

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA

ADRIANO TURAZI EXTERCKOETTER

**ANÁLISE DA VOLUMETRIA OBTIDA POR DADOS
GNSS/RTK E DRONE**

CRICIÚMA

2019

ADRIANO TURAZI EXTERCKOETTER

**ANÁLISE DA VOLUMETRIA OBTIDA POR DADOS
GNSS/RTK E DRONE**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheiro Agrimensor no curso de Engenharia de Agrimensura da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador (a): Prof. MSc. Vanildo Rodrigues

CRICIÚMA

2019

ADRIANO TURAZI EXTERCKOETTER

**ANÁLISE DA VOLUMETRIA OBTIDA POR DADOS
GNSS/RTK E DRONE**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheiro Agrimensor no curso de Engenharia de Agrimensura da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Criciúma, 20 de Novembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Vanildo Rodrigues - Mestre - UNESC – Orientador

Prof. Jóri Ramos Pereira - Mestre – UNESC

Prof. Márcio Carlos Just - Mestre - UNESC

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e família, em especial a minha mãe, Valdeia Vanderlinde Turazi Exterckoetter, por sempre acreditar no meu melhor, e por tornar possível a minha graduação em curso superior.

A toda equipe da empresa Soma Topografia, que se mostrou grande companheira, sempre disposta a ajudar, ganhando todo meu respeito e admiração.

Em especial aos colegas Augusto Sorato e Danrlei de Conto, pela grande ajuda em diversas etapas deste estudo.

A Jessica Weber Rochadel, por não medir esforços para me apoiar e estar sempre ao meu lado.

Ao professor Jóri Ramos Pereira, que foi essencial para a elaboração deste estudo, aplicando seu conhecimento e experiência para garantir um bom resultado final.

A todo o curso de Engenharia de Agrimensura, professores, coordenadores e colegas, pela amizade e confiança mútua nestes anos de estudo.

RESUMO

Com o constante avanço das tecnologias de levantamentos topográficos, se fazem necessários testes e estudos comparativos, a fim de saber a real aplicação das novas metodologias que estão sendo inseridas no mercado e trabalho. Neste trabalho foram avaliados os MDTs gerados a partir de levantamentos topográficos com receptor GNSS/RTK e aerolevante obtido pela plataforma Drone, verificando o custo-benefício de cada geotecnologia na coleta dos dados, processamento dos levantamentos e elaboração dos produtos finais. Este estudo é grande ajuda para profissionais e acadêmicos da área de geotecnologias, que pretendem realizar um trabalho ou estudo envolvendo altimetria de um terreno, podendo avaliar qual método atende melhor suas exigências.

Palavras-chave: Levantamento Topográfico, MDT, Altimetria, Geotecnologias.

ABSTRACT

With the constant advancement of surveying geotechnologies, comparative studies and tests must be made in order to know the real application of the new methodologies that are being inserted into today's workplace. In this study, we are evaluating the DEMs generated from GNSS/RTK receiver survey and Drone aerial survey, verifying the difficulty of each one in data collection, survey processing and elaboration of the final results. The study greatly helps professionals and academics who intend to make projects and/or researches that involve altimetry of a terrain, being able to evaluate which method fulfills its requirements better.

Keywords: Surveying, DMT, Altimetry, Geotechnologies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Área de estudo (detalhe)	14
Figura 2. Área de estudo (detalhe)	15
Figura 3. Mapa de localização	15
Figura 4. Pontos de controle	17
Figura 5. Diferença entre MDT e MDS	18
Figura 6. Drone Parrot Anafi	19
Figura 7. Receptor GNSS/RTK Topcon Hiper II	21
Figura 8. Fluxograma das etapas	24
Figura 9. Pré-sinalização de ponto de controle no terreno (detalhe orotofoto)	25
Figura 10. Planejamento do voo através do aplicativo <i>Pix4D capture</i>	26
Figura 11. Relatório de precisões do rastreamento	28
Figura 12. Parâmetros do voo reconhecidos no software fotogramétrico	29
Figura 13. Alinhamento fotogramétrico inicial	31
Figura 14. Nuvem de pontos densa gerada a partir do levantamento com Drone	31
Figura 15. Ortofoto (detalhe)	32
Figura 16. Ortofoto (detalhe)	32
Figura 17. Mapas de elevações	35
Figura 18. Perfis verticais e horizontais	37
Figura 19. Representação esquemática dos MDTs do Drone (Vant) e GNSS	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estatísticas gerais das superfícies	33
Tabela 2. Diferença altimétrica em cada estaca dos alinhamentos dos perfis	39
Tabela 3. Simulação dos custos no levantamento planialtimétrico com GNSS/RTK	40
Tabela 4. Simulação dos custos no levantamento planialtimétrico com Drone	41
Tabela 5. Simulação dos custos no processamento dos dados obtidos com GNSS/RTK	42
Tabela 6. Simulação dos custos no processamento dos dados obtidos com Drone	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BEIDOU	<i>Beidou Navigation Satellite</i>
GALILEO	Sistema de Navegação por Satélite da União Européia
GCP	<i>Ground Control Point</i>
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
GLONASS	<i>Global Orbiting Navigation Satellite System</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite Systems</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>
UNESC	Universidade do Extremo Sul Catarinense
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVO	13
1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	133
1.2 ÁREA DE ESTUDO.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	166
2.1 GEODÉSIA	166
2.2 FOTOGRAMETRIA.....	166
2.2.1 PONTOS DE CONTROLE	177
2.3 MODELO DIGITAL DE TERRENO.....	188
3. MATERIAIS	19
3.1 DRONE	19
3.2 RECEPTOR GNSS/RTK	21
3.3 SOFTWARE DE PROCESSAMENTO DE DADOS GNSS/RTK	22
3.4 SOFTWARE DE PROCESSAMENTO DE DADOS FOTOGRAMÉTRICO	22
3.5 SOFTWARE DE DESENHO E GERAÇÃO DE MDT	23
3.6 COMPUTADOR	23
4 PROCEDIMENTOS	24
4.1 LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO	24
4.1.1 PLANEJAMENTO	24
4.1.2 PROCEDIMENTOS DE CAMPO	24
4.1.3 REALIZAÇÃO DO VOO	266
4.2 LEVANTAMENTO GEODÉSICO.....	277
4.3 PROCEDIMENTOS EM ESCRITÓRIO.....	277
4.3.1 PROCESSAMENTO DOS DADOS GNSS/RTK	277
4.3.2 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DO AEROLEVANTAMENTO.....	288
5 RESULTADOS E ANÁLISE	311
5.1 PRODUTOS GERADOS	311
5.1.1 NUVEM DE PONTOS.....	311
5.1.2 ORTOMOSAICO	311
5.2 CÁLCULO DE VOLUMES.....	323
5.3 SUPERFÍCIES DE ELEVAÇÃO	344
5.4 PERFIS SOBREPOSTOS DAS SUPERFÍCIES	356
5.5 CUSTOS TOTAIS	400

6 CONCLUSÃO	43
7 REFERÊNCIAS	44
APÊNDICES	43
ANEXO	52

1. INTRODUÇÃO

Os dados topográficos são de grande importância para a realização de um projeto em várias áreas da engenharia. Na realização de um levantamento topográfico, o engenheiro visa à precisão, acurácia e nível de detalhamento das principais características do terreno.

Mais conhecido atualmente com MDT, o Modelo Digital de Terreno tem como objetivo representar o comportamento da superfície terrestre e seus fenômenos, sendo eles físicos ou artificiais, através de uma expressão matemática.

Visto o grande desenvolvimento e utilidade dos MDTs, diversas áreas atualmente trabalham com este recurso, agrimensura, cartografia, engenharia civil, geologia, engenharia ambiental, mineração e outras. Cada área traz um estudo e objetivo diferente para os MDTs, desta forma surgiram diferentes tipos de modelo. O Modelo Digital de Elevação (MDE) desconsidera cobertura de vegetação e objetos artificiais sobre ele, como edificações, e representa apenas os valores de elevação do terreno, e o Modelo Digital de Superfície (MDS), representa todos os elementos dispostos na superfície terrestre, relevo, vegetação e objetos artificiais.

O primeiro passo na produção de MDT é a coleta de dados, ela pode ser feita de várias formas, topografia convencional, levantamento por GNSS/RTK, levantamento fotogramétrico, levantamento batimétrico e etc.

O método de levantamento GNSS/RTK utiliza sistema geodésico de coordenadas para determinação de um ponto na superfície da Terra. A sigla GNSS (Global Navigation Satellite System) se refere ao sistema de cobertura de satélites utilizada pelo equipamento, este sistema de satélites utiliza vários outros sistemas, GPS, GLONASS, GALILEO e BEIDOU podem ser citados como os principais. A tecnologia RTK (Real Time Kinematic) permite ao operador saber sua posição em tempo real com precisão centimétrica, e com pós-processamento e correções, essa precisão pode ser milimétrica.

A tecnologia Drone é derivada do VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), este engloba cada aeronave não tripulada que tem como premissa o controlador em uma base no solo. Estas plataformas coletam dados através de um ou mais sensores imageadores, sobrevoando a área de estudo e armazenando as informações para posteriormente processar em um software compatível.

Com a inserção destas novas geotecnologias no mercado, Fortunato (2018) questiona se dentre as diversas opções de equipamentos e métodos de levantamento

existentes, se é viável realizar levantamentos com Drone, e ainda, qual a diferença dos dados obtidos pela plataforma Drone em relação aos outros equipamentos?

Neste sentido, Ferreira et.al. (2013) argumenta que nas últimas décