aerodinâmicas se possuírem certidão de cadastro, certificado de matrícula brasileiro ou certificado de marca experimental, emitidos pela ANAC ou se operarem em território brasileiro. Esse documento tem vigência limitada no tempo e restrita a um número razoável de requisitos e pessoas, até que os

requisitos contidos nos mesmos sejam incorporados em RBAC apropriado ou definitivamente revogados (BRASIL, 2017a);

5) Instrução Suplementar (IS) n° E94.503-001A, maio/2017 (ANAC), tem o objetivo de orientar a emissão de Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE) com base no RBAC-E n° 94 para RPA (BRASIL, 2017b);

6) Instrução Suplementar (IS) n° E94-001A, maio/2017 (ANAC), tem por objetivo fornecer informações sobre os procedimentos gerais para a autorização de um projeto de um RPAS, conforme estabelecido na Subparte E (Autorização de projeto de RPAS) do RBAC-E 94 (BRASIL, 2017c);

7) Instrução Suplementar (IS) n° E94-002A, maio/2017 (ANAC), tem por objetivo orientar a demonstração de cumprimento dos requisitos das seções E94.405 (Projeto do RPAS – Geral) e E94.407 (Projeto do RPAS para operações BVLOS (Beyond Visual Line of Sight - Operação Além da Linha de Visada Visual)) da Subparte E (Autorização de projeto de RPAS) do RBAC-E 94 (BRASIL, 2017d);

8) Instrução Suplementar (IS) n° E94-003A, maio/2017 (ANAC), tem por objetivo estabelecer os procedimentos para elaboração e utilização de avaliação de risco operacional para operadores de aeronaves não tripuladas, para cumprimento dos parágrafos E94.103(f)(2) e E94.103(g)(2) do RBAC-E n° 94 (BRASIL, 2017e);

9) Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) 100-37, dezembro/2017 (DECEA), tem por finalidade regulamentar, no Brasil, os Serviços de Tráfego Aéreo previstos no Anexo 11 (ICAO, 2001) à Convenção de Aviação Civil Internacional e no Documento 4444 (ICAO, 2007), Gerenciamento de Tráfego Aéreo, da OACI (Organização da Aviação Civil Internacional) (BRASIL, 2017f);

10) Circular de Informações Aeronáuticas (AIC) N 17/18, janeiro/2018 (DECEA), publicação que tem por finalidade regulamentar os procedimentos e responsabilidades

necessários para o acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por aeronaves remotamente pilotadas com uso exclusivamente voltado à recreação, os chamados Aeromodelos (BRASIL, 2018a);

11) Circular de Informações Aeronáuticas (AIC) N 23/18, janeiro/2018 (DECEA), publicação que tem por finalidade regulamentar os procedimentos e responsabilidades necessários para o acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por aeronaves remotamente pilotadas, com uso exclusivamente voltado às operações dos Órgãos ligados aos Governos Federal, Estadual ou Municipal (BRASIL, 2018b);

12) Circular de Informações Aeronáuticas (AIC) N 24/18, janeiro/2018 (DECEA), publicação que tem por finalidade regulamentar os procedimentos e responsabilidades necessários para o acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por aeronaves remotamente pilotadas, com uso exclusivamente voltado às operações dos Órgãos de Segurança Pública (OSP), da Defesa Civil (DC) e de Fiscalização da Receita Federal do Brasil (RFB) (BRASIL, 2018c).

Ainda, para atividades de aerolevanteamento tem-se:

13) Decreto-Lei nº 1177/1971, junho/1971 (Presidência da República), dispõe sobre aerolevanteamentos no território nacional (BRASIL, 1971).

14) Decreto-Lei nº 2278/1997, julho/1997 (Presidência da República), regulamenta o Decreto-Lei nº 1.177, de 21 de junho de 1971, que dispõe sobre aerolevanteamentos no território nacional e dá outras providências (BRASIL, 1997).

15) Portaria nº 953/2014, abril/2014 (Ministério da Defesa), dispõe sobre a adoção de procedimentos para a atividade de aerolevanteamento no território nacional (BRASIL, 2014).

Segundo a legislação brasileira é necessário o usuário antes de utilizar a RPA verifique a certificação e homologação pela ANATEL seguindo a Resolução nº 242/2000 que estabelece que a emissão do documento de homologação é pré-requisito obrigatório para produtos para telecomunicações no Brasil.

Além disso, nenhuma aeronave sem piloto poderá acessar o espaço aéreo sem autorização por parte do DECEA. Essa autorização é facilitada pelo sistema SARPAS (Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas) com acesso através do endereço <http://servicos2.decea.gov.br/sarpas/>. Nesse sistema realiza-se o cadastro do usuário, o qual pode ser por piloto ou explorador, o cadastro do equipamento (verificação das anuências da ANAC e da ANATEL), solicita a autorização de voo e consulta as operações.

O prazo de análise da solicitação de operações de RPA Classe 1 e 2, independente da altura que se queira operar, e para o tipo de operação BVLOS (Beyond Visual Line of Sight) o prazo para análise é de 18 dias úteis e o voo deverá ser realizado com autorização mediante emissão de NOTAM (Notice to Airmen). Para RPA Classe 3 até 30 m de altura acima do nível do solo, se a área for afastada de aeródromos cadastrados em um raio mínimo de 5 Km, o prazo é de até 45 minutos em relação ao início da operação, no entanto se operar dentro desse raio o prazo será de até dois dias úteis. Em operações de RPA classe 3 entre 30 a 120 m o prazo para análise é de dois dias úteis em área fora do raio de 5 Km dos aeródromos e de 18 dias úteis para aqueles mais próximos dos aeródromos, nesse caso necessita-se da emissão de NOTAM. Já operações de RPA Classe 3 acima 120m o prazo para análise é de 18 dias úteis e necessita da emissão de NOTAM (BRASIL, 2016a).

Para operações em alturas muito baixas (até 120 m), as mais comuns no meio civil, o DECEA exige operar em condições VMC (Condições Meteorológicas de Voo Visual), realizar operação VLOS (Linha de Visada Visual), afastado no máximo 500m horizontalmente do Piloto Remoto, estar sua projeção vertical no solo afastada no mínimo 30 m de edificações, estruturas, patrimônios, animais e concentração de pessoas não anuentes e não voar sobre áreas povoadas e aglomeração de pessoas (exceto aquelas anuentes e/ou envolvidas na operação do RPAS) (BRASIL, 2016a).

Devendo seguir também as normas da ANAC, somente é permitido operar uma RPA de peso máximo de decolagem acima de 250 gramas se, durante toda a operação, estiverem disponíveis a Certidão de Cadastro, o Certificado de Matrícula ou o Certificado de Marca Experimental, o certificado de aeronavegabilidade válido, o manual de voo, a apólice de seguro ou o certificado de seguro com comprovante de pagamento, dentro da validade, o documento que contém a avaliação de risco e licença, habilitação e extrato do CMA (BRASIL, 2017a). Esses documentos são aplicáveis em conformidade à classificação da RPA, como é resumidamente apresentado no Quadro 1 e encontrado na íntegra na RBAC-E nº 94.

É importante ressaltar que a certidão de cadastro da RPA, obrigatória para o uso recreativo (aeromodelo) e não recreativo com peso máximo de decolagem superior a 250g e limitado a 25 kg e que não voará além da linha de visada visual (BVLOS) ou acima de 400 pés (120 metros) acima do nível do solo, é obtida por meio do Sistema de Aeronaves não Tripuladas (SISANT). É possível fazer apenas um cadastro por aeronave e cada equipamento deve estar vinculado a uma pessoa ou a uma empresa no Brasil, o qual será a responsável legal pela aeronave. O sistema gera uma certidão, documento de porte obrigatório em todas as operações.

Para operações de aerolevanteamento que utilizam de RPAS ressalta-se ainda a necessidade de emissão pelo Ministério da Defesa de Autorização de Sobrevoos do Ministério da Defesa (AVOMD), conforme Brasil (2014).

O Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) em fevereiro de 2018 publicou a Norma de Execução INCRA/DF/Nº 02 de 19 de fevereiro de 2018 que estabelece critérios para aplicação e avaliação de produtos gerados a partir de aerofotogrametria para determinação de coordenadas de vértices definidores de limites de imóveis rurais (INCRA, 2018).

2.2 CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO

O conceito de Cadastro apresenta diferentes significados advindo das legislações de cada país. Dentre as variadas descrições existentes a mais aceita foi feita pela *International Federation of Surveyors* (FIG) que define o Cadastro como um sistema de informação territorial baseado em parcelas, com a finalidade de manter registro dos interesses sobre a terra, como direitos, restrições e responsabilidades. Esse cadastro inclui uma descrição geométrica descrevendo a natureza dos interesses, a propriedade, o valor e suas melhorias (FIG, 1995).

Outra concepção de cadastro pode ser definida por Loch e Erba (2007) como Cadastro Técnico, este por sua vez, além de incorporar informações territoriais agrega o uso das tecnologias. Ao adicionar ao conceito de Cadastro outras questões da sociedade como ambientais, sociais, da saúde e educação, este se torna uma ferramenta importante para o planejamento urbano denominando-se Cadastro Técnico Multifinalitário, que possui uma terminologia mais ampla, abrangendo um número maior de informações e usuários.

Em grande parte do mundo o cadastro é estruturado pelo Estado como uma instituição jurídica administrativa que tem como objetivos registrar de maneira sistemática os bens imóveis de uma região, contemplando seus três aspectos fundamentais: jurídico, econômico e geométrico (ERBA, 2005). Assim, o CTM é visto como um instrumento eficaz para a organização do território e no Brasil é de responsabilidade e competência de cada município.

A descrição legal da propriedade está definida na matrícula do imóvel, devidamente formalizada no Registro de Imóveis (RI), sendo que a grande maioria não provém de medições padronizadas ou são produtos de projetos de parcelamentos (CABRAL, 2017). A integração sistemática entre o CTM e o RI do município é prevista em um Sistema de

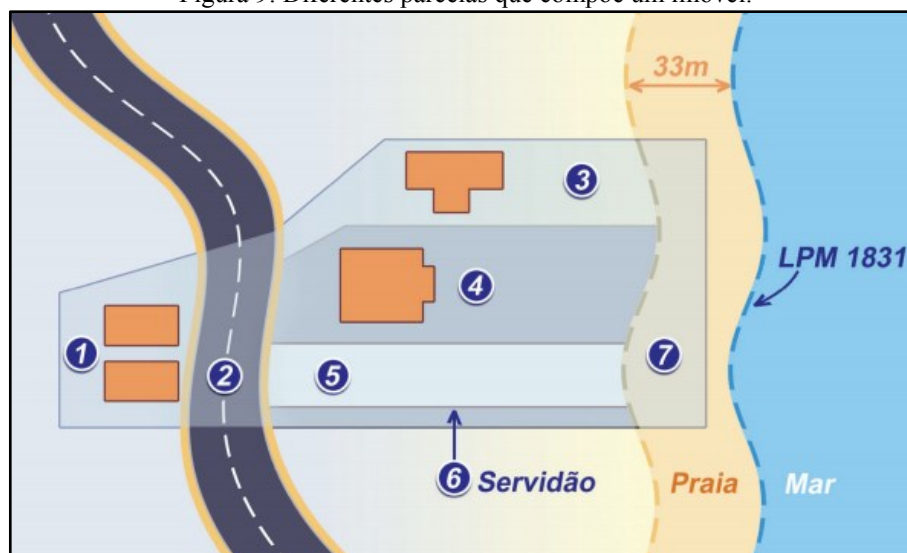
Cadastro e Registro Territorial (SICART) e este, quando relacionado aos cadastros temáticos gerenciados por um SIG, constitui o Sistema de Informações Territoriais (SIT).

A parcela cadastral é apresentada como a menor unidade do cadastro, à qual deve ser atribuído um código único e estável. Philips (2010) explica que estas parcelas devem ser contíguas de modo que não haja sobreposição das áreas e nem lacunas, assim o cadastramento somente será considerado completo quando a superfície do município e a superfície cadastrada forem idênticas.

Um imóvel pode estar dividido em várias parcelas quando este houver mais do que um regime jurídico, considerando que regime jurídico, para a definição da parcela é, o proprietário, que pode ser uma pessoa física ou jurídica (PHILIPS, 2010). Embora em áreas urbanas, na maior parte das vezes, a parcela se confunda com o lote, isso nem sempre acontece, como, por exemplo, no caso dos terrenos de marinha ou de imóveis constituídos por mais de uma matrícula. Temos como exemplo o imóvel representado na Figura 9, que é integrado por sete parcelas, cada uma com regime jurídico específico, sendo: 1 uma das partes remanescentes da desapropriação da nova rua, que depois desse ato perde a continuidade com o resto do imóvel, o que requer matrícula própria no registro de imóveis; 2 a faixa de domínio público desapropriada para a construção da estrada; 3 o objeto do contrato de usufruto; 4 a residência do proprietário do imóvel; 5 as restrições de uso e ocupação para alguma forma de preservação ambiental; 6 como servidão, continua pertencendo ao proprietário original, com a restrição registrada do uso público para acesso às praias, aprovado pela câmara municipal; 7 é terreno de marinha e, portanto, propriedade da União, sobre a qual o dono do imóvel tem uma concessão de uso, concedida pela Secretaria de Patrimônio da União. Nesse caso de propriedade, geram-se dois imóveis legais, com duas matrículas no RI, o primeiro imóvel é formado pela parcela 1 e o segundo pelas parcelas 3, 4, 5, 6, que são individualmente

especializadas (georreferenciadas), registradas na matrícula como um único imóvel (PHILIPS, 2005).

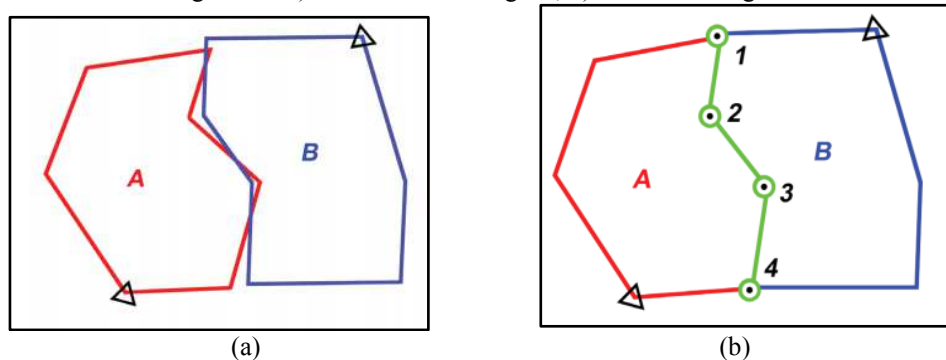
Figura 9: Diferentes parcelas que compõe um imóvel.



Fonte: Philips (2005).

Como explica Philips (2010), através da Figura 10, antes de serem georreferenciadas por coordenadas as parcelas A e B eram levantadas individualmente, normalmente por técnicos diferentes, com métodos e equipamentos diferentes e, muitas vezes, em épocas diferentes, ou muitas vezes por feições ou apenas a indicação do proprietário sem considerar os limites dos terrenos vizinhos. O resultado era a demarcação de um limite entre as parcelas com duas linhas distintas, sendo que a linha onde termina o domínio do proprietário A não era a mesma do início do domínio do proprietário B, portanto, A e B não são imóveis contínuos (Figura 10a). A contiguidade de parcelas se consegue com a identificação e o levantamento único do limite entre ambas e a demarcação do limite pela sequência de vértices comuns. As coordenadas referenciadas ao SGB garantem que os pontos metodicamente levantados possam ser realocados a qualquer momento (Figura 10b).

Figura 10: a) Imóveis não contíguos; b) imóveis contíguos.



Fonte: Philips (2010).

Como conceituado acima o Cadastro está embasado na associação entre o registro, a definição do limite e a determinação da localização do imóvel, daí a importância de uma normatização e da execução por técnicos responsáveis para fornecerem informação territorial confiável e atualizadas, a fim de disponibilizar a demais instituições públicas, empresas privadas e população em geral.

Um exemplo de cidade no Brasil que conta com o CTM é Belo Horizonte (MG). Implantado na década de 90 por meio da empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte (Prodabel), a Superintendência de Geoprocessamento é responsável pelo mapeamento dos elementos que compõem o espaço urbano de forma atualizada e com alta precisão. O trabalho dessa equipe se tornou destaque levando o grupo técnico da Prodabel a ser escolhido para elaborar o Manual de Engenharia para Cadastro Urbano e Rural para o Brasil para ser utilizado pelo Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais (SINTER) (PRODABEL, 2017).

2.2.1 Normalização Vigente no Brasil

Pela Constituição Federal de 1988, artigo 30, é de competência dos Municípios oferecer, no que couber, adequado ordenamento territorial, por meio de planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano (BRASIL, 1988).

Alguns países dispõem de manuais que estabelecem métodos e tolerâncias para execução de um levantamento cadastral. Nos Estados Unidos existe um manual de Padrões e Diretrizes para pesquisas cadastrais utilizando do sistema de posicionamento global que estabelece o valor de 10 cm na determinação das coordenadas dos imóveis (USDA; USDI, 2001). No Brasil, o Decreto 9.310 de 15 de março de 2018 estabelece que o erro posicional esférico do vértice definidor de limite deverá ser igual ou menor a oito centímetros de raio.

Durante a década de 1970, devido à grande demanda de criação de projetos voltados para o cadastro urbano, o Ministério da Fazenda elaborou o Convênio para Incentivo ao Aperfeiçoamento Técnico-Administrativo de Municipalidades (CIATA) com finalidade de sistematização das arrecadações. A CIATA denominava a unidade de registro cadastral como sendo a parcela, composta pelo BL e o BCI, também denominado Boletim de Informações Cadastrais (BIC). Diversas instituições públicas mantiveram essa organização de dados, mesmo após terem implantado o SIG, transferindo apenas a base analógica para digital (ERBA, 2008).

O crescimento alarmante da população urbana levou em 2001 à elaboração do Estatuto da Cidade (Lei 10.257/2001) que estabelece normas que regulam as funções sociais da cidade, o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar e o equilíbrio ambiental (BRASIL, 2001). Entretanto, o cadastro de territórios urbanos só se tornou uma preocupação efetiva da administração pública nacional em 2003 com a criação do Ministério das Cidades.

A partir da articulação deste ministério, órgãos governamentais passaram a ter maior responsabilidade para com o planejamento e gestão de seus territórios municipais e passaram a buscar a concomitância entre desenvolvimento urbano socioeconômico e preservação ambiental (LOCH; ERBA, 2007). Ainda, o único documento que aponta diretrizes para a criação, implantação e manutenção do cadastro nos municípios brasileiros é a Portaria N°

511, disponível em 2009 no Diário Oficial da União, pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2009). Essas diretrizes foram especificadas atendendo a Lei 5.172/66, Código Tributário Nacional, a Lei 6.015/73, Lei de Registros Públicos e a Lei 6.766/79, Lei de Parcelamento do Solo Urbano.

A Lei 5.172/66, na seção II traz que o imposto é de competência dos Municípios, sobre a propriedade predial e territorial urbana e tem como fato gerador a propriedade (BRASIL, 1966). A base do cálculo desse imposto é o valor venal do imóvel, que em geral é calculado através da área do terreno ou da edificação, das características construtivas, da posição do imóvel no logradouro, entre outras variáveis que variam entre cidades.

De acordo com a Lei 6.015/73 que dispõe sobre os registros públicos, cada imóvel urbano terá matrícula própria e será identificado mediante indicação de logradouro e número (BRASIL, 1973).

A Lei 6.766/79 define regras para o parcelamento do solo urbano feito mediante loteamento ou desmembramento. Segundo Brasil (1979), o projeto de loteamento deve ser solicitado à Prefeitura Municipal através de requerimento e planta do imóvel contendo as divisas da gleba, as curvas de nível, a localização dos cursos d'água, bosques, construções existentes e vias, a indicação dos arruamentos contíguos a todo o perímetro. Para a aprovação de projeto de desmembramento também é necessário requerimento, acompanhado de certidão atualizada da matrícula da gleba, expedida pelo Cartório de RI e de planta do imóvel a ser desmembrado.

Em 10 de maio de 2016, o Decreto N°8.764 instituiu o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais (SINTER) ferramenta de gestão pública que integrará, em um banco de dados espaciais, o fluxo dinâmico de dados jurídicos produzidos pelos serviços de registros públicos ao fluxo de dados fiscais, cadastrais e geoespaciais de imóveis urbanos e rurais produzidos pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal e pelos Municípios. Para que se

concretize o que pretende com o SINTER é necessário que uma infraestrutura de rede cadastral municipal seja instalada em todos os municípios.

As escalas usuais na representação cadastral são 1:1.000, 1:2.000, 1:5.000, 1:10.000. A NBR 14.166/98 traz que as escalas de 10.000 à 5.000 são recomendadas para planta geral do município (Plano Diretor Municipal), planta de referência cadastral (base do cadastro municipal) e planta de valores (gestão fiscal do imposto predial), as escalas de 1:2.000 à 1:1.000 para planta cadastral municipal (gestão de todas as áreas do cadastro territorial), as escalas de 1.000 à 1:500 para planta de quadra (gestão detalhada de quadra) e escalas 1.000 à 1:250 para planta topográfica do imóvel (descrição da parcela).

Apesar dessas leis estabelecerem requisitos urbanísticos mínimos, ainda não existe obrigatoriedade para execução de georreferenciamento dos limites de imóveis urbanos como acontece paulatinamente com os imóveis rurais.

Assim, cada profissional utiliza para execução de serviços urbanos das normas citadas na Portaria N° 511/2009 e existentes para o levantamento topográfico como a ABNT 13.133/1994 (Execução de Levantamentos Topográficos), ABNT 14.166/1998 (Implantação de Rede de Referência Cadastral Municipal) e do Decreto 6.666/2008 (INDE) que é posto no artigo 14 dessa Portaria como padrão estabelecido para a cartografia cadastral. Também a ABNT 14.645/2001 (Elaboração do "como construído" (as built) para edificações. Parte 1: Levantamento Planimétrico e Cadastral de Imóvel Urbanizado com área até 25000m², para fins de estudos, projetos e edificações) e as recomendações do IBGE/2008 (Recomendações para Levantamento Relativo Estático – GPS) (IBGE, 2008) são úteis para a execução do levantamento cadastral urbano.

2.2.2 O Sistema Geodésico Brasileiro

Em concordância com a Portaria N° 511/2009 o levantamento cadastral deve ser referenciado ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Esse sistema, assim como o sistema cartográfico brasileiro, deve estar referenciado ao Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) de acordo com a Resolução da Presidência do IBGE n° 1/2015. A determinação dos limites dos imóveis em um único sistema garante o posicionamento do imóvel de forma única e também possibilita um CTM com a integração de levantamentos realizados por diversos setores.

O SGB é formado pelas redes altimétrica, planimétrica e gravimétrica que através de estações instaladas pelo IBGE em todo o território brasileiro têm-se pontos de referência com valores homologados de alta precisão para altitude, latitude e longitude, e gravidade.

Essas redes são pontos materializados no terreno por meio de marcos geodésico implantado e homologado de acordo com exigências de procedimentos de levantamento e cálculo definidos pelo IBGE. Tem-se a Rede Clássica, não permitida para georreferenciamento de imóveis rurais, com coordenadas determinadas por métodos astronômicos, e as redes utilizadas para o georreferenciamento sendo a Rede Nacional GPS determinada por métodos de posicionamento por GPS, as Redes Estaduais de Alta Precisão e a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), a mais recomendada devido à precisão das determinações, é constituída por pontos nos quais são instalados equipamentos GPS com rastreamento contínuo (CARNEIRO, 2010).

Apesar do grande número de pontos materializados no país ainda existem locais não atendidos pela rede, dessa forma recomenda-se que o planejamento da implantação do cadastro contemple a implantação de uma rede municipal referenciada ao SGB denominada Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM).

A norma NBR 14.166 de 1998, estabelece exigências para a implantação e manutenção da RRCM para apoiar a elaboração e a atualização de plantas cadastrais municipais, amarrar, de um modo geral, todos os serviços de topografia, visando as incorporações às plantas cadastrais do município, referenciar todos os serviços topográficos de demarcação, de anteprojetos, de projetos, de implantação e acompanhamento de obras de engenharia em geral, de urbanização, de levantamentos de obras como construídas e de cadastros imobiliários para registros públicos e multifinalitários. Inclusive essa norma traz um modelo de decreto aprovando a RRCM para oficializa-la no município (ABNT, 1998).

A Rede de Referência para o município objetiva infraestrutura que proporciona suporte geodésico para a produção de dados espaciais, como o mapeamento completo periódico e atualizado de um território, inventário atualizado de imóveis (cadastro), monitoração de estruturas, proporciona a capacidade de produzir e manter atualizada, com menor custo, uma base cartográfica para planejamento e gestão do município, referenciar a um mesmo sistema geodésico todos os dados espaciais do município, com variados graus de acurácia, proporcionar fluência de informações espaciais entre diferentes produtores e consumidores, proporciona um suporte geométrico tridimensional único aos estudos, aos projetos, manutenções de empreendimentos, ao cadastro imobiliário, loteamento, remembramento, desmembramento e regulação fundiária. Os objetivos da rede inclui a Lei 6.015/73 (individualização do imóvel; segurança a propriedade) e recentemente o SINTER (Sistema Nacional de Informações Territoriais) regulamentado pelo Decreto 8.764/2016.

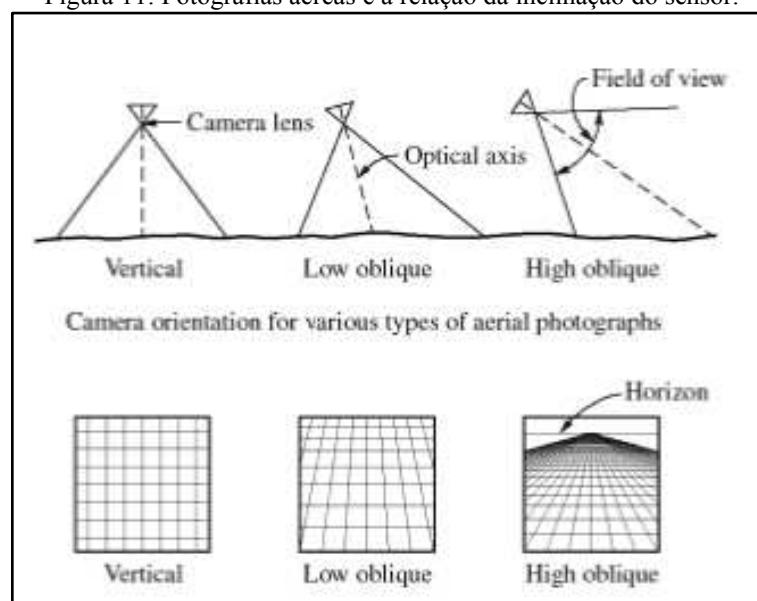
2.3 FOTOGRAMETRIA

Fotogrametria é o processo de obtenção de imagens aéreas para extração de medidas. Dependendo da plataforma em que são adquiridas as fotografias, denomina-se a fotogrametria

em terrestre ou aérea. Na fotogrametria aérea, as fotos são classificadas de acordo com a inclinação do eixo ótico em relação ao terreno, como mostra a Figura 11.

