UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA

IGOR FELIPE FREIRE QUEIROZ

ANÁLISE DE VALIDAÇÃO DE AEROLEVANTAMENTO COM RPA ATRAVÉS DE LEVANTAMENTO NTRIP EM PERÍMETRO URBANO DOS BAIRROS TABULEIRO DO MARTINS E SANTA LÚCIA, MACEIÓ-AL

Recife
2021

IGOR FELIPE FREIRE QUEIROZ

ANÁLISE DE VALIDAÇÃO DE AEROLEVANTAMENTO COM RPA ATRAVÉS DE LEVANTAMENTO NTRIP EM PERÍMETRO URBANO DOS BAIRROS TABULEIRO DO MARTINS E SANTA LÚCIA, MACEIÓ-AL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica e Agrimensura.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler.

Recife

2021

Catalogação na fonte:
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

Q3a Queiroz, Igor Felipe Freire.
Análise de validação de aerolevantamento com RPA através de levantamento NTRIP em perímetro urbano dos Bairros Tabuleiro do Martins e Santa Lúcia, Maceió-AL / Igor Felipe Freire Queiroz. – 2021.
73 f.: il., figs., tabs., e abrev.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, 2021.
Inclui referências e anexos.

1. Engenharia cartográfica. 2. RPA. 3. NTRIP. 4. MDT. 5. Altimetria. I. Schuler, Carlos Alberto Borba (Orientador). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.) BCTG/2022-269

IGOR FELIPE FREIRE QUEIROZ

ANÁLISE DE VALIDAÇÃO DE AEROLEVANTAMENTO COM RPA ATRAVÉS DE LEVANTAMENTO NTRIP EM PERÍMETRO URBANO DOS BAIRROS TABULEIRO DO MARTINS E SANTA LÚCIA, MACEIÓ-AL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica e Agrimensura.

Aprovado em: 07/05/2021.

BANCA EXAMINADORA

_____
Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Prof. MSc. José Antônio Cavalcante Cerqueira (Examinador Externo)
Universidade Federal de Alagoas

_____
Profa. MSc. Betânia Queiroz da Silva (Examinador Externo)
Centro Universitário dos Guararapes

Dedico este trabalho aos meus avós, Maria Madalena e José Freire, aos quais sou eternamente grato.

AGRADECIMENTOS

Não poderia apresentar esse trabalho de conclusão de curso sem mencionar as pessoas que me auxiliaram durante essa jornada, dentre as quais agradeço, pois sem elas esse trabalho não seria possível.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler, por acreditar em mim ao me aceitar como seu orientando, por prestar suporte sempre que necessário e pelo seu encorajamento constante.

A C4 Engenharia, pela disponibilização e concessão dos dados necessários para a pesquisa realizada neste trabalho.

Aos meus avós, Maria Madalena e José Freire, por serem as pessoas que mais me incentivaram em todos os aspectos da minha vida, a todo o amor que dedicam a mim e por ensinarem todos os valores que me fazem quem sou.

Aos meus pais, Debora Gorett e Rorenilson José, que sempre estiveram presentes nessa jornada, me ajudando e apoiando de todas as maneiras imagináveis e inimagináveis.

A Minha namorada, Camila Ribeiro, pessoa que está sempre ao meu lado, que me apoia e que divide todos momentos ao meu lado. Sem seu apoio esse trabalho não seria possível.

Aos meus mentores de estagio, Rodrigo Azevedo, Leonardo Venturini, Elifalitu Angelo, pelo acolhimento, amizade e ensinamentos transmitidos.

Aos meus amigos de curso, Suelder Oliveira, Wallamys Venancio, Rafael Ferreira, Reinelo Kavetskei, Lucian Pierre, Sabrina Gomes, Laisa Barreto, Gildo Amancio, Camila Alves, Eveliny Matias, Camila Souza e Fernando Lourenço os quais compartilharam momentos e experiências que fizeram essa jornada valer a pena.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE, por todo aprendizado e dedicação.

RESUMO

A utilização de RPAs para elaboração de bases planialtimétricas em territórios urbanos é um recurso com diversas aplicações, o maior desafio é atingir uma exatidão posicional compatível para o produto final na escala desejada. Está avaliação é classificada pela PEC-PCD, que visa atender as normativas da INDE. Este trabalho apresenta o desenvolvimento e análise de qualidade posicional de produtos cartográficos gerados por aerolevantamento com RPAs, em relação a levantamentos planialtimétricos executados por receptores GNSS RTK/NTRIP, visando comparar os resultados obtidos e relatar a viabilidade da utilização de tais produtos. O trabalho foi realizado em uma área de aproximadamente 403,82 ha localizada entre os bairros de Tabuleiro do Martins e Santa Lúcia, região administrativa 7 (sete) da cidade de Maceió, do estado de Alagoas. O estudo foi dividido em duas partes: a primeira consiste da análise planialtimétrica direta PEC-PCD da área total, denominada no estudo de área 1, e de uma análise mais aprofundada da altimetria de uma porção menor da área total, denominada no estudo de área 2, a segunda parte do estudo realizou a validação do aerolevantamento através da comparação de pontos cotados levantados por receptores GNSS RTK/NTRIP e o MDT final gerado pelo aerolevantamento. Os padrões dos produtos obtidos pelo método de aerolevantamento por RPA provaram-se satisfatórios ao SNC em atendimento a ET-CQDG, sendo aprovados pelos testes de tendência de t-Student, precisão Qui-quadrado e teste direto PEC-PCD, atingindo Classe A na escala 1:1000 e assim comprovando a empregabilidade do método.

Palavras-chave: RPA; NTRIP; MDT; altimetria.

ABSTRACT

The use of RPA's for the elaboration of planialtimetric bases in urban territories is a resource with several applications, the biggest challenge is to achieve a positional accuracy compatible to the final product on the desired scale. This evaluation is classified by the PEC-PCD, which aims to meet the regulations from INDE. This work presents the development and analysis of positional quality of cartographic products generated by aerial survey with RPA's in relation to planialtimetric surveys performed by GNSS RTK / NTRIP receivers, aiming to compare the results and report the feasibility of using such products. The study was conducted in an area of approximately 403.82 hectares located between the districts of Tabuleiro do Martins and Santa Lúcia, administrative region seven (7) of the city of Maceió, State of Alagoas. The study was divided into two parts, the first consisting of the PEC-PCD direct planialtimetric analysis of the total area, referred in the study as area 1, and a more in-depth analysis of the altimetry of a smaller portion of the total area, refered in the study as area 2: the second part of the study carried out the validation of the aerial survey by comparing rated points surveyed by GNSS RTK / NTRIP receivers and the final DTM generated by the aerial survey. The product standards reached by the RPA aerial survey method proved satisfactory to the SNC in compliance with ET-CQDG, being approved by the t-Student trend tests, Chi-square precision and direct PEC-PCD test reaching Class A on the 1:1000 scale proving the employability of the method.

Keywords: RPA; NTRIP; DTM; altimetry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Procedimentos para mapeamento aéreo e seu processamento.....22
Figura 2 - Componentes NTRIP.....26
Figura 3 - Localização das áreas de estudo, 2021.....33
Figura 4 - Caracterização das áreas de estudo sobre ortomosaico. 35
Figura 5 - Metodologia aplicada no trabalho 36
Figura 6 - Planejamento de voo pelo software *Drone Deploy* 4.11. 37
Figura 7 - Modelo Digital de Elevação da área 2.....39
Figura 8 - Distribuição dos pontos de controle e pontos de qualidade 42
Figura 9 - Modelo Digital do Terreno da área 2.....45
Figura 10 - Distribuição dos pontos na área 2 para verificação altimétrica 46
Figura 11 - Análise planimetria para o PEC-PCD através do *software* GeoPEC 3.5 para área 1.....53
Figura 12 - Análise altimétrica para o PEC-PCD através do software GeoPEC 3.5 para área 1.....53
Figura 13 - Análise de precisão, tendencia e acurácia pelo software GeoPEC 3.5 para área 2.....58
Figura 14 - Análise da altimetria para o PEC-PCD através do software GeoPEC 3.5 para área 2.....59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos RPAs segundo a carga eventualmente transportada .19
Quadro 2 - Resumo da Regulamentação da ANAC para o uso de RPA 20
Quadro 3 - Padrão de Exatidão Cartográfica da Planimetria dos Produtos Cartográficos Digitais 30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coordenadas dos pontos para as análises planialtimétricas da área 1....43
Tabela 2 - Coordenadas dos pontos para análise da altimetria da área 2 47
Tabela 3 - Discrepâncias e erros máximos calculados dos pontos utilizados para análise planimétrica para o aerolevantamento com RPA para área 1....50
Tabela 4 - Análise de aceitação para o Erro Médio Quadrático pelo Erro Padrão planimétrico para área 1.....51
Tabela 5 - Discrepâncias dos erros máximos calculados nos pontos utilizados para análise altimétrica para o aerolevantamento com RPA para área 1.....51
Tabela 6 - Análise de aceitação para o Erro Médio Quadrático pelo Erro Padrão altimétrico para área 1.....52
Tabela 7 - Indicadores para os testes estatísticos entre os levantamentos com RPA e RTK para área 2. 54
Tabela 8 - Teste t-*Student* para altimetria para área 2. 54
Tabela 9 - Teste Qui-quadrado para altimetria para área 2. 55
Tabela 10 - Discrepâncias e erros máximos calculados dos pontos utilizados na análise altimétrica para a área 2. 56
Tabela 11 - Análise de aceitação para o Erro Médio Quadrático pelo Erro Padrão altimétrico para área 2.....57

LISTA DE ABREVIATURAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
BVLOS	Beyond Visual Line of Site
CINDACTA	Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
EP	Erro Padrão
EM	Erro Máximo
EQM	Erro Quadrático Médio
ET-ADGV	Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais
ET-CQDG	Especificação Técnica para Controle da Qualidade de Dados Geoespaciais
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSD	Ground Sample Distance
GSM	Global System for Mobile Communications 2G
ICA	Instituto de Cartografia Aeronáutica
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo digital de Superfície
MDT	Modelo Digital do Terreno
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
PEC-PCD	Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais
RGB	Red - Green - Blue
RPA	Remotely-Piloted Aircraft
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
RTK	Real Time Kinematic
SCN	Sistema Cartográfico Nacional

SRPV-SP	Serviço Regional de Proteção ao Voo de São Paulo
UHF	Ultra High Frequency
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VHF	Very High Frequency
VLOS	Visual Line Of Sight

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
2 OBJETIVOS 17
2.1 OBJETIVO GERAL 17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 17
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 18
3.1 AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA) 18
3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RPAS 18
3.3 LEGISLAÇÃO PARA UTILIZAÇÃO COMERCIAL DE RPA NO BRASIL 19
3.4 MAPEAMENTO AÉREO COM RPA PARA AQUISIÇÃO DE DADOS 22
3.5 POSICIONAMENTO RELATIVO CINEMÁTICO EM TEMPO REAL – RTK 24
3.5.1 Sistema NTRIP em Levantamentos RTK 24
3.6 CONTROLE DE QUALIDADE POSICIONAL 26
3.6.1 Análise de Tendência – Teste t-*Student* 27
3.6.2 Análise da Precisão - Qui Quadrado 28
3.6.3 Padrão de Exatidão Cartográfica 29
4 MATERIAL E MÉTODOS 32
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 32
4.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO 36
4.2.1 Coleta dos Dados 36
4.2.2 Realização do Aerolevantamento com RPA 37
4.2.3 Processamento das imagens 38
4.2.4 Aquisição dos dados do levantamento geodésico por RTK 40
4.2.5 Estruturação dos dados 40
4.2.6 Análise estatística 41
4.2.7 Avaliação da qualidade dos produtos 48
5 RESULTADOS 49
5.1 ANÁLISE ÁREA 1 49
5.1.1 Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) 49
5.2 ANÁLISE ÁREA 2 54
5.2.1 Teste de Tendência 54

5.2.2 Teste Qui-Quadrado 55
5.2.3 Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) 55
6 CONCLUSÃO 60
REFERÊNCIAS 61
ANEXO A – RELATÓRIO DE SAÍDA DO *SOFTWARE* GEOPEC COM OS PROCESSAMENTO ESTATÍSTICOS REFERENTE A ÁREA 2 64
ANEXO B – RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO DO AEROLEVANTAMENTO DO RPA REFERENTE A ÁREA 1 67

1 INTRODUÇÃO

A produção de uma base cartográfica oriunda de aerolevantamento por RPA Aeronaves Remotamente Pilotadas (do inglês, *Remotely Piloted Aircraft*) e por Fotogrametria Clássica tem diversas aplicações para o uso de mapeamento, mineração, planejamento urbano, gerenciamento de infraestruturas, monitoramento de desastres e emergências, monitoramento ambiental, entre outros.

Atualmente os voos com RPA são utilizados de uma forma sistematizada, voltada para atender com celeridade as necessidades da confecção de uma cartografia precisa e de qualidade, principalmente pelo seu baixo custo de execução comparado com a Fotogrametria Clássica. (FERREIRA, *et al.,* 2013).

O principal desafio da Fotogrametria Clássica e do RPA é possuir uma exatidão posicional compatível ou esperada para um produto cartográfico em uma determinada escala. Assim, o processo de aquisição deve gerar uma geometria com exatidão posicional igual, ou superior, à do produto cartográfico final.

De modo igual, temos o uso das técnicas convencionais de Topografia, com a utilização de estações totais e níveis digitais ou óticos, a fim de se obter o contorno, posição relativa e tamanho de uma porção de superfície terrestre, desconsiderando a curvatura a Terra. É inquestionável o nível de acurácia e exatidão posicional que a Topografia oferece, assim, a substituição desses métodos ainda deixa alguns com certo receio.

É evidente que a modernização das constelações de satélites utilizados no sistema global de posicionamento, o GNSS (*Global Navigation Datellite System*), e de técnicas de posicionamento geodésico melhoraram a precisão e proporcionaram novas aplicações. A utilização do RTK (*Real Time Kinematic*) para a realização de levantamentos em que a topografia convencional é mais aplicada, torna-se uma grande alternativa para trabalhos que precisão ser realizados em curto períodos de tempo.

A técnica de posicionamento RTK tem suas correções dos sinais dos satélites GNSS transmitidas em tempo real, composto por dois receptores que possuem link de comunicação, onde o receptor que faz a função de estação base transmite e recebe correções e/ou observações de uma estação de referência (MONICO, 2008). As correções são transmitidas via rádio UHF ou VHF, mas é possível utilizar transmissões de dados para aplicação RTK via internet e funcionamento sem fio

(wireless) através de telefones celulares ou modem GPRS. Esse método de levantamento é comumente chamado de técnica de posicionamento RTK via protocolo NTRIP (Networked Transport of RTCM via internet Protocol). (COSTA, *et. al*., 2008)

Nos dias atuais as demandas por trabalhos em que os produtos sejam realizados em curtos períodos de tempo, seja na sua execução ou no seu processamento, conduzem a ter uma busca por tecnologias que moldem esse mercado. Visando isso, esse trabalho pretende analisar a exatidão posicional e as suas discrepâncias entre os dados obtidos de RPA com dados de levantamento planialtimétrico executado por meio de receptadores GNSS RTK/NTRIP.

O desenvolvimento desse projeto consiste na utilização de imagens aéreas obtidas por RPA, onde foi realizado o planejamento, execução e processamento do voo, apoiados com levantamento de pontos de controle e qualidade para georreferenciamento dos ortomosaicos, utilizando rastreio GNSS RTK e levantamento planialtimétrico cadastral por técnica RTK/NTRIP, da área do bairro Tabuleiro do Martins e Santa Lúcia, município de Maceió, do Estado de Alagoas.

As análises dos valores estatísticos foram feitas tomando como referência o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), extraídos da Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG). Estes valores são propostos para os produtos digitais produzidos após a publicação da ET-CQDG e complementam os estabelecidos para produtos impressos, no Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Além dos testes para controle de qualidade posicional, tais como: teste de tendência utilizando o teste t-*Student* e teste de precisão com o auxílio do teste Qui-quadrado.

2 OBJETIVOS

Apresentam-se aqui os objetivos desta pesquisa, divididos em objetivo geral e objetivos específicos, abaixo descritos.

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a qualidade posicional de métodos de mapeamento por aerolevantamento por RPA através de comparação com levantamento planialtimétrico executado por meio de receptadores GNSS RTK/NTRIP, buscando avaliar a viabilidade de utilização dos produtos obtidos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar o processamento das imagens obtidas pelo aerolevantamento por RPA;
- Determinar os pontos de controle e pontos de qualidades por levantamento geodésico GNSS -RTK;
- Classificar de acordo com o Decreto lei 89.817, que define o Padrão de Exatidão Cartográfico para Produtos Cartográficos Digitais (PEC- PCD);
- Realizar testes estatísticos para análise posicional, como teste de tendência e teste de precisão, utilizando o t-*Student* e Qui-quadrado, respectivamente.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nessa seção será apresentada a base teórica dos temas desenvolvidos no trabalho de conclusão de curso, assim como, os conceitos principais utilizados no estudo.

3.1 AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA)

Segundo a ANAC (2017) (Agência Nacional de Aviação Civil), as Aeronaves Remotamente Pilotas (RPA) são uma subcategoria de Veículos Aéreo Não Tripulado (VANT), onde o piloto não está a bordo, mas controla remotamente o equipamento por uma interface externa, tendo a sua utilização de modo não recreativo, seja para pesquisa, militar ou comercial.

3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RPAS

Os RPAs comumente usados na área das Geociências são os de asa fixa e o de asa rotativa ou multirotor, que possuem basicamente a mesma estrutura física, incluindo sistemas eletrônicos de controle do voo, fonte de energia, sistemas de rádio, telemetria, sistema de propulsão, GPS e o sensor (RGB, multiespectral, termais, hiperespectrais ou laser) (BACELOS, 2017). Desse modo pode-se categorizar:

- Asa Fixa: apresenta uma estrutura estática de asas análogo a de um avião, que utiliza o fluxo de ar para a sua sustentação no ar. As características fundamentais são uma melhor estabilidade em ventos fortes, realiza o mapeamento de grandes áreas em um único ciclo de bateria. Por outro lado, possui suas desvantagens ou dificuldades, requerem áreas grandes e abertas para pouso e decolagem, maior custo de compra, requer uma maior capacitação técnica para sua pilotagem, e são pouco compactos.

- Asa rotativa: possui uma estrutura composta de braços com motores elétricos nas pontas, que se assemelha a um helicóptero. Suas principais característica e vantagens são a facilidade de pilotagem, menor custo de compra, mais

compacto, não precisar de um lugar especifico para pouso e para decolagem. Em contrapartida eles possuem limitações para mapeamento de grandes áreas, pois não possuem grande autonomia de suas baterias, e problemas de estabilidade quando exposto a ambientes que possuem muito vento.

3.3 LEGISLAÇÃO PARA UTILIZAÇÃO COMERCIAL DE RPA NO BRASIL

No Brasil, o uso do drone para fins comerciais e recreativos, faz-se a exigência da homologação do equipamento em três órgãos: ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) e o DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo). São destacados a seguir a obrigatoriedades dos equipamentos de cada órgão (ANAC, 2021).

- ANAC: A agência Nacional de Aviação Civil possui uma série de regras para o manuseio de RPA em solo nacional, para isso é realizada uma classificação do equipamento pela sua carga eventualmente transportada, apresentando no Quadro 1. (ANAC, 2016)

Quadro 1 - Classificação dos RPAs segundo a carga eventualmente transportada

Classes	**Carga eventualmente transportada**
Classe 1	Peso de decolagem maior que 150 kg
Classe 2	Peso máximo de decolagem maior que 25 kg e até 150 kg.
Classe 3	Peso máximo de decolagem de até 25 kg

Fonte: ANAC (2016)

A orientação para os usuários de RPAs seguem as normativas da ANAC:

- Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94/2017:
- Instrução Suplementar E94.503-001A
- Instrução Suplementar E94-001B
- Instrução Suplementar E94-002A
- Instrução Suplementar E94-003A

Para exemplificar o Quadro 2 a seguir mostra de forma simplificada a regulamenta da ANAC para uso do RPA.

Quadro 2 - Resumo da Regulamentação da ANAC para o uso de RPA

Resumo da Regulamentação da ANAC			
	RPA Classe 1	**RPA Classe 2**	**RPA Classe 3**
Registro da aeronave?	Sim	Sim	BVLOS: Sim VLOS: Sim [1]
Aprovação ou autoriza-ção do projeto?	Sim	Sim	Apenas BVLOS ou acima de 400 pés [2]
Limite de idade para operação?	Sim	Sim	Sim
Certificado médico?	Sim	Sim	Não
Licença e habilitação?	Sim	Sim	Apenas para opera-ções acima de 400 pés
Local de operação	A distância da aeronave não tripulada NÃO poderá ser inferior a 30 metros horizontais de pessoas não envolvidas e não anuentes com a operação. O limite de 30 metros não precisa ser observado caso haja uma barreira mecânica suficientemente forte para isolar e proteger as pessoas não envolvidas e não anuentes. Esse limite não é aplicável para operações por órgão de segurança pública, de polícia, de fiscalização tributária e aduaneira, de combate a vetores de transmissão de doenças, de defesa civil		

Fonte: Modificado de ANAC (2016)

- ANATEL: a homologação do equipamento no órgão visa ter o seu registro para que o mesmo não entre em conflitos com outras frequências, pois possuem transmissores de radiofrequência em seus controles, podendo haver interferência com outros dispositivos aéreos. (ANATEL, 2021)

Para a ANATEL as orientações para os usuários de RPA seguem na lista a baixo:

  - Resolução nº 715, de 23 de outubro de 2019 - Regulamento de Avaliação da Conformidade e de Homologação de Produtos para Telecomunicações
  - Resolução nº 680, de 27 de junho de 2017 - Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita
  - Resolução nº 635, de 9 de maio de 2014 - Regulamento sobre Autorização de Uso Temporário de Radiofrequências

- DECEA: responsável pelo espaço aéreo, qualquer objeto que se desprenda do solo e seja capaz de se sustentar na atmosfera, precisa de autorização para o voo. Essa autorização é feita a partir de órgãos ligados ao DECEA, que dependem da localização da área a ser sobrevoada, pois são divididos por regionais. Os órgãos são o CINDACTA (Centros Integrados de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo) em todo o território brasileiro e o SRPV-SP (Serviço Regional de Proteção ao Voo de São Paulo) que é responsável exclusivamente pelo uso do espaço aéreo entre os terminais aéreos do Rio de Janeiro e São Paulo. (FAB, 2020).

  As instruções que orientam o uso do RPA no espaço aéreo brasileiro:

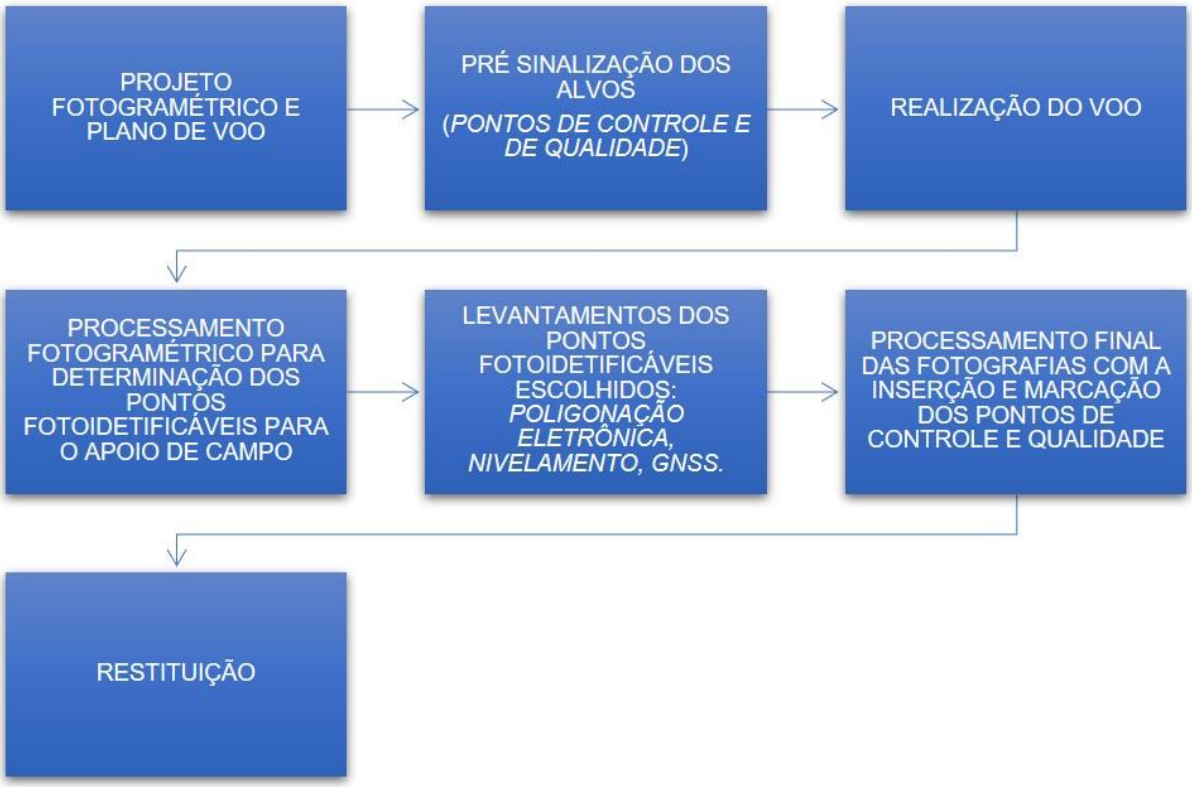
  - ICA 100-40 - Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro
  - ICA 100-12 - Regras do Ar
  - ICA 100-37 - Serviços de Tráfego Aéreo

3.4 MAPEAMENTO AÉREO COM RPA PARA AQUISIÇÃO DE DADOS

O mapeamento com RPA segue a mesma dinâmica que um mapeamento aerofotogramétrico convencional, diferenciando apenas no equipamento que executa a tomada das fotografias.

Segundo Tormmaselli (2009), as etapas para mais comuns para um mapeamento aéreo são mostradas na Figura 1.

Figura 1 - Procedimentos para mapeamento aéreo e seu processamento



Fonte: Adaptado de Tommaselli (2009)

- Plano de Voo: a elaboração do plano de voo visa definir a melhor geometria de recobrimento aéreo de tal forma que permita o completo recobrimento da área a ser levantada. Podemos assim classificá-las em três processos principais:
    - Estudo dos polígonos das áreas de interesse, onde as faixas e direções do voo contemplem toda a região do levantamento.

- Compreensão geral da área para decidir os parâmetros que vão atender as especificações do mapeamento, tais com: escala da foto, dimensão da foto, distância focal da câmera, recobrimento lateral e longitudinal, altura do voo, ângulo de cobertura, velocidade da aeronave ou RPA, densidade dos pontos.

- Pré-sinalização dos alvos: Os alvos, normalmente em forma de cruzeta, terão suas coordenadas centrais rastreadas utilizando equipamentos GNSS e são distribuídos na área em locais visíveis nas fotos para geoferrenciamento das imagens na etapa de processamento de dados 1. Normalmente para otimização de trabalho, tanto em campo quanto em processamento em escritório, nessa fase também são coletados os pontos fotoidentificáveis, para obtenção dos pontos de controle e ponto de qualidade caso a área assim permita. Em levantamentos urbanos essa pratica é bastante comum, pois a geometria urbana facilita no reconhecimento nas fotografias.

- Realização do voo: a fase do voo é basicamente constituída pela tomada das imagens na área previamente planejada, sendo as mesmas capturadas pelo sensor embarcado na aeronave/RPA. As fotografias são tomadas de modo sequencial levando em consideração o recobrimento lateral e longitudinal para que toda a área a ser mapeada seja sobrevoada corretamente.

- Processamento de Dados: O processamento das fotografias utiliza de softwares específicos em que se correlaciona as coordenadas da imagem com as coordenadas do terreno. Consiste basicamente em operações matemáticas dos dados, onde as imagens são transformadas para melhorar a sua qualidade espectral e espacial.

- Determinação de pontos fotoidentificáveis: os pontos de apoio são classificados em pontos de qualidade e pontos de amarração. Esses pontos são utilizados para aumentar a acuraria posicional do mapeamento aéreo, onde se relaciona o sistema de coordenadas das fotografias com o do terreno. Segue a mesma metodologia dos alvos pré sinalizados, utilizando receptores GNSS para obtenção de suas coordenadas com alto nível de precisão. Sendo os pontos de amarração utilizados no processamento do

bloco fotogramétrico, e os pontos de qualidade, são pontos de verificação, eles não são inseridos no processamento.

- Processamento final ou Aerotriangulação: Com a determinação dos pontos de apoio é realizado um novo processamento para aumentar a acurácia posicional para que qualquer ponto sobre a imagens possua uma coordenada que comparada ao dado em campo tenha o mesmo valor.

- Restituição: É a última etapa de um mapeamento aéreo, onde objetiva a interpretação das feições de modo a compor os produtos cartográficos.

3.5 POSICIONAMENTO RELATIVO CINEMÁTICO EM TEMPO REAL – RTK

O método de posicionamento cinemático em tempo real, do inglês Real *Time Kinematic* (RTK) permite a coleta de dados simultaneamente ao levantamento, onde as correções dos dados e correções obtidas de sinais de satélites são realizadas instantaneamente, através de uma estação móvel que é conectada via rádio, ou outra forma de transmissão, a uma estação de referência. (MONICO, 2008).

Segundo Monico (2008) um dos empecilhos para o uso do RTK é o *link* de rádio utilizado na transferência das correções. Pois as frequências utilizadas, VHF (Very High Frequency) ou UHF (Ultra High Frequency) limita, na sua grande maioria, o uso em distâncias superiores a 4,3 km da estação de referência. A precisão esperada para essa técnica é da ordem de centímetros.

3.5.1 Sistema NTRIP em Levantamentos RTK

Segundo Weber, *et al*. (2005), a Comissão Técnica de Rádio para Serviços Marítimos Comitê Especial 104 (RTCM SC-104), em setembro de 2004, estabeleceu junto a fabricantes de receptores GNSS um protocolo para *streaming* para distribuir dados GNSS continuamente via Internet.

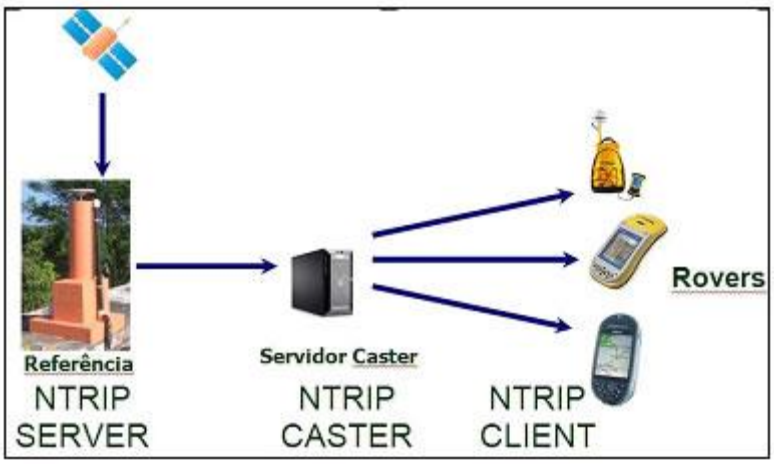
Segundo Costa *et al*. (2008), os serviços de internet desenvolvimentos pelas empresas de telefonia celular como: 3G, GSM (Groupe Special Mobile), GPRS (General Packet Radio Services) foram um grande propulsor para o avanço dessa

técnica que hoje em dia, com o progresso das gerações de redes móveis (4G e 5G) é uma alternativa bastante atraente.

O NTRIP é divido em 3 segmentos (Figura 2): NTRIP Server, NTRIP Caster e NTRIP Client. Segue a classificação:

- NTRIP Server: O NTRIP Server é o aplicativo que cria um canal de transferência de dados entre o receptor GNSS instalado em uma estação de referência e o NTRIP Caster;
- NTRIP Caster: NTRIP Caster é o distribuidor dos dados RTCM pela Internet para os usuários. Ele é um aplicativo que preferencialmente deve ficar instalado em um servidor do Centro de Controle de dados de uma Rede de Referência, como por exemplo, a RBMC. O Caster tem uma tecnologia similar à das estações de rádio na Internet, onde existe um programa musical e milhares de ouvintes que podem se sintonizar. Neste Caster convergem várias estações de referência e cada uma delas tem um nome identificador denominado de mountpoint. No Caster existe uma Tabela (sourcetable) com todos os mountpoints que chegam nele e as suas respectivas configurações e informações. A responsabilidade do Caster além da distribuição das correções GNSS é verificar a qualidade e integridade dos dados recebidos e a autenticação dos usuários através de login e senha de acesso.
- NTRIP Client: Este é um aplicativo que se instala em um computador LAPTOP, PDA ou celular, que esteja conectado a um receptor *rover* para que este possa ter as correções transmitidas pelo Caster. O acesso as correções são realizadas selecionando no NTRIP client um dos *mountpoins* que estão na tabela do NTRIP Caster. A ligação entre o LAPTOP, PDA e celular, e o receptor *rover* pode ser de várias formas: via Bluetooth, portas USB e serial. A comunicação entre LAPTOP, PDA e celular com o CASTER é realizada através de GSM, GPRS ou modem 3G. O receptor *rover* poderá ser um navegador, rastreando somente código, o qual receberá correções DGPS ou um receptor de simples ou dupla freqüência, o qual receberá correções RTK. Em alguns casos o receptor *rover* já consegue acessar o Caster diretamente sem a necessidade de um computador ou PDA, funcionando como Client. (Costa *et al*., 2008).

Figura 2 - Componentes NTRIP



Fonte: Costa et. al. (2008)

3.6 CONTROLE DE QUALIDADE POSICIONAL

A qualidade posicional de dados espaciais é primordial para os produtos cartográficos, por esse motivo a acurácia posicional é realizada quando os valores tridimensionais são submetidos a análises estatísticas, que a partir de um conjunto de dados de referência são confrontados nos eixos x, y e z, obtendo-se discrepâncias posicionais, de forma a classificar em um método ou produto mais acurado. (SILVA, 2014).

No Brasil, o controle da qualidade posicional de dados espaciais é feito a partir do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) definido no Decreto-Lei nº 89.1984 de junho de 1984 (BRASIL, 1984), que classifica e regulamenta os produtos cartográficos quanto à sua acurácia posicional. Aliado ao Decreto-Lei n° 89.817 também são estabelecidas Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Brasileira, através de padrões e processos considerados no país para avaliação dos produtos cartográficos digitais.

Segundo Merchant (1982), os dados de posicionamento para produtos cartográficos devem ser submetidos a testes de análise de precisão e acurácia em duas fases, de modo a se ter uma acurácia três vezes melhor que o valor de referência.

Para este trabalho, foram realizadas as análises de qualidade posicional aplicando-se testes estatísticos, tais como: teste direto pelo PEC-PCD, teste

tendência, utilizando a distribuição t-*Student* (verificação de presença de erros sistemáticos), teste de precisão, pela distribuição Qui-quadrado.

Em Nogueira Junior (2003) são apresentados os testes que serão descritos a seguir.

3.6.1 Análise de Tendência – Teste t-*Student*

O teste t-*Student* é baseado em análises estatísticas das discrepâncias entre as coordenadas de referência (X_i) e as coordenadas ($\mathrm{X_i^c}$), calculada para cada ponto i por:

$$\Delta X_i = X_i - X_i^c \tag{1}$$

A média ($\overline{\Delta \mathrm{X}}$), bem como a variância ($S_{\Delta X}^2$) das discrepâncias amostrais, podem ser calculadas, respectivamente por:

$$\overline{\Delta \mathrm{X}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \Delta X_i \tag{2}$$

$$S_{\Delta X}^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n} (\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2 \tag{3}$$

Onde n é o tamanho da amostra.

Para a realização do teste de tendência, assume-se as seguintes hipóteses:

$H_0 = \overline{\Delta \mathrm{X}} = 0$, contra (4)

$H_i = \overline{\Delta \mathrm{X}} \neq 0$ (5)

Posteriormente é calculado a estatística amostral “t” e verifica-se se o valor de “t” amostral está no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula. O valor de “t” amostral é obtido a partir de:

$$\mathrm{t}_x = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta X}} \sqrt{n} \tag{6}$$

Onde o intervalo de confiança relativo ao teste t-*Student* é dado por:

$$|t_x| < t_{(n-1,\frac{\alpha}{2})} \quad (7)$$

Ou seja, se o módulo do valor calculado para a estatística t for menor que o valor de t tabelado, com n − 1 graus de liberdade e nível de significância α, usualmente 0.09 ou 90%, aceita-se a hipótese nula de que o produto pode ser considerado como livre de tendências significativas. Quando a estatística T amostral não satisfazer a desigualdade, rejeita-se a hipótese nula, ou seja, o produto não pode ser considerado como livre de tendências significativas para um determinado nível de significância. (NOGUEIRA JUNIOR, 2003).

A existência de tendência em certa direção mostra que o produto cartográfico possui alguma falha, podendo ter várias origens. Quando o teste de tendencia é realizado podem ser identificados e corrigidos. (GALO e CAMARGO, 1994).

3.6.2 Análise da Precisão - Qui Quadrado

A análise da precisão é realizada através da comparação entre o desvio padrão das discrepâncias com o Erro Padrão (EP) especificado pelo PEC-PCD esperado para a carta na classe que se deseja testar. O teste de hipótese a ser formulado é o seguinte:

$H_0 = S^2_{\Delta X} = \sigma^2_x$, contra (8)

$H_i = S^2_{\Delta X} > \sigma^2_x$ (9)

Onde σ^2_x corresponde ao desvio padrão ou erro padrão esperado para a componente da coordenada testada (X, Y ou Z). Considerando o valor da resultante como sendo EP, e assumindo ser igual cada uma de suas componentes testada, tem-se:

$$\sigma_x = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad (10)$$

Posteriormente é a aplicação do teste de Qui-quadrado amostral:

$$X_x^2 = (n-1)\frac{S_{\Delta X}^2}{\sigma_x^2} \quad (11)$$

A hipótese nula é aceita se o valor calculado através da expressão (2.13) satisfaz a seguinte condição:

$$X_x^2 \leq X_{(n-1,\alpha)}^2 \quad (12)$$

Caso a expressão anterior não seja atendida, ou seja, se o valor de Qui-quadrado calculado for maior que o valor de Qui-quadrado tabelado para *n* − 1 graus de liberdade a um intervalo de confiança α, então rejeita-se a hipótese nula de que a carta atende a precisão preestabelecida.

3.6.3 Padrão de Exatidão Cartográfica

O Decreto n° 89.817 de 20 de junho estabelece Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia do país, que se destinam a estabelecer procedimentos e padrões mínimos a serem adotados no desenvolvimento das atividades cartográficas. Os padrões estabelecidos para acurácia posicional são clamados de PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica). (BRASIL, 1894).

Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos. A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro Padrão - PEC. O Erro-Padrão isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica, utilizando parâmetros nos quais são categorizados em diferentes classes. (BRASIL, 1894).

Como o avanço das geotecnologias a ET-ADGV estabeleceu uma revisão dos padrões estabelecidos no Decreto n° 89.817, onde foi ampliado a atender produtos cartográficos digitais denominador do PEC-PCD, em que 90% dos pontos coletados no produto cartográfico em relação as coordenadas dos pontos homólogos de referência para validação posicional. Assim os pontos devem ser enquadrados, as discrepâncias entre as coordenadas dos pontos homólogos devem resultar em valores iguais ou inferiores de erro máximo (EM) e de erro padrão (EP) previstos

para cada produto. (BRASIL, 2016). No Quadro 3 são apresentados o erro máximo e o erro padrão em escalas grandes de nível cadastral.

Quadro 3 - Padrão de Exatidão Cartográfica da Planimetria dos Produtos Cartográficos Digitais

Tipo	PEC	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000	
		EM	EP	EM	EP	EM	EP	EM	EP
Planimetria	A	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70
	B	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,00	3,00
	C	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,00	5,00
	D	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00
Altimetria	A	0,27	0,17	0,27	0,17	0,54	0,34	1,35	0,84
	B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,67	2,50	1,67
	C	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00
	D	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50

Fonte: ET-CQDG (2016) modificado de DSG (2011)

Os procedimentos para os cálculos do PEC-PCD planimétricas são realizados pela análise das discrepâncias entre as coordenadas de referência (sufixo “r”) e as coordenadas testadas (sufixo “t”), calculada para cada ponto i por:

$$e_{xi} = x_{ti} - x_{ri} \tag{13}$$

$$e_{yi} = y_{ti} - y_{ri} \tag{14}$$

Em seguida é calculado a componente horizontal e_{Hi} dos erros para cada ponto “i” da amostra:

$$e_{Hi} = \sqrt{{e_{xi}}^2 + {e_{yi}}^2} \tag{15}$$

Posteriormente é calculado o erro médio quadrático dos erros das amostras:

$$EMQ_H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} e_{Hi}^2}{n}} \tag{16}$$

Os cálculos para a componente altimétrica seguem o basicamente o mesmo procedimento mostrado anteriormente. São realizados pela análise das discrepâncias entre as coordenadas de referência (sufixo “r”) e as coordenadas testadas (sufixo “t”), calculada para cada ponto i por:

$$e_{zi} = z_{ti} - z_{ri} \quad (17)$$

Em seguida é calculado o erro médio quadrático dos erros das amostras:

$$EMQ_Z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} e_{Zi}^2}{n}} \quad (18)$$

A primeira análise é comparar cada valor de e_{Hi} e e_{Zi} com o erro máximo admissível (EM) da tabela PEC-PCD para cada classe. O produto se enquadra onde tiver pelo menos 90% de pontos com erro inferior ao EM. Se nenhum valor for correspondente o resultado será “não conforme” e encerra-se a medida. (BRASIL, 2016).

Já a segunda análise consiste em comparar o valor de EMQ_H e EMQ_Z com o erro-padrão da tabela PEC-PCD para a classe identificada na primeira análise. Se for menor, o resultado é a classe encontrada anteriormente. Se for maior, caminha-se na tabela PEC-PCD até encontrar um valor menor ou, caso não seja encontrado, a medida resulta “não conforme”. (BRASIL, 2016).

4 MATERIAL E MÉTODOS

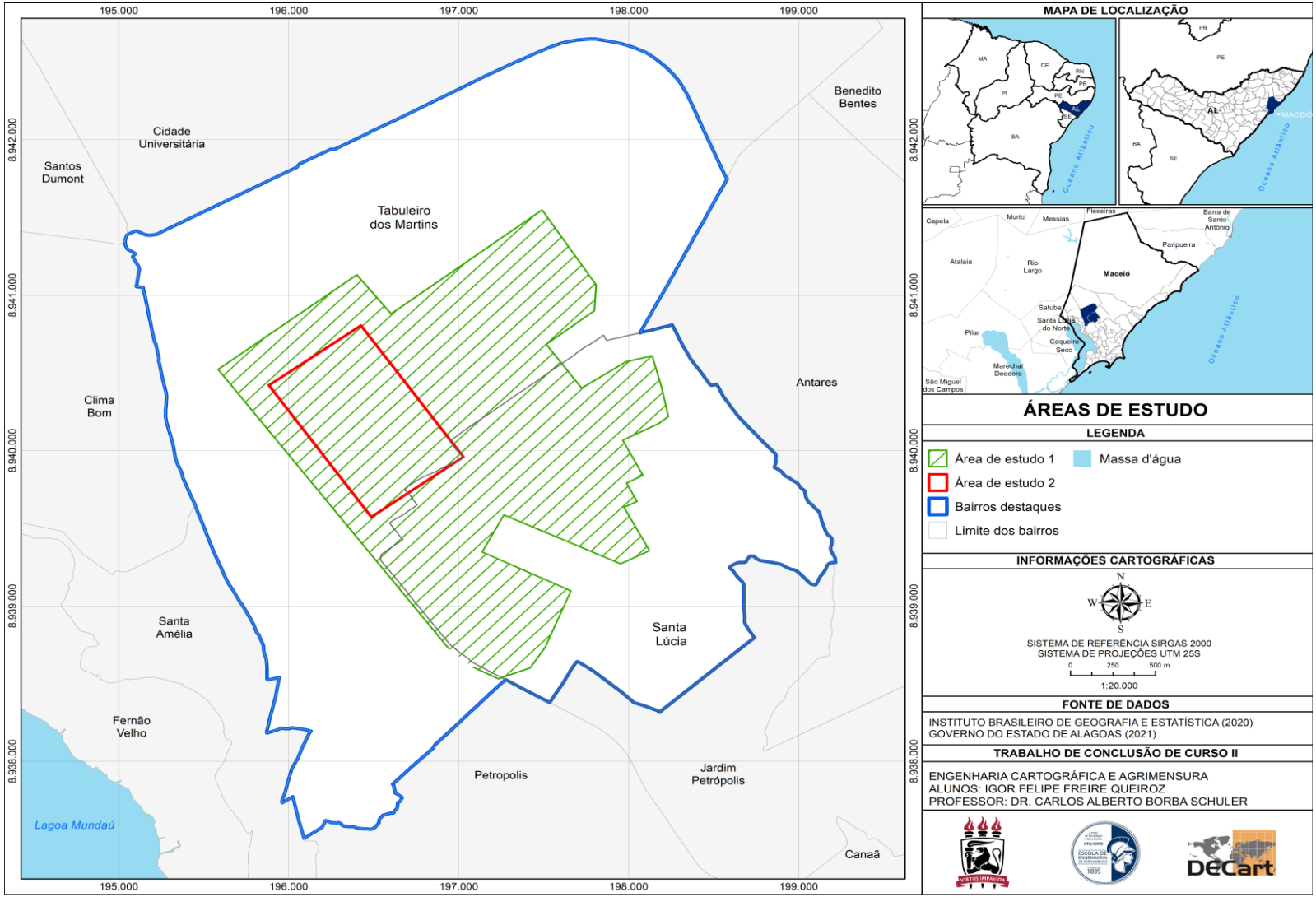
Essa seção tem como objetivo demonstrar a metodologia utilizada para realização do trabalho, assim como, os procedimentos de aquisição e processamentos de dados

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde a 403,82 ha, delimitada entre as coordenadas do sistema de representação SIRGAS 2000 e sistema de projeção UTM, Fuso 25S: N 8.941.551 m, E 195.580 m (referente ao canto superior esquerda) e Fuso 25S, N 8.938.528 m, E 198.282 m (referente ao canto inferior direito), localizada entre os bairros de Tabuleiro de Martins e Santa Lúcia, região administrativa 7 (sete) da cidade de Maceió, do estado de Alagoas.

Para execução do trabalho foram utilizados um levantamento aerofotogramétrico realizado com RPA e um levantamento planialtimétrico cadastral de feições urbanas executado através de irradiação utilizando metodologia GNSS RTK via protocolo NTRIP. A área de estudo foi dividida em área 1 e área 2, sendo que a primeira empregou todo o aerolevantamento para as observações planialtimétricas, e a segunda área, correspondente a cerca de 69,15 ha, foi utilizada para realização de testes altimétricos mais detalhados. Na Figura 3, são apresentadas as áreas de estudo, bem como suas respectivas localizações.

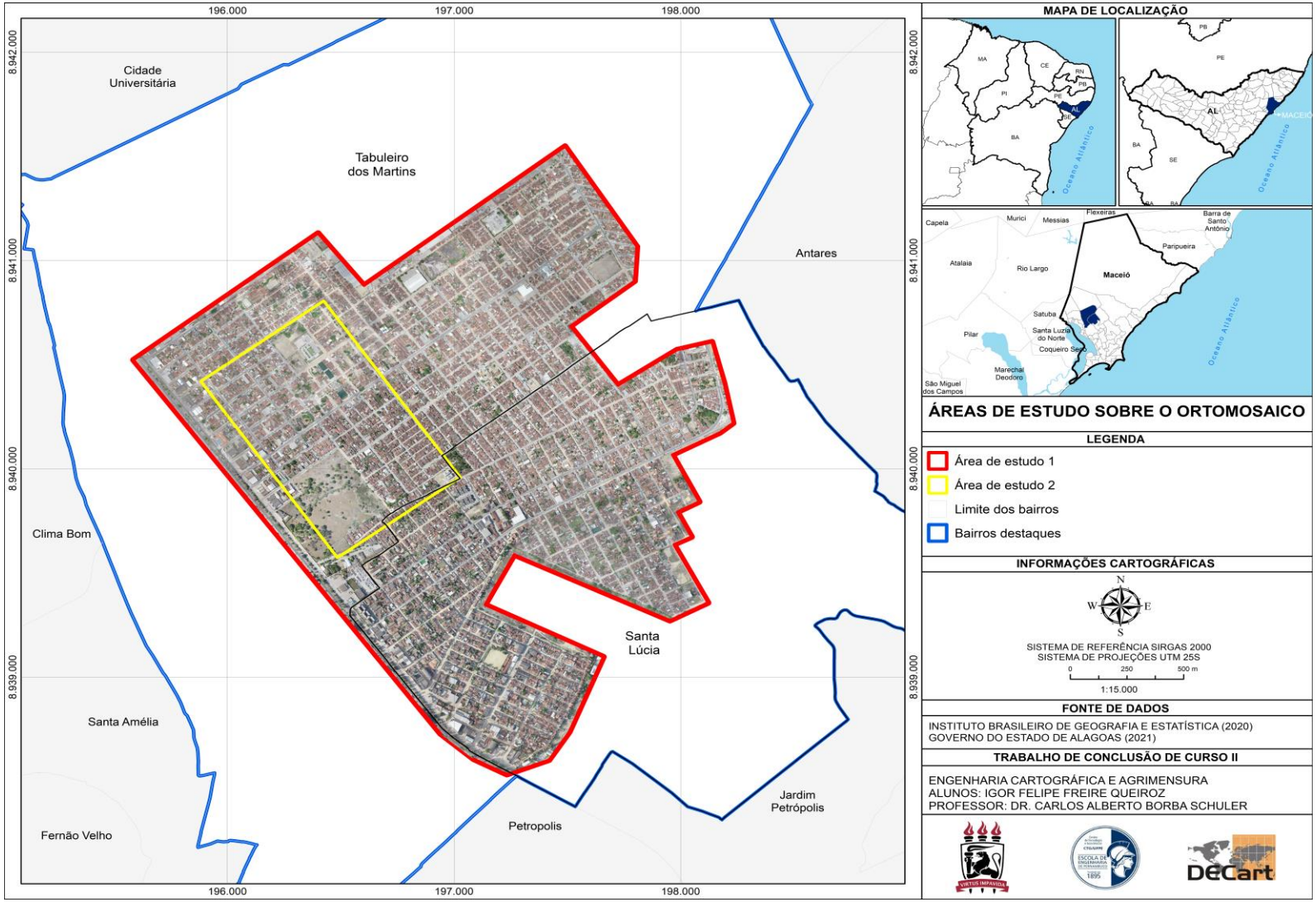
Figura 3 - Localização das áreas de estudo, 2021



Fonte: O autor (2021).

A região escolhida para realização do trabalho tem uma superfície de terreno predominantemente plana, pouca cobertura vegetal, pequenas áreas de solo exposto, com predominância de edificações. (Figura 4).

Figura 4 - Caracterização das áreas de estudo sobre ortomosaico.

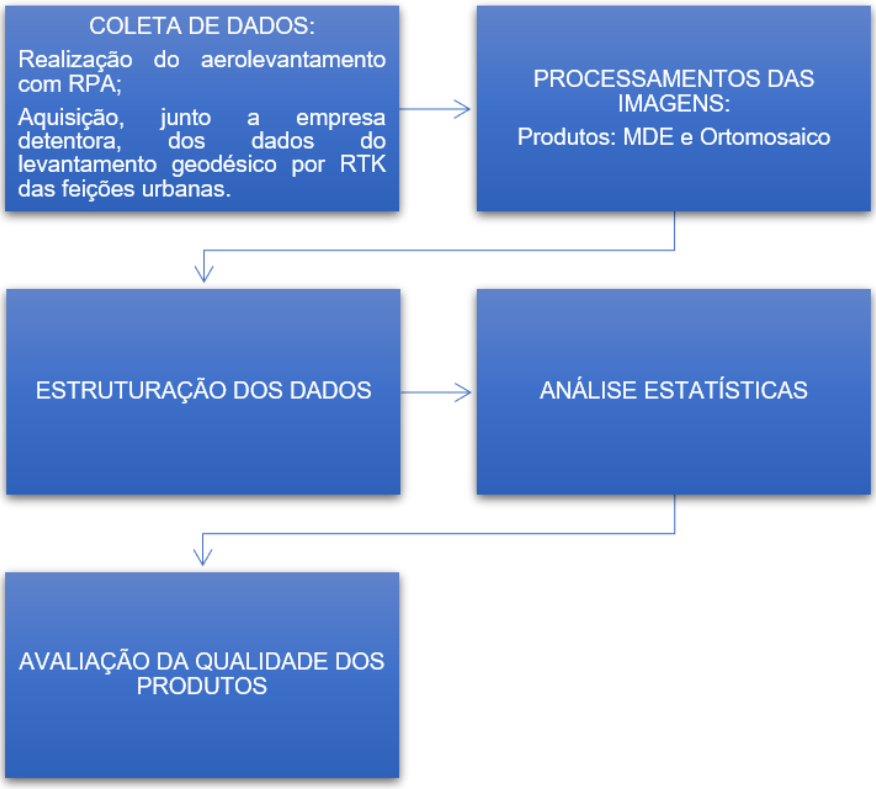


Fonte: O autor (2021).

4.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A metodologia aplicada nesse trabalho se desenvolveu na aplicação de análises estatísticas para verificação posicional entre os produtos gerados por aerolevantamento com RPA e o levantamento geodésico com RTK utilizando o protocolo NTRIP de feições que caracterizam o espaço urbano, apoiado em normativa adotada no país. A Figura 5 apresenta os procedimentos metodológicos empregados.

Figura 5 - Metodologia aplicada no trabalho



Fonte: O autor (2021).

4.2.1 Coleta dos Dados

Os dados para realização do trabalho foram obtidos através da realização de aerolevantamento com RPA, executado pela empresa C4 Engenharia em conjunto com o autor. A aquisição de levantamento geodésico planialtimétrico cadastral

executado com a técnica de GNSS RTK, foi desempenhado pela empresa C4 Engenharia, que cedeu os dados para serem utilizados nesse estudo.

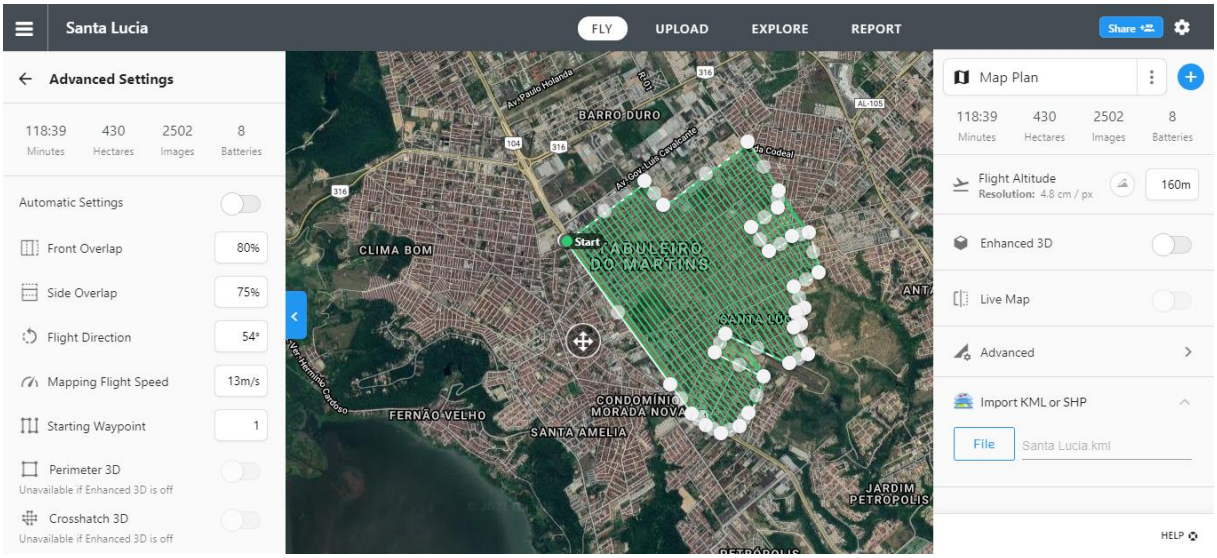
4.2.2 Realização do Aerolevantamento com RPA

O aerolevantamento foi realizado nos dias 25 e 26 de janeiro de 2020, nos bairros Tabuleiro do Martins e Santa Lúcia, localizados no município de Maceió, no estado de Alagoas. Consistiram na etapa inicial o reconhecimento da área e apontamento, marcação e rastreio dos pontos fotoidentificáveis, cerca de 27 pontos para atender a área. Em seguida foi executado o mapeamento aéreo.

O equipamento utilizado para captura das imagens foi o RPA *Phantom 4 Pro*, desenvolvido pela empresa DJI, que possui o sensor CMOS (C*omplementary Metal-Oxide Semiconductor)*, com câmera de 20 MP.

Para execução do aerolevantamento o equipamento, de forma autônoma, segue um plano de voo já estabelecido previamente com a utilização do software *Drone Deploy* 4.11, para sobrevoar uma área de 403,82 ha foram obtidas 2.564 imagens, com altitude média planejada de 160 m, sobreposição frontal de 80%, sobreposição lateral de 75% e GSD (*Ground sample distance*) de 4,84 cm (Figura 6).

Figura 6 **-** Planejamento de voo pelo software *Drone Deploy* 4.11.



Fonte: *Drone Deploy* (2020).

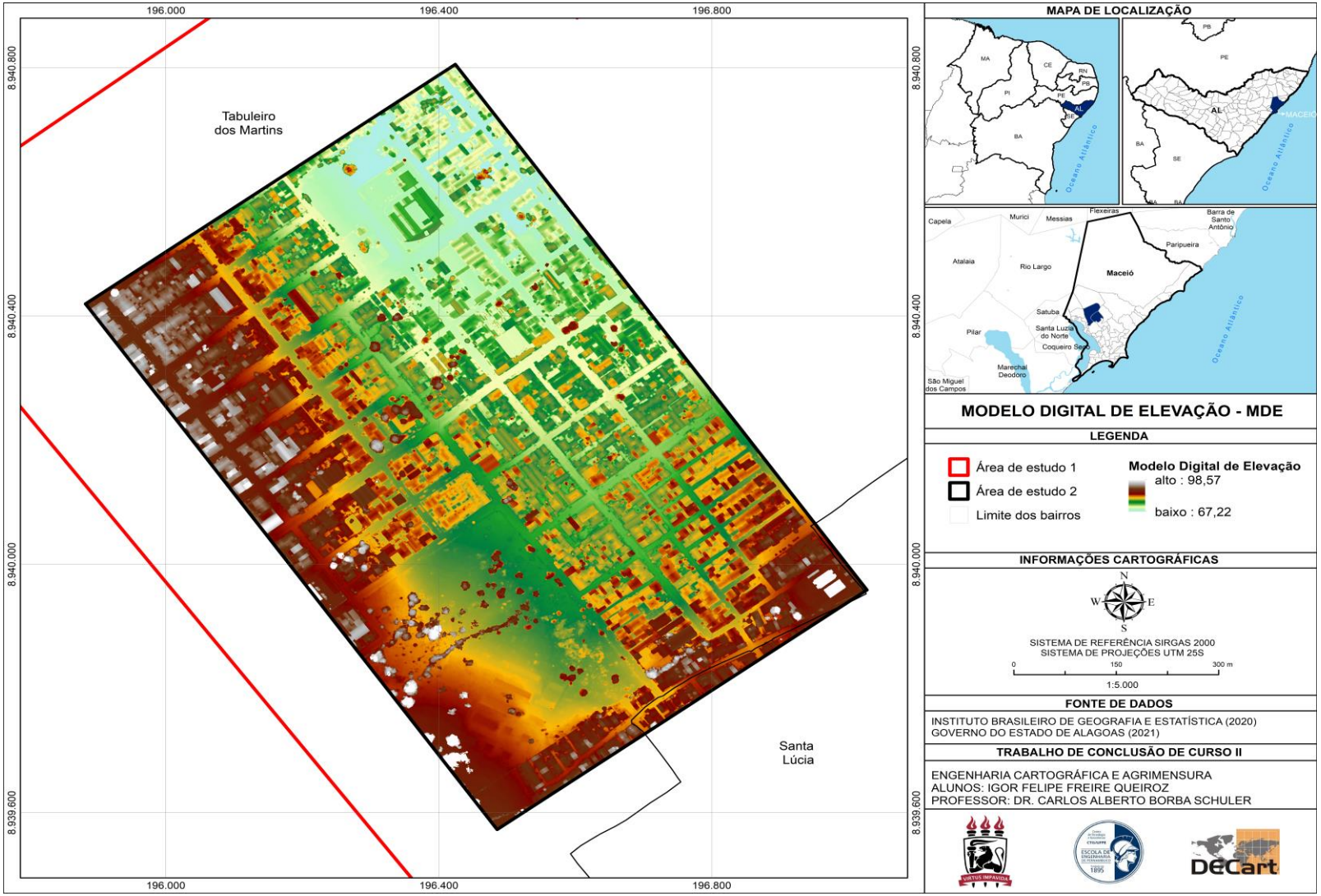
Os pontos de apoio, após planejamento de sua espacialização, estando principalmente em locais abertos e planos para um melhor contraste com o branco das marcações dos pontos, tiveram suas coordenadas determinadas por meio do rastreio GNSS RTK via protocolo NTRIP. Assim os pontos pré-sinalizados proporcionaram uma melhor precisão no modelo de fototriangulação a ser produzido.

Como já é conhecido, os pontos de apoio são divididos em pontos de controle e pontos de qualidade. Ponto de controle são os pontos utilizados para fazer a correção entre o sistema de coordenadas da imagem com o do terreno. Ponto de qualidade são os pontos que aferem a qualidade do mapeamento. Esses pontos servem para determinar o erro posicional entre o mapeado e o real. Para o trabalho foram utilizados 21 pontos de controle e 6 pontos de qualidade.

4.2.3 Processamento das imagens

Para essa etapa do trabalho foi utilizado o *software Photoscan* da *Agisoft* com licença teste de 30 dias gratuitos, onde foi realizado todo o processamento das imagens. Inicializado com “alinhamento das fotografias”, processo equivalente a fototriangulação da Fotogrametria Tradicional. Em seguida foram inseridos os pontos de controle e pontos de qualidade, medidos em campo por receptores GNSS utilizando a técnica RTK via protocolo NTRIP. Finalizado esse passo foram gerados sequencialmente a nuvem densa (nuvem de pontos tridimensionais densificados a partir da nuvem inicial obtida no alinhamento das fotografias), o MDE (Modelo Digital de Elevação) (Figura 7) e por fim é realizada a ortorretificação das fotografias gerando o mosaico ortorretificado.

Figura 7 - Modelo Digital de Elevação da área 2



Fonte: O autor (2021).

4.2.4 Aquisição dos dados do levantamento geodésico por RTK

O levantamento geodésico por RTK realizado pela empresa C4 Engenharia tinha como finalidade a coleta de dados planialtimétricos cadastrais de feições e elementos urbanos tais como:

- Sistema viário, como: cruzamentos, tipo de pavimentação (terreno natural, asfalto, paralelepípedo, etc.), meio fio, eixo do logradouro, etc.
- Equipamentos de acesso, como: rampas, escadas, etc.;
- Elementos urbanos, como: sinalização, luminárias, postes, divisa de lotes, muros, etc.;
- Dispositivos de drenagem, como: tubulações, bocas-de-lobo, bueiros, caixas coletoras, pontos de verificação, etc.;

E como produto final foi confeccionado uma planta digital em formato .dwg com todas as feições desenhadas.

4.2.5 Estruturação dos dados

No *software Photoscan* da *Agisoft* foi realizada a classificação inicial da nuvem densa de pontos, utilizando filtros automáticos e manuais para “limpeza” de objetos acima do terreno como árvores e edificações, e assim gerar um MDT (Modelo Digital do Terreno) da área 1.

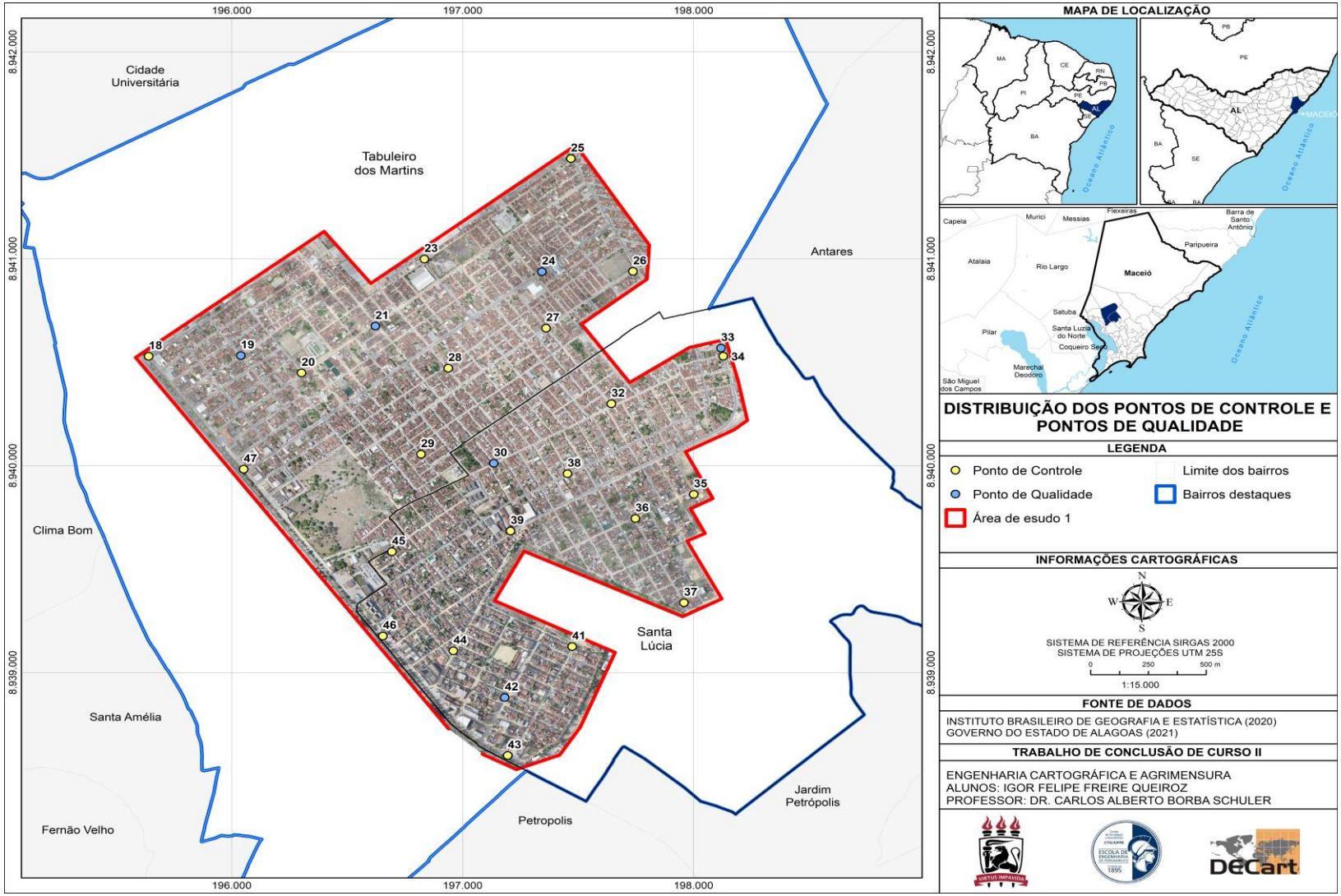
Para a organização dos dados e garantir a veracidade dos mesmos, utilizando o *software Arcgis*, com licença teste de 30 dias gratuitos, foi executada a extração de uma malha de pontos regular com espaçamento de 2 m do MDT gerado com os pontos classificados no *software Photoscan*, para que fosse feita uma segunda filtragem manualmente, a fim de ter um maior controle dos dados, e gerar um novo MDT. Após esses processos de compatibilização dos dados, pode-se comparar a altimetria dos pontos dos distintos levantamentos.

4.2.6 Análise estatística

Como já apresentado anteriormente foram analisadas duas áreas, a primeira para verificação da planialtimetria de toda a região sobrevoada pelo RPA (área 1) e um recorte do aerolevantamento para conferência da altimetria (área 2).

Para a área 1 foi realizada a verificação da planialtimetria através dos pontos de controle implantados em campo (Figura 8), visando a aprovação do produto digital para que seja aceito como produto de Referência do SCN (Sistema Cartográfico Nacional), e consequentemente para a INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais). Na Tabela 1 são apresentados os pontos de controle utilizados para processamento do aerolevantamento por RPA, totalizando 27 pontos.

Figura 8 - Distribuição dos pontos de controle e pontos de qualidade



Fonte: O autor (2021).

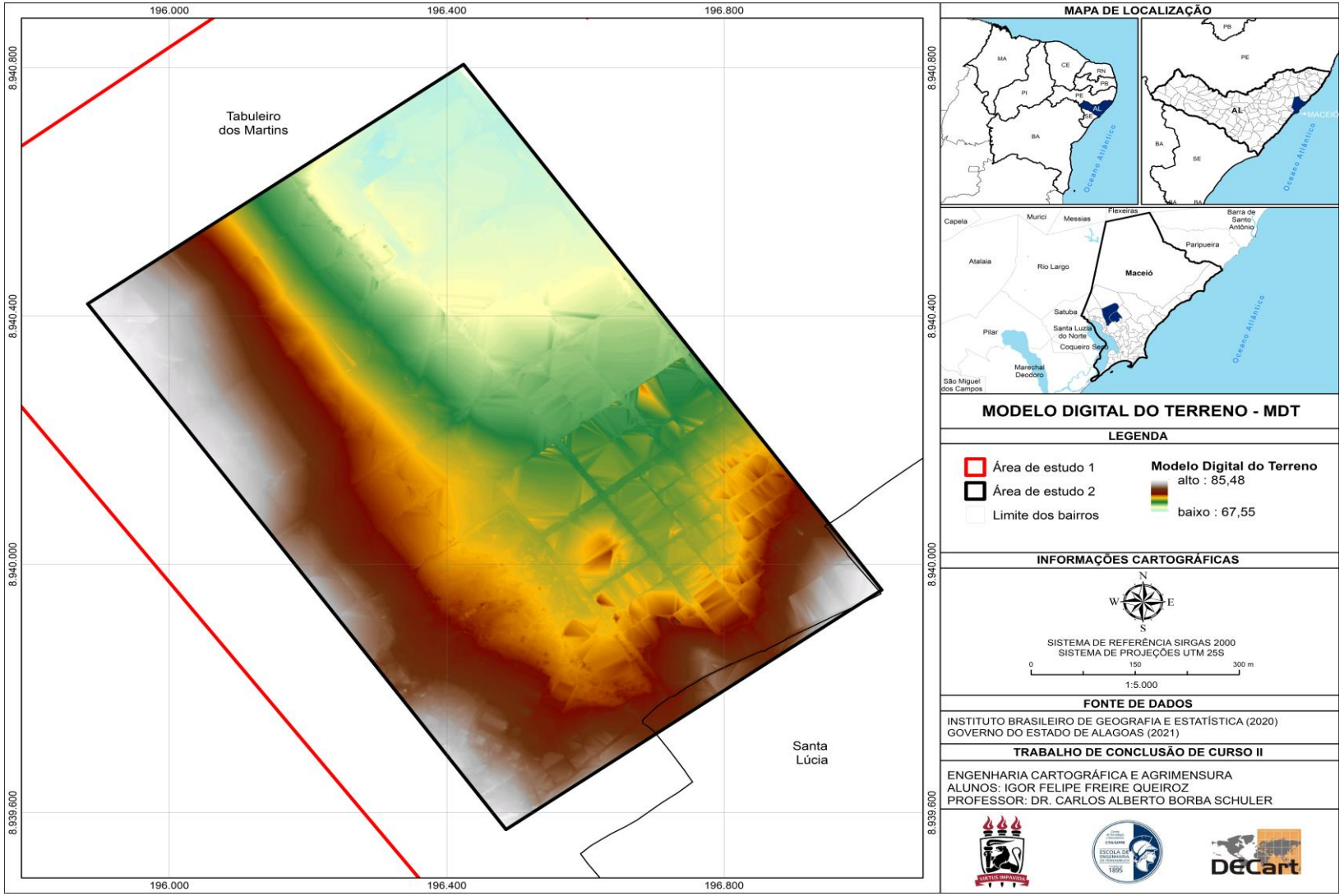
Tabela 1 - Coordenadas dos pontos para as análises planialtimétricas da área 1.

Pontos	E m	N m	Altitude Ortométrica m	Tipo do Ponto
18-PC	195.640,596	8.940.528,070	87,766	PC
20-PC	196.039,335	8.940.531,657	78,071	PQ
23-PC	196.302,586	8.940.447,519	71,060	PC
25-PC	196.622,138	8.940.673,876	68,292	PQ
26-PC	196.834,488	8.940.997,934	68,271	PC
27-PC	197.343,027	8.940.936,954	82,405	PQ
28-PC	197.468,583	8.941.483,450	69,264	PC
29-PC	197.737,578	8.940.938,152	79,315	PC
32-PC	197.361,133	8.940.663,936	86,256	PC
34-PC	196.937,615	8.940.470,431	76,247	PC
35-PC	196.819,646	8.940.054,622	75,207	PC
36-PC	197.134,961	8.940.010,928	85,038	PQ
37-PC	197.643,882	8.940.298,559	85,282	PC
38-PC	198.118,941	8.940.567,589	78,327	PQ
39-PC	198.128,364	8.940.528,558	78,639	PC
41-PC	198.000,673	8.939.860,783	86,387	PC
43-PC	197.747,797	8.939.744,060	89,660	PC
44-PC	197.958,155	8.939.337,136	88,158	PC
45-PC	197.453,862	8.939.960,286	88,138	PC
46-PC	197.207,046	8.939.683,773	88,379	PC
47-PC	197.474,246	8.939.125,299	88,680	PC
19-PQ	197.182,268	8.938.878,746	91,197	PQ
21-PQ	197.195,301	8.938.598,872	90,704	PC
24-PQ	196.959,831	8.939.104,803	88,168	PC
30-PQ	196.693,662	8.939.583,704	85,862	PC
33-PQ	196.655,000	8.939.176,245	89,065	PC
42-PQ	196.052,065	8.939.982,168	85,991	PC

Fonte: O autor (2021).

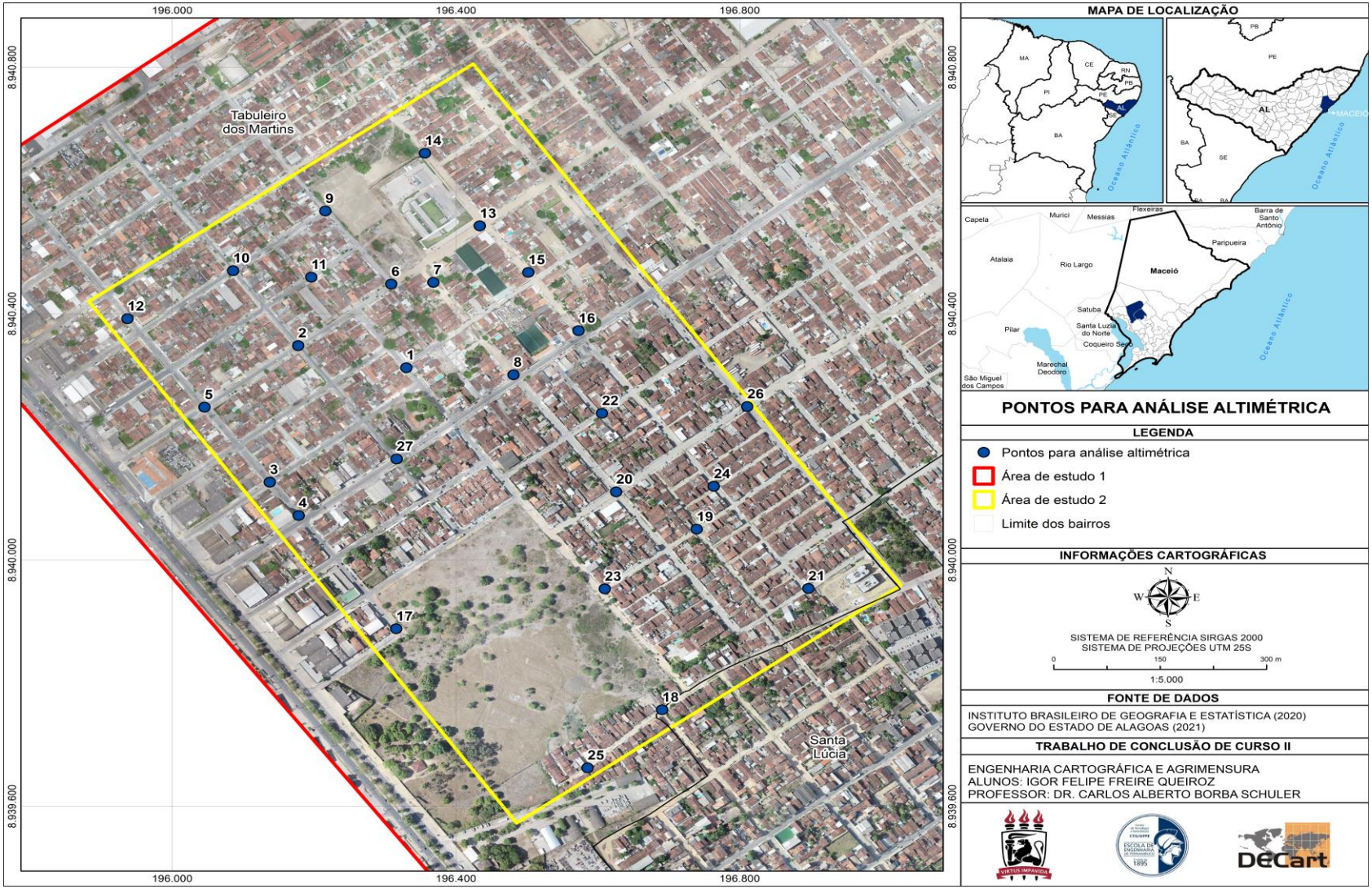
Para a área 2 foram selecionados 27 pontos uniformemente distribuídos na região do levantamento cadastral por RTK, pontos estes atribuídos informações de terreno natural e asfalto (meio das vias com pavimentação tipo asfalto). A Figura 10 mostra a distribuição dos pontos para análise altimétrica. Em seguida os pontos foram cruzados com a superfície do MDT filtrado manualmente (Figura 9), obtendo as altitudes ortométricas referentes ao aerolevantamento por RPA.

Figura 9 - Modelo Digital do Terreno da área 2



Fonte: O autor (2021).

Figura 10 - Distribuição dos pontos na área 2 para verificação altimétrica



Fonte: O autor (2021).

Dessa maneira pode-se realizar a comparação entre as altitudes ortométricas através dos cálculos de suas discrepâncias, e consequentemente os resíduos, resíduos médios e desvios padrão de cada ponto relacionado. Na Tabela 2 são apresentadas as coordenadas dos pontos para análise da altimetria da área 2.

Tabela 2 - Coordenadas dos pontos para análise da altimetria da área 2

Pontos	E m	N m	Alt Ort - RTK	Alt Ort - RPA
1	196.329,941	8.940.312,142	73,044	73,004
2	196.177,624	8.940.348,045	76,968	76,987
3	196.137,643	8.940.126,417	82,999	83,027
4	196.178,223	8.940.072,298	81,107	81,104
5	196.045,551	8.940.248,180	83,905	83,971
6	196.308,786	8.940.447,972	70,920	70,971
7	196.368,134	8.940.450,672	69,847	69,975
8	196.481,161	8.940.300,630	71,173	71,204
9	196.215,868	8.940.566,533	71,158	71,132
10	196.085,815	8.940.469,780	78,379	78,319
11	196.195,991	8.940.459,161	73,247	73,317
12	195.936,873	8.940.391,763	84,790	84,766
13	196.433,473	8.940.542,459	68,827	68,844
14	196.356,268	8.940.660,459	68,329	68,403
15	196.501,967	8.940.466,932	69,629	69,645
16	196.572,770	8.940.372,292	70,538	70,596
17	196.315,714	8.939.888,395	81,102	81,160
18	196.690,746	8.939.756,712	78,764	78,794
19	196.739,292	8.940.049,980	74,027	73,965
20	196.625,827	8.940.110,709	73,031	73,001
21	196.896,816	8.939.953,821	80,352	80,399
22	196.605,762	8.940.238,256	72,045	72,020
23	196.609,773	8.939.953,116	74,313	74,315
24	196.763,480	8.940.119,717	74,242	74,208
25	196.585,492	8.939.662,527	81,086	81,038
26	196.810,557	8.940.249,141	73,553	73,596

27	196.316,296	8.940.164,012	76,237	76,191

Fonte: O autor (2021).

Após os cálculos dos resíduos, resíduos médios e desvio padrão foram realizados os testes de tendência (avaliação para existências de erros sistemáticos), teste do Qui-quadrado (verificação da precisão) e análise direta utilizando a classificação do PEC-PCD (norma brasileira).

4.2.7 Avaliação da qualidade dos produtos

A avaliação da qualidade posicional foi realizada a partir das três análises citadas no tópico anterior. Desse modo, para que os produtos fossem considerados acurados, dentro da escala analisada, os mesmos devem ser aceitos nos três testes, caso haja reprovação o produto não atende os critérios estabelecidos para o seu uso técnico.

5 RESULTADOS

Nesse tópico serão apresentados os resultados encontrados no trabalho, a estrutura de análise: teste de tendência (*t-student)*, teste Qui-quadrado e análise direta (PEC-PCD).

5.1 ANÁLISE ÁREA 1

Para a área 1 foi realizada uma verificação planialtimétrica utilizando análise direta (PEC-PCD) do produto gerado pelo aerolevantamento por RPA, assim classificando a acurácia do mesmo.

5.1.1 Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD)

As análises realizadas para a classificação do produto gerado por aerolevantamento com RPA a partir dos pontos de controle e qualidade obtiveram erro horizontal e altimétrico máximo de 0,0698 m (Tabela 3) e 0,1262 m (Tabela 5), respectivamente. Conforme o Quadro 3, em que são apresentadas as classificações do PEC-PCD, todas as discrepâncias planimétricas e altimétricas são menores que 0,28 m e 0,27 m, respectivamente, erros máximos admissíveis para a Classe A na escala 1:1.000, alcançando 100% de aceitação dos pontos.

O erro médio quadrático (EQM) para planimetria foi de 0,0424 m (Tabela 4) e 0,0549 m (Tabela 6) para a altimetria. De acordo com Quadro 3, os valores obtidos são menores que o EP (erro padrão) 0,17 m para a Classe A na escala 1:1.000. Assim o produto cartográfico é considerado de referência pelo Sistema Nacional de Cartografia.

Na Tabela 3 e Tabela 5 são apresentados os erros máximos e discrepâncias calculadas para planimetria e altimetria, respectivamente.

Tabela 3 **-** Discrepâncias e erros máximos calculados dos pontos utilizados para análise planimétrica para o aerolevantamento com RPA para área 1

Ponto	ΔE	ΔN	ΔEN	Análise de aceitação ΔEN<EM
18-PC	-0,02664	0,01692	0,03156	aceita
20-PC	-0,04736	0,02319	0,06068	aceita
23-PC	0,059304	-0,01283	0,03341	aceita
25-PC	-0,05404	-0,01954	0,04168	aceita
26-PC	-0,03298	-0,00532	0,04291	aceita
27-PC	0,057774	0,00491	0,03900	aceita
28-PC	0,037844	-0,01746	0,02171	aceita
29-PC	0,037893	-0,02014	0,03044	aceita
32-PC	0,034209	-0,01873	0,02170	aceita
34-PC	-0,02167	0,00132	0,02005	aceita
35-PC	0,030391	0,00165	0,05478	aceita
36-PC	0,056802	0,0013	0,03653	aceita
37-PC	0,008012	0,02017	0,04909	aceita
38-PC	0,027083	-0,01033	0,02601	aceita
39-PC	-0,0188	0,00698	0,02209	aceita
41-PC	0,054037	0,009	0,05351	aceita
43-PC	0,032463	-0,01675	0,02303	aceita
44-PC	-0,04189	0,0256	0,01304	aceita
45-PC	0,018692	0,01809	0,03643	aceita
46-PC	0,004626	-0,0216	0,06979	aceita
47-PC	-0,02123	-0,04912	0,04544	aceita
19-PQ	-0,03607	0,02991	0,05273	aceita
21-PQ	0,007902	0,02163	0,05746	aceita
24-PQ	-0,00918	0,00927	0,05798	aceita

30-PQ	0,036281	0,0033	0,05682	aceita
33-PQ	-0,05245	-0,04604	0,02899	aceita
42-PQ	-0,04542	0,00109	0,04686	aceita

Fonte: O autor (2021).

Tabela 4 **-** Análise de aceitação para o Erro Médio Quadrático pelo Erro Padrão planimétrico para área 1.

EMQ_H	**Análise de aceitação $EMQ_H < EP$**
0,0424	aceito

Fonte: O autor (2021).

Tabela 5 - Discrepâncias dos erros máximos calculados nos pontos utilizados para análise altimétrica para o aerolevantamento com RPA para área 1.

Ponto	**ΔAlt Ort**	**Analise de aceitação ΔAlt Ort<EM**
18-PC	0,03435	aceita
20-PC	-0,01266	aceita
23-PC	-0,01859	aceita
25-PC	-0,05353	aceita
26-PC	-0,12622	aceita
27-PC	-0,03666	aceita
28-PC	-0,02411	aceita
29-PC	-0,07392	aceita
32-PC	-0,00094	aceita
34-PC	-0,06449	aceita
35-PC	-0,05734	aceita
36-PC	0,00273	aceita
37-PC	-0,09545	aceita
38-PC	-0,01013	aceita
39-PC	-0,02445	aceita

41-PC	-0,05679	aceita
43-PC	-0,04334	aceita
44-PC	-0,04519	aceita
45-PC	-0,02842	aceita
46-PC	-0,03236	aceita
47-PC	-0,05155	aceita
19-PQ	0,00145	aceita
21-PQ	-0,03145	aceita
24-PQ	-0,11672	aceita
30-PQ	0,02841	aceita
33-PQ	-0,08617	aceita
42-PQ	0,04000	aceita

Fonte: O autor (2021).

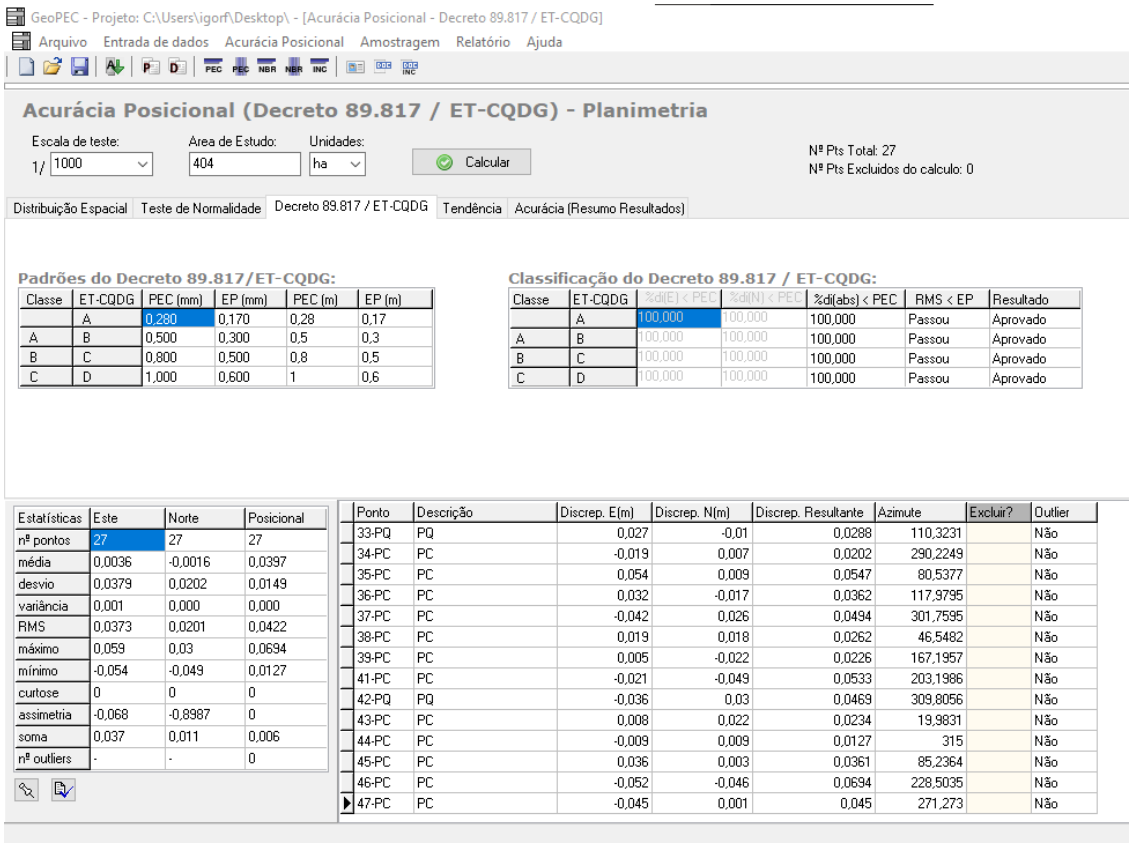
Tabela 6 - Análise de aceitação para o Erro Médio Quadrático pelo Erro Padrão altimétrico para área 1.

EMQz	**Análise de aceitação** **EMQz < EP**
0,0549	aceito

Fonte: O autor (2021).

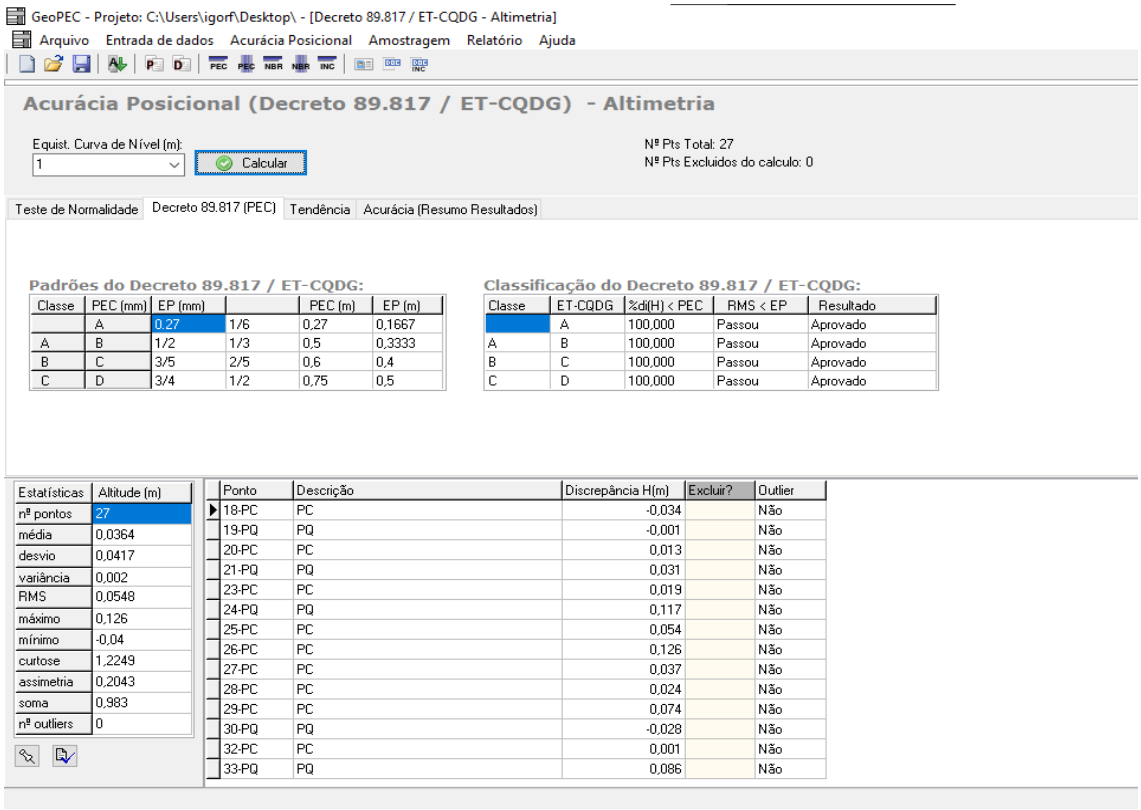
Para atestar os resultados apresentados anteriormente foi realizado junto ao *software* GeoPEC 3.5 a mesma análise de dados. Onde foi possível reafirmar os resultados obtidos. (Figura 11 e Figura 12).

Figura 11 - Análise planimetria para o PEC-PCD através do *software* GeoPEC 3.5 para área 1.



Fonte: GeoPEC (2021).

Figura 12 - Análise altimétrica para o PEC-PCD através do software GeoPEC 3.5 para área 1.



Fonte: GeoPEC (2021).

5.2 ANÁLISE ÁREA 2

A verificação para a área 2 foi realizada com base nos pontos homólogos oriundos levantamento cadastral com RTK e do MDT gerado pelo aerolevantamento com RPA.

Na Tabela 7 são apresentados os indicadores estatísticos iniciais para análises de acurácia altimétrica entre os levantamentos.

Tabela 7 - Indicadores para os testes estatísticos entre os levantamentos com RPA e RTK para área 2.

Indicadores	**Valores Alt. Ort**.
Menor resíduo	-0,0021
Maior resíduo	-0,1282
Média	-0,0126
Desvio Padrão	0,0485
Erro Quadrático Médio	0,0492

Fonte: O autor (2021).

5.2.1 Teste de Tendência

Na Tabela 8 são apresentados os parâmetros calculados para o teste de tendência t-*Student* na altimetria considerando 90% de confiabilidade para os pontos amostrados e seus resultados.

Tabela 8 **-** Teste t-*Student* para altimetria para área 2.

Componente	**Distribuição de *t-student***		**Análise**
Analisada	**Calculado t_x**	**Tabelado $t_{(n-1,\ \alpha/2)}$**	**$\|t_x\| < t_{(n-1,\ \alpha/2)}$**
Alt. Ort.	-1,3471	1,7056	não tendencioso

Fonte: O autor (2021).

Diante dos cálculos e valores obtidos, aceita-se a hipótese nula (H_0) e os dados não apresentam tendência, ou seja, não possuem erros sistemáticos.

5.2.2 Teste Qui-Quadrado

Na Tabela 9 são apresentados os parâmetros calculados para o teste de precisão Qui-quadrado na altimetria utilizando o erro padrão de referência do PEC-PCD na escala 1:1.000 para os pontos amostrados.

Tabela 9 - Teste Qui-quadrado para altimetria para área 2.

Análise de precisão na escala 1:1.000				
Classe Analisada	**Componente Analisada**	**Teste de Qui-quadrado**		**Análise de Aceitação**
		Calculado X^2x	**Tabelado** $X^2x_{(n-1,\ \alpha)}$	$X^2 \leq X^2_{(n-1,\ \alpha)}$
A	Alt. Ort.	4,2350	35,563	aceita
B		1,1239		aceita
C		0,7649		aceita

Fonte: O autor (2021).

De acordo com os resultados obtidos aceita-se a hipótese nula (H_0) na escala 1:1.000 para a altimetria Classe A do PEC-PCD.

5.2.3 Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD)

A análise realizada para a classificação do produto utilizando o método direto, PEC-PCD obteve erro altímetro máximo de -0,1282 m (Tabela 10). Segundo o Quadro 3, todas as discrepâncias altimétricas são menores em módulo que 0,27 m erro máximo admissível para a Classe A na escala 1:1.000, alcançando 100% de aceitação dos pontos.

Tabela 10 - Discrepâncias e erros máximos calculados dos pontos utilizados na análise altimétrica para a área 2.

Pontos	Alt Ort - RTK	Alt Ort - RPA	ΔAlt Ort	Analise de aceitação Alt Ort<EM
1	73,044	73,004	0,040102	aceita
2	76,968	76,987	-0,018717	aceita
3	82,999	83,027	-0,027711	aceita
4	81,107	81,104	0,002946	aceita
5	83,905	83,971	-0,065638	aceita
6	70,920	70,971	-0,051313	aceita
7	69,847	69,975	-0,128235	aceita
8	71,173	71,204	-0,031010	aceita
9	71,158	71,132	0,025686	aceita
10	78,379	78,319	0,060408	aceita
11	73,247	73,317	-0,069883	aceita
12	84,790	84,766	0,024073	aceita
13	68,827	68,844	-0,017338	aceita
14	68,329	68,403	-0,074141	aceita
15	69,629	69,645	-0,016213	aceita
16	70,538	70,596	-0,057956	aceita
17	81,102	81,160	-0,057955	aceita
18	78,764	78,794	-0,030017	aceita
19	74,027	73,965	0,062246	aceita
20	73,031	73,001	0,030462	aceita
21	80,352	80,399	-0,046512	aceita
22	72,045	72,020	0,025088	aceita
23	74,313	74,315	-0,002061	aceita
24	74,242	74,208	0,033611	aceita
25	81,086	81,038	0,047790	aceita
26	73,553	73,596	-0,042906	aceita
27	76,237	76,191	0,045597	aceita

Fonte: O autor (2021).

O erro médio quadrático (EQM) para altimetria foi de 0,0492 m (Tabela 11). De acordo com Quadro 3, os valores obtidos são menores que o EP (erro padrão) 0,17 m para a Classe A na escala 1:1.000. Assim o produto cartográfico é considerado de referência pelo Sistema Nacional de Cartografia.

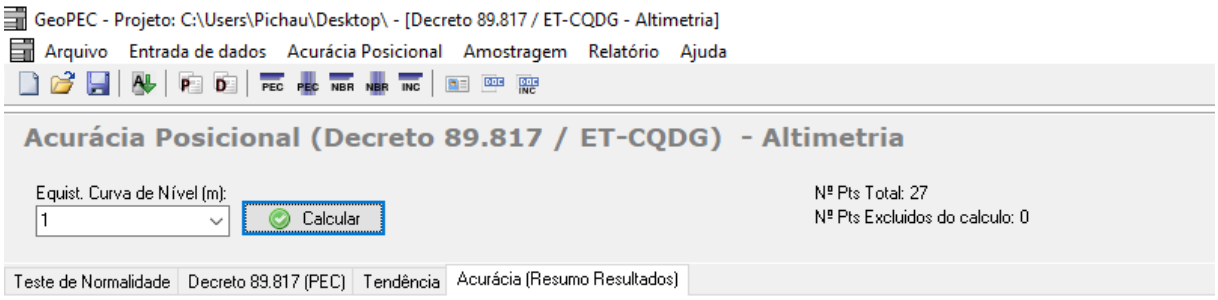
Tabela 11 - Análise de aceitação para o Erro Médio Quadrático pelo Erro Padrão altimétrico para área 2

EMQz	**Análise de aceitação** **EMQz < EP**
0,0492	aceito

Fonte: O autor (2021).

Para atestar os resultados apresentados anteriormente foi realizado junto ao *software* GeoPEC 3.5 a mesma análise de dados. Onde foi possível reafirmar os resultados obtidos.

Figura 13 - Análise de precisão, tendencia e acurácia pelo software GeoPEC 3.5 para área 2.

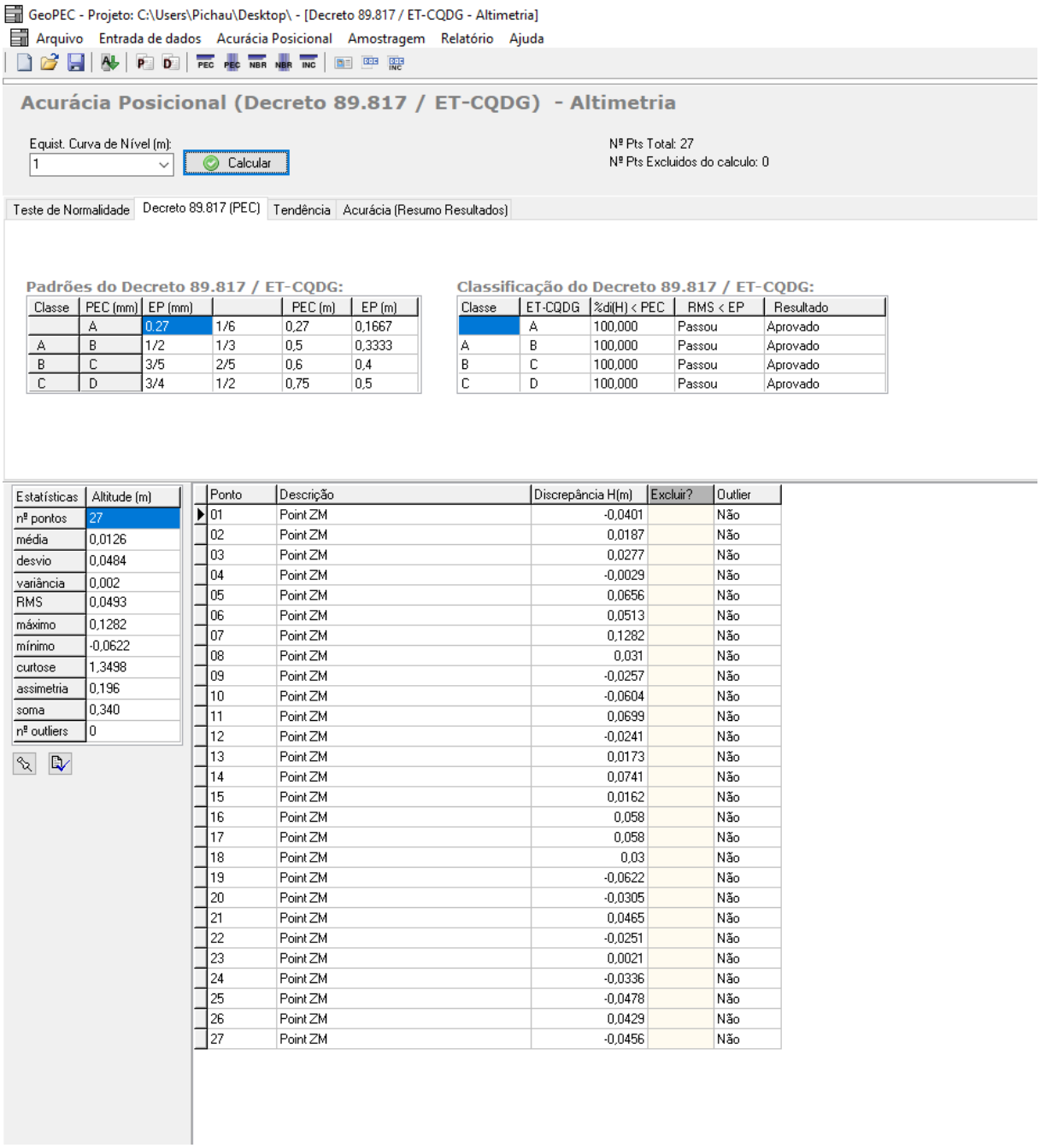


Estatísticas	Altitude (m)
nº pontos	27
média	0,0126
desvio	0,0484
variância	0,002
RMS	0,0493
máximo	0,1282
mínimo	-0,0622
curtose	1,3498
assimetria	0,196
soma	0,340
nº outliers	0

Ponto	Descrição	Discrepância H(m)	Excluir?	Outlier
01	Point ZM	-0,0401		Não
02	Point ZM	0,0187		Não
03	Point ZM	0,0277		Não
04	Point ZM	-0,0029		Não
05	Point ZM	0,0656		Não
06	Point ZM	0,0513		Não
07	Point ZM	0,1282		Não
08	Point ZM	0,031		Não
09	Point ZM	-0,0257		Não
10	Point ZM	-0,0604		Não
11	Point ZM	0,0699		Não
12	Point ZM	-0,0241		Não
13	Point ZM	0,0173		Não
14	Point ZM	0,0741		Não
15	Point ZM	0,0162		Não
16	Point ZM	0,058		Não
17	Point ZM	0,058		Não
18	Point ZM	0,03		Não
19	Point ZM	-0,0622		Não
20	Point ZM	-0,0305		Não
21	Point ZM	0,0465		Não
22	Point ZM	-0,0251		Não
23	Point ZM	0,0021		Não
24	Point ZM	-0,0336		Não
25	Point ZM	-0,0478		Não
26	Point ZM	0,0429		Não
27	Point ZM	-0,0456		Não

Fonte: GeoPEC (2021).

Figura 14 - Análise da altimetria para o PEC-PCD através do software GeoPEC 3.5 para área 2.



GeoPEC - Projeto: C:\Users\Pichau\Desktop\ - [Decreto 89.817 / ET-CQDG - Altimetria]

Arquivo Entrada de dados Acurácia Posicional Amostragem Relatório Ajuda

Acurácia Posicional (Decreto 89.817 / ET-CQDG) - Altimetria

Equist. Curva de Nível (m): 1 — Calcular

Nº Pts Total: 27
Nº Pts Excluidos do calculo: 0

Teste de Normalidade | Decreto 89.817 (PEC) | Tendência | Acurácia (Resumo Resultados)

Padrões do Decreto 89.817 / ET-CQDG:

Classe	PEC (mm)	EP (mm)		PEC (m)	EP (m)
	A	0,27	1/6	0,27	0,1667
A	B	1/2	1/3	0,5	0,3333
B	C	3/5	2/5	0,6	0,4
C	D	3/4	1/2	0,75	0,5

Classificação do Decreto 89.817 / ET-CQDG:

Classe	ET-CQDG	%di(H) < PEC	RMS < EP	Resultado
	A	100,000	Passou	Aprovado
A	B	100,000	Passou	Aprovado
B	C	100,000	Passou	Aprovado
C	D	100,000	Passou	Aprovado

Estatísticas	Altitude (m)
nº pontos	27
média	0,0126
desvio	0,0484
variância	0,002
RMS	0,0493
máximo	0,1282
mínimo	-0,0622
curtose	1,3498
assimetria	0,196
soma	0,340
nº outliers	0

Ponto	Descrição	Discrepância H(m)	Excluir?	Outlier
01	Point ZM	-0,0401		Não
02	Point ZM	0,0187		Não
03	Point ZM	0,0277		Não
04	Point ZM	-0,0029		Não
05	Point ZM	0,0656		Não
06	Point ZM	0,0513		Não
07	Point ZM	0,1282		Não
08	Point ZM	0,031		Não
09	Point ZM	-0,0257		Não
10	Point ZM	-0,0604		Não
11	Point ZM	0,0699		Não
12	Point ZM	-0,0241		Não
13	Point ZM	0,0173		Não
14	Point ZM	0,0741		Não
15	Point ZM	0,0162		Não
16	Point ZM	0,058		Não
17	Point ZM	0,058		Não
18	Point ZM	0,03		Não
19	Point ZM	-0,0622		Não
20	Point ZM	-0,0305		Não
21	Point ZM	0,0465		Não
22	Point ZM	-0,0251		Não
23	Point ZM	0,0021		Não
24	Point ZM	-0,0336		Não
25	Point ZM	-0,0478		Não
26	Point ZM	0,0429		Não
27	Point ZM	-0,0456		Não

Fonte: GeoPEC (2021).

6 CONCLUSÃO

As avaliações aplicadas nesse trabalho comprovam numericamente a qualidade planialtimétrica dos produtos gerados por aerolevantamento com RPA através dos resultados obtidos. Os dados demonstram acurácia satisfatória para ambas as áreas de estudo.

Ao analisar uma pequena área individualmente (área 2) foi possível comprovar através de testes estatísticos (t-*Student*, Qui-quadrado e PEC-PCD) a fidelidade entre os dados aerofotogramétricos obtidos por veículos aéreos não tripulados e dados obtidos em campo por tecnologia GNSS RTK via protocolo NTRIP. Os resultados atingidos na área 2 atenderam qualidade compatível com Classe A na escala 1:1.000 do PEC-PCD.

Para que isso fosse possível foi necessário um tratamento criterioso na filtragem da nuvem de pontos aerofotogramétrica a fim de evitar a contaminação do MDT com erros grosseiros por objetos acima do nível do solo. Uma vez que se trata de uma área urbana essa etapa se torna a mais complexa, pois existem diversos objetos indesejados que são capturados nas imagens e geram interferências altimétricas no produto primário MDE (Modele Digital de Elevação).

Diante disso, é plausível alegar que empregados devidamente os dados obtidos por aerolevantamento por RPA podem gerar produtos cartográficos que atingem os padrões estabelecidos pelo SNC. Exposto isso, a utilização de RPAs pode ser empregada para levantamento de grandes áreas como maior agilidade e praticidade sem comprometimento da qualidade espacial dos dados. Um exemplo disso é a utilização para a área de Cadastro na vetorização urbana, atestando a planimetria. Já para a altimetria os dados do RPA podem ser utilizados para diversos fins, tais como: estudos prévios de drenagem, estudo de arruamento, obtenção de curvas de nível, MDT com GSD de 0,50 m, cálculo de volume de pequenas áreas, entre outros.

Desde modo consideram-se satisfatórios os resultados obtidos de acordo com a premissa inicial desse trabalho.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (Brasil). **Orientações para Usuários de Drones.** Assessoria de Comunicação Social – ASCOM 1ª Edição. 2017. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones/orientacoes_para_usuarios.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2021

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. (Brasil). **Autorização de Projeto de Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada - Procedimentos Gerais**. Brasília, DF: ANAC, 2019. 14p. Disponível: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-e94-001/@@display-file/arquivo_norma/ISE94-001B.pdf>. Acesso: 10 mar. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. (Brasil). **Autorização de Projeto de Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada - RPAS - Requisitos Técnicos**. Brasília, DF: ANAC, 2017. 14p. Disponível: < https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-94-002/@@display-file/arquivo_norma/ISE94-002A.pdf>. Acesso: 10 mar. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. (Brasil). **Emissão de Certificado de Autorização de Voo Experimental para Aeronaves Remotamente Pilotadas**. Brasília, DF: ANAC, 2017. 14p. Disponível: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-e94-503-001/@@display-file/arquivo_norma/ISE94.503-001A.pdf>. Acesso: 10 mar. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. (Brasil). **Procedimentos para elaboração e utilização de avaliação de risco operacional para operadores de aeronaves não tripuladas**. Brasília, DF: ANAC, 2017. 14p. Disponível: < https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-94-002/@@display-file/arquivo_norma/ISE94-002A.pdf>. Acesso: 10 mar. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. (Brasil). **Requisitos gerais para Aeronaves Não Tripuladas de uso civil**. Brasília, DF: ANAC, 2017. 26p. Disponível: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf>. Acesso: 10 mar. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. (Brasil). **Resolução nº 635, de 9 de maio de 2014 - Regulamento sobre Autorização de Uso Temporário de Radiofrequências**. Brasília, DF: ANATEL, 2014. Disponível: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2014/764-resolucao-635>. Acesso: 10 mar 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. (Brasil). **Resolução nº 680, de 27 de junho de 2017 - Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita**. Brasília, DF: ANATEL, 2019. Disponível: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2017/936-resolucao-680>.Acesso: 10 mar 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. (Brasil). **Resolução nº 715, de 23 de outubro de 2019 - Regulamento de Avaliação da Conformidade e de Homologação de Produtos para Telecomunicações**. Brasília, DF: ANATEL, 2019. Disponível: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2019/1350-resolucao-715>. Acesso: 10 mar 2021.

BARCELOS, A. C. **O uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) em monitoramentos de campo: Aplicabilidades e Viabilidades**. 2017. 58p. Monografia (Bacharelado em Geografia). Universidade Federal de Uberlândia. (UFU). Uberlândia, Minas Gerais. Disponível: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20639>. Acesso: 8 mar. 2021
BRASIL. Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, Brasília, Distrito Federal, 20 jun. 1984.

BRASIL. **Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV)**. Diretoria de Serviço Geográfico – Departamento de Ciência e Tecnologia do Exército Brasileiro. 2ª Edição. 2010. Disponível: < https://bdgex.eb.mil.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=82&catid=60&Itemid=354&lang=pt> Acesso: 25 mar 2021.

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. 2016. Disponível: <https://bdgex.eb.mil.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=85&catid=60&Itemid=357&lang=pt>. Acesso: 25 mar. 2021.

COSTA, S. M. A., LIMA, M. A. A., MOURA JUNIOR, N. J. de, ABREU, M. A., DA SILVA, A. L. e FORTES, L. P. S. (2008). **RBMC em Tempo Real, via NTRIP, e seus benefícios nos levantamentos RTK e DGPS**. In: Anais II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, Pernambuco, 2008. Disponível: <https://artigos.ibge.gov.br/artigos-home/geodesia/2008-2005.html>. Acesso: 9 abr. 2021

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. (Brasil). **Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro**. Brasília, DF: DECEA, 2015. Disponível: < https://www.decea.gov.br/static/uploads/2015/12/Instrucao-do-Comando-da-Aeronautica-ICA-100-40.pdf>. Acesso: 10 mar 2021.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. (Brasil). **Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro**. Brasília, DF: DECEA, 2015. Disponível: < https://www.decea.gov.br/static/uploads/2015/12/Instrucao-do-Comando-da-Aeronautica-ICA-100-40.pdf>. Acesso: 10 mar 2021.

FERREIRA, A. M. R.; ROIG, H. L.; MAROTTA, G. S.; MENEZES, P. H. B. J. **Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO,

16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos, 2013. Disponível: <http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.37.47/doc/p1264.pdf> . Acesso: 8 mar. 2021

GALO, Mauricio; CAMARGO, Paulo de Oliveira. **Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas.** (1994) In: Anais Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário - COBRAC, 1., 1994, Florianópolis. Santa Catarina, 1994. p.41-48. Disponível: <https://www.researchgate.net/publication/265208956_Utilizacao_do_GPS_no_controle_de_qualidade_de_cartas>. Acesso: 27 mar 2021.

GEOPEC. ***Software* para avaliação da acurácia posicional em dados Cartográficos. GeoPEC**. 2019. Disponível: <http://www.geopec.com.br/p/software-geopec.html>. Acesso: 30 abr. 2021.
MENESES, P. R. e DE ALMEIDA, T. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. E-book. 2012. Universidade de Brasília - UnB.

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

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Unesp. 2008. 476p.

NOGUEIRA JR., J. B. **Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica**. 147p. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cartográfica) - UNESP, Campus Presidente Prudente, Presidente Prudente - SP. 2003. Disponível: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/88556>. Acesso em: 25 mar. 2021.

SILVA, M. V. **Avaliação da qualidade posicional planimétrica de dados Lidar em duas áreas urbanas no município do Recife/PE**. 2014.107p. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação). Universidade Federal de Pernambuco. (UFPE). Recife, Pernambuco. Disponível: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/10747>. Acesso: 15 mar. 2021

TOMMASELLI, A. M. G. In: TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica.** 1. ed. [S.l.: s.n.], 2009. cap. 1, p. 1-2. v. 1. Disponível em: <http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/891/introducao_a_fotogrametria.pdf. > Acesso: 8 mar. 2021.

Weber G., Dettmering D., Gebhard H. (2005) ***Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP)***. In: *Sansò F. (eds) A Window on the Future of Geodesy. International Association of Geodesy Symposia*, vol 128. Berlim. Springer. 2005. Heidelberg. Disponível: <https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F3-540-27432-4_11>. Acesso em: 9 abr. 2021.

ANEXO A – RELATÓRIO DE SAÍDA DO *SOFTWARE* GEOPEC COM OS PROCESSAMENTO ESTATÍSTICOS REFERENTE A ÁREA 2

GeoPEC

Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO

(completo)

DADOS DO PRODUTO

Produto: Analise RTK e Drone
Local: Tabuleiro dos Martins
Data: 30/04/2021
Responsável Técnico: Igor Feilipe

CLASSIFICAÇÃO FINAL DO PRODUTO

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984 - Análise Altimétrica
Metodologia: Santos et al. (2016) com as tolerâncias PEC-PCD da ET-CQDG

O produto "Analise RTK e Drone ", **É ACURADO** para a equidistancia vertical de **1 m**. O resultado do PEC-PCD foi "**Classe A**", de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.
O produto foi submetido a análise de precisão e tendência em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: **É Preciso** e **Não Tendencioso**.

Pontos de checagem utilizados: 27
RMS das discrepâncias (m): 0,0493

INFORMAÇOES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984
Análise Altimétrica
.....
PROCESSAMENTO
Equidistância vertical: 1
Pontos de checagem inseridos: 27

Pontos de checagem utilizados: 27

.....

OUTLIERS

>> Outliers detectados: 0

>> Valor limite - detecção: 0,9999

.....

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(h)= 0,0126

>> Desv-pad(h)= 0,0484

>> RMS(h)= 0,0493

.....

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk :

Wcalc(h)= 0,9592 p-value(h)= 0,3547

Nível de Confiança = 95%

Amostra Normal

.....

TESTE DE PRECISÃO

>> Decreto 89.817:

PEC= 0,27 EP= 0,1667

Resutado: Classe A

.....

TESTE DE TENDÊNCIA

>> Teste t de Student

tcalc(h)= 1,3527 ttab= 1,7056

Resultado: Não Tendencioso

.....

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(H)
01	-0,0401
02	0,0187
03	0,0277
04	-0,0029
05	0,0656
06	0,0513
07	0,1282
08	0,031
09	-0,0257
10	-0,0604
11	0,0699
12	-0,0241
13	0,0173
14	0,0741
15	0,0162
16	0,058
17	0,058
18	0,03
19	-0,0622
20	-0,0305

21	0,0465
22	-0,0251
23	0,0021
24	-0,0336
25	-0,0478
26	0,0429
27	-0,0456

ANEXO B – RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO DO AEROLEVANTAMENTO DO RPA REFERENTE A ÁREA 1

Santa Luzia

Processing Report
20 February 2020

Survey Data

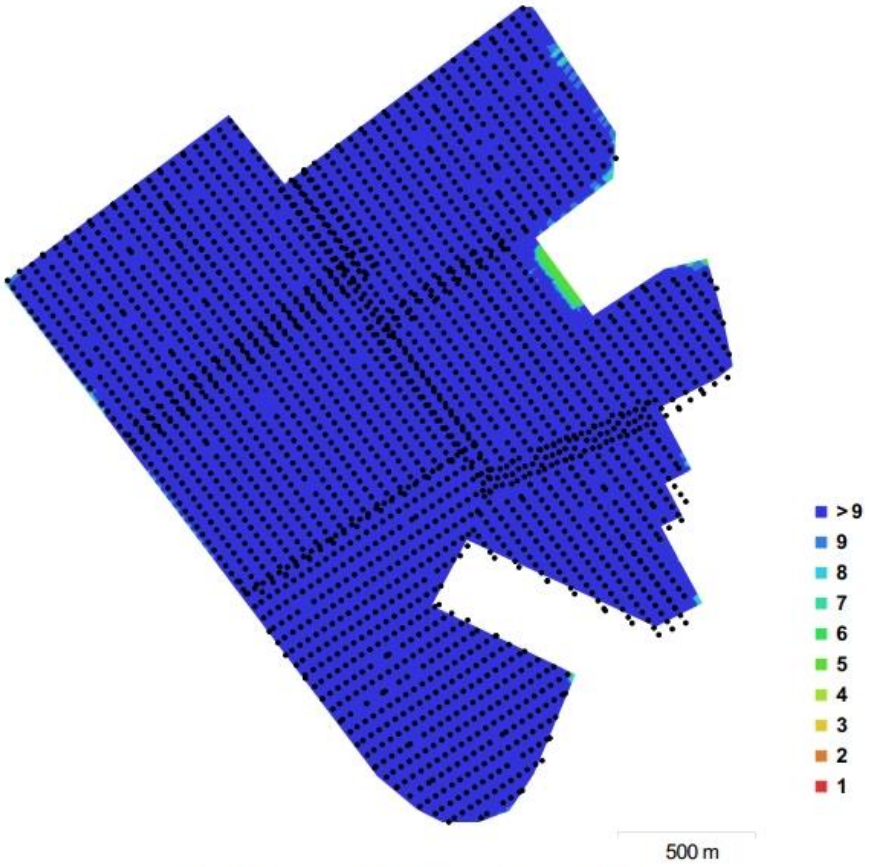


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	2,564	Camera stations:	2,564
Flying altitude:	194 m	Tie points:	3,830,291
Ground resolution:	4.84 cm/pix	Projections:	22,256,414
Coverage area:	4.05 sq km	Reprojection error:	0.909 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8 mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 um	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

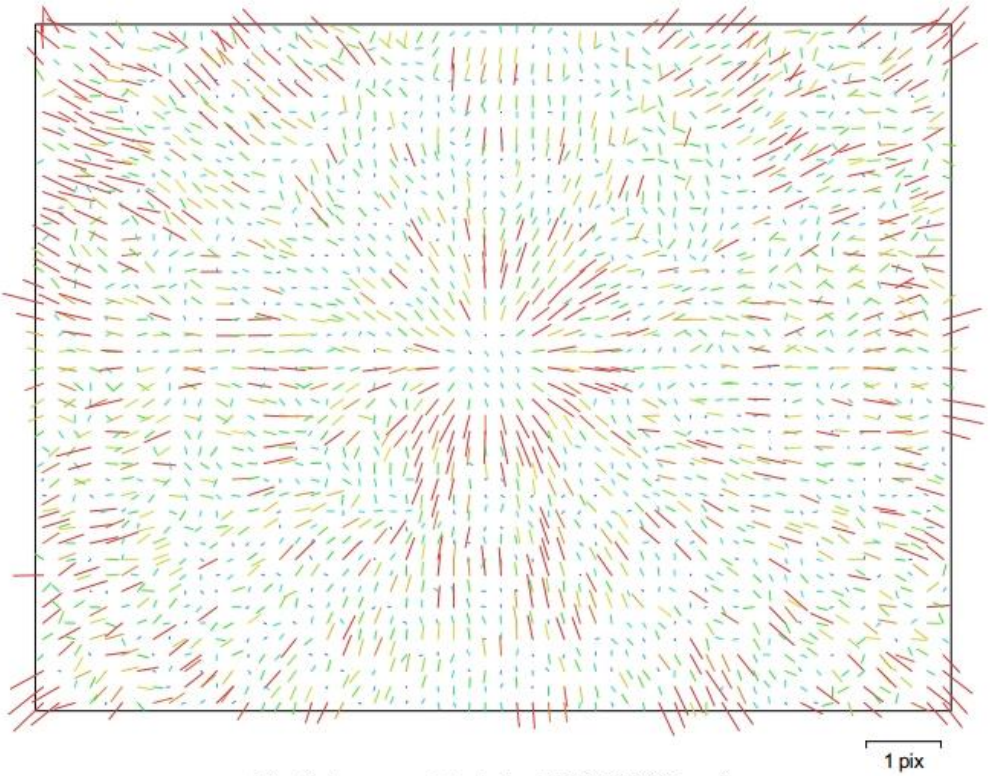


Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8 mm).

FC6310 (8.8 mm)

Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
4864 x 3648	**8.8 mm**	**2.61 x 2.61 um**	**No**

Type:	Frame	Skew:	-0.162221
Fx:	3664.86	Cx:	2440.67
Fy:	3664.53	Cy:	1848.31
K1:	0.00168072	P1:	0.000349014
K2:	-0.018128	P2:	0.000422059
K3:	0.0205525	P3:	0
K4:	0	P4:	0

Ground Control Points

Fig. 3. GCP locations.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
18	0.00999011	-0.01053	0.0145149	11	0.242
20	0.0262018	0.0042054	0.0265371	27	0.308
23	0.0102205	0.000578445	0.0102369	23	0.344
25	0.00123201	0.00492722	0.00507891	14	0.339
26	0.00384528	-0.00743057	0.00836657	12	0.345
27	0.0088844	0.0104818	0.0137405	33	0.408
28	0.00517001	-0.0122423	0.0132892	37	0.269
29	0.0061887	0.0240391	0.0248229	23	0.244
32	0.0242184	0.00677055	0.025147	18	0.226

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
34	0.0081097	0.00434942	0.00920243	12	0.384
35	0.00709773	-0.0166839	0.0181309	15	0.459
36	0.0102233	0.0087382	0.0134489	21	0.444
37	0.00499873	0.0022016	0.00546208	24	0.487
38	0.0221703	-0.0207834	0.0303887	28	0.348
39	0.00443988	0.00121218	0.00460238	20	0.263
41	0.0120074	0.00144681	0.0120942	21	0.291
43	0.00572365	-0.00256085	0.00627042	15	0.276
44	0.0143542	0.0115458	0.0184214	22	0.409
45	0.0361915	-0.0226895	0.0427157	28	0.301
46	0.0254988	0.00441443	0.0258781	14	0.343
47	0.00431729	0.00423542	0.00604795	27	0.203
Total	**0.0150493**	**0.0111226**	**0.0187134**		**0.338**

Table 2. Control points.

Label	XY error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
19	0.0394559	-0.0150816	0.04224	22	0.354
21	0.0146036	0.0226698	0.0269664	28	0.318
24	0.0323793	0.0977517	0.102975	18	0.315
30	0.0147862	-0.0374226	0.0402378	29	0.311
33	0.0204964	0.0170679	0.0266724	10	0.205
42	0.0491645	-0.0916272	0.103984	21	0.343
Total	**0.0312899**	**0.0582867**	**0.0661544**		**0.319**

Table 3. Check points.

Digital Elevation Model

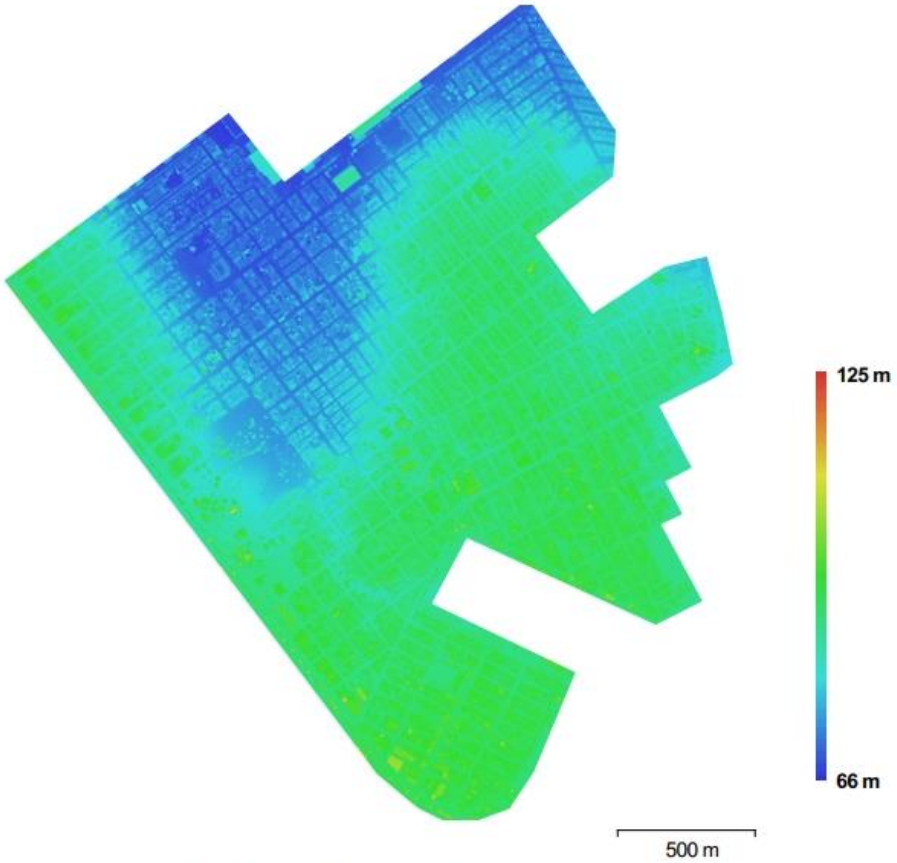


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution:	unknown
Point density:	unknown

Processing Parameters

General	
Cameras	2564
Aligned cameras	2564
Markers	27
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 25S (EPSG::31985)
Point Cloud	
Points	3,830,291 of 4,326,192
RMS reprojection error	0.193909 (0.908634 pix)
Max reprojection error	0.825496 (61.173 pix)
Mean key point size	3.47733 pix
Effective overlap	6.18813
Alignment parameters	
Accuracy	High
Pair preselection	Reference
Key point limit	40,000
Tie point limit	10,000
Constrain features by mask	No
Matching time	1 hours 49 minutes
Alignment time	33 minutes 0 seconds
Optimization parameters	
Parameters	fx, fy, cx, cy, skew, k1-k3, p1, p2
Optimization time	44 seconds
Dense Point Cloud	
Points	270,941,123
Reconstruction parameters	
Quality	Medium
Depth filtering	Mild
Processing time	1 hours 39 minutes
DEM	
Size	21,368 x 22,212
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 25S (EPSG::31985)
Orthomosaic	
Size	59,379 x 66,695
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 25S (EPSG::31985)
Channels	3, uint8
Blending mode	Mosaic