Uma fotografia é considerada vertical quando o eixo focal estiver orientado perpendicularmente ao horizonte com um ângulo de inclinação de no máximo 3° (perpendicular) à superfície da terra. Uma fotografia oblíqua é aquela onde o eixo ótico da câmara se encontra inclinado em relação ao horizonte. Se a inclinação do eixo permitir mostrar o horizonte, então é chamada de alta oblíqua, se o horizonte não for visível, então são denominadas baixas oblíquas (WOLF; DEWITT; WILKINSON, 2014). No entanto, para tomar medidas das fotografias de forma precisa, é necessário que essa seja registrada conservando o eixo ótico da câmara o mais vertical possível.

Figura 11: Fotografias aéreas e a relação da inclinação do sensor.



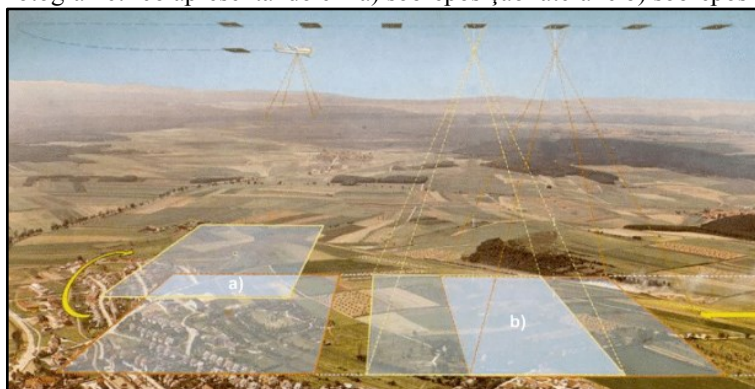
Fonte: Wolf, Dewitt e Wilkinson (2014).

Inicialmente, para a obtenção de uma fotografia aérea, é importante o desenvolvimento criterioso de plano de voo e planejamento do levantamento de campo para adequar a aeronave a ser utilizada com o objetivo pretendido e as características da área de estudo. O plano de voo consiste em determinar o número de linhas de voo, a direção do plano,

a sobreposição lateral e longitudinal das fotos, a altura do voo, o nível de detalhamento no terreno, verificar a capacidade da carga da bateria e todas as condições necessárias para a realização do voo, tais como fatores meteorológicos e autorização de voo pelas autoridades competentes.

A sobreposição é medida em porcentagem da dimensão da fotografia na direção de voo (sobreposição longitudinal) e na direção perpendicular ao voo (sobreposição lateral), como mostra a Figura 12. De acordo com Redweik (2007), o objetivo da sobreposição longitudinal é permitir a visualização tridimensional e a restituição estereoscópica, enquanto a sobreposição lateral tem principalmente a função de ser uma margem de segurança para evitar lacunas entre fiadas. Geralmente, a sobreposição longitudinal é de 60% e a sobreposição lateral de 20 a 30%. E para medições de alta precisão, 60% de sobreposição longitudinal e 60% lateral. Já o recobrimento das imagens obtidas por RPA é maior do que na fotogrametria convencional.

Figura 12: Voo fotogramétrico apresentando em a) sobreposição lateral e b) sobreposição longitudinal.



Fonte: Adaptado Redweik (2007).

A escala da fotografia aérea é decorrente da relação entre distância focal da câmara e altura do voo (TEMBA, 2000), como mostra a Equação 1.

$$\frac{1}{E} = \frac{f}{h} \quad (1)$$

Sendo: E é o denominador da escala;

h é altura de voo;

f é distância focal.

As imagens de câmaras aéreas digitais têm definição suficiente para poderem ser utilizadas em escalas muito menores de foto para produzir uma mesma escala de carta (REDWEIK, 2007). Ou seja, para a escala cartográfica 1:1.000, indicada para mapeamento cadastral, é necessário obter fotografias na escala 1:4.000, para altura do voo (h) igual a 80m, câmera com distância focal (f) de 20mm, sendo que é usual ampliações das fotografias no máximo em quatro vezes.

O nível de detalhamento no terreno é determinado através do tamanho do pixel (*Ground Sample Distance* - GSD) que ocorrerá em função da escolha do produto a ser avaliado, ou seja, em função da qualidade esperada para o ortomosaico, visto que o GSD é o tamanho da área de uma feição que é registrada por um pixel.

Segundo Gonçalves (2006), esse parâmetro para a fotogrametria digital representa a escala da foto, calculada como a razão entre a distância focal e a altura de voo, como apresentado na Equação 2.

$$GSD = \frac{h}{f} \cdot p \quad (2)$$

Sendo: GSD é o tamanho do pixel no terreno;

h é altura de vôo;

p são as dimensões físicas do pixel no sensor CCD;

f é distância focal.

Portanto, observa-se nas Equações 1 e 2 que, a precisão do modelo está diretamente relacionada com as especificações de voo, quando maior a altura de voo, menor será a escala, maior será o GSD, logo o modelo terá menor precisão.

Para que seja possível efetuar medições através das fotografias obtidas é necessária a criação de modelos fotogramétricos, por meio dos processos de orientação interior, orientação exterior, aerotriangulação e ortorretificação nas fotografias.

O processo de orientação interior consiste na recuperação da posição da fotografia em relação à câmara, restaurando o feixe perspectivo que gerou as fotografias (ANDRADE, 1998). Na fotogrametria digital esse processo é realizado matematicamente através dos parâmetros de transformação entre os sistemas digital e fiducial e da correção dos erros sistemáticos presentes no processo de formação das imagens para reconstrução completa dos feixes de raio (GALLIS, 2006). Nessa etapa são encontrados os parâmetros que definem as características da câmara, como distância focal, coordenadas do ponto principal e coeficientes de correção das distorções da câmara.

No processo de orientação exterior são calculados os parâmetros necessários a determinar a posição e orientação da câmara em relação a um referencial terrestre, do ponto de onde foi tomada a foto. Segundo Jensen (2009) a orientação exterior resulta na relação matemática das coordenadas da imagem com as coordenadas dos pontos de controle coletados e identificados no terreno. Sendo assim, as fotografias são orientadas exteriormente quando são definidos os 6 parâmetros, dos quais correspondem à posição do sensor (x , y , z), ou seja, coordenadas tridimensionais do ponto de tomada do foto (centro perspectivo) e aos ângulos de rotação de Euler, ω (ômega), ϕ (phi) e κ (Kappa) que a aeronave pode sofrer na tomada da foto (COELHO; BRITO, 2007).

Ao realizar a orientação interior e exterior é possível estabelecer via modelo matemático, geralmente equação de colinearidade, uma rigorosa relação entre os espaços

imagem e objeto, no processo de aerotriangulação. Andrade (1998) traz que o objetivo principal dessa técnica é o fornecimento de coordenadas precisas para os pontos necessários para a orientação absoluta de modelos fotogramétricos, para a elaboração do ortomosaico. Segundo Lugnani (1987), as coordenadas do terreno são obtidas a partir das coordenadas medidas nas fotografias.

Por fim, o processo de ortorretificação elimina as distorções relativas à rotação da câmara, além de remover as distorções devido ao relevo da área fotografada, realizando-se a transformação da perspectiva cônica para ortogonal. A ortorretificação é baseada em uma fundamentação matemática e geométrica, que reflete a realidade física da geometria de visada do sensor. Essa fundamentação leva em consideração as distorções que ocorrem na formação da imagem, isto é, distorções relativas à plataforma, ao sensor, à Terra e à projeção cartográfica (OKIDA, LUIZ, OLIVEIRA, 2003). E com isso, permite a utilização direta de fotografias na geração de mapas topográficos.

2.4 ACURÁCIA POSICIONAL

Diversas normas e padrões foram desenvolvidos ao longo do tempo com o objetivo de estabelecer métodos de análise para avaliar o produto cartográfico, verificando assim a sua acurácia posicional. No Brasil, essa avaliação é regulamentada pelo Decreto-lei nº 89.817, de 20 de junho de 1984 (BRASIL, 1984) e complementada pelas especificações técnicas elaboradas pela Divisão do Serviço Geográfico (DSG) em conformidade com a INDE.

Com o aumento do uso dos produtos cartográficos digitais, em 2011, foi elaborada pela DSG a especificação técnica que regula e padroniza a aquisição da geometria dos dados geoespaciais vetoriais e atributos correlacionados, intitulada ET-ADGV (BRASIL, 2011). Em 2016 com o objetivo de fornecer uma forma padronizada para avaliar a qualidade dos

produtos de conjuntos de dados geoespaciais integrantes do Sistema Cartográfico Nacional (SCN) do Brasil e com base na norma ISO 19157:2013 surgiu a ET-CQDG (Especificação Técnica Para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais) (BRASIL, 2016b).

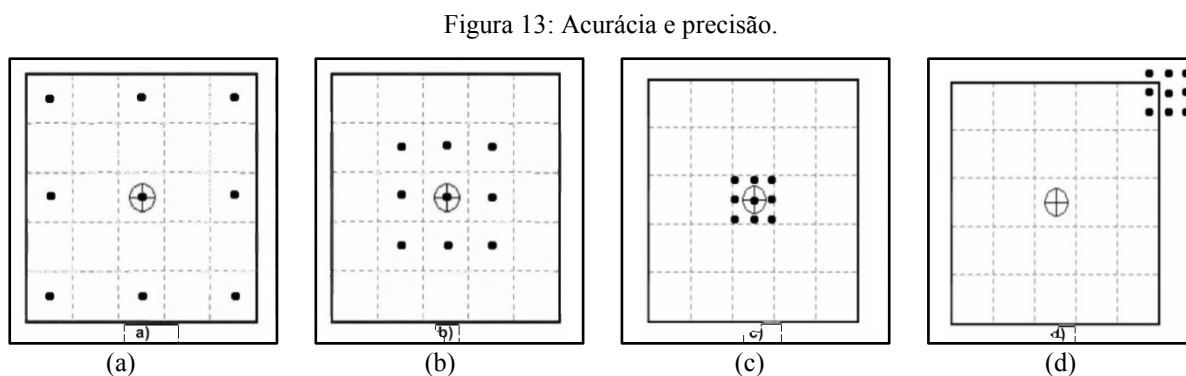
O Decreto-lei nº 89.817 estabelece no artigo 8º critérios para classificação de cartas utilizando como parâmetros um indicador estatístico da qualidade posicional, denominado de Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), também considera os termos Desvio Padrão (DP), Erro Padrão (EP) e Erro Quadrático Médio (EQM) como sinônimos, bem como os termos acurácia e exatidão (BRASIL, 1984). Sendo assim, os termos Acurácia Posicional Absoluta (APA) e Exatidão Cartográfica (EC) referenciam a avaliação da acurácia ou exatidão de um produto cartográfico, sendo o DP (ou EP ou EQM) uma de suas componentes.

No estudo da acurácia posicional em dados espaciais é de fundamental importância conhecer os principais erros causados na manipulação de dados. Segundo Gemael (1994), qualquer medida está sujeita aos mais variados tipos de erros, sejam eles aleatórios, sistemáticos ou grosseiros. Os erros grosseiros são devidos a falha humana, mau funcionamento do instrumento ou algum método errado de medição (FAN, 2010). Os erros sistemáticos são erros geralmente causados por fontes conhecidas e que podem, em geral, ser eliminados ou compensados. Este tipo de erro pode ser causado pelo instrumento de medida, no método de observação, pelo uso de modelos teóricos inadequados e por causas ambientais (DALMOLIN, 2004). Já os erros aleatórios ou acidentais são de causas diferentes e incoerentes, bem como causas temporais que variam durante observações sucessivas, sendo imprevisível sua ocorrência (GHILANI; WOLF, 2006).

Geralmente, o erro grosseiro pode ser eliminado quando detectado, assim a acurácia incorpora tanto erros sistemáticos, tendência, quanto erros aleatórios, precisão. Assim, de acordo com Gemael (1994), a precisão está vinculada apenas aos efeitos aleatórios ao passo que a acurácia vincula-se com os efeitos sistemáticos e aleatórios (tendência e dispersão).

De forma geral, a acurácia é a dispersão no entorno do valor real, enquanto a precisão expressa a dispersão no entorno da média (MIKHAIL; ACKERMAN, 1976). Os autores afirmam que a precisão pode ser definida como o grau de conformidade entre as séries de observações da mesma variável aleatória, e que a dispersão da distribuição entre as observações é um indicador de precisão.

A Figura 13 exemplifica visualmente esses conceitos. Em a), b) e c) as médias dos pontos coincidem exatamente com o centro do alvo, o que significa uma tendência nula entre eles, já em d) os pontos aparecem tendenciosos, ou seja, com presença de erros sistemáticos. Como os pontos em b) aparecem menos dispersos se comparados com a), caracteriza-se uma melhor precisão em b). Já em c) e d) ocorre o mesmo nível de precisão, visto que os pontos aparecem com a mesma dispersão, porém pode-se observar que o c) é mais acurado que o d), dado que o d) foi deteriorado por efeitos sistemáticos e aleatórios. Logo, de todos os exemplos o mais acurado é o c) e o menos acurado é o D, enquanto os mais precisos são o c) e o d) e o menos preciso é o a) (MONICO et al., 2009).



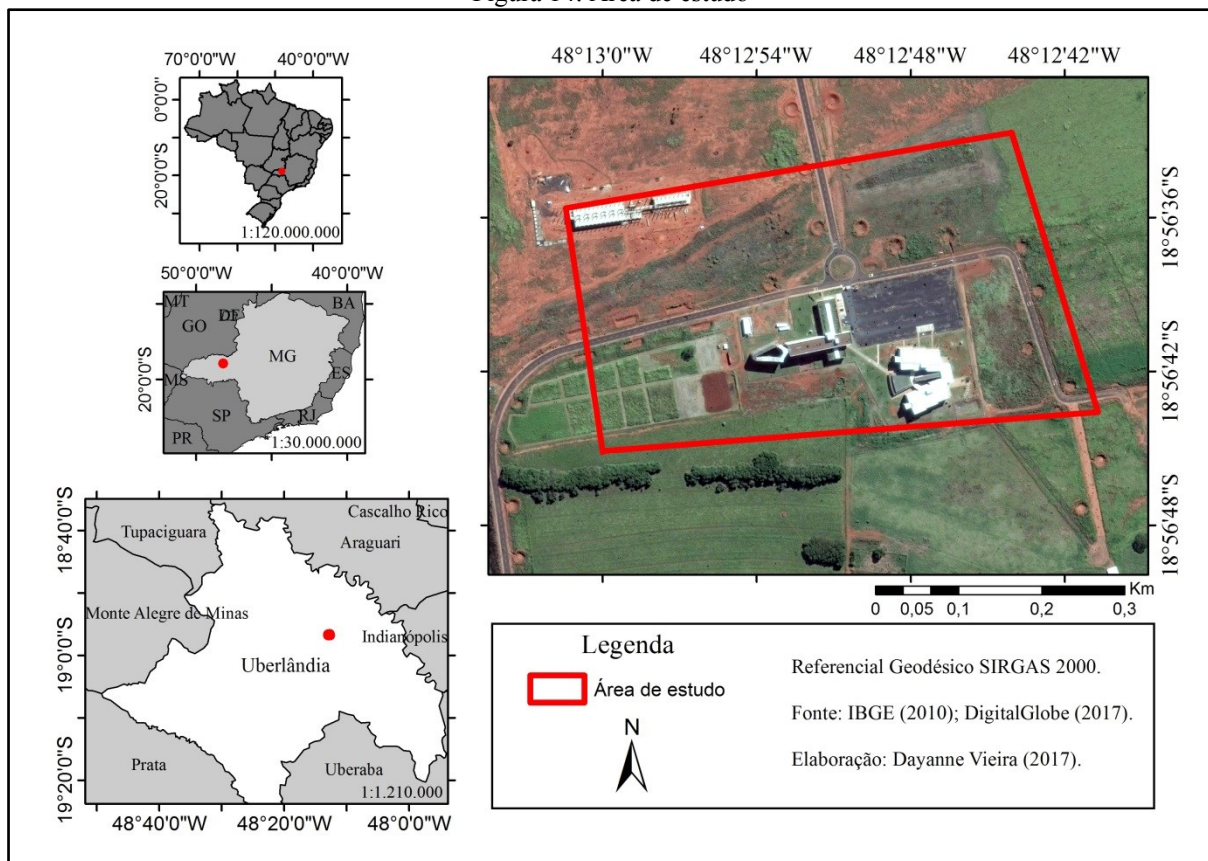
Fonte: Monico et al. (2009).

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, com 0,23 km², está localizada no campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia, a sudeste do município de Uberlândia/MG (Figura 14), delimitada pelo retângulo envolvente entre as coordenadas geográficas de 18° 56' 45" a 18° 56' 32" de latitude Sul e de 48° 12' 59" a 48° 13' 4,18" de longitude a Oeste do meridiano de Greenwich. Essa área foi selecionada como área teste para a execução desse projeto por possuir uma variedade de alvos, envolver construções prediais e vias, além de se adequar para a discussão da legislação brasileira de RPA.

Figura 14: Área de estudo



Fonte: A autora.

3.2 MATERIAIS

Os materiais utilizados para execução desse projeto foram:

a) Uma RPA modelo multirrotor DJI PHANTOM 3 ADVANCED (Classe 3), mostrada na Figura 15, é do tipo quadricóptero que pesa 1280g, atinge velocidade máxima de 5m/s de ascensão e de descensão de 3m/s, com altitude de voo máxima não excedente a 500 m (1640 pés) e com tempo de voo máximo de aproximadamente 23 minutos. O sensor óptico embarcado corresponde ao Sony EXMOR $\frac{1}{2}$, 3” que captura fotos em 12 megapixels, lente FOV 94°, distância focal de 20 mm (equivalente ao formato 35 mm) f/2.8 (DJI, 2015).

Figura 15: PHANTOM 3 ADVANCED



Fonte: A autora.

A Tabela 1 indica a relação entre a altura de voo, o GSD, a largura da imagem obtida e o tamanho da área que foi recoberta com o PHANTOM 3 ADVANCED, considerando o uso de apenas uma bateria, o que equivaleu a um tempo de 16 minutos de voo.

O recobrimento longitudinal de uma fotografia aérea geralmente é planejado para prover aproximadamente 60% de superposição entre fotografias e o recobrimento lateral de 40%. No entanto, nesse trabalho devido a instabilidade da RPA multirrotor percebida em alguns testes estabeleceu-se cobertura lateral e longitudinal de 80% para garantir o recobrimento total da região.

Tabela 1: Relação entre altura do voo, GSD e área de cobertura.

Altura de voo (m)	GSD (m)	Largura da imagem (m)	Área no Terreno (m ²)
30	0,013	52	2028
40	0,017	68	3468
50	0,021	84	5292
60	0,026	104	8112
70	0,030	120	10800
80	0,035	140	14700
90	0,039	156	18252
100	0,043	172	22188

Fonte: A autora.

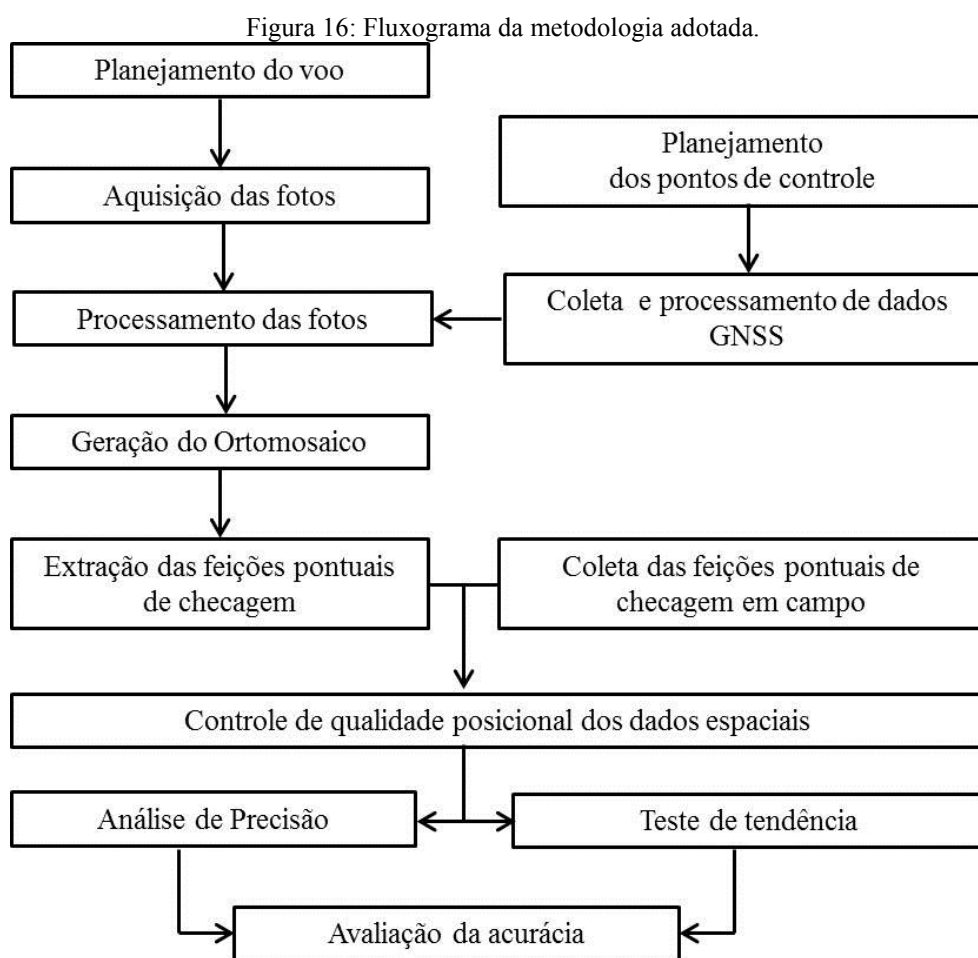
b) Um receptor GNSS ProMark 100 capaz de rastrear os sinais GPS, GLONASS e SBAS na frequência C/A, L1 com precisão de 0,5 cm + 1ppm pós-processado; um receptor ProMark 200 que rastreia os sinais C/A, L1/L2 dos sistema GPS, GLONASS e SBAS com precisão horizontal estática de 0,5 cm + 0,5ppm; um Nível Digital DL-202 Ruide com precisão 1,5mm no duplo nivelamento por Km, duas miras com código de barras e sapatas. Todos esses equipamentos foram disponibilizados pelo Laboratório de Cartografia e Sensoriamento Remoto do Instituto de Geografia/UFU, Laboratório de Topografia em Monte Carmelo e Laboratório de Topografia em Uberlândia da Faculdade de Engenharia Civil/UFU.

c) Pré-sinalizadores dos pontos de controle (PC).

d) *Software GNSS Solution* disponível pelo Laboratório de Topografia em Uberlândia da Faculdade de Engenharia Civil/UFU para descarregamento e pós-processamento dos dados coletados pelos receptores GNSS ProMark 100 e ProMark 200; *Software QGis 2.16.3* como suporte para o planejamento dos pontos de apoio, na produção da vetorização por meio das imagens ortorretificadas, no tratamento e análise dos dados e na produção de layout de figuras e mapas; Aplicativo gratuito *Pix4D Capture* para o planejamento, execução e acompanhamento do voo; *Software Pix4Dmapper Pro - Trial* versão teste para o processamento das imagens e geração do ortomosaico, modelo digital de superfície (MDS) e modelo digital do terreno (MDT).

3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A Figura 16 indica o fluxograma com todas as etapas e procedimentos metodológicos que foram seguidas na pesquisa para atingir os objetivos propostos.



Fonte: A autora.

3.3.1 Planejamento de Voo

Nesta etapa foi realizado o reconhecimento da área de estudo e buscou-se analisar qual o melhor local para lançamento e pouso da aeronave, lembrando que a RPA utilizada não possui um raio de operação, no entanto o DECEA exige operar em condições VMC, realizar operação VLOS, afastado no máximo 500m horizontalmente do piloto.

Além disso, no aplicativo *Pix4D Capture* foram definidos a área a ser coberta no voo, os parâmetros de sobreposição longitudinal e lateral, definindo o número de faixas e a largura de cada faixa, a altura do voo, o tamanho do GSD, o sentido do trajeto que a aeronave iria percorrer tendo por base o sentido do vento, de preferência sendo perpendicular a este e verificando a quantidade de energia fornecida pela bateria seria suficiente, deixando sempre uma margem de tempo em relação ao especificado no manual (23 minutos).

No plano de voo através da RPA foi delimitada uma área de 8,2239 ha que cobre toda a área pretendida e ainda gera uma margem de segurança, visando evitar distorção nas bordas das imagens. O plano de aquisição de imagem usado foi de grade dupla, para que todas as fachadas dos edifícios sejam visíveis nas imagens. Para garantir o recobrimento entre as fotos, e com isso permitir a geração de modelos estereoscópicos, que possibilita a visualização tridimensional da área registrada, foi utilizada sobreposição longitudinal de 80% e sobreposição lateral de 80%.

Definida a área de cobertura e a porcentagem de sobreposição das imagens a serem obtidas é importante analisar a altura do voo. Lembrando que a definição dessa altura influencia na distância percorrida pelo RPA, na distância entre as imagens, na resolução espacial, na quantidade de fotos, na quantidade de linhas de voo, na área recoberta por cada fotografia, na distância entre as linhas, no tempo de voo e no intervalo de tempo entre cada registro fotográfico, é fundamental analisar algumas variáveis definidas a partir da escolha da altura do voo antes de concluir qualquer levantamento por RPA. Dessa forma, antes de decidir a altura do voo, neste projeto foram realizadas simulações no *software Pix4D* com algumas alternativas de altura de voo, considerando a área estudada, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Comparação de altura de voo, GSD e tempo de voo no PHANTOM 3 ADVANCED.

Altura de voo (m)	GSD (cm)	Número de Fotos	Tempo de Voo (minutos)	Quantidade de linhas de voo
60	2,62	345	20,5	23
80	3,50	273	14	19
100	4,37	216	10,5	15

Fonte: A autora.

Diante dessa análise comparativa foi então determinada a altura do voo igual a 80 m. Esse valor foi definido considerando o tempo de voo, visto que o máximo previsto pela DJI (2015) é de 23 minutos para a RPA utilizada e também o valor do GSD entre 3 e 4 cm visto que alguns profissionais revelam que quando o GSD é menor que 3 cm ocorre maior probabilidade de ocorrer perda de nitidez na imagem.

A escala da foto está ligada diretamente a distância focal e a altura de voo, assim o denominador da escala é o quociente entre a altura de voo e a distância focal, sendo a distância focal dada em milímetros e a altura de voo em metros. Considerando a câmera Sony EXMOR 1/2, 3 pol., utilizada no PHANTOM 3 ADVANCED, cuja distância focal tem valor de 20 mm, e a altura de voo de 80 metros, a escala da foto constante do plano de voo é de 1:4.000.

A Figura 17 mostra o plano de voo definido no aplicativo *Pix4D Capture* para a área de estudo.

Figura 17: Plano de voo elaborado no aplicativo *Pix4D Capture* com altura de 80 metros e tempo de voo de 14 minutos.



Fonte: A autora.

O momento ideal para realização do levantamento ficou na dependência das condições climáticas, uma vez que o PHANTOM 3 ADVANCED não pode realizar voo diante de chuva e de velocidade do vento maior que 10m/s.

Para o voo foi importante verificar o controle remoto, a bateria e o dispositivo móvel totalmente carregados, as hélices instaladas corretamente e firmemente, o cartão Micro SD inserido, o gimbal funcionando normalmente, os motores com partida e funcionando normalmente, o aplicativo DJI GO conectado ao quadricóptero e também realizado a calibração da bússola. Assim, o dia 21 de dezembro de 2017 apresentou condições climáticas que permitisse a realização do voo, sendo o voo realizado por volta das 10 horas, no momento a velocidade do vento estava 7m/s.

3.3.1.1 Autorização de voo

Levando em consideração a classe da RPA e a altura do voo selecionada (80m) pela ANAC é obrigatório a certidão de cadastro da RPA obtida por meio do SISANT e ter sua identificação na aeronave, possuir certificado de marca experimental ou certificado de matrícula, possuir seguro de danos a terceiros, possuir manual de voo, operar apenas em áreas distantes de terceiros (no mínimo 30 metros horizontais) e fazer uma avaliação de risco operacional. Não sendo necessário para essa categoria possuir licença e habilitação emitidos ou validada pela ANAC.

Pela ANATEL é necessário solicitar a certificação e homologação da RPA através do site e obter o selo que será colocado na aeronave.

Além disso, deve-se possuir autorização por parte do DECEA solicitada por meio do sistema SARPAS. O prazo de análise da solicitação de operações de RPA Classe 3 entre 30 a 120 m de altura é de dois dias úteis em área fora do raio de 5 Km dos aeródromos. Também o

DECEA exige operar em condições VMC (Condições Meteorológicas de Voo Visual), realizar operação VLOS (Linha de Visada Visual), afastado no máximo 500m horizontalmente do Piloto Remoto, estar sua projeção vertical no solo afastada no mínimo 30 m de edificações, estruturas, patrimônios, animais e concentração de pessoas não anuentes e não voar sobre áreas povoadas e aglomeração de pessoas (exceto aquelas anuentes e/ou envolvidas na operação do RPAS).

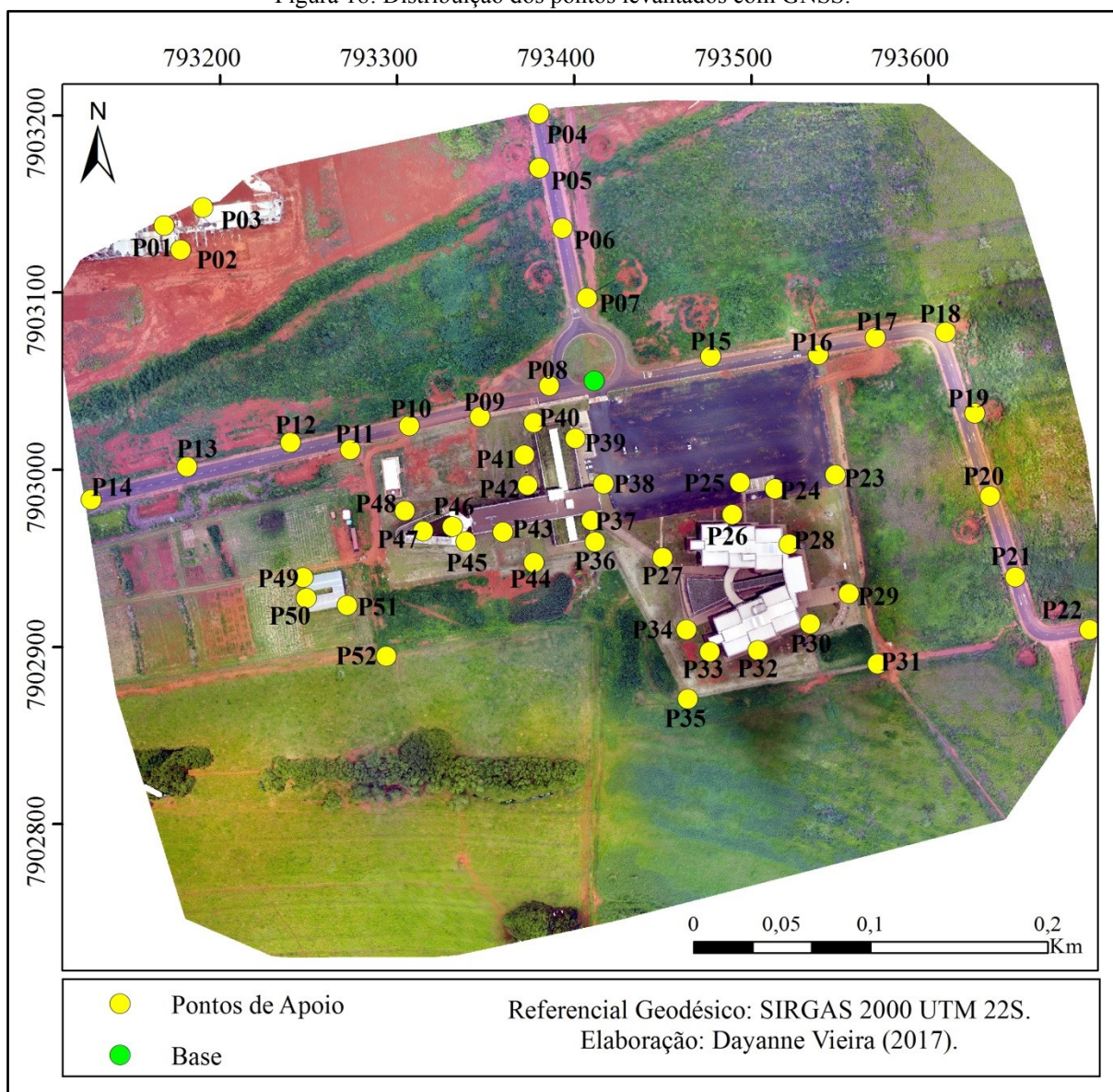
3.3.2 Determinação da Distribuição Espacial dos Pontos de Apoio

Os pontos de apoio, controle (PC) e verificação (PV), foram distribuídos por toda área de interesse de forma visual, sem o uso de técnicas de análises espaciais para verificar o padrão de distribuição desses pontos. Por isso, a análise da acurácia posicional para a área de estudo é realizada em três imagens distintas geradas no *software Pix4Dmapper Pro – Trial*, sendo uma sem PC, uma com 8 PC distribuídos e uma com 8PC agrupados para avaliar a qualidade posicional nas diferentes formas de distribuição espacial dos pontos.

Foram planejados 52 pontos de apoio, que foram sinalizados e coletados informações com os receptores GNSS para obtenção da latitude e longitude e com o nível digital para obtenção da altitude ao longo da área do estudo, como pode ser visto na Figura 18.

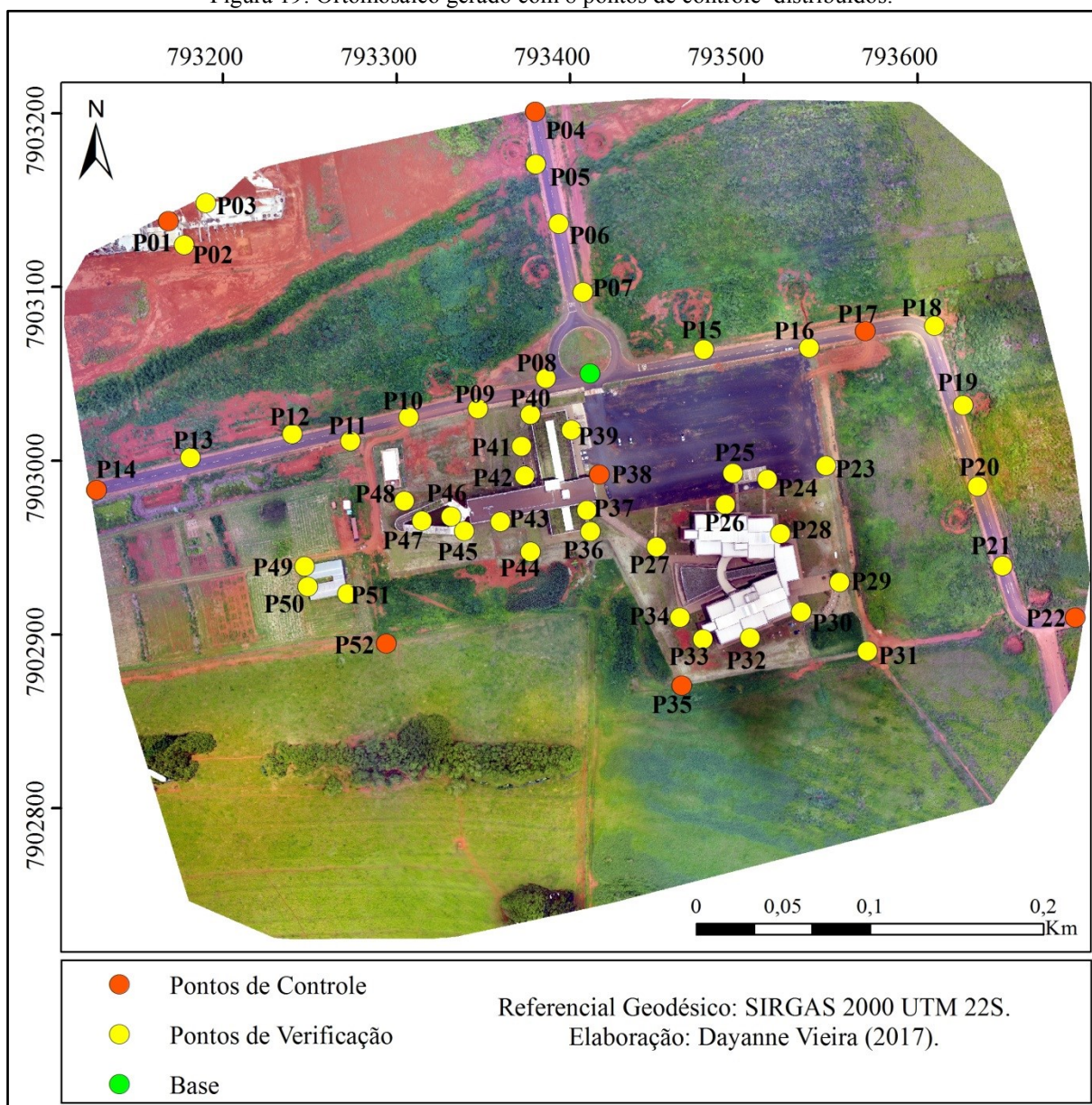
Para a imagem sem PC foram planejados os 52 pontos como sendo PV; para a imagem com PC distribuídos foram planejados 8 PC (Figura 19), sendo eles o P01, P04, P17, P22, P35, P52 e P14 e 44 PV; para a imagem com PC agrupados foram planejados 8PC (Figura 20), sendo eles o P36, P37, P38, P39, P41, P42, P43 e P44 e 44 PV.

Figura 18: Distribuição dos pontos levantados com GNSS.



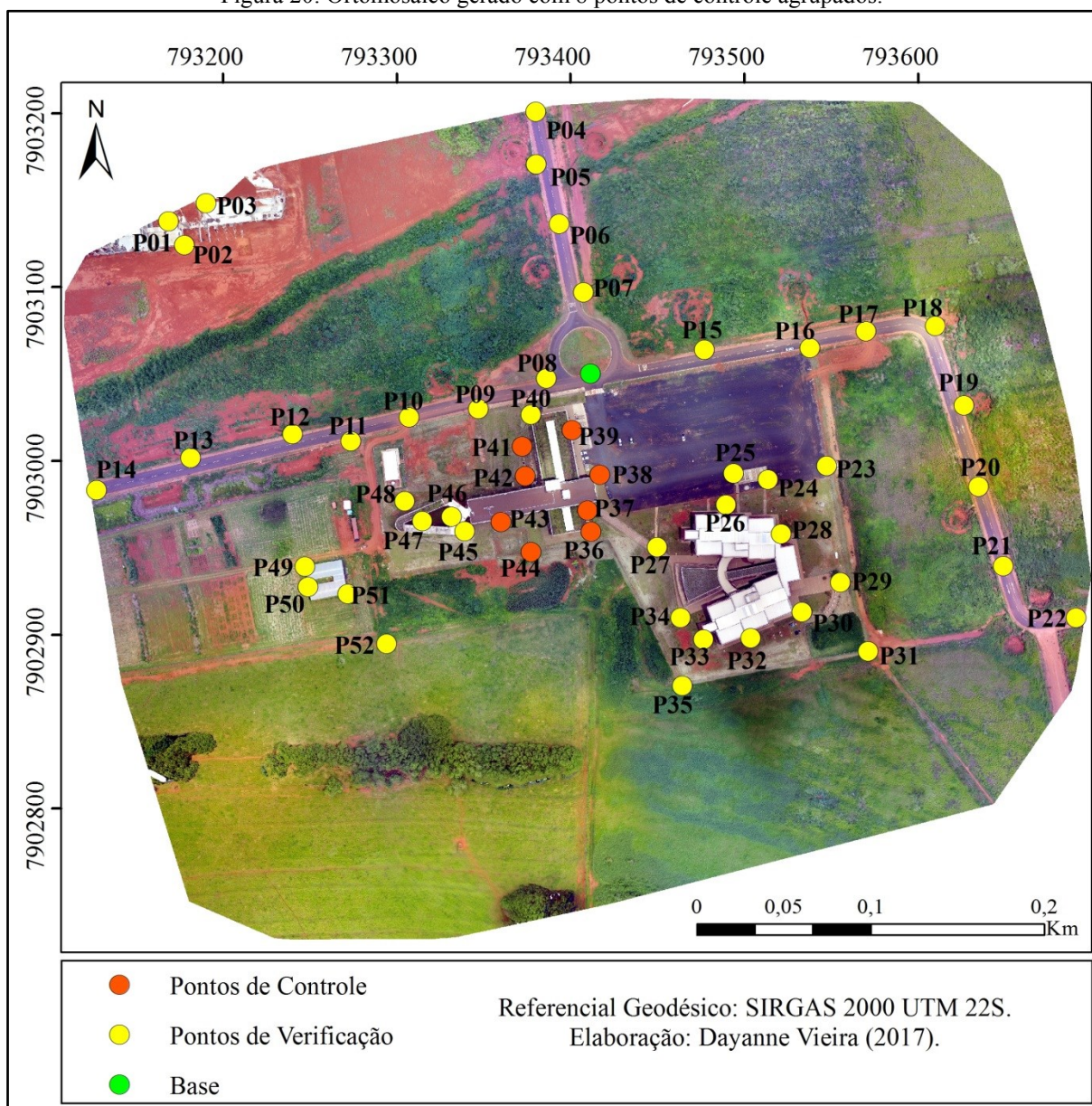
Fonte: A autora.

Figura 19: Ortomosaico gerado com 8 pontos de controle distribuídos.



Fonte: A autora.

Figura 20: Ortomosaico gerado com 8 pontos de controle agrupados.



Fonte: A autora.

3.3.3 Sinalização dos Alvos

Para sinalização dos alvos foram testados dois tipos de sinalizadores artificiais, um utilizando tinta branca como mostra a Figura 21 e outro usando papel cartão nas cores azul e branco como mostra a Figura 22. Entretanto, durante o processamento das imagens, foi observada certa dificuldade na visualização precisa do centro dos alvos sinalizados com tinta branca, que pode ser observada com detalhes na Figura 21. Acredita-se que a intensa

claridade do ambiente contribuiu para que os alvos sinalizados não ficassem com a nitidez esperada e pudesse localizar o centro com facilidade. Dessa forma, optou-se por usar apenas sinalizadores artificiais feitos de papel, que obtiveram bons resultados.

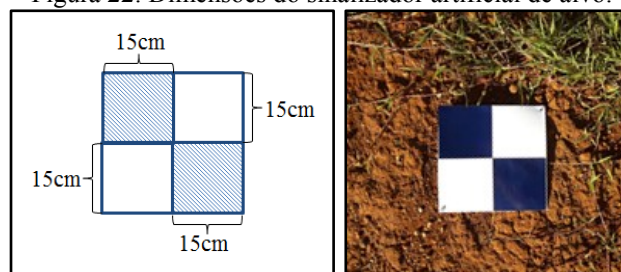
Figura 21: Sinalização artificial dos alvos



Fonte: A autora.

Os sinalizadores artificiais de papel foram construídos medindo 30x30cm cada, a definição dessa medida foi relacionada ao tamanho do GSD previsto no plano de voo. As cores foram posicionadas de forma que a quina de um se encontrasse com a quina do outro, determinando o centro do alvo, onde a coordenada foi determinada com o rastreamento do ponto através do receptor GNSS e processamento no *software* GNSS Solution. Um fator importante considerado foi a necessidade de usar cores contrastantes, tendo em vista que a maioria dos pontos foram locados na grama, terra e áreas cimentadas ou asfalto.

Figura 22: Dimensões do sinalizador artificial de alvo.

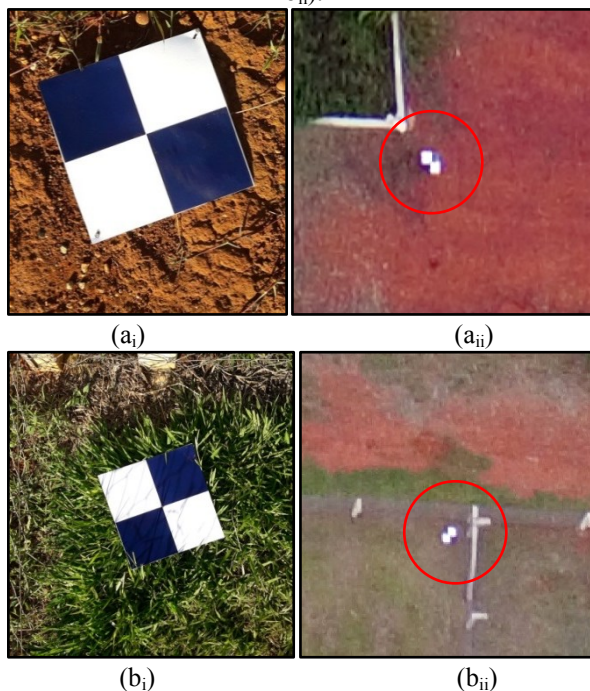


Fonte: A autora.

A Figura 23 apresenta em a_i e b_i o pré-sinalizador com destaque na interseção das cores formando o encontro das quinas, ou seja, o centro do sinalizador e indicando onde foram

rastreadas com receptor GNSS cada ponto de apoio, e em a_{ii} e b_{ii} a visualização deste alvo na fotografia obtida pela RPA na escala de 1:500. As cores usadas e o tamanho do sinalizador mostraram-se eficiente para atingir o objetivo do estudo.

Figura 23: Sinalização e visualização dos pontos de apoio na área de estudo (a_i , b_i) e na foto obtida pela RPA (a_{ii} , b_{ii}).



Fonte: A autora.

Como na área de estudo existem muitos detalhes em solo foi possível utilizar alvos naturais que também estavam visíveis na imagem como pontos de apoio. Nesse caso, usou-se o canto das faixas interrompidas das vias, o canto das caixas de passagem e as intersecções visíveis, como mostra na Figura 24.

Figura 24: Visualização dos alvos naturais na área de estudo.



Fonte: A autora.

3.3.4 Determinação Planimétrica dos Pontos de Apoio

Antes do processamento fotogramétrico, realizado com o *software* Pix4Dmapper Pro - Trial fez-se necessário a coleta e o processamento dos dados dos pontos de apoio, diante da necessidade das coordenadas dos pontos de apoio ter precisão superior à obtida nas fotografias aéreas. Assim, o levantamento em campo foi realizado em 20 de dezembro de 2017 com início às 09h00min e término às 12h30min.

O levantamento pós-processado no modo estático utilizou-se dos receptores GNSS ProMark 200 e 100, com antena e receptor montados em um tripé e usados como base e rover, coletaram dados brutos ao mesmo tempo, com taxa de coleta de 15 segundos e máscara de elevação de 10°. A base foi instalada em frente à portaria do Campus Glória e rastreou durante todo o período totalizando aproximadamente 3,5 horas e o rover rastreou cada ponto de apoio com duração mínima de 30 minutos cada. As posições com precisão centimétrica para os pontos levantados foram calculadas por um software específico de pós-processamento (GNSS Solutions) depois dos dados brutos serem coletados no terreno.

Primeiramente, processaram-se os dados da base não conhecida utilizando a RBMC disponível no site do IBGE gratuitamente. Para isso, foram usadas as bases da RBMC mais próximas e que estão no mesmo fuso, sendo MGUB e UBE1. Inicialmente, os dados brutos foram convertidos para o formato RINEX e pós-processados em relação as bases da RBMC no *software* *GNSS Solution*, no sistema de referência SIRGAS 2000/UTM zona 22S, resultando em solução fixa e na coordenada ajustada da base até então não conhecida. Posteriormente, todos os dados brutos dos pontos de apoio foram pós-processados em relação a base ajustada também no *GNSS Solution* obtendo soluções fixas e as coordenadas dos pontos de apoio. O resultado desse pós-processamento são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Coordenadas UTM no fuso 22S e referencial geodésico SIRGAS 2000 da base e dos pontos de apoio.

Nome	N (m)	Desvio Padrão (m)	E (m)	Desvio Padrão (m)	Altitude Geométrica (m)	Desvio Padrão (m)
Base	7903050,231	0,004	793411,473	0,004	926,545	0,006
P01	7903138,169	0,002	793168,958	0,002	926,414	0,003
P02	7903124,293	0,002	793177,542	0,002	924,686	0,002
P03	7903148,432	0,003	793190,441	0,002	926,980	0,002
P04	7903201,148	0,003	793379,977	0,002	925,803	0,007
P05	7903170,611	0,004	793380,399	0,002	925,748	0,005
P06	7903136,461	0,004	793393,405	0,002	926,150	0,006
P07	7903098,149	0,004	793407,022	0,003	926,251	0,005
P08	7903047,530	0,004	793386,040	0,003	926,288	0,006
P09	7903030,061	0,002	793347,001	0,002	926,394	0,003
P10	7903025,138	0,003	793307,085	0,002	925,893	0,007
P11	7903011,524	0,002	793273,756	0,002	925,847	0,003
P12	7903015,626	0,002	793240,079	0,002	925,683	0,002
P13	7903001,961	0,002	793181,403	0,002	925,342	0,002
P14	7902983,377	0,002	793127,480	0,002	922,803	0,003
P15	7903063,829	0,002	793477,146	0,002	926,063	0,002
P16	7903065,022	0,002	793537,769	0,002	925,897	0,002
P17	7903074,665	0,002	793570,064	0,002	926,107	0,002
P18	7903077,701	0,002	793609,800	0,002	926,600	0,002
P19	7903032,042	0,001	793626,232	0,001	926,638	0,003
P20	7902985,454	0,001	793635,034	0,001	926,921	0,002
P21	7902939,988	0,002	793649,335	0,002	926,085	0,002
P22	7902909,877	0,002	793690,935	0,002	926,068	0,002
P23	7902997,330	0,002	793547,587	0,002	926,156	0,002
P24	7902989,369	0,002	793513,566	0,002	925,853	0,002
P25	7902992,837	0,002	793493,768	0,002	925,950	0,002
P26	7902975,018	0,002	793489,521	0,002	926,233	0,002
P27	7902950,556	0,003	793450,046	0,002	925,757	0,002
P28	7902958,090	0,003	793521,339	0,002	926,370	0,004
P29	7902930,222	0,002	793555,081	0,002	925,973	0,003
P30	7902913,080	0,002	793533,271	0,002	925,886	0,006
P31	7902890,655	0,002	793571,380	0,002	925,151	0,002
P32	7902898,223	0,002	793503,867	0,002	926,002	0,002
P33	7902897,564	0,002	793476,625	0,002	925,789	0,008
P34	7902909,861	0,002	793463,493	0,002	925,690	0,006
P35	7902870,751	0,002	793464,334	0,002	924,280	0,002
P36	7902959,525	0,002	793411,886	0,002	925,953	0,003
P37	7902971,508	0,002	793409,902	0,002	926,412	0,002
P38	7902992,099	0,002	793416,828	0,002	926,233	0,003
P39	7903017,899	0,002	793400,927	0,002	926,443	0,001
P40	7903026,726	0,002	793377,351	0,002	926,423	0,002
P41	7903008,414	0,002	793372,057	0,002	926,202	0,002
P42	7902991,557	0,002	793373,854	0,002	926,178	0,005
P43	7902964,985	0,002	793359,880	0,002	926,537	0,002
P44	7902947,719	0,002	793377,274	0,002	925,693	0,003
P45	7902959,829	0,002	793339,129	0,002	925,875	0,002
P46	7902968,032	0,002	793331,516	0,002	926,026	0,003
P47	7902965,917	0,002	793314,917	0,002	925,739	0,006
P48	7902977,084	0,002	793304,572	0,002	925,855	0,007
P49	7902939,750	0,002	793247,440	0,002	925,055	0,008
P50	7902931,152	0,002	793248,895	0,002	924,753	0,002
P51	7902923,720	0,002	793271,610	0,002	924,781	0,002
P52	7902894,827	0,002	793294,131	0,002	924,297	0,002

Fonte: A autora.

3.3.5 Determinação Altimétrica dos Pontos de Apoio

O Nivelamento Geométrico é o método que determina a diferença de nível entre pontos do terreno através de visadas horizontais, em miras posicionadas na vertical sobre os pontos, determinadas com um nível (ABNT, 1994).

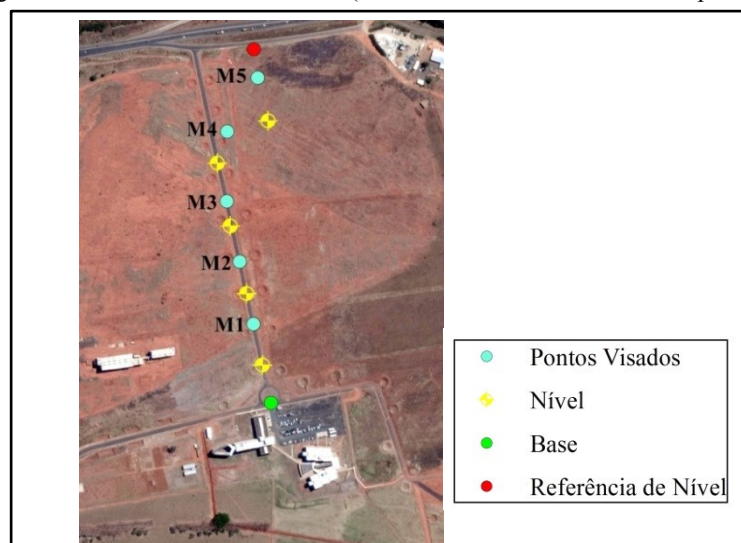
Esse nivelamento foi realizado nos dias 11 e 18/10/2018. Na obtenção dos dados de campo usou-se o Nível Digital Ruide DL-202, classificado pela NBR 13.133 como classe 3 (precisão alta), duas miras com código de barras e sapatas.

Na área de estudo foi encontrada apenas uma Referência de Nível (RN), que possui altitude correspondente a 935,379m e integra a rede implantada pela empresa R&V Engenharia LTDA, próxima à via marginal à BR 365 acesso à entrada do Campus Glória.

Primeiramente, realizou o transporte de altitude conhecida (RN) para o ponto denominado Base. O transporte partiu da Referência de Nível – RN e foi realizado em um trecho de aproximadamente 713 m, como mostra a Figura 25, de nivelamento e contranivelamento, perfazendo no total 6 linhas de nivelamento.

O ajustamento das linhas foi executado pela distribuição do erro de fechamento pelas várias diferenças de nível obtidas pela média aritmética dos valores observados pelo nivelamento e contranivelamento, proporcionalmente as diferenças de nível. O erro médio quilométrico que define a exatidão do nivelamento geométrico duplo, após o ajustamento, foi executado segundo a NBR 13.133/94.

Figura 25: Trecho do Nivelamento (Sentido de Referência de Nível para a Base).



Fonte: A autora.

Dessa forma, foram aplicados os seguintes parâmetros para o levantamento:

a) Classe IN - Nivelamento geométrico para implantação de referências de nível (RN) de apoio altimétrico; b) Comprimentos das visadas de ré e de vante aproximadamente iguais e de, no máximo, 80 m; c) Tolerância de fechamento (t) igual a $12 \text{ mm} \sqrt{K}$, sendo K a extensão nivelada em km, medida num único sentido. d) Uso de sapatas nas miras verticalizadas, não diretamente sobre o solo; e) Miras verticalizadas com uso de níveis de cantoneira, com o nível devidamente calado foram realizadas as leituras.

A Tabela 4 apresenta os dados coletados em campo calculados para o transporte da RN para o ponto Base. Feito o nivelamento e contranivelamento foram comparado os desníveis nos dois casos, onde a diferença encontrada foi aceitável, ou seja, abaixo da tolerância de fechamento.

Desnível do nivelamento (DHNIV) = 1,1966 m (sentido de RN para a Base);

Desnível do contranivelamento (DHCON) = -1,1952 m (sentido de Base para a RN);

Distância nivelada – nivelamento (DNIV) = 0,712860 Km;

Distância nivelada – contranivelamento (DCON) = 0,712946 Km;

Erro (e) = (|DHNIV|) – (|DHCON|) = (|1,1966|) – (|-1,1952|) = 0,0014 m;

Distância média nivelada (Dm) = (DNIV + DCON) / 2 = (0,712860 + 0,712946)/2 = 0,712903 Km;

Tolerância de fechamento (t) = $12 \text{ mm} \sqrt{0,712946} = 10,13233 \text{ mm}$; Realizado a verificação, e (1,4 mm) < t (10,13233 mm), então se obteve o erro dentro da tolerância.

Tabela 4: Transporte da RN para o ponto Base.

Ponto Nivelado	Dist. Ré	Ré	Altura do Aparelho	Vante	Dist. Vante	Cota	Correção	Cotas Compens.	
1	RN	26,294	1,3801	936,7591				935,379	
	M5				2,4835	25,352	934,2756	-0,000116667	934,275
2	M5	78,484	0,8615	935,1371			934,2756		
	M4				1,3427	74,416	933,7944	-0,000233333	933,794
3	M4	61,608	1,704	935,4984			933,7944		
	M3				0,9472	60,196	934,5512	-0,00035	934,551
4	M3	61,82	1,5997	936,1509			934,5512		
	M2				0,9476	60,476	935,2033	-0,000466667	935,203
5	M2	60,874	1,5317	936,735			935,2033		
	M1				0,8922	61,584	935,8428	-0,000583333	935,842
6	M1	70,456	1,8838	937,7266			935,8428		
	Base				1,151	71,3	936,5756	-0,0007	936,575
7	Base	70,952	1,1307	937,7063			936,5756		
	M1				1,8623	70,682	935,8440	-0,000816667	935,843
8	M1	60,508	0,887	936,731			935,8440		
	M2				1,5261	61,938	935,2049	-0,000933333	935,204
9	M2	60,938	0,8672	936,0721			935,2049		
	M3				1,5186	61,424	934,5535	-0,00105	934,552
10	M3	60,618	0,88	935,4335			934,5535		
	M4				1,6369	61,296	933,7966	-0,001166667	933,795
11	M4	73,05	1,2515	935,0481			933,7966		
	M5				0,7713	79,972	934,2768	-0,001283333	934,276
12	M5	27,498	2,594	936,8708			934,2768		
	RN				1,4904	24,07	935,3804	-0,0014	935,379

Fonte: A autora.

A partir da altitude da Base conhecida, usou-se a mesma metodologia para o cálculo dos demais pontos de apoio. Ao todo foram realizadas seis seções de nivelamento geométrico, as quais se encontram no Apêndice A. A Tabela 5 mostra os valores da altitude obtida através do nivelamento geométrico para cada ponto de apoio.

Tabela 5: Pontos de apoio nivelados.

Nome	Altitude
Base	936,575
P01	935,930
P02	934,910
P03	936,140
P04	935,867
P05	935,998
P06	936,215
P07	936,437
P08	936,467
P09	936,435
P10	935,995
P11	935,824
P12	935,680
P13	935,335
P14	935,330
P15	936,214
P16	936,155
P17	936,079
P18	936,280
P19	936,283
P20	936,308
P21	936,052
P22	936,032
P23	935,737
P24	935,714
P25	935,760
P26	936,194
P27	936,048
P28	936,049
P29	935,948
P30	935,940
P31	935,239
P32	935,967
P33	935,959
P34	935,640
P35	933,956
P36	936,456
P37	936,499
P38	936,227
P39	936,503
P40	936,483
P41	936,378
P42	936,412
P43	936,505
P44	935,694
P45	936,676
P46	936,659
P47	936,635
P48	936,612
P49	935,059
P50	935,050
P51	934,761
P52	934,291

Fonte: A autora.

3.3.6 Processamento Fotogramétrico

O voo realizado na manhã do dia 21 de dezembro de 2017 registrou 273 fotografias e obteve GSD de 3,96 cm. Após a captação das imagens da área de interesse através da RPA, foi feita a transferência dos arquivos para o computador, utilizando o Aplicativo DJI GO o Flight Data Log (Log de voo), arquivo responsável por registrar informações referentes às coordenadas do centro de cada imagem e inclinações, ω , ϕ , κ , ou Yaw, Pitch, Roll, inicialização dos componentes e dados de voo, e as fotos foram exportados.

Posteriormente a esta etapa, o processamento fotogramétrico foi feito computacionalmente no *software* Pix4Dmapper Pro – Trial, com entrada das fotos e das coordenadas dos PC, Este, Norte e altitude obtida por meio do nivelamento geométrico, e resultou no modelo 3D (nuvem de pontos e malha 3D texturizada), bem como um MDS, MDT e Ortomosaico.

No processamento inicial, buscou-se o alinhamento da posição e orientação de cada imagem, para isso realizaram-se as seguintes tarefas no *software* Pix4Dmapper Pro – Trial: Identificação nas imagens de pontos homólogos; Encontro das imagens que têm os mesmos pontos-homólogos e combinação desses; Calibração dos parâmetros internos (distância focal) e externos (orientação) da câmara; Localização do modelo, através de informações georreferenciadas, como o sistema de coordenadas ao qual a imagem se refere, as inclinações das imagens (ω , ϕ , κ), as coordenadas e sua a precisão. A Escala da imagem dos pontos chave definida nessa fase foi completa que permite resultados precisos que as demais escalas no *software*.

Depois de cumpridas essas etapas, esse processamento gerou uma nuvem de pontos esparsos construída a partir dos pontos homólogos identificados entre as sobreposições das

fotos, que são a base para as próximas etapas de processamento, além do relatório de qualidade.

É fundamental averiguar no relatório se todas as verificações estão verdes, o que indica que todas foram aprovadas no processamento, como mostra na Figura 26. Assim, a qualidade do processamento é atingida quando todas as imagens forem calibradas em um bloco, a diferença relativa entre os parâmetros internos e otimizados da câmera interna for inferior a 5% e o erro do PC estiver abaixo de 3 x GSD obtido. Como se pode observar na Figura 26, o processamento realizado cumpriu todos esses parâmetros de forma satisfatória, com todas as imagens calibradas em um bloco, diferença relativa entre os parâmetros internos e otimizados da câmera interna de 3,21% e o erro do PC de 0,03m.

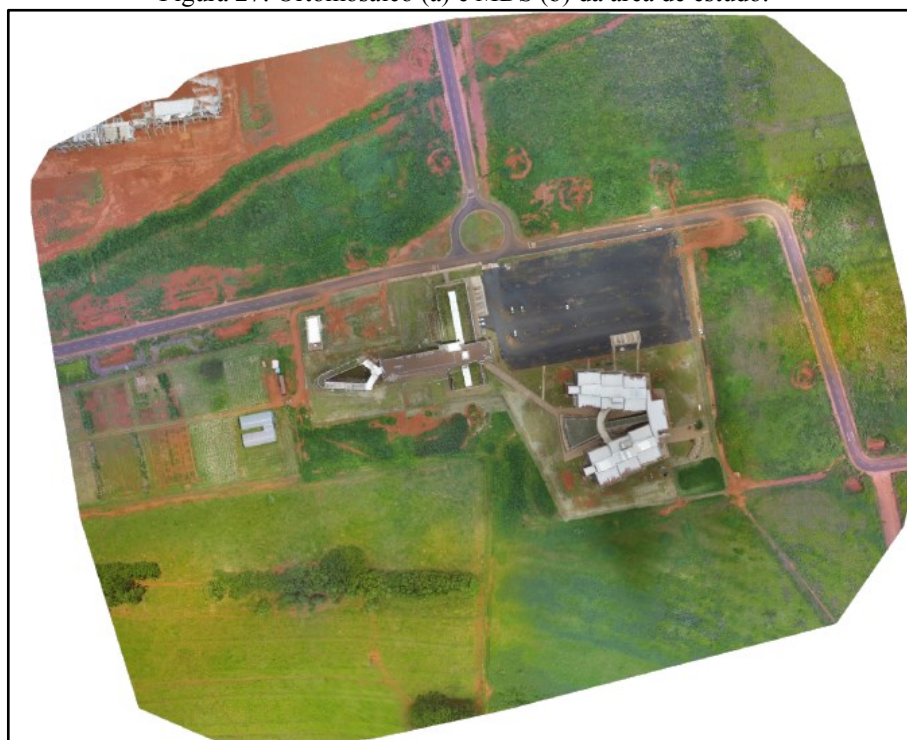
Figura 26: Verificação da qualidade do processamento no *software* Pix4Dmapper Pro - Trial.

🔍 Images	median of 35950 keypoints per image	✔️
🔍 Dataset	273 out of 273 images calibrated (100%), all images enabled	✔️
🔍 Camera Optimization	3.21% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✔️
🔍 Matching	median of 9633.81 matches per calibrated image	✔️
🔍 Georeferencing	yes, 8 GCPs (8 3D), mean RMS error = 0.03 m	✔️

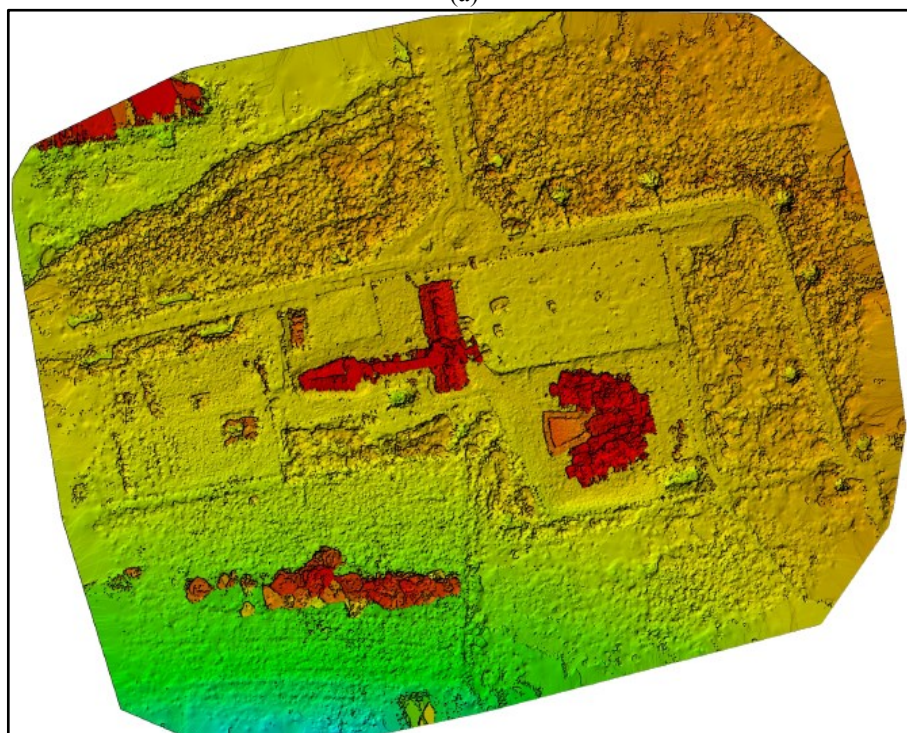
Fonte: A autora.

No relatório de qualidade também são apresentados a visualização do ortomosaico e MDS, como mostrado na Figura 27, é importante verificar se estes não contêm vazios, ou distorções e se apresentam orientação correta. É necessário destacar que esse dado é gerado no processamento inicial apenas para visualização e controle da qualidade para prosseguir os demais processamentos, não tendo qualidade suficiente para ser usado como produto final por ter baixa resolução.

Figura 27: Ortomosaico (a) e MDS (b) da área de estudo.



(a)



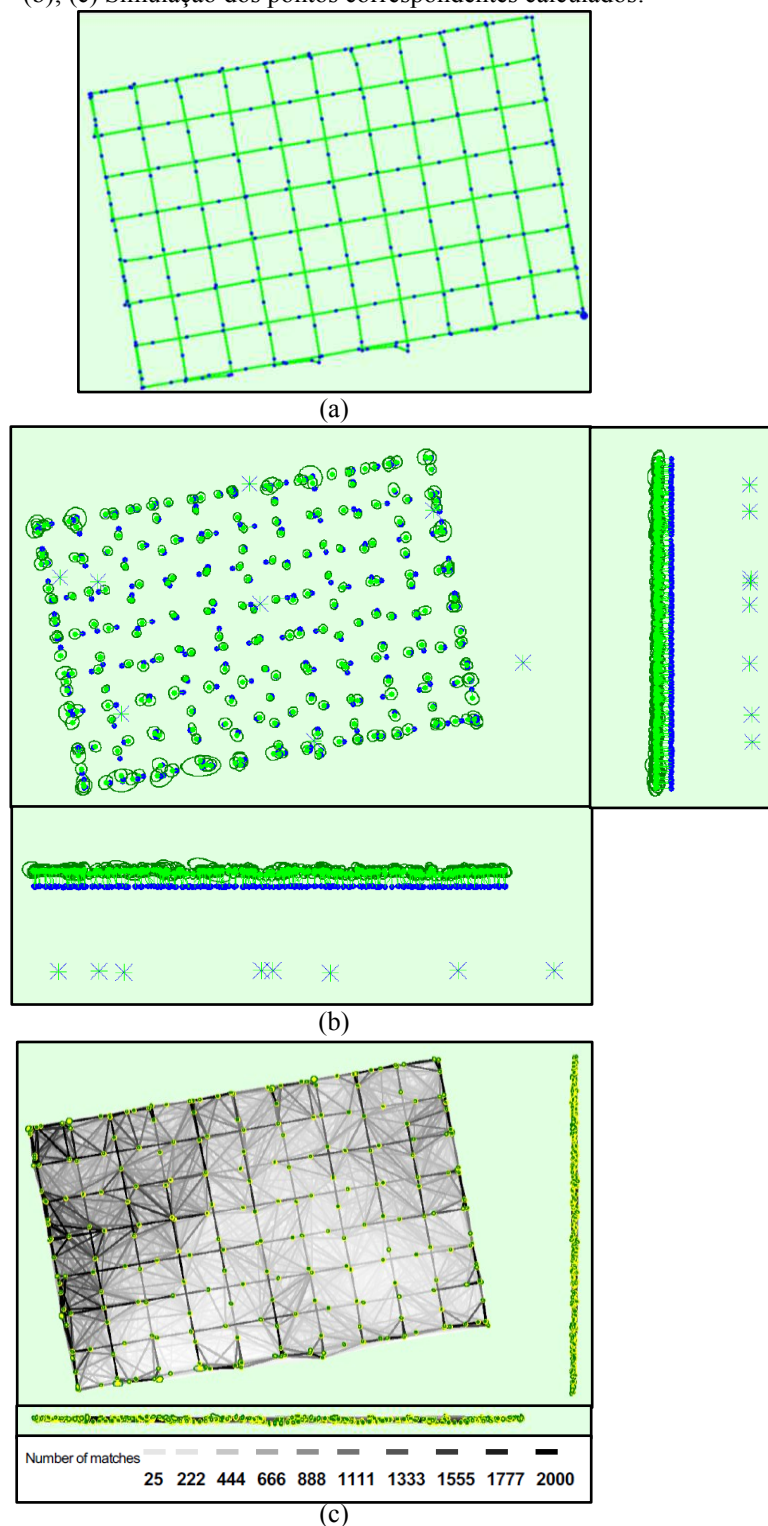
(b)

Fonte: A autora.

Também é essencial verificar as posições iniciais da imagem que atestam a correspondência com o plano de voo, como mostra a Figura 28 (a). Em seguida, a Figura 28

(b) indica a distribuição dos PC. E, na Figura 28 (c), mostram as elipses de erros nos eixos x, y e z com exagero de 500 vezes.

Figura 28: Posições iniciais da imagem (a); Imagem computada/PC/Posições manuais de pontos de amarração (b); (c) Simulação dos pontos correspondentes calculados.



Fonte: A autora.

3.3.6.1 Orientação exterior do modelo

Após o alinhamento da posição e orientação de cada imagem foi realizado a marcação dos PC. Primeiramente, todos esses pontos foram importados de um arquivo de texto contendo as posições Este, Norte e Altitude e os seus respectivos desvios padrões obtidos no processamento dos pontos de apoio.

Logo após o carregamento desse arquivo esses pontos apareceram na imagem em suas devidas posições e representados por um círculo verde, como mostra a Figura 29.

Para o ajuste da posição de todos os PC em relação ao centro do alvo registrado nas fotografias, foi realizada a seleção manual em cada imagem em que um mesmo ponto rastreado pelo receptor GNSS aparece. Dessa maneira, a coordenada mais próxima ao centro do alvo, ou seja, a interseção das cores azul e branca do pré-sinalizador e o centro dos alvos naturais, foi selecionada e representada por uma cruz verde no *software*, como apresentado na Figura 29.

À medida que se inicia a marcação de um ponto as demais imagens existentes contendo esse mesmo ponto vão se ajustando automaticamente. De acordo com o manual do *software* são necessárias marcações em apenas 4 imagens que contenha o mesmo ponto, sendo esse número suficiente para ajustar todas as outras.

No entanto, é importante observar, se o círculo amarelo estiver longe da posição central do PC em algumas das demais imagens, também será necessário corrigir a localização da marcação desta a fim de melhorar a precisão do produto final.

Figura 29: Marcação dos pontos de controle.



Fonte: A autora.

3.3.6.2 Nuvem de pontos e malha triangular

Essa etapa aumenta a densidade dos pontos 3D do modelo calculado no processamento inicial, o que leva a uma precisão mais alta para o ortomosaico e MDS.

O *software* usa dos PC marcados e das imagens alinhadas para a construção da densificação da nuvem de pontos. A nuvem de ponto 3D derivada das imagens sobrepostas fornecerá a localização precisa no espaço do objeto reconstruído, exibido nas cores RGB.

Para gerar essa nuvem foi utilizada a escala de imagem 1/2 (metade do tamanho da imagem, padrão), no qual as imagens são usadas para calcular pontos 3D adicionais. A escala de imagem escolhida tem um impacto no número de pontos gerados, ou seja, influencia diretamente na densidade da nuvem de pontos. No *software* um ponto é calculado para cada pixel (4 por escala de imagem), como trabalhamos com a escala 1/2, um ponto é calculado a cada 8 pixels da imagem original. Assim, foi gerada a nuvem de pontos densa totalizando 16.964.354 pontos.

A malha triangular é uma superfície composta de triângulos, formada pela interligação entre os pontos da nuvem densa classificada, utilizando ferramentas de interpolação e os pontos do terreno. Essa malha possui texturização fotorrealista, ideal para visualização da área de estudo.

Como esse projeto pretende testar uma metodologia de baixo custo optou-se por utilizar um computador popular (com 4GB de memória RAM), portanto escolheu para processamento da malha triangular o parâmetro *Low Resolution* de precisão, o qual demanda menos memória RAM que os demais parâmetros, com nível mais baixo de detalhes e tempo de computação mais rápido.

3.3.6.3 Geração do ortomosaico, MDS e MDT

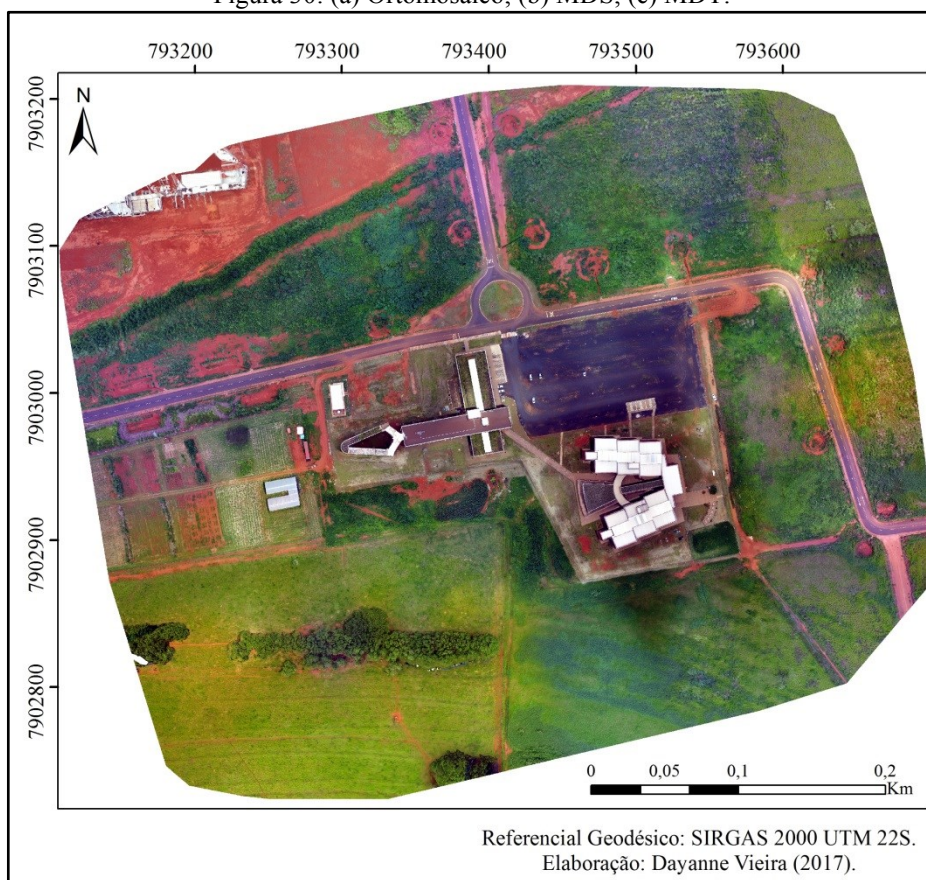
Esta etapa permitiu a geração do ortomosaico, baseado no processo de ortorretificação para remover as distorções de perspectiva nas imagens, e dos modelos digitais que dão o valor de elevação de cada pixel, com (MDS) ou sem (MDT) objetos acima do solo.

O método utilizado para a geração do MDS foi a interpolação de pontos da nuvem densa pela ponderação do inverso da distância (*Inverse Distance Weight* - IDW) com parâmetro de potência igual a 2. Para filtrar e suavizar os ruídos usou-se o filtro Use Noise Filtering e para corrigir as áreas danificadas na superfície usou-se o Use Surface Smoothing do tipo Sharp, que permite o alisamento da superfície, preservando a orientação e mantendo nítidas áreas, como cantos e bordas de edifício. O MDS gerado é apresentado na Figura 30 (b).

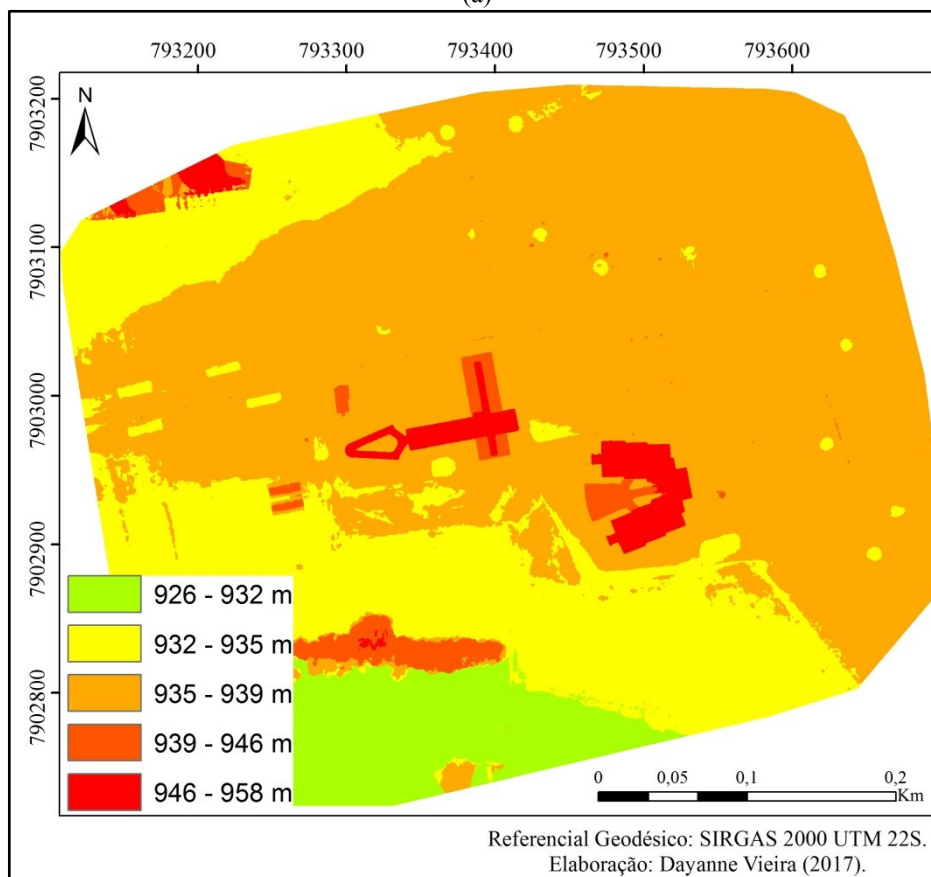
Para aplicações topográficas e estudos que necessitam de curvas de nível tem-se que classificar a nuvem de pontos para separar os pontos do terreno natural dos pontos que apresentam os objetos. Para isso, uma máscara de terreno é calculada com base nos grupos de pontos classificados e somente os grupos *Ground* e *Road Surface* são preservados para a geração do MDT, o qual é apresentado na Figura 30 (c).

Por fim, o ortomosaico, apresentado na Figura 30 (a), foi gerado com a resolução de um GSD, no *software* também é possível alterar a resolução para múltiplos do GSD. Durante essa etapa, usou-se o MDS como tipo de superfície para ortorretificação das imagens. A resolução espacial do ortomosaico foi de 3,96 cm/pixel.

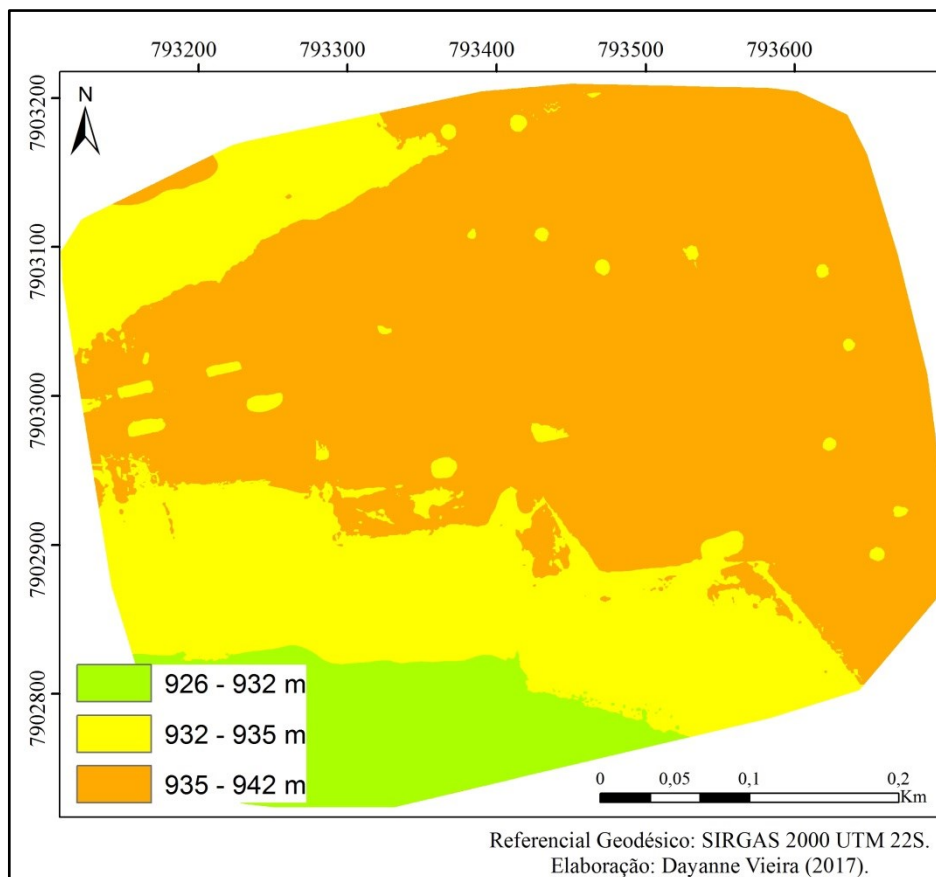
Figura 30: (a) Ortomosaico; (b) MDS; (c) MDT.



(a)



(b)



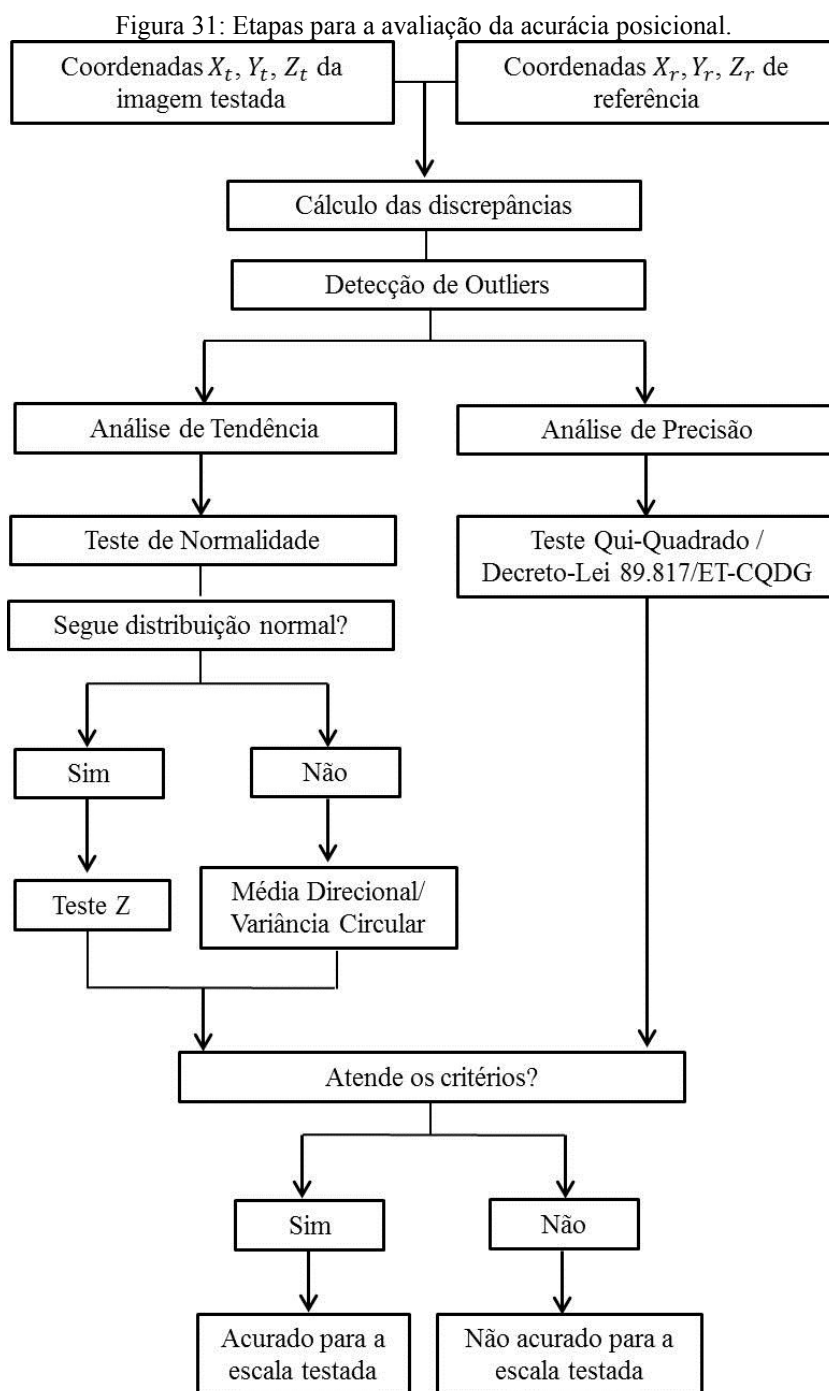
(c)

Fonte: A autora.

3.3.7 Critérios de Avaliação da acurácia posicional de dados espaciais

A acurácia se refere tanto a efeitos aleatórios quanto a efeitos sistemáticos, assim a análise da acurácia é a junção da análise de tendência e da análise de precisão. Portanto, se o dado espacial avaliado for aprovado em todas as análises de tendência e precisão, este dado foi considerado acurado para a escala e a classe testada.

A Figura 31 apresenta as etapas para a avaliação da acurácia posicional dos ortomosaicos e MDT gerados.



Fonte: A autora.

Posteriormente a geração das imagens e a coleta dos dados posicionais de referência e de teste, realiza-se o cálculo das discrepâncias e a análise de detecção de outliers. Em seguida, é feita a análise da tendência e da precisão dos dados. Na análise de tendência, utiliza-se o teste Z ou a Média Direcional aliada com a Variância Circular; lembrando que o teste Z tem como necessidade que os dados sigam distribuição normal, por isso é realizada o teste de

normalidade dos dados. Na análise de precisão aplica-se o padrão de acurácia posicional, nesse caso o padrão brasileiro descrito pelo Decreto-lei 89.817/ET-CQDG (BRASIL, 2016b) e o teste de qui-quadrado proposto por Galo e Camargo (1994).

3.3.7.1 Detecção de Outliers

Segundo Caspary (1987), outliers são discrepâncias que, estatisticamente, se diferenciam do conjunto de dados ao qual pertencem. Amorim (2004) afirma que, geralmente, os outliers são causados por erros grosseiros. Assim, ao se detectar um outlier na avaliação de dados cartográficos, deve-se verificar se as feições foram bem identificadas no dado espacial de teste e de referência.

Para a detecção de outliers é utilizado o diagrama Boxplot. Este diagrama, segundo Montgomery e Runger (2002), utiliza estatísticas descritivas da mediana, primeiro e terceiro quartil (Q1 e Q3), sendo a subtração entre Q3 e Q1 chamada de interquartil (IQR) e limiar inferior e superior, que são apresentados pelas Equações 3 e 4.

$$Limiar_{superior} = Q_3 + 1,5 * IQR \quad (3)$$

$$Limiar_{inferior} = Q_1 - 1,5 * IQR \quad (4)$$

Valores de discrepâncias posicionais acima do limiar superior e valores abaixo do limiar inferior são considerados outliers e devem ser investigados. Se essa investigação não descobrir quaisquer erros de manipulação dos dados de teste e de referência, as feições devem ser retiradas da análise de acurácia posicional. Caso seja verificado algum erro de manipulação, deve-se corrigir a amostra de checagem e retornar a campo.

3.3.7.2 Análise de Precisão

A análise da precisão considera apenas efeitos aleatórios, e segundo Galo e Camargo (1994), pode ser feita comparando-se o desvio-padrão das discrepâncias com o erro padrão (EP) esperado para a classe na qual se deseja testar.

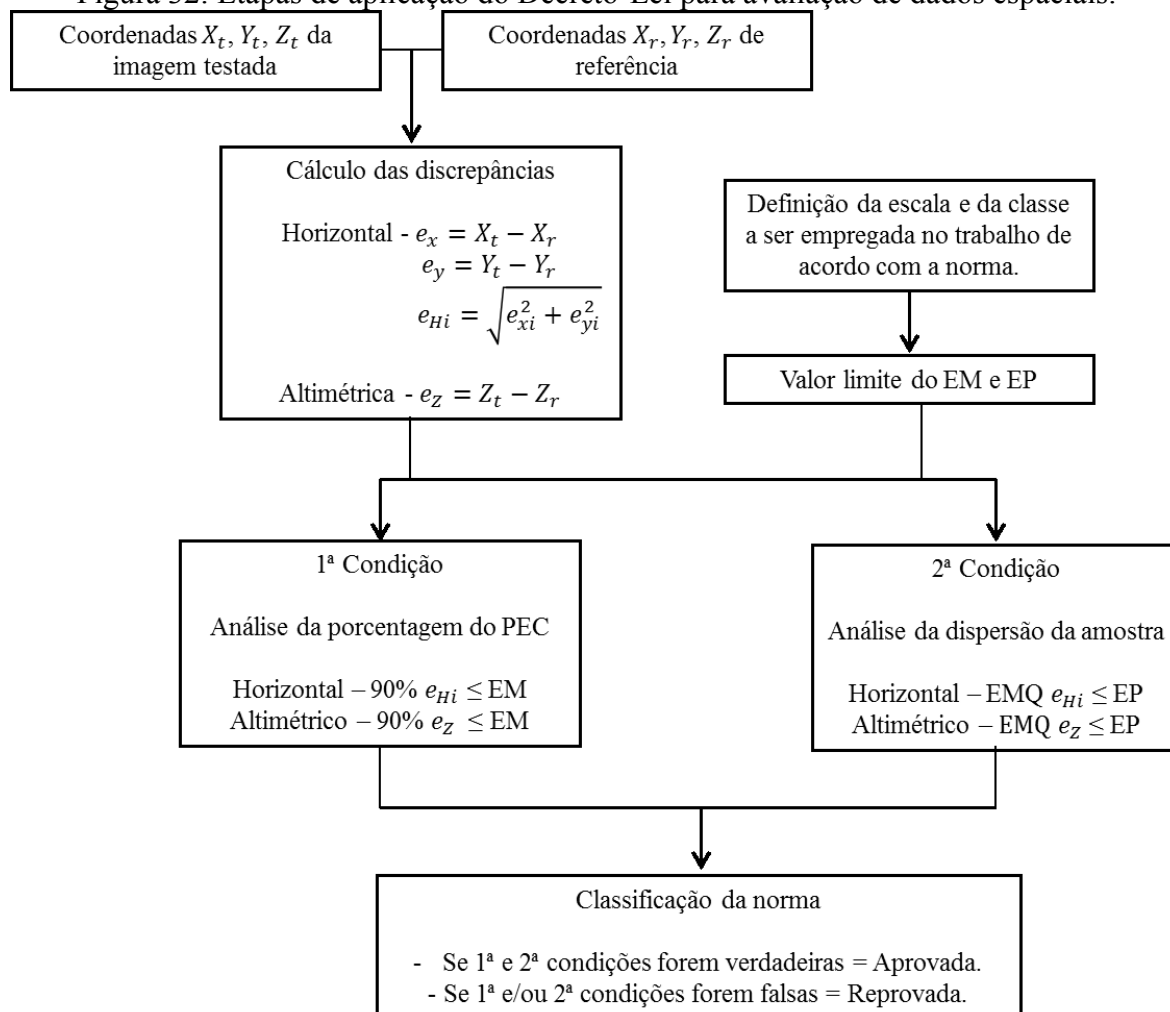
Visto que o valor de EP é proposto nas normas ET-CQDG (BRASIL, 2016b), usa-se desse valor para avaliar a precisão dos dados posicionais usando o teste Qui-Quadrado e também a metodologia proposta em Brasil (2016b), para que sejam enquadrados nas classes do PEC-PCD.

3.3.7.2.1 Aplicação do Decreto-Lei 89.817/ET-CQDG

O Decreto 89.817/84 estabeleceu as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Brasileira, em que foram utilizados como referência os parâmetros que as constituem e dividem o PEC em diferentes classes, considerando 90% de probabilidade (Brasil, 1984). O surgimento de novas geotecnologias contribuiu para que a ET-ADGV estabelecesse novos padrões para atender os Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) (BRASIL, 2011).

A Figura 32 ilustra os procedimentos aplicados para avaliação posicional dos dados espaciais utilizando o decreto-lei.

Figura 32: Etapas de aplicação do Decreto-Lei para avaliação de dados espaciais.



Fonte: A autora.

Segundo Brasil (2016b) o enquadramento das classes no PEC-PCD baseia-se nas estatísticas de 90% dos pontos coletados no produto cartográfico em relação as coordenadas dos pontos homólogos coletados na fonte de maior precisão. Para que sejam enquadrados nas classes do PEC-PCD, as discrepâncias entre as coordenadas dos pontos homólogos devem resultar em valores iguais ou inferiores de erro máximo admissível (EM) e de erro padrão (EP) previstos para cada produto. Destaca-se que esta norma utiliza o mesmo procedimento de cálculo previsto no Decreto 89.817 /84.

Para o cálculo do PEC-PCD planimétrico tem-se que, segundo Brasil (2016b), primeiramente seleciona os pontos de controle, que devem possuir precisão de pelo menos três vezes do produto ser avaliado e ser perfeitamente identificados no terreno. Em seguida,

calcula-se o erro em cada componente planimétrica (e_x e e_y) para o universo de pontos considerados por meio da Equação 3.

$$\begin{aligned} e_x &= X_t - X_r \\ e_y &= Y_t - Y_r \end{aligned} \quad (3)$$

Onde “t” são os pontos do produto que serão testados (RPA) e “r” os pontos de referência (controle), levantados com receptores GNSS.

Posteriormente, calcula-se a componente horizontal dos erros (e_{Hi}) para cada ponto “i” da amostra (Equação 4):

$$e_{Hi} = \sqrt{e_{xi}^2 + e_{yi}^2} \quad (4)$$

Onde e representa a componente horizontal dos erros, x a coordenada este e y a coordenada norte.

Depois calcula-se o erro médio quadrático (EMQ) dos erros da amostra, utilizando a Equação 5.

$$EMQ_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_{Hi}^2)}{n}} \quad (5)$$

Onde e_{Hi} representa o erro da componente horizontal e n o número de amostras.

Por fim, compara-se cada valor de e_{Hi} com o valor EM apresentado na Tabela 6, para cada classe. O produto se enquadra onde tiver pelo menos 90% de pontos com erro inferior ao PEC. Se nenhum valor for correspondente o resultado será “não conforme”. Também compara-se o valor de EMQ com o EP (Tabela 6) para a classe identificada. Se for menor, o

resultado é a classe encontrada. Se for maior, caminha-se na tabela até encontrar um valor menor ou, caso não seja encontrado, a medida resulta “não conforme”.

Tabela 6: Padrão de Exatidão Cartográfica da Planimétrica dos Produtos Cartográficos Digitais.

PEC-PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000		1:25.000		1:50.000	
	EM (m)	EP (m)	EM (m)	EP (m)	EM (m)	EP (m)	EM (m)	EP (m)	EM (m)	EP (m)	EM (m)	EP (m)
A	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70	7,0	4,25	14	8,51
B	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,0	3,0	12,5	7,5	25,0	15,0
C	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,0	5,0	20,0	12,50	40,0	25,0
D	1,00	0,60	2,0	1,20	5,00	3,00	10,0	6,0	25,0	15	50	30

Fonte: Brasil (2011).

Para o cálculo do PEC-PCD altimétrico, conforme detalhado em Brasil (2016b) primeiramente seleciona-se os pontos de controle com precisão pelo menos três vezes superior ao produto que será avaliado e facilmente detectados no terreno. Para calcular o erro para a componente altimétrica (e_z) para o universo de pontos considerados, utiliza-se a Equação 6.

$$e_z = Z_t - Z_r \quad (6)$$

Onde os pontos do produto que serão testados (RPA) serão identificados pelo sufixo “t” e os pontos de referência (controle), levantados com receptores GNSS, são identificados pelo sufixo “r”.

Posteriormente, calcula-se o erro médio quadrático (EMQ) dos erros da amostra através da Equação 7:

$$EMQ_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_{zi}^2)}{n}} \quad (7)$$

Onde e_{zi} representa o erro da componente altimétrica e n o número de amostras.

Por fim, compara-se cada valor de e_{zi} com o EM (Tabela 7) para cada classe. O produto se enquadra onde tiver pelo menos 90% de pontos com erro inferior ao PEC. Se nenhum valor for correspondente o resultado será “não conforme”. Também compara-se o valor de EMQ com o EP (Tabela 7) para a classe identificada. Se for menor, o resultado é a classe encontrada, se for maior, caminha-se até encontrar um valor menor ou, caso não seja encontrado, a medida resulta “não conforme”.

Tabela 7: Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrica para a produção de Produtos Cartográficos Digitais.

PEC-PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000		1:25.000		1:50.000	
	EM (m)	EP (m)	EM (m)	EP (m)	EM (m)	EP (m)	EM (m)	EP (m)	EM (m)	EP (m)	EM (m)	EP (m)
A	0,27	0,17	0,27	0,17	0,54	0,34	1,35	0,84	2,7	1,67	5,5	3,33
B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,67	2,5	1,67	5,00	3,33	10,0	6,66
C	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,0	2,0	6,0	4,0	12,0	8,0
D	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50	7,5	5,0	15,0	10,0

Fonte: Brasil (2011).

3.3.7.2.2 Teste Qui-Quadrado

Seguindo a metodologia proposta em Galo e Camargo (1994) é aplicado o teste Qui-Quadrado para análise da precisão das discrepâncias dos dados posicionais de referência e de teste. As hipóteses desse teste testam se a variância das amostras $S^2_{\Delta E}$ é igual a tolerância da norma σ^2_E , seguindo a hipótese e a Equação 8:

H0: Se $S^2_{\Delta E} = \sigma^2_E$, então E é preciso.

Ha: Se $S^2_{\Delta E} > \sigma^2_E$, então E não é preciso.

$$X^2_E = (n - 1) \frac{S^2_{\Delta E}}{\sigma^2_E} \quad (8)$$

Onde, $S^2_{\Delta E}$ representa o desvio-padrão esperado para a coordenada E, σ^2_E representa o quadrado do erro-padrão (EP); n representa o número de amostras.

Considerando que o EP é fixo para a resultante, utiliza-se para o cálculo das coordenadas planimétrica a Equação 9:

$$\sigma_E = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad (9)$$

Se a expressão $X^2_E \leq X^2_{tab}$ for obedecida aceita-se a hipótese H0 de que a carta atenda à precisão pré-estabelecida. Esse mesmo procedimento é aplicado para a coordenada N e para a componente altimétrica.

3.3.7.3 Análise de tendência

3.3.7.3.1 Teste da normalidade da amostra

Um dos testes mais aplicados para investigar a normalidade da amostra é o teste de Kolmogorov-Smirnov. Esse teste é baseado nas diferenças entre a função de distribuição cumulativa e a função de distribuição empírica da amostra (GIBBONS; CHAKRABORTI, 2003), como apresentado na Equação 10.

$$D_n = \sup_x |F(x) - S_n(x)| \quad (10)$$

Em que D_n representa a estatística de Kolmogorov-Smirnov; $F(x)$ é a função de distribuição acumulada assumida para os dados; $S_n(x)$ é a função de distribuição empírica assumida para os dados.

A função de distribuição acumulada assumida para os dados é dada pela Equação 11 e seu valor é encontrado na tabela de distribuição normal padrão, sendo x_i as discrepâncias, \bar{x} as médias das discrepâncias e S são os desvios padrões da amostra.

$$F(x) = \mathbb{P} \left(Z_{(i)} \leq \frac{(x_i - \bar{x})}{S} \right) \quad (11)$$

A função de distribuição empírica assumida para os dados é dada pela Equação 12 e representa a proporção de valores menores ou iguais a x , sendo I a função indicadora definida por $I_A = \begin{cases} 1; & \text{se } x \in A \\ 0; & \text{se } x \notin A \end{cases}$.

$$S_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{\{(-\infty, x]\}}(x_i) \quad (12)$$

Por fim, para calcularmos a estatística de Kolmogorov-Smirnov medem-se as distâncias entre os gráficos das duas funções $F(x)$ e $S_n(x)$, com isso, podemos utilizar como estatística de teste a Equação 13. E concluir que se $D_{max} < D_{tab}$ as discrepâncias seguem o padrão normal; se $D_{max} > D_{tab}$ as discrepâncias não seguem o padrão normal.

$$D_n = \max(D^+, D^-) \quad (13)$$

$$\text{Sendo: } D^+ = \sup_x |F(x_{(i)}) - S_n(x_{(i)})|; \quad D^- = \sup_x |F(x_{(i)}) - S_n(x_{(i-1)})|.$$

Como critério compara-se a diferença de D_n com o valor crítico para um dado nível de significância. Nesse caso, nesse trabalho é aplicado observando um nível de confiança $(1 - \alpha)$ igual a 90% ($\alpha = 0,1$).

3.3.7.3.2 Análise da presença de tendência

Na avaliação de dados espaciais, é fundamental a análise de tendências, usada para verificar erros sistemáticos. Ao utilizar um dado tendencioso, podem-se gerar observações, resoluções e produtos que não condizem com a realidade de campo. Assim, nesse trabalho utiliza-se de estatística inferencial para avaliar a tendência dos dados posicionais de referência e de teste.

Em estatística inferencial, a análise de tendência é realizada pelo teste t e teste z. Segundo Montgomery e Runger (2002), para uma amostra com mais de 30 elementos o recomendado é o teste Z. Dessa forma, nesse trabalho, realizam-se procedimentos de análise de tendência baseados na distribuição Z, aplicando um nível de confiança $(1 - \alpha)$ igual a 90% ($\alpha = 0,1$).

O teste z é calculado obedecendo as seguintes hipóteses e Equação 14 para a coordenada E:

H₀: Se $d_E = 0$, então E não é tendencioso.

H_a: Se $d_E \neq 0$, então E é tendencioso.

$$z_{calc} E = \frac{\overline{d_E}}{\frac{\sigma_{d_E}}{\sqrt{n}}} \quad (14)$$

Onde, Z_{calc_E} representa os valores de Z calculados para as discrepâncias nas coordenadas E, $\overline{d_E}$ representa a média das discrepâncias nas coordenadas E; σ_{d_E} representa o desvio-padrão das discrepâncias para as coordenadas E; n representa o número de amostras.

A regra de decisão é: se $|z_{cal}| \geq z_{tab}$ rejeitamos H₀; se $|z_{cal}| < z_{tab}$ aceitamos H₀.

Esse mesmo procedimento é aplicado para a coordenada N e para a componente altimétrica.

Portanto, a partir do número de pontos coletados, chega-se a um valor tabelado $Z_{(n-1, \frac{\alpha}{2})}$, que é obtido através de tabela bilateral. Dessa forma, se o valor obtido for menor que o tabelado, para cada variável analisada, a imagem estará livre de erros sistemáticos.

3.3.7.4 ANOVA e Teste Tukey

Para comparar as discrepâncias obtidas entre os dados posicionais de teste e de referência nas diferentes distribuições dos PC, utiliza-se a Análise de Variância (ANOVA).

A ANOVA, segundo Hair Júnior et al. (2009), permite verificar a existência de diferenças entre dois ou mais grupos e determina se as amostras surgem de populações com médias iguais, ou seja, se as médias de grupos diferem significativamente. Para isso, analisa a variância entre os grupos (MS_B), bem como a variância dentro de cada grupo (MS_W) e fornece o teste estatístico para o ajuste geral do modelo em termos da razão F, obedecendo as seguintes hipóteses:

H₀: Se $F < F_{\text{crítico}}$, então as médias ao longo de todos os grupos são todas iguais.

H_a: Se $F > F_{\text{crítico}}$, então as médias ao longo de todos os grupos não são todas iguais.

A MS_W , quadrado médio dentro dos grupos, é baseada em desvios de escores individuais a partir de suas respectivas médias de grupos e a MS_B , quadrado médio entre grupos, baseia-se em desvios de médias de grupos a partir da grande média geral de todos os escores. A razão entre MS_B e MS_W é uma medida de quanta variância é atribuível aos

diferentes tratamentos versus a variância esperada a partir de amostragem aleatória. Essa razão nos dá um valor para a estatística F, como mostra a Equação 15.

$$F = \frac{MS_B}{MS_W} \quad (15)$$

Determine o valor crítico para a estatística F ($F_{\text{crítico}}$) para um nível especificado de α , nesse caso, aplicando um nível de confiança $(1 - \alpha)$ igual a 95% ($\alpha = 0,05$). Se o valor calculado da estatística $F > F_{\text{crítico}}$, então rejeita-se a hipótese H_0 .

Nesse caso, o resultado da ANOVA evidencia que a distribuição de pelo menos um dos grupos se difere das demais, mas não indica entre quais grupos a diferença é significativa. Assim, se faz necessário utilizar testes de comparações múltiplas, como o Teste de Tukey.

O Teste Tukey é conhecido também como teste da Diferença Honestamente Significativa (*Honestly Significant Difference* - HSD). Consiste em determinar a menor diferença significativa entre a média de dois grupos (MONTGOMERY E RUNGER, 2002). De forma que, duas médias são estatisticamente distintas quando o valor da diferença entre elas encontrar-se igual ou superior ao valor da menor diferença significativa. A Equação 16 apresenta o cálculo para o teste HSD.

$$HSD = g_\alpha(a, f) \sqrt{\frac{MSE}{n}} \quad (16)$$

Onde $g_\alpha(a, f)$ é a amplitude studentizada, cujo os valores são tabelados na Tabela do Teste de Tukey; a é o número de tratamentos; e f é o número de graus de liberdade.

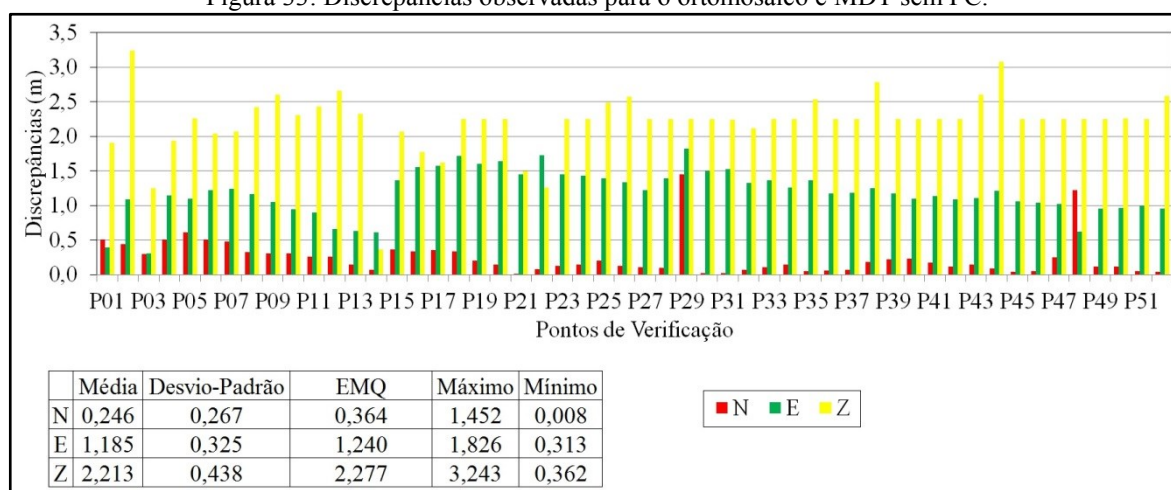
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio dos dados planimétricos e altimétricos dos pontos de verificação coletados através dos receptores GNSS e do nível digital avaliou-se a acurácia posicional planimétrica e altimétrica dos três grupos de imagens (sem PC, com 8 PC distribuídos e com 8 PC agrupados) obtidas por meio da RPA PHANTOM 3 ADVANCED e do processamento no *software* Pix4Dmapper Pro – Trial na escala de 1:1.000 e resolução espacial de 3,96 cm. No contexto cadastral, os erros planimétricos e altimétricos devem ser os menores possíveis, para que não comprometam a determinação da localização do imóvel. Assim, recomenda-se que as cartas que compõem a base cartográfica para o cadastro tenham uma acurácia compatível com a classe A.

Primeiramente, nas imagens foram identificados os pontos homólogos em relação aos dados de campo e em seguida, calculados as discrepâncias posicionais das componentes planimétricas (N e E) e altimétrica (Z), conforme apresentado nas Figuras 33, 34 e 35.

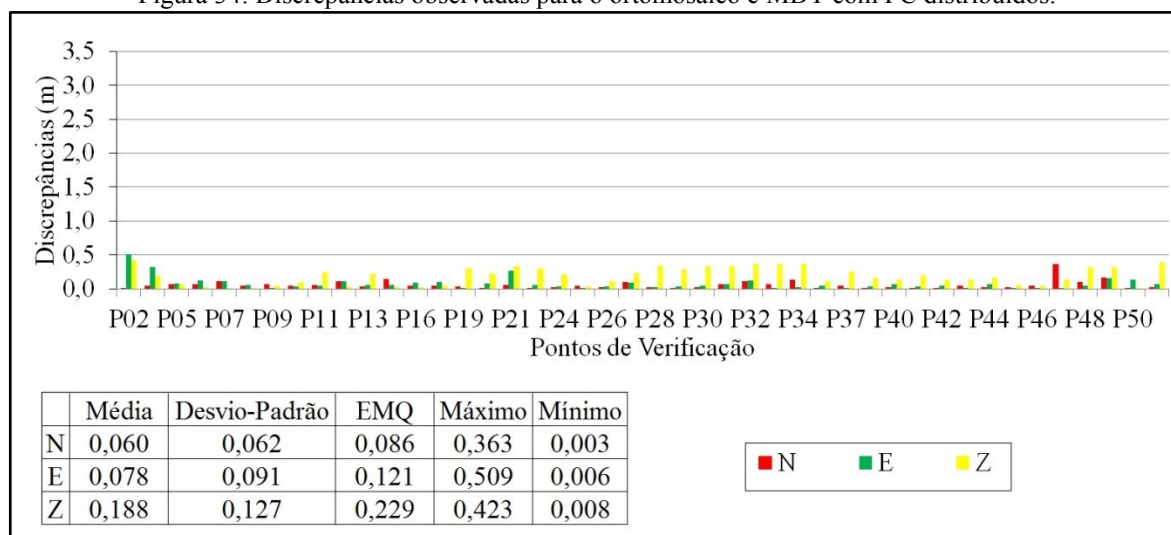
As maiores discrepâncias foram observadas nas imagens sem PC e em todos os grupos os maiores resultados registrados foram na componente Z. Observou-se que as discrepâncias encontradas no processamento das imagens utilizando PC distribuídos e PC agrupados apresentou maior discrepância em locais em que não foram inseridos pontos de controle no processamento.

Figura 33: Discrepâncias observadas para o ortomosaico e MDT sem PC.



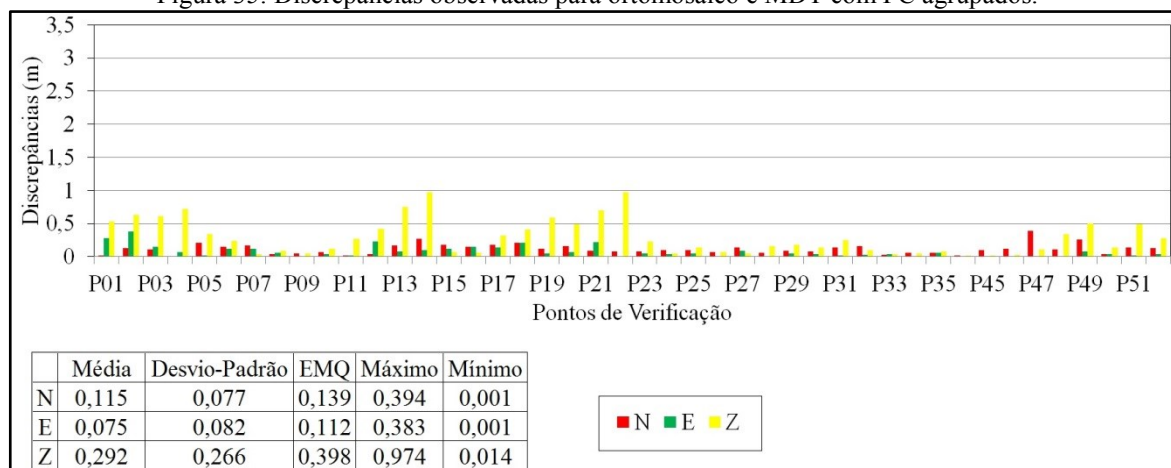
Fonte: A autora.

Figura 34: Discrepâncias observadas para o ortomosaico e MDT com PC distribuídos.



Fonte: A autora.

Figura 35: Discrepâncias observadas para ortomosaico e MDT com PC agrupados.



Fonte: A autora.

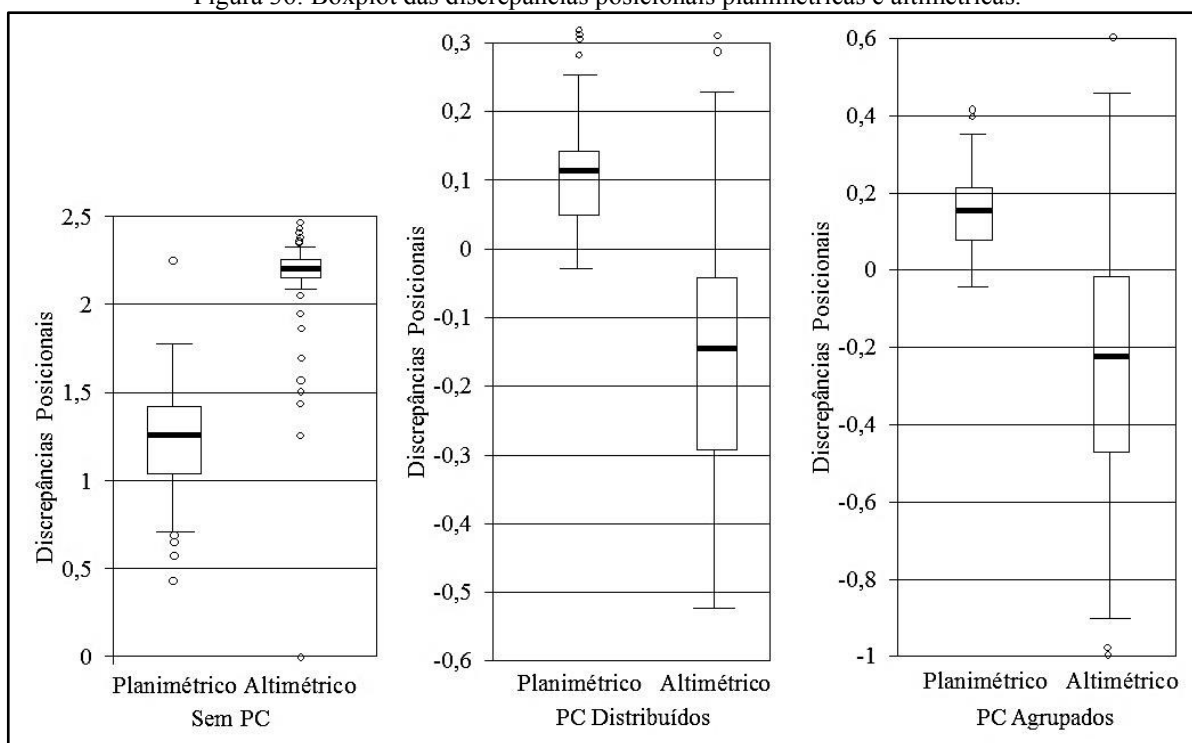
De posse da amostra de discrepâncias posicionais planimétricas e altimétricas foram realizados a detecção de outliers pelo método do Boxplot, como mostra a Figura 36.

Nas imagens sem PC foram detectados 5 outliers na componente planimétrica, com limiar de 0,705 m e 1,771 m, e 21 outliers na componente altimétrica com limiar de 2,077 m e 2,320 m.

Nas imagens com 8 PC distribuídos foram detectados 4 outliers na componente planimétrica, com limiar de -0,028 m e 0,250 m, e 2 outliers na componente altimétrica com limiar de -0,524 m e 0,228 m.

Nas imagens com 8 PC agrupados foram detectados 2 outliers na componente planimétrica, com limiar de -0,048 m e 0,350 m, e 3 outliers na componente altimétrica com limiar de -0,902 m e 0,452 m.

Figura 36: Boxplot das discrepâncias posicionais planimétricas e altimétricas.



Fonte: A autora.

A Tabela 8 apresenta as estatísticas básicas das amostras de discrepâncias posicionais após a retirada dos outliers.

Tabela 8: Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais após a retirada de outliers.

		Média	Desvio-padrão	EMQ	Máximo	Mínimo
Sem PC	N	0,219	0,210	0,305	1,222	0,008
	E	1,231	0,249	1,269	1,726	0,626
	Z	2,244	0,045	2,283	2,327	2,071
PC Distribuídos	N	0,054	0,041	0,069	0,166	0,003
	E	0,059	0,039	0,071	0,158	0,006
	Z	0,179	0,123	0,219	0,389	0,008
PC Agrupados	N	0,108	0,065	0,127	0,270	0,001
	E	0,069	0,068	0,098	0,279	0,001
	Z	0,251	0,220	0,336	0,750	0,014

Fonte: A autora.

4.1 ANÁLISE DE PRECISÃO

4.1.1 Aplicação do Decreto-Lei 89.817/ET-CQDG

Com a amostra de discrepâncias posicionais sem a presença de outliers, aplicou-se a avaliação posicional planimétrica, utilizando como referência a ET-CQDG para a escala 1:1.000 e classe A.

Nesse caso, os pontos de verificação extraídos no levantamento com receptores GNSS foram usados como valores de referência. se o dado espacial avaliado for aprovado em todas as análises de tendência e precisão, este dado foi considerado acurado para a escala e a classe testada.

Inicialmente, foram identificadas as coordenadas planimétricas dos respectivos pontos na imagem e comparadas com as coordenadas de referência, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9: Coordenadas planimétricas dos pontos de verificação extraídas do terreno e da imagem.

Pontos de Verificação	Coordenadas de Referência (Extraídas do levantamento com GNSS)		Coordenada em teste (extraída do ortomosaico)	
	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)
P02	7903124,293	793177,542	7903124,732	793178,636
P04	7903201,148	793379,977	7903201,656	793381,125
P05	7903170,611	793380,399	7903171,223	793381,503
P06	7903136,461	793393,405	7903136,969	793394,629
P07	7903098,149	793407,022	7903098,633	793408,264
P08	7903047,530	793386,040	7903047,861	793387,202
P09	7903030,061	793347,001	7903030,366	793348,049
P10	7903025,138	793307,085	7903025,450	793308,033
P11	7903011,524	793273,756	7903011,785	793274,658
P12	7903015,626	793240,079	7903015,892	793240,739
P15	7903063,829	793477,146	7903064,197	793478,511
P16	7903065,022	793537,769	7903065,359	793539,322
P17	7903074,665	793570,064	7903075,020	793571,642
P18	7903077,701	793609,800	7903078,041	793611,520
P19	7903032,042	793626,232	7903032,247	793627,833
P20	7902985,454	793635,034	7902985,599	793636,675
P21	7902939,988	793649,335	7902939,980	793650,783
P22	7902909,877	793690,935	7902909,793	793692,661
P23	7902997,330	793547,587	7902997,462	793549,035
P24	7902989,369	793513,566	7902989,512	793514,996
P25	7902992,837	793493,768	7902993,041	793495,163
P26	7902975,018	793489,521	7902975,150	793490,857
P27	7902950,556	793450,046	7902950,669	793451,271
P28	7902958,090	793521,339	7902958,185	793522,737
P30	7902913,080	793533,271	7902913,052	793534,768
P31	7902890,655	793571,380	7902890,681	793572,908
P32	7902898,223	793503,867	7902898,295	793505,198
P33	7902897,564	793476,625	7902897,456	793477,994
P34	7902909,861	793463,493	7902909,718	793464,758
P35	7902870,751	793464,334	7902870,701	793465,703
P36	7902959,525	793411,886	7902959,582	793413,065
P37	7902971,508	793409,902	7902971,576	793411,091
P38	7902992,099	793416,828	7902992,284	793418,083
P39	7903017,899	793400,927	7903018,119	793402,107
P40	7903026,726	793377,351	7903026,959	793378,451
P41	7903008,414	793372,057	7903008,591	793373,190
P42	7902991,557	793373,854	7902991,672	793374,948
P43	7902964,985	793359,880	7902965,128	793360,992
P44	7902947,719	793377,274	7902947,808	793378,483
P45	7902959,829	793339,129	7902959,868	793340,192
P46	7902968,032	793331,516	7902968,087	793332,562
P47	7902965,917	793314,917	7902965,662	793315,941
P48	7902977,084	793304,572	7902978,306	793303,946
P49	7902939,750	793247,440	7902939,634	793248,397
P50	7902931,152	793248,895	7902931,268	793249,861
P51	7902923,720	793271,610	7902923,773	793272,602
P52	7902894,827	793294,131	7902894,789	793295,087

Fonte: A autora.

Com as coordenadas listadas, calcularam-se os erros obtidos nas coordenadas por meio da metodologia apresentada no item 3.3.7.3.2 O resultado segue na Tabela 10.

Tabela 10: Coordenadas planimétricas dos pontos de verificação extraídas do terreno e da imagem.

Pontos de Verificação	e_y (m)	e_x (m)	e_{Hi} (m)	EMQ (m)
P02	0,439	1,094	1,179	1,291
P04	0,508	1,148	1,255	
P05	0,612	1,104	1,262	
P06	0,508	1,224	1,325	
P07	0,484	1,242	1,333	
P08	0,331	1,162	1,208	
P09	0,305	1,048	1,091	
P10	0,312	0,948	0,998	
P11	0,261	0,902	0,939	
P12	0,266	0,660	0,712	
P15	0,368	1,365	1,414	
P16	0,337	1,553	1,589	
P17	0,355	1,578	1,617	
P18	0,340	1,720	1,753	
P19	0,205	1,601	1,614	
P20	0,145	1,641	1,647	
P21	-0,008	1,448	1,448	
P22	-0,084	1,726	1,728	
P23	0,132	1,448	1,454	
P24	0,143	1,430	1,437	
P25	0,204	1,395	1,410	
P26	0,132	1,336	1,343	
P27	0,113	1,225	1,230	
P28	0,095	1,398	1,401	
P30	-0,028	1,497	1,497	
P31	0,026	1,528	1,528	
P32	0,072	1,331	1,333	
P33	-0,108	1,369	1,373	
P34	-0,143	1,265	1,273	
P35	-0,050	1,369	1,370	
P36	0,057	1,179	1,180	
P37	0,068	1,189	1,191	
P38	0,185	1,255	1,269	
P39	0,220	1,180	1,200	
P40	0,233	1,100	1,124	
P41	0,177	1,133	1,147	
P42	0,115	1,094	1,100	
P43	0,143	1,112	1,121	
P44	0,089	1,209	1,212	
P45	0,039	1,063	1,064	
P46	0,055	1,046	1,047	
P47	-0,255	1,024	1,055	
P48	1,222	-0,626	1,373	
P49	-0,116	0,957	0,964	
P50	0,116	0,966	0,973	
P51	0,053	0,992	0,993	
P52	-0,038	0,956	0,957	

Fonte: A autora.

Para a análise altimétrica do produto obtido sem utilização de pontos de controle, foram identificadas as coordenadas altimétricas dos respectivos pontos na imagem e comparadas com as coordenadas de referência, obtidas por meio do levantamento pós-processado no modo estático com os receptores GNSS. Posteriormente, calculou-se os erros obtidos, conforme apresentado no item 3.3.7.3.2 (Tabela 11).

Tabela 11: Coordenadas altimétricas dos pontos de verificação extraídas do terreno e da imagem.

Pontos de Verificação	Coordenada em teste (extraída do MDT)	Coordenada de Referência (Extraídas do levantamento com GNSS)	e_z (m)	EMQ_z (m)
P05	923,485	925,748	2,263	2,257
P10	923,582	925,893	2,311	
P13	923,015	925,342	2,327	
P15	923,992	926,063	2,071	
P18	924,349	926,600	2,251	
P19	924,387	926,638	2,251	
P20	924,670	926,921	2,251	
P23	923,906	926,156	2,250	
P24	923,604	925,853	2,249	
P27	923,508	925,757	2,249	
P28	924,120	926,370	2,250	
P29	923,723	925,973	2,250	
P30	923,637	925,886	2,249	
P31	922,910	925,151	2,241	
P32	923,888	926,002	2,114	
P33	923,541	925,789	2,248	
P34	923,441	925,690	2,249	
P36	923,704	925,953	2,249	
P37	924,162	926,412	2,250	
P39	924,193	926,443	2,250	
P40	924,172	926,423	2,251	
P41	923,952	926,202	2,250	
P42	923,928	926,178	2,250	
P45	923,626	925,875	2,249	
P46	923,777	926,026	2,249	
P47	923,490	925,739	2,249	
P48	923,606	925,855	2,249	
P49	922,808	925,055	2,247	
P50	922,490	924,753	2,263	
P51	922,534	924,781	2,247	

Fonte: A autora.

Nos resultados para as imagens sem PC, a avaliação posicional utilizando o Decreto-lei 89.817 e ET-CQDG, foi reprovada na planimetria para a escala 1:1.000 e reprovado na altimetria, como mostra a Tabela 12.

Tabela 12: Resultado da avaliação posicional do ortomosaico sem PC utilizando o Decreto-lei 89.817.

Planimétrico	Escala	Classe	EP (m)	EM (m)	Estatísticas		Condições		Classificação
					EMQ (m)	% < EM	EMQ < EP	90% < EM	
	1:1.000	A	0,17	0,28	1,291	0%	Falso	Falso	Reprovado

Altimétrico	Escala	Classe	EP (m)	EM (m)	Estatísticas		Condições		Classificação
					EMQ (m)	% < EM	EMQ < EP	90% < EM	
	1:1.000	A	0,17	0,27	2,245	0%	Falso	Falso	Reprovado

Fonte: A autora.

Com a amostra de discrepâncias posicionais sem a presença de outliers, aplicou-se a avaliação posicional planimétrica.

Nas imagens geradas utilizando 8 pontos de controle distribuídos, foram identificadas as coordenadas planimétricas dos respectivos pontos na imagem, denominadas coordenadas em teste, e comparadas com as coordenadas dos pontos de verificação obtidas no levantamento pós-processado no modo estático com os receptores GNSS, usadas como coordenadas de referências, como mostra a Tabela 13.

Tabela 13: Coordenadas planimétricas dos pontos de verificação extraídas do terreno e da imagem.

Pontos de Verificação	Coordenadas de Referência (Extraídas do levantamento com GNSS)		Coordenada em teste (extraída do ortomosaico)	
	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)
P05	7903170,611	793380,399	7903170,678	793380,478
P06	7903136,461	793393,405	7903136,531	793393,528
P07	7903098,149	793407,022	7903098,266	793407,137
P08	7903047,530	793386,040	7903047,575	793386,101
P09	7903030,061	793347,001	7903030,134	793347,017
P10	7903025,138	793307,085	7903025,191	793307,118
P11	7903011,524	793273,756	7903011,584	793273,802
P12	7903015,626	793240,079	7903015,742	793239,967
P13	7903001,961	793181,403	7903001,926	793181,464
P15	7903063,829	793477,146	7903063,972	793477,202
P16	7903065,022	793537,769	7903065,072	793537,861
P18	7903077,701	793609,800	7903077,751	793609,907
P19	7903032,042	793626,232	7903032,010	793626,215
P20	7902985,454	793635,034	7902985,448	793634,958
P23	7902997,330	793547,587	7902997,314	793547,531
P24	7902989,369	793513,566	7902989,398	793513,531
P25	7902992,837	793493,768	7902992,881	793493,788
P26	7902975,018	793489,521	7902975,045	793489,489
P27	7902950,556	793450,046	7902950,662	793449,953
P28	7902958,090	793521,339	7902958,067	793521,308
P29	7902930,222	793555,081	7902930,207	793555,043
P30	7902913,080	793533,271	7902913,059	793533,221
P31	7902890,655	793571,380	7902890,722	793571,313
P32	7902898,223	793503,867	7902898,335	793503,746
P33	7902897,564	793476,625	7902897,496	793476,619
P34	7902909,861	793463,493	7902909,730	793463,463
P36	7902959,525	793411,886	7902959,506	793411,841
P37	7902971,508	793409,902	7902971,458	793409,891
P39	7903017,899	793400,927	7903017,903	793400,960
P40	7903026,726	793377,351	7903026,751	793377,422
P41	7903008,414	793372,057	7903008,402	793372,093
P42	7902991,557	793373,854	7902991,560	793373,899
P43	7902964,985	793359,880	7902965,036	793359,899
P44	7902947,719	793377,274	7902947,749	793377,347
P45	7902959,829	793339,129	7902959,802	793339,146
P46	7902968,032	793331,516	7902967,984	793331,509
P48	7902977,084	793304,572	7902976,977	793304,618
P49	7902939,750	793247,440	7902939,584	793247,598
P50	7902931,152	793248,895	7902931,168	793249,035
P51	7902923,720	793271,610	7902923,743	793271,682

Fonte: A autora.

Com as coordenadas listadas, calcularam-se os erros obtidos nas coordenadas por meio da metodologia apresentada no item 3.3.7.3.2. O resultado segue na Tabela 14.

Tabela 14: Coordenadas planimétricas dos pontos de verificação extraídas do terreno e da imagem.

Pontos de Verificação	e_y (m)	e_x (m)	e_{Hi} (m)	EMQ (m)
P05	0,067	0,079	0,104	0,097
P06	0,070	0,123	0,142	
P07	0,117	0,115	0,164	
P08	0,045	0,061	0,076	
P09	0,073	0,016	0,075	
P10	0,053	0,033	0,062	
P11	0,060	0,046	0,076	
P12	0,116	-0,112	0,161	
P13	-0,035	0,061	0,070	
P15	0,143	0,056	0,154	
P16	0,050	0,092	0,105	
P18	0,050	0,107	0,118	
P19	-0,032	-0,017	0,036	
P20	-0,006	-0,076	0,076	
P23	-0,016	-0,056	0,058	
P24	0,029	-0,035	0,045	
P25	0,044	0,020	0,048	
P26	0,027	-0,032	0,042	
P27	0,106	-0,093	0,141	
P28	-0,023	-0,031	0,039	
P29	-0,015	-0,038	0,041	
P30	-0,021	-0,050	0,054	
P31	0,067	-0,067	0,095	
P32	0,112	-0,121	0,165	
P33	-0,068	-0,006	0,068	
P34	-0,131	-0,030	0,134	
P36	-0,019	-0,045	0,049	
P37	-0,050	-0,011	0,051	
P39	0,004	0,033	0,033	
P40	0,025	0,071	0,075	
P41	-0,012	0,036	0,038	
P42	0,003	0,045	0,045	
P43	0,051	0,019	0,054	
P44	0,030	0,073	0,079	
P45	-0,027	0,017	0,032	
P46	-0,048	-0,007	0,049	
P48	-0,107	0,046	0,116	
P49	-0,166	0,158	0,229	
P50	0,016	0,140	0,141	
P51	0,023	0,072	0,076	

Fonte: A autora.

Para a análise altimétrica do produto obtido com utilização de 8 pontos de controle distribuídos na área de estudo, foram identificadas as coordenadas altimétricas dos respectivos pontos na imagem e comparadas com as coordenadas de referência, obtidas por meio do nivelamento geométrico realizado com o nível digital. Posteriormente, calcularam-se os erros da componente Z e o erro médio quadrático (Tabela 15).

Tabela 15: Coordenadas altimétricas dos pontos de verificação extraídas do terreno e da imagem.

Pontos de Verificação	Coordenada em teste (extraída do MDT)	Coordenada de Referência (Extraídas do levantamento com GNSS)	e_z (m)	EMQ_z (m)
P03	936,334	936,140	0,194	0,216
P05	935,928	935,998	-0,070	
P06	936,245	936,215	0,030	
P07	936,421	936,437	-0,016	
P08	936,459	936,467	-0,008	
P09	936,485	936,435	0,050	
P10	936,103	935,995	0,108	
P11	936,071	935,824	0,247	
P12	935,718	935,680	0,038	
P13	935,560	935,335	0,225	
P15	936,188	936,214	-0,026	
P16	936,182	936,155	0,027	
P18	936,329	936,280	0,049	
P19	936,579	936,283	0,296	
P20	936,536	936,308	0,228	
P21	936,386	936,052	0,334	
P23	936,041	935,737	0,304	
P24	935,923	935,714	0,209	
P25	935,801	935,760	0,041	
P26	936,303	936,194	0,109	
P27	936,283	936,048	0,235	
P28	936,394	936,049	0,345	
P29	936,235	935,948	0,287	
P30	936,269	935,940	0,329	
P31	935,574	935,239	0,335	
P32	936,329	935,967	0,362	
P33	936,326	935,959	0,367	
P34	936,009	935,640	0,369	
P36	936,571	936,456	0,115	
P37	936,753	936,499	0,254	
P39	936,662	936,503	0,159	
P40	936,620	936,483	0,137	
P41	936,582	936,378	0,204	
P42	936,553	936,412	0,141	
P43	936,644	936,505	0,139	
P44	935,863	935,694	0,169	
P45	936,738	936,676	0,062	
P46	936,708	936,659	0,049	
P47	936,771	936,635	0,136	
P49	935,380	935,059	0,321	
P50	935,037	935,050	-0,013	
P51	935,150	934,761	0,389	

Fonte: A autora.

Para as imagens com PC distribuídos a avaliação posicional utilizando o Decreto-lei 89.817 e a ET-CQDG foi aprovada na planimetria para a escala 1:1.000 e reprovado na altimetria para a escala 1:1.000, como mostra a Tabela 16.

Tabela 16: Resultado da avaliação posicional do ortomosaico com PC distribuídos utilizando o Decreto-lei 89.817.

	Escala	Classe	EP (m)	EM (m)	Estatísticas		Condições		Classificação
					EMQ (m)	% < EM	EMQ < EP	90% < EM	
Planimétrico	1:1.000	A	0,17	0,28	0,097	100%	Verdadeiro	Verdadeiro	Aprovado
Altimétrico	1:1.000	A	0,17	0,27	0,216	70%	Falso	Falso	Reprovado

Fonte: A autora.

Com a amostra de discrepâncias posicionais sem a presença de outliers, aplicou-se a avaliação posicional planimétrica nas imagens geradas utilizando 8 pontos de controle agrupados.

Para isso, foram identificadas as coordenadas planimétricas dos respectivos pontos na imagem e comparadas com as coordenadas dos pontos de verificação obtidas no levantamento pós-processado no modo estático com os receptores GNSS, como mostra a Tabela 17.

Tabela 17: Coordenadas planimétricas dos pontos de verificação extraídas do terreno e da imagem.

Pontos de Verificação	Coordenadas de		Coordenada em teste	
	Referência (Extraídas do levantamento com GNSS)		(extraída do ortomosaico)	
	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)
P01	7903138,169	793168,958	7903138,151	793168,679
P03	7903148,432	793190,441	7903148,328	793190,590
P04	7903201,148	793379,977	7903201,147	793380,048
P05	7903170,611	793380,399	7903170,818	793380,414
P06	7903136,461	793393,405	7903136,606	793393,520
P07	7903098,149	793407,022	7903098,318	793407,136
P08	7903047,530	793386,040	7903047,572	793386,096
P09	7903030,061	793347,001	7903030,106	793347,007
P10	7903025,138	793307,085	7903025,202	793307,048
P11	7903011,524	793273,756	7903011,503	793273,736
P12	7903015,626	793240,079	7903015,587	793239,848
P13	7903001,961	793181,403	7903001,787	793181,327
P14	7902983,377	793127,480	7902983,107	793127,381
P15	7903063,829	793477,146	7903064,010	793477,261
P16	7903065,022	793537,769	7903065,168	793537,915
P17	7903074,665	793570,064	7903074,847	793570,198
P18	7903077,701	793609,800	7903077,906	793610,013
P19	7903032,042	793626,232	7903032,158	793626,279
P20	7902985,454	793635,034	7902985,612	793635,106
P21	7902939,988	793649,335	7902940,080	793649,116
P22	7902909,877	793690,935	7902909,954	793690,934
P23	7902997,330	793547,587	7902997,412	793547,637
P24	7902989,369	793513,566	7902989,468	793513,605
P25	7902992,837	793493,768	7902992,932	793493,821
P26	7902975,018	793489,521	7902975,085	793489,515
P27	7902950,556	793450,046	7902950,693	793449,953
P28	7902958,090	793521,339	7902958,152	793521,345
P29	7902930,222	793555,081	7902930,310	793555,127
P30	7902913,080	793533,271	7902913,154	793533,307
P31	7902890,655	793571,380	7902890,797	793571,397
P32	7902898,223	793503,867	7902898,380	793503,834
P33	7902897,564	793476,625	7902897,532	793476,660
P34	7902909,861	793463,493	7902909,805	793463,496
P35	7902870,751	793464,334	7902870,809	793464,390
P40	7903026,726	793377,351	7903026,747	793377,338
P45	7902959,829	793339,129	7902959,731	793339,118
P46	7902968,032	793331,516	7902967,915	793331,507
P48	7902977,084	793304,572	7902976,975	793304,584
P49	7902939,750	793247,440	7902939,486	793247,521
P50	7902931,152	793248,895	7902931,109	793248,938
P51	7902923,720	793271,610	7902923,581	793271,594
P52	7902894,827	793294,131	7902894,701	793294,089

Fonte: A autora.

Com as coordenadas listadas, calcularam-se os erros das componentes planimétricas e o erro médio quadrático obtidos nas coordenadas planimétricas, apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Coordenadas planimétricas dos pontos de verificação extraídas do terreno e da imagem.

Pontos de Verificação	e_y (m)	e_x (m)	e_{Hi} (m)	EMQ (m)
P01	-0,028	-0,279	0,280	0,158
P03	-0,104	0,149	0,182	
P04	-0,001	0,071	0,071	
P05	0,207	0,015	0,208	
P06	0,145	0,115	0,185	
P07	0,169	0,114	0,204	
P08	0,042	0,056	0,070	
P09	0,045	0,006	0,045	
P10	0,064	-0,037	0,074	
P11	-0,021	-0,020	0,029	
P12	-0,039	-0,231	0,234	
P13	-0,174	-0,076	0,190	
P14	-0,270	-0,099	0,288	
P15	0,181	0,115	0,214	
P16	0,146	0,146	0,206	
P17	0,182	0,134	0,226	
P18	0,205	0,213	0,296	
P19	0,116	0,047	0,125	
P20	0,158	0,072	0,174	
P21	0,092	-0,219	0,238	
P22	0,077	-0,001	0,077	
P23	0,082	0,050	0,096	
P24	0,099	0,039	0,106	
P25	0,095	0,053	0,109	
P26	0,067	-0,006	0,067	
P27	0,137	-0,093	0,166	
P28	0,062	0,006	0,062	
P29	0,088	0,046	0,099	
P30	0,074	0,036	0,082	
P31	0,142	0,017	0,143	
P32	0,157	-0,033	0,160	
P33	-0,032	0,035	0,047	
P34	-0,056	0,003	0,056	
P35	0,058	0,056	0,081	
P40	0,021	-0,013	0,025	
P45	-0,098	-0,011	0,099	
P46	-0,117	-0,009	0,117	
P48	-0,109	0,012	0,110	
P49	-0,264	0,081	0,276	
P50	-0,043	0,043	0,061	
P51	-0,139	-0,016	0,140	
P52	-0,126	-0,042	0,133	

Fonte: A autora.

Para a análise altimétrica do produto obtido com utilização de 8 pontos de controle agrupados na área de estudo, foram identificadas as coordenadas altimétricas dos respectivos

pontos na imagem e comparadas com as coordenadas de referência, obtidas por meio do nivelamento geométrico. Posteriormente, calcularam-se os erros da componente Z e o erro médio quadrático, como apresentado na Tabela 19.

Tabela 19: Coordenadas altimétricas dos pontos de verificação extraídas do terreno e da imagem.

Pontos de Verificação	Coordenada em teste (extraída do MDT)	Coordenada de Referência (Extraídas do levantamento com GNSS)	e_z (m)	EMQ_z (m)
P01	936,464	935,930	0,534	0,332
P03	936,754	936,140	0,614	
P04	936,590	935,867	0,723	
P05	936,338	935,998	0,340	
P06	936,458	936,215	0,243	
P07	936,476	936,437	0,039	
P08	936,379	936,467	-0,088	
P09	936,383	936,435	-0,052	
P10	936,116	935,995	0,121	
P11	936,093	935,824	0,269	
P12	936,103	935,680	0,423	
P13	936,085	935,335	0,750	
P15	936,143	936,214	-0,071	
P16	936,209	936,155	0,054	
P17	936,403	936,079	0,324	
P18	936,688	936,280	0,408	
P19	936,872	936,283	0,589	
P20	936,796	936,308	0,488	
P21	936,753	936,052	0,701	
P23	935,970	935,737	0,233	
P24	935,761	935,714	0,047	
P25	935,618	935,760	-0,142	
P26	936,129	936,194	-0,065	
P27	936,000	936,048	-0,048	
P28	936,208	936,049	0,159	
P29	936,125	935,948	0,177	
P30	936,083	935,940	0,143	
P31	935,491	935,239	0,252	
P32	936,066	935,967	0,099	
P33	936,002	935,959	0,043	
P34	935,685	935,640	0,045	
P35	934,036	933,956	0,080	
P40	936,497	936,483	0,014	
P45	936,656	936,676	-0,020	
P46	936,633	936,659	-0,026	
P47	936,739	936,635	0,104	
P48	936,274	936,612	-0,338	
P49	935,561	935,059	0,502	
P50	935,191	935,050	0,141	
P51	935,250	934,761	0,489	
P52	934,573	934,291	0,282	

Fonte: A autora.

Nos resultados para as imagens geradas com PC agrupados, a avaliação posicional utilizando o Decreto-lei 89.817 e ET-CQDG, foi aprovada na planimetria para a escala 1:1.000 e reprovado na altimetria para a escala 1:1.000, como mostra a Tabela 20.

Tabela 20: Resultado da avaliação posicional do ortomosaico com PC agrupados utilizando o Decreto-lei 89.817.

Plan.	Escala	Classe	EP (m)	EM (m)	Estatísticas		Condições		Classificação
					EMQ (m)	% < EM	EMQ < EP	90% < EM	
	1:1.000	A	0,17	0,28	0,158	95,2%	Verdadeiro	Verdadeiro	Aprovado
Alt.	Escala	Classe	EP (m)	EM (m)	Estatísticas		Condições		Classificação
					EMQ (m)	% < EM	EMQ < EP	90% < EM	
	1:1.000	A	0,17	0,27	0,332	63,4%	Falso	Falso	Reprovado

Fonte: A autora.

4.1.2 Teste Qui-Quadrado

Com a amostra de discrepâncias posicionais sem a presença de outliers, aplicou-se o teste Qui-Quadrado, utilizando a metodologia proposta em Galo e Camargo (1994). Os resultados desse teste são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21: Resultado do teste Qui-Quadrado.

Sem PC	Plan.	Escala	Classe	EP (m)	X^2_{Tabelado}	X^2		Condição	Classificação
						N	E		
		1:1.000	A	0,17	59,774	187,02	408,22	Falso	Reprovado
Alt.	Escala	Classe	EP (m)	X^2_{Tabelado}	X^2		Condições	Classificação	
					Z	$X^2 \leq X^2_{\text{Tabelado}}$			
		1:1.000	A	0,17	40,256	2,06	Verdadeiro	Aprovado	
PC Distribuídos	Plan.	Escala	Classe	EP (m)	X^2_{Tabelado}	X^2		Condição	Classificação
						N	E		
		1:1.000	A	0,17	51,805	12,03	12,74	Verdadeiro	Aprovado
Alt.	Escala	Classe	EP (m)	X^2_{Tabelado}	X^2		Condição	Classificação	
					Z	$X^2 \leq X^2_{\text{Tabelado}}$			
		1:1.000	A	0,17	54,090	24,57	Verdadeiro	Aprovado	
PC Agrupados	Plan.	Escala	Classe	EP (m)	X^2_{Tabelado}	X^2		Condição	Classificação
						N	E		
		1:1.000	A	0,17	54,090	42,91	26,80	Verdadeiro	Aprovado
Alt.	Escala	Classe	EP (m)	X^2_{Tabelado}	X^2		Condição	Classificação	
					Z	$X^2 \leq X^2_{\text{Tabelado}}$			
		1:1.000	A	0,17	52,949	94,15	Falso	Reprovado	

Fonte: A autora.

A análise da precisão, através do teste de Qui-Quadrado, feita comparando-se o desvio-padrão das discrepâncias com o EP para cada classe, divergiu da classificação obtida aplicando o Decreto-Lei 89.817/ET-CQDG.

Visto que esse método depende unicamente do desvio-padrão e do EP, pode ser verificada na Tabela 8, que as amostras sofreram considerável redução no desvio padrão com a retirada de outliers e isso afetou o resultado do teste Qui-Quadrado, principalmente na componente altimétrica das imagens sem PC, fazendo a classificação ser aprovada para todas as classes nessa componente.

Como na avaliação posicional diversos critérios podem ser utilizados, podendo-se inclusive obter diferentes classificações, é importante adotar conjuntamente os procedimentos que avaliem a existência de precisão e tendência.

4.2 ANÁLISE DE TENDÊNCIA

4.2.1 Teste de Normalidade dos Dados

Com a amostra de discrepâncias posicionais sem a presença de outliers, aplicou-se o teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, um processamento estatístico que pressupõe que a distribuição dessas discrepâncias seja normal.

Nesse teste, o valor de probabilidade apresentou não significativo para o nível de confiança igual a 90% para todas as amostras analisadas, exceto para a componente Z das imagens sem PC. Ou seja, as amostras seguem a distribuição normal, menos a variável Z das imagens geradas sem PC, a qual não segue distribuição normal.

Os resultados dos testes de normalidade realizados para as discrepâncias são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22: Resultados do teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov para o nível de confiança 90%.

Imagens	D_{tab}	D_{max} N	Resultado N	D_{tab}	D_{max} E	Resultado E	D_{tab}	D_{max} Z	Resultado Z
Sem PC	0,18	0,116	Seguem a distribuição normal.	0,18	0,173	Seguem a distribuição normal.	0,22	0,424	Não seguem a distribuição normal.
Com PC distribuídos	0,19	0,076	Seguem a distribuição normal.	0,19	0,079	Seguem a distribuição normal.	0,19	0,110	Seguem a distribuição normal.
Com PC agrupados	0,19	0,134	Seguem a distribuição normal.	0,19	0,152	Seguem a distribuição normal.	0,19	0,113	Seguem a distribuição normal.

Fonte: A autora.

4.2.2 Análise da Presença de Tendência

Nas amostras que seguem distribuição normal, aplica-se o teste de tendência utilizando estatística inferencial. No entanto, a componente Z das imagens Sem PC não segue a distribuição normal, como mostra o item 4.2.1. Visto que essa componente foi reprovada em todas as classes de avaliação utilizando o Decreto-lei 89.817 e ET-CQDG (4.1.1) decidiu-se aplicar a estatística inferencial em todos os dados.

A regra de decisão para a análise de tendência considerando o nível de confiança de 90% foi a seguinte: se $|z_{cal}| \geq 1,645$ o dado é tendencioso; se $|z_{cal}| < 1,645$ o dado não é tendencioso.

Os resultados dessa análise são apresentados na Tabela 23, indicando que os dados N e E das imagens com PC distribuídos e com PC agrupados não são tendenciosos.

Tabela 23: Resultados das análises de tendência.

Imagens	$ z_{cal} E $	Resultado E	$ z_{cal} N $	Resultado N	$ z_{cal} Z $	Resultado Z
Sem PC	23,297	Tendencioso	5,253	Tendencioso	275,682	Tendencioso
Com PC distribuídos	1,613	Não Tendencioso	1,451	Não Tendencioso	8,615	Tendencioso
Com PC agrupados	0,876	Não Tendencioso	1,638	Não Tendencioso	5,201	Tendencioso

Fonte: A autora.

4.3 ANOVA e Teste Tukey

A análise de variância (ANOVA) é exibida na Tabela 24 e aponta que alguns tratamentos apresentam diferença significativa, visto que o valor P é menor que 0,1 (intervalo de confiança de 90%) e o valor F é menor que F crítico. Assim, pode-se concluir que existe pelo menos uma discrepância do ponto de vista estatístico que difere da outra. Como a ANOVA não indica qual amostra apresenta diferença significativa, fez-se o Teste Tukey.

Tabela 24: Resultado da ANOVA.

Causas da variação	Graus de liberdade (GL)	Soma dos Quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	Valor F	Valor de F crítico	Valor P
N						
Fator	2	0,541	0,271	13,364	2,356	8,281*10 ⁻⁶
Resíduos	90	1,822	0,020			
Total	92	2,363				
E						
Fator	2	28,304	14,152	535,463	2,356	1,059*10 ⁻⁵⁰
Resíduos	90	2,378	0,0264			
Total	92	30,682				
Z						
Fator	2	65,472	32,736	1563,639	2,412	3,389*10 ⁻⁵⁸
Resíduos	69	1,444	0,021			
Total	71	66,916				

Fonte: A autora.

Os produtos obtidos do Teste de Tukey são apresentados na Tabela 25. Ao analisarmos os resultados, observa-se que os valores $P > 0,05$ são não significativos, enquanto $P < 0,05$ são significativos. Assim, considerando um nível de significância de 5%, aceitamos a hipótese de igualdade entre as médias dos grupos PC Distribuídos e PC Agrupados. Os fatores seguidos com a mesma letra na coluna Grupos, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey.

Tabela 25: Resultado das comparações múltiplas com o Teste Tukey.

N				
Fator	Sem PC	PC Distribuídos	PC Agrupados	Grupos
Sem PC		0,0001139	0,001081	a
PC Distribuídos	7,025		0,4306	b
PC Agrupados	5,266	1,76		b
E				
Fator	Sem PC	PC Distribuídos	PC Agrupados	
Sem PC		0,0001062	0,0001062	a
PC Distribuídos	39,95		0,9806	b
PC Agrupados	40,21	0,2674		b
Z				
Fator	Sem PC	PC Distribuídos	PC Agrupados	
Sem PC		0,0001117	0,0001117	a
PC Distribuídos	68,53		0,9983	b
PC Agrupados	68,45	0,08182		b

Fonte: A autora.

Conclui-se com o teste Tukey que as discrepâncias nas imagens Sem PC diferem significativamente das discrepâncias nas imagens PC Distribuídos e PC Agrupados o que indica que as discrepâncias nas imagens PC Distribuídos e PC Agrupados são menores que nas imagens Sem PC.

A análise estatística da avaliação posicional do produto cartográfico na escala 1:1.000 é obtida por meio da análise de tendência e de precisão, assim a Tabela 26 mostra os testes realizados para avaliação da acurácia posicional planimétrica e altimétrica nas imagens adquiridas por meio da RPA PHANTOM 3 ADVANCED e do processamento no *software* Pix4Dmapper Pro – Trial.

Tabela 26: Resultados da avaliação da acurácia posicional.

Imagem	Sem PC			Com PC distribuídos			Com PC agrupados		
	E	N	Z	E	N	Z	E	N	Z
Média	1,231	0,219	2,244	0,059	0,054	0,179	0,069	0,108	0,251
Desvio-padrão	0,249	0,210	0,045	0,039	0,041	0,065	0,068	0,065	0,220
EMQ	1,269	0,305	2,283	0,071	0,069	0,127	0,098	0,127	0,336
Nº da amostra (n)	47	47	30	40	40	42	42	42	41
Dado espacial é tendencioso?	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim
EM (1:1.000 – Classe A)	0,28	0,28	0,27	0,28	0,28	0,27	0,28	0,28	0,27
EP (1:1.000 – Classe A)	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
% discrepâncias < EM	0%	0%	0%	100%	100%	70%	95,2%	95,2%	63,4%
EMQ < EP	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não
Aprovado no Decreto-Lei/ET-CQDG (1: 1.000)	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não
X^2_{cal}	408,22	187,02	2,06	12,74	12,03	24,57	26,80	42,91	94,15
$X^2_{tab (90\%)}$	59,774	59,774	40,256	51,805	51,805	54,09	54,09	54,09	52,949
$X^2_{cal} < X^2_{tab (90\%)}$	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Dado espacial é preciso?	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não
Dado espacial é acurado?	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não

Fonte: A autora.

Como discussões dos resultados obtidos, tem-se que:

- As discrepâncias encontradas no processamento das imagens utilizando PC distribuídos e PC agrupados apresentou maior discrepância em locais em que não foram inseridos pontos de controle no processamento;
- Os valores do erro médio quadrático diminuíram ao se incluir de pontos de controle no processamento e com a distribuição dos PC nas bordas e centro da imagem;
- Para análise de precisão, foi utilizado o Decreto-lei nº 89.817, aliado à ET-CQDG e o teste Qui-Quadrado. Os resultados dos dois testes divergiram. Usando o Decreto-lei, as imagens PC Distribuídos e PC Agrupados passaram no teste de precisão na planimetria para a escala 1:1.000 e todas as imagens foram reprovadas na altimetria. Já no teste Qui-Quadrado, as imagens PC Distribuídos e PC Agrupados passaram no teste de precisão na planimetria

para a escala 1:1.000 e as imagens sem PC e PC Distribuídos passaram no teste de precisão na altimetria para a escala 1:1.000. Quando comparados os resultados obtidos, percebe-se que a classificação pelo Decreto-lei apresenta resultados mais rigorosos, visto que o teste Qui-Quadrado avalia apenas a variância das amostras em relação ao EP;

- O teste de normalidade, Kolmogorov - Smirnov detectou que todas as discrepâncias testadas, das componentes planimétricas e altimétricas, para as imagens geradas com PC distribuídos e com PC agrupados, e as componentes planimétricas das imagens sem PC seguem distribuição normal. Teoricamente, a estatística inferencial poderia ser aplicada apenas nessas componentes, pois segue o princípio que os dados sigam a distribuição normal. No entanto, também foi aplicado a na componente Z das imagens sem PC, já que essa componente foi reprovada no teste de precisão pelo decreto-lei.

- Para análise de tendência, usando estatística inferencial, foi utilizado o Teste Z, visto que têm amostras com mais de 30 elementos. Os resultados dessa análise mostraram que as discrepâncias das componentes planimétricas das imagens com PC Distribuídos e com PC Agrupados não apresentam tendência;

- Os resultados da acurácia posicional aprovaram as imagens PC Distribuídos e PC Agrupados na planimetria. As imagens sem PC na planimetria e as imagens sem PC, com PC Distribuídos e com PC agrupados na altimetria foram reprovadas tanto no teste de precisão quanto no teste de tendência para a escala 1:1.000. Assim, foi possível notar que quanto mais PC utilizados no processamento das fotos e quanto melhor distribuídos na região em estudo melhor foram as análises da avaliação da acurácia posicional;

- Os resultados da acurácia em dois grupos analisados foram aprovados na planimetria e nos três grupos reprovados na altimetria. Alguns fatores podem ter influenciado nos resultados da componente altimétrica. Primeiramente, os produtos obtidos sem PC estão vinculados à precisão do GNSS de navegação da aeronave, portanto possuirão erros

compatíveis com esse sistema de posicionamento, os quais na altimetria são cerca de 3 vezes maiores que na planimetria; Outro fator é o processo de geração do MDT testado o qual passa por diversos processos de filtragem e interpolação. O MDT foi gerado através do MDS, assim é realizado um processo de filtragem para remover os objetos acima do solo e a superfície é construída através do processo de interpolação dos pontos, o que influencia no resultado final.

- O teste Tukey mostrou que as imagens PC Distribuídos e PC Agrupados não diferem estatisticamente entre si. Possivelmente, o fato de pertencerem ao mesmo agrupamento influenciou nos resultados da acurácia posicional serem semelhantes.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A discussão desse estudo é considerada para o cadastro de parcelas urbanas. Ao longo da pesquisa percebeu-se a falta de critérios técnicos de mensuração ainda não definidos em legislação para essa área no Brasil, conforme estabelecido no cadastro rural.

A primeira iniciativa para adequação do cadastro urbano surgiu em 2003 através do ministério das cidades com a diretriz orientadora, principalmente para as prefeituras, que culminou com uma portaria ministerial em 2009. No entanto, a maioria dos municípios ainda está sem adequadas especificações. Recentemente, com a concretização do SINTER inicia-se uma etapa importante para o cadastro brasileiro.

Para a área urbana verifica-se a necessidade de ter uma estrutura institucional que seja capaz de orientar, acompanhar, fiscalizar, desenvolver e aperfeiçoar o sistema. Esse órgão será essencial pela própria continuidade de manutenção e efetividade do que se tem hoje. Também, é preciso investir na reavaliação da cartografia cadastral e ainda definir leis e critérios com padrões mínimos, além de incentivar o intercâmbio de experiências entre municípios e formular uma visão nacional, mantendo o cadastro urbano descentralizado. De forma que a legislação cadastral e o órgão cadastral estejam aliados a uma política de capacitação técnica, principalmente nas prefeituras municipais, as quais são responsáveis pelas implantações das bases cadastrais.

No âmbito municipal é importante que cada município institua uma base cartográfica apoiada na RRCM oficializada por decreto do poder municipal. Toda a produção de dados espaciais deve ser vinculada a essa rede mantendo e atualizando a infraestrutura desses dados. Uma alternativa para implantação dessa rede em pequenas cidades são as parcerias com universidades.

Além da implantação de legislações e da rede cadastral para integrar o sistema é importante verificar os métodos de obtenção de dados para compor o cadastro. O ambiente urbano é de difícil monitoramento diante da diversidade de objetos existentes que podem causar interferências nos levantamentos e tornar difícil a obtenção de um posicionamento acurado, como por exemplo, o efeito de multicaminhamento no posicionamento por satélites.

Diante disso, é fundamental pesquisar e avaliar as diversas tecnologias existentes e escolher aquela que melhor se aplica para atingir as determinadas especificações de acurácia, uma vez que a avaliação posicional irá apenas discriminar aquele dado gerado que é melhor ou pior, porém se os dados forem obtidos de forma inadequada todo o resultado será comprometido.

Na busca por metodologias de baixo custo e análise da viabilidade de uso para o cadastro urbano, a metodologia aplicada utilizando métodos estatísticos funciona e as imagens geradas com RPA atendem às demandas para aplicações no cadastro, na qual o método fotogramétrico utilizando pontos de controle mostrou-se adequado e consistente para a produção de dados quantitativos e qualitativos para as ações de geração e atualização de plantas cadastrais municipais. É importante salientar que se deve aplicar essa metodologia para avaliar a acurácia de todo produto que se for gerar.

Como aspectos positivos destaca-se que o uso de RPA pode ser considerado para mapeamento urbano, sendo capaz de obter produtos com qualidade cartográfica aceitável para levantamentos cadastrais, permitindo a identificação nítida de edificações e estradas, além de possuir uma grande vantagem na economia de tempo (neste experimento o voo durou 14 minutos e gerou 273 fotografias, com resolução espacial de 3,96 cm) e após processamento gerar uma gama de informações cartográficas. Devido a área ser pequena fez-se apenas um voo sobre toda a área utilizando apenas uma bateria e a aeronave teve operação tranquila em campo onde executou o voo de maneira rápida sem nenhum problema. Os sinalizadores de

alvos construídos também mostraram-se satisfatórios tanto no tamanho que foram construídos quanto na visualização das cores no ortomosaico em ambientes de gramas, asfalto e cimentados.

Por outro lado, a RPA do tipo multirrotor PHANTOM 3 ADVANCED ainda enfrenta uma série de questões negativas, como os riscos de panes e quedas, a pequena autonomia do equipamento, o longo tempo de processamento dos dados (nesse experimento, foram gastas cerca de 6 horas de processamento para cada grupo de imagens) que envolvem também alto custo computacional.

Como recomendações para trabalhos futuros, têm-se:

- Executar o processamento das fotos utilizando outros softwares de processamento;
- Verificar o padrão de distribuição espacial das amostras através de técnicas de análises espaciais;
- Analisar escalas maiores e menores;
- Utilizar métodos da avaliação da acurácia posicional por feições lineares e áreas.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Execução de Levantamento Topográfico. **NBR 13.133**. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rede de Referência Cadastral Municipal. **NBR 14.166**. Rio de Janeiro, 1998, 23p..

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Convenções Topográficas para cartas e plantas cadastrais – Escalas 1:10.000, 1:5.000, 1:2.000, 1:1.000 – procedimento. **NBR 15.777**. Rio de Janeiro, 2009.

AMORIM, G. P. Confiabilidade de Rede GPS de Referência Cadastral Municipal - Estudo de Caso: Rede do Município de Vitória (ES). 174 f. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Transportes). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.
<https://doi.org/10.11606/D.18.2004.tde-26072005-181830>

AMORIM, A.; SOUZA, G. H. B.; R. R. DALAQUA. Uma metodologia alternativa para a otimização da entrada de dados em sistemas cadastrais. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 56, n. 01, 2004, p. 47-54.

ANAC. Regulamentação da ANAC sobre drones completa um ano em vigor. **Notícias**. Publicado em abr. 2018. Disponível em: < <http://www.anac.gov.br/noticias/regulamentacao-da-anac-sobre-drones-completa-um-ano-em-vigor>> Acesso em: 15 abr. 2018.

ANDRADE, J. B. Fotogrametria. Curitiba: **SBEE**, 1998. ISBN 8586180076.

ANTUNES, A. F. B.; HOLLATZ, R. C. V. Cadastro Técnico Multifinalitário de baixo custo utilizando VANT (veículo aéreo não tripulado). Curitiba: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1205.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2018.

AUSTIN, R. **Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment**. John Wiley & Sons, 2010. ISBN 9780470058190.
<https://doi.org/10.1002/9780470664797>

BEHNCK, L. P. **Controle de Missão de Voo de Veículo Aéreo Não-Tripulado**. 2014. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2014. URI: <http://hdl.handle.net/10183/105055>.

BOUABDALLAH, S.; MURRIERI, P.; SIEGWART, R.. Design and control of an indoor micro quadrotor. In: **Proceedings of International Conference on Robotics and Automation**, 2004. IEEE, 2004. p. 4393-4398.
<http://dx.doi.org/10.1109/ROBOT.2004.1302409>

BRASIL. Lei Nº 5.172, de 25 de outubro de 1966. Dispõe sobre o Sistema Tributário Nacional e institui normas gerais de direito tributário aplicáveis à União, Estados e Municípios. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1966.

BRASIL. Decreto-lei nº 1.177, de 21 de junho de 1971. Dispõe sobre aerolevantamentos no território nacional, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 1971.

BRASIL. Lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973. Dispõe sobre os registros públicos, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1973.

BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1979.

BRASIL. Decreto Nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1984.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. **Diário Oficial**, Brasília, 1988.

BRASIL. Decreto nº 2.278, de 17 de julho de 1997. Regulamenta o Decreto-Lei nº 1.177, de 21 de junho de 1971, que dispõe sobre aerolevantamentos no território nacional e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 1997.

BRASIL. Agência Nacional de Telecomunicações. **Resolução nº 242, de 30 de novembro de 2000**. Regulamento para Certificação e Homologação de Produtos para Telecomunicações. Diário Oficial, Brasília, 2000.

BRASIL. Lei Nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2001.

BRASIL. Decreto nº 6.666 de 27 de novembro de 2008. Institui, no âmbito do Poder Executivo Federal, a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2008.

BRASIL. Portaria Ministerial nº 511, de 07 de dezembro de 2009. Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros. Ministério das Cidades, Diário Oficial da União, 2009.

BRASIL. Especificação Técnica Para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV). Diretoria do Serviço Geográfico. Departamento de Ciência e Tecnologia do Exército Brasileiro. 2ª Edição. Brasília, 2011.

BRASIL. Ministério da Defesa. Portaria normativa nº 953 /MD, 16 de abril de 2014. Dispõe sobre a adoção de procedimentos para a atividade de aerolevante no território nacional, **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2014.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro. **ICA 100-40**. Rio de Janeiro, 2016a.

BRASIL. Normas da Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG). Diretoria de Serviço Geográfico. Departamento de Ciência e Tecnologia do Exército Brasileiro. 1ª Edição, Brasília, 2016b.

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil. **RBAC-E nº 94**. 2017a.

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. Emissão de certificado de autorização de voo experimental para aeronaves remotamente pilotadas. **IS nº E94.503-001A**. 2017b.

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. Autorização de projeto de sistema de aeronave remotamente pilotada – procedimentos gerais. **IS nº E94-001A**. 2017c.

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. Autorização de projeto de sistema de aeronave remotamente pilotada – requisitos técnicos. **IS nº E94-002A**. 2017d.

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. Procedimentos para elaboração e utilização de avaliação de risco operacional para operadores de aeronaves não tripuladas. **IS nº E94-003A**. 2017e.

BRASIL. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Aprova a reedição da Instrução do Comando da Aeronáutica que regulamenta os Serviços de Tráfego Aéreo. **ICA nº 100-37**. 2017f.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Aeronaves remotamente pilotadas para uso recreativo aeromodelos. **AIC N 17/18**. Rio de Janeiro, 2018a.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Aeronaves remotamente pilotadas para uso em proveito dos órgãos ligados aos governos federal, estadual ou municipal. **AIC N 23/18**. Rio de Janeiro, 2018b.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Aeronaves remotamente pilotadas para uso exclusivo em operações dos órgãos de segurança pública, da defesa civil e de fiscalização da receita federal. **AIC N 24/18**. Rio de Janeiro, 2018c.

CABRAL, C. R. Agrimensura e a espacialização dos títulos de propriedade para o registro de imóveis. 133 f. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. URI: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/176926>.

CARNEIRO, A. F. T.. Da cartografia cadastral. In: CUNHA, E. M. P.; ERBA, D.A. (organizadores). Diretrizes para a criação, instituição e atualização do cadastro territorial multifinalitário nos municípios brasileiros. Brasília: Ministério das Cidades, 2010. p. 49-64. ISBN: 9788579580185.

CASPARY, W. F. Concepts of network and deformation analysis. School of Surveying. University of New South Wales. Kensington, Australia. 1987. 183 p. ISBN 0858390442.

CFR. Title 14: Aeronautics and Space. Part 107: Small Unmanned Aircraft Systems. 2016. Disponível em: <<https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=a4cd2a53e7ad77ffd2b14d9f85cfabfc&mc=true&node=sp14.2.107.a&rgn=div6>>. Acesso em: 03 fev. 2018.

COELHO, L.; BRITO, J. N. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: Ed. UERJ, 2007. 196 p. ISBN 9788575111147.

DALMOLIN, Q. Ajustamento por mínimos quadrados. 2ª edição. Ed. UFPR. Curitiba. 175 p. 2004. ISBN: 8588783029.

DJI. PHANTOM 3 ADVANCED. Manual do Usuário. 2015. v. 1. 59 p.

EICK, V. The droning of the drones: the increasingly advanced technology of surveillance and control. Statewatch analysis, v. 12, n. 21/10, 2010. Disponível em:

<<http://www.statewatch.org/analyses/no-106-the-droning-of-drones.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

EISENBEISS, H. UAV Photogrametry. Zurich, University of Technology Dresden. Doctor of Sciences: 237 p. 2009. ISSN 0252-9335. Disponível: < http://www.igp-data.ethz.ch/berichte/blaue_Berichte_PDF/105.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2017.

EISENBEISS, H. The potential of unmanned aerial vehicles for mapping. In: **Photogrammetric Week'11**. Wichmann, 2011. p. 135-145. Disponível: <<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo11/140Eisenbeiss.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2017.

ELFES, A.; BUENO, S. S.; BERGERMAN, M.; RAMOS, J. J. G. Projeto AURORA: Development of na Automnomous Unmanned Remote Monitoring Robotic Airship. **Journal of the Brazilian Computer Society**. v. 4, n. 3, Campinas, 1998. ISSN 1678-4804. <https://doi.org/10.1590/S0104-65001998000100009>

ERBA, D.A. O Cadastro Territorial: passado, presente e futuro. In: ERBA, D.A.; OLIVEIRA, F.L.; LIMA JUNIOR, P. N (organizadores). Cadastro multifinalitário como instrumento de política fiscal e urbana. Rio de Janeiro. p. 15-40. 2005. ISBN: 859051711X.

ERBA, D. A. El catastro territorial em América Laina y el Caribe. Cambridge, MA: **Lincoln Institute of Land Policy**, 428 p. 2008. ISBN: 9788590670131. Disponível em: <<https://www.lincolninst.edu/sites/default/files/pubfiles/el-catastro-territorial-america-latina-full.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2017.

FAA. B4UFLY Mobile App. Agosto, 2017. Disponível em: <https://www.faa.gov/uas/where_to_fly/b4ufly/>. Acesso em: 02 fev. 2018.

FAA. FAA Begins Drone Airspace Authorization Expansion. Abril, 2018. Disponível em: <<https://www.faa.gov/news/updates/?newsId=90245>>. Acesso em: 22 mai. 2018.

FAN, H. Theory of errors and least squares adjustment, **Royal Institute of Technology** (KTH), Division of Geodesy and Geoinformatics, Stockholm (Sweden), Geodesy Report, ISBN: 9171702008, 2010.

FARIAS, A. R.; MINGOTE, R.; VALLE, L. B.; SPADOTTO, C.A.; LOVISI FILHO, E. Identificação, mapeamento e quantificação das áreas urbanas do Brasil. **Embrapa Gestão Territorial - Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, Campinas, SP, 2017. ISSN 2317-8787.

Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/176016/1/20170522-COT-4.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2017.

FIG. International Federation of Surveyors. **The FIG Statement on the Cadastre**. FIG Policy Statemente, 1995. ISBN 0-644-4533-1. Disponível

em:<<http://www.fig.net/resources/publications/figpub/pub11/figpub11.asp>>. Acesso em: 6 mar. 2018.

FONSECA NETO, F.de D.; GRIPP JÚNIOR, J.; BOTELHO, M. F.; SANTOS, A. de P. dos; NASCIMENTO, L. A.; FONSECA, A. L. B. Avaliação da qualidade posicional de dados espaciais gerados por VANT utilizando feições pontuais e lineares para aplicações cadastrais. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, p. 134-149, 2017. ISSN 1982-2170.

<https://doi.org/10.1590/s1982-21702017000100009>

GALLIS, R.B. A. G. Extração semiautomática da malha viária em imagens aéreas digitais de áreas rurais utilizando otimização por programação dinâmica no espaço objeto. 167 f. 2006. Tese (Doutorado em Ciências). Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, Presidente Prudente, 2006.

GALO, M.; CAMARGO, P.O. Utilização do GPS no controle da qualidade de carta. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis, p. 41-48, 1994. Disponível

em:<https://www.researchgate.net/publication/265208956_Utilizacao_do_GPS_no_controle_de_qualidade_de_cartas>. Acesso em: 6 ago. 2018.

GEMAEL, C. Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas. Curitiba: Editora UFPR, 1994. 319 p. ISBN: 8585132922.

GIBBONS, J. D.; CHAKRABORTI, S. Nonparametric statistical inference. Fourth edition, revised and expanded. 2003. 672 p. ISBN: 0824740521. Disponível em:

<<http://erecursos.uacj.mx/bitstream/handle/20.500.11961/2064/Gibbons%2C%202003.pdf?sequence=14&isAllowed=y>>. Acesso em: 13 ago. 2018.

GONÇALVES, G. A. **Detecção automática de alterações na cartografia cadastral com base em imagens de câmaras digitais**. 2006, 284 f. Tese (Doutor em Ciências Geodésicas). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. URI: <http://hdl.handle.net/1884/10825>.

GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. Adjustment computations: spatial data analysis. 4ª edição, Ed. John Wiley & Sons, Inc. Estados Unidos da América. 2006. ISBN: 0471697281.

<https://doi.org/10.1002/9780470121498>

HAIR JÚNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. *Análise Multivariada de Dados*. 6ª Edição, Ed. Bookman, 2009. ISBN 0130329290.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS*: IBGE, 2008. Rio de Janeiro, 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: síntese de indicadores 2014**, Rio de Janeiro, 102 p., 2015. ISBN 978-85-240-4365-9. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94935.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Agência IBGE Notícias**, Rio de Janeiro, 30 ago. 2017. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/16131-ibge-divulga-as-estimativas-populacionais-dos-municipios-para-2017>>. Acesso em: 07 jan. 2018.

ICAO. Annex 11 to the Convention on International Civil Aviation: Air Traffic Control Services: Flight Information Service, Alerting Service. 13 ed., 2001. Disponível em: <http://mid.gov.kz/images/stories/contents/an11_en.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2018.

ICAO. Annex 2 to the Convention on International Civil Aviation: Rules of the Air. 10 ed., 2005. Disponível em: <https://www.icao.int/Meetings/anconf12/Document%20Archive/an02_cons%5B1%5D.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2018.

ICAO. Doc.4444/ATM/501: Air Traffic Management: Procedures for Air Navigation Services. 15 ed., 2007. Disponível em: <<https://www.icao.int/EURNAT/Other%20Meetings%20Seminars%20and%20Workshops/FP L%202012%20ICAO%20EUR%20Region%20Plan/Documentation%20related%20to%20FP L%202012%20Amendment/Amendment%201%20Doc4444.EN.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2018.

INCRA. **Norma de Execução INCRA/DF/Nº 02 de 19 de fevereiro de 2018**. Estabelece critérios para aplicação e avaliação de produtos gerados a partir de aerofotogrametria para determinação de coordenadas de vértices definidores de limites de imóveis rurais em atendimento ao parágrafo 3º do artigo 176 da Lei Nº 6.015. Boletim de Serviços nº 08, 2018.

JENSEN, J. R. *Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. 2ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 604 p. ISBN: 9788560507061.

LOCH, C.; ERBA, D. A. *Cadastro técnico multifinalitário urbano e rural*. 2007. Cambridge, MA: **Lincoln Institute**. 142 p. ISBN 85- 906701-2-0. Disponível em:

<<https://www.lincolnst.edu/sites/default/files/pubfiles/cadastro-tecnico-multifinalitario-rural-e-urbano-full.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2017.

LUGNANI, J. B. Introdução à Fototriangulação. Universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR. 1987. 134 p.

MEDEIROS, F.A. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão**. 122f. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola). 2007. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS. URI: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/7584>.

MIKHAIL, E.; ACKERMAN, F. Observations and Least Squares. University Press of America, 1976, 497 p. ISBN: 0819123978.

MONICO, J. F. G.; DAL POZ, A. P.; GALO, M.; SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, L. C. Acurácia e Precisão: Revendo os Conceitos de Forma Acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**. Curitiba, v. 15, nº 03, p. 469-483, 2009. ISSN: 19822170.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. Applied Statistics and Probability for Engineers. 2002. ISBN: 0471204544. Disponível em: <<http://www.um.edu.ar/math/montgomery.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2018.

NERIS, L. O. **Um piloto automático para as aeronaves do projeto ARARA**. 113 f. 2001. Dissertação (Mestre em Ciências). São Carlos, SP. 2001.

NONAMI, K. Prospect and recent research and development for civil use autonomous unmanned aircraft as UAV and MAV. **Journal of System Design and Dynamics**. 2007. v. 1, p. 120–128.
<https://doi.org/10.1299/jsdd.1.120>

OKIDA, R.; LUIZ, S.; OLIVEIRA, C. G. Avaliação da precisão de orto-imagens Ikonos. In: XI SBSR. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003, Belo Horizonte, p. 285-292. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.11.14.34/doc/02_064.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2018.

PAULA, J. C. de. **Desenvolvimento de um VANT do tipo quadrirrotor para obtenção de imagens aéreas em alta definição**. 110 f. 2012. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. URI: <http://hdl.handle.net/1884/29886>.

PECHARROMÁN, J. M. P.; VEIGA, R. Estudo sobre a indústria brasileira e europeia de veículos aéreos não tripulados. Diálogos Setoriais União Europeia – Brasil. 2017. Disponível em:

<http://www.mdic.gov.br/images/publicacao_DRONES-20161130-20012017-web.pdf>.

Acesso em: 21 abr. 2018.

PEGORARO, A. J. **Estudo do potencial de um veículo aéreo não tripulado/quadrirrotor, como plataforma na obtenção de dados cadastrais**. 221 f. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC.

PELEGRINA, M. A.; CANAL, M. A.; JULIAO, R. P.; OBAL, K. K. Avaliação da qualidade geométrica de produtos cartográficos levantados por VANT aplicados ao cadastro predial em município de pequeno porte no Brasil. **I Seminário Internacional UAV**, Lisboa, 3-4 mar. 2016, p. 37-48. ISBN: 978-989-20-6726-1. URI: <http://hdl.handle.net/10362/37911>.

PHILIPS, J. Conceito de imóvel e parcela no cadastro georreferenciado. Boletim eletrônico do IRIB, Instituto de Registro Imobiliário do Brasil, BE 1883, 2005. Disponível em:

<<http://www.irib.org.br/boletins/detalhes/1941>>. Acesso em: 05 mar. 2018.

PHILIPS, J. Das disposições gerais. In: CUNHA, E. M. P.; ERBA, D.A. (organizadores). Diretrizes para a criação, instituição e atualização do cadastro territorial multifinalitário nos municípios brasileiros. Brasília: Ministério das Cidades, 2010. p. 15 - 30. ISBN: 9788579580185.

PRODABEL. BH em Pauta: Prefeitura é referência em geoprocessamento. 16 out. 2017. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/bh-em-pauta-prefeitura-e-referencia-em-geoprocessamento>>. Acesso em: 09 fev. 2018.

RAMOS, J.J.G.; BUENO, S.S. Uma proposta para uma rede de ensino, pesquisa e desenvolvimento em veículos robóticos aéreos. In: VII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI), 2007. Florianópolis, SC. **Anais...** VIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 2007. Disponível: <https://fei.edu.br/sbai/SBAI2007/docs/30907_1.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2017.

REDWEIK, P. Fotogrametria aérea. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia. Lisboa. v. 3, 2007.

RIJSDIJK, M.; VAN HINSBERGH, W.H.M.; WITTEVEEN, W.; TEN BUUREN, G.H.M.; SCHAKELAAR, G.A.; POPPING, G.; VAN PERSIE, M.; LADIGES, R. Unmanned Aerial Systems in the process of Juridical Verification of Cadastral Border. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XL-1/W2, 2013, Rostock, Germany. p. 325 - 331. Disponível em: <<https://www.int-arch-photogramm->

remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-1-W2/325/2013/isprsarchives-XL-1-W2-325-2013.pdf>
Acesso: 12 ago. 2017.

TELO, A.J. Reflexões sobre a revolução militar em curso. **Revista Nação e Defesa**. Instituto da Defesa Nacional. 2ª Série, nº103, 2002. Disponível:
<<https://core.ac.uk/download/pdf/62685799.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

TEMBA, P. **Fundamentos da Fotogrametria**. Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000. Disponível em:
<<http://csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/fotogrametria.pdf>>. Acesso em 14 jul. 2017.

TOMMASELLI, A.M.G. **Fotogrametria Básica**. 2009. Disponível em:
<http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/891/introducao_a_fotogrametria.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2017.

USDA; USDI. **Standards and Guidelines for Cadastral Surveys Using Global Positioning System Methods**. United States Department of Agriculture (USDA) Forest Service, United States Department of the Interior (USDI) Bureau of Land Management. Washington Office, 2001. Disponível em: <<https://www.blm.gov/sites/blm.gov/files/CadGPSstd.pdf>>. Acesso em 06 nov. 2017.

VOLKMANN, W.; BARNES, G. Virtual surveying: **Mapping and modeling cadastral boundaries using Unmanned Aerial Systems (UAS)**. In Proceedings of the FIG Congress: Engaging the Challenges - Enhancing the Relevance, Kuala Lumpur, Malaysia, 16-21 June 2014, p. 1-13. Disponível:
<http://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2014/papers/ts09a/TS09A_barnes_volkmann_7300.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2017.

WATTS, A.C.; PERRY, J.H.; SMITH, S.E.; BURGESS, M.A.; WILKINSON, B.E.; SZANTOI, Z.; IFJU, P.G.; PERCIVAL, H.F. Small unmanned aircraft systems for low-altitude aerial surveys. **Journal of Wildlife Management**, 74(7), 2010. ISSN: 1937-2817.
<https://doi.org/10.2193/2009-425>

WOLF, P. R.; DEWITT, B.A.; WILKINSON, B. E. Elements of photogrammetry with applications in GIS. 2014. United States of America: McGraw-Hill. 4ª Ed. ISBN: 9780071761123.

APÊNDICE A

Quadro 1 – 1ª Seção de Nivelamento.

Ponto Nivelado	Dist. Ré	Ré	Altura do Aparelho	Vante		Dist. Vante	Cota	Correç.	Cotas Compens.	
				Interm.	Mud.					
1	Base	58,78	1,1752	937,7501				0	936,57490	
	P15				1,5358		12,802	936,2143	-0,00015	936,21415
	P16					1,595	68,37	936,1551	-0,00015	936,15495
2	P16	45,53	1,5858	937,7409				936,1551		
	P17				1,6615		55,36	936,0794	-0,0003	936,07910
	P18				1,4602		79,7	936,2807	-0,0003	936,28040
	P19				1,4572		79,95	936,2837	-0,0003	936,28340
	P23				2,0037		24,89	935,7372	-0,0003	935,73690
	A1					1,606	51,48	936,1349	-0,0003	936,13460
3	A1	46,99	0,9965	937,1314				936,1349		
	P22				1,0992		79,5	936,0322	-0,00045	936,03175
	P21				1,0785		63,12	936,0529	-0,00045	936,05245
	P20				0,823		71,01	936,3084	-0,00045	936,30795
	P31					1,8922	47,97	935,2392	-0,00045	935,23875
4	P31	48,02	0,7778	936,017				935,2392		
	P35					2,06	60,88	933,957	-0,0006	933,95640
5	P35	71,78	2,3948	936,3518				933,957		
	A2					1,7877	59,65	934,5641	-0,00075	934,56335
6	A2	32,85	1,3323	935,8964				934,5641		
	P52					1,605	25,86	934,2914	-0,0009	934,29050
7	P52	29,29	2,0028	936,2942				934,2914		
	P51				1,532		20,39	934,7622	-0,00105	934,76115
	A3					0,7632	54,42	935,531	-0,00105	935,52995
8	A3	25,93	1,8212	937,3522				935,531		
	P49				2,2925		51,56	935,0597	-0,0012	935,05850
	P12				1,6712		31,31	935,681	-0,0012	935,67980
	P13				2,0158		77,36	935,3364	-0,0012	935,33520
	P11					1,527	27,01	935,8252	-0,0012	935,82400
9	P11	33,19	1,3795	937,2047				935,8252		
	P10				1,208		13,46	935,9967	-0,00135	935,99535
	P09					0,7688	44,16	936,4359	-0,00135	936,43455
10	P09	28,25	1,3527	937,7886				936,4359		
	P08				1,3197		16,375	936,4689	-0,0015	936,46740
	Base					1,2122	40,1	936,5764	-0,0015	936,57490

e = 1,5 mm;
t = 12 mm $\sqrt{0,90051} = 11,38742$ mm.

Fonte: A autora.

Quadro 2 – 2ª Seção de Nivelamento.

Ponto Nivelado	Dist.	Ré	Vante		Dist.	Desníveis		Correções	Cotas
	Ré		Interm.	Mud.	Vante	+	-		
RN	28,37	0,9477							935,37900
A1	36,88	1,8897		2,1922	69,2		-1,2445	0,0002333333	934,13473
A2	64,05	1,6863		2,0412	74,16		-0,1515	0,0002333333	933,98347
A3	59,69	1,5057		0,9102	59,96	0,7761		0,0002333333	934,75980
A4	61,13	1,5533		0,8773	60,86	0,6284		0,0002333333	935,38843
P04			1,0748		36,51	0,4785		0,0002333333	935,86717
P05	48,44	1,5426		0,9437	66,22	0,1311			935,99827
P06			1,3262		11,435	0,2164		0,0002333333	936,21490
P07			1,1042		29,81	0,222			936,43690
Base				0,9662	77,85	0,138			936,57490

e = 1,4 mm;
t = 12 mm $\sqrt{0,70681} = 10,08863$ mm.

Fonte: A autora.

Quadro 3 – 3ª Seção de Nivelamento.

Ponto Nivelado	Dist.	Ré	Vante		Dist.	Desníveis		Correções	Cotas
	Ré		Interm.	Mud.	Vante	+	-		
Base	62,31	1,198							936,57490
P39			1,2695		32,41		-0,0715		936,50340
P38			1,546		5,506		-0,2765		936,22690
P37			1,274		16,87	0,272			936,49890
P27			1,7248		52,32		-0,4508		936,04810
B	29,24	1,5048		1,9477	60,49		-0,2229	0,000483333	935,82568
P34			1,6908		60,36		-0,186		935,63968
P36			0,8742		47,2	0,8166			936,45628
P26			1,1362		31,95		-0,262		936,19428
P25			1,57		44,85		-0,4338		935,76048
P24	66,05	1,5745		1,6168	58,89		-0,0468	0,000483333	935,71417
P28			1,2392		38,22	0,3353			936,04947
P29			1,3402		7,88		-0,101		935,94847
P30			1,349		30,1		-0,0088		935,93967
P31				2,0504	49,18		-0,7014	0,000483333	935,23875

e = 1,45 mm;
t = 12 mm $\sqrt{0,32616} = 6,85156$ mm.

Fonte: A autora.

Quadro 4 – 4ª Seção de Nivelamento

Ponto Nivelado	Dist.	Ré	Vante		Dist.	Desníveis		Correções	Cotas
	Ré		Interm.	Mud.	Vante	+	-		
P31	69,8	1,9702							935,23875
P32			1,242		15,662	0,7282		0,00025	935,96720
P33			1,2505		21,2		-0,0085		935,95870
P35				3,2528	41,47		-2,0023		933,95640

e = 0,25 mm;
t = 12 mm $\sqrt{0,11127} = 4,00286$ mm.

Fonte: A autora.

Quadro 5 – 5ª Seção de Nivelamento

Ponto Nivelado	Dist.	Ré	Vante		Dist.	Desníveis		Correções	Cotas
	Ré		Interm.	Mud.	Vante	+	-		
B	65,65	1,9374							935,82568
P44			2,0695		15,735		-0,1321	0,00066	935,69424
P43			1,259		22,96	0,8105			936,50474
P42			1,3515		36,42		-0,0925		936,41224
P41			1,3857		52,74		-0,0342		936,37804
P45			1,088		49,84	0,2977			936,67574
P46			1,1052		54,65		-0,0172		936,65854
P47			1,1289		72,25		-0,0237		936,63484
P48			1,152		79,07		-0,0231		936,61174
P40	14,934	1,4749		1,2807	69,21		-0,1287		936,48304
Base				1,3837	28,22	0,0912		0,00066	936,57490

e = 1,32 mm;
t = 12 mm $\sqrt{0,178014} = 5,06300$ mm.

Fonte: A autora.

Quadro 6 – 6ª Seção de Nivelamento

Ponto Nivelado	Dist.	Ré	Vante		Dist.	Desníveis		Correções	Cotas
	Ré		Interm.	Mud.	Vante	+	-		
P05	60,95	1,012							935,99827
A1	45,88	1,998		1,9006	38,2		-0,8886	0,0003575	935,11003
P03			0,968		55,33	1,03			936,14003
P01			1,1785		78,4		-0,2105		935,92953
A2	65,14	1,835		2,048	61,87		-0,8695	0,0003575	935,06039
P02			1,9855		46,62		-0,1505		934,90989
A3	22,07	1,086		0,7655	69,84	1,22		0,0003575	936,13024
P14			1,886		74,78		-0,8		935,33024
P50			2,166		77,71		-0,28		935,05024
P08				0,7492	24,33	1,4168		0,0003575	936,46740

e = 1,43 mm;
t = 12 mm $\sqrt{0,38828} = 7,47745$ mm.

Fonte: A autora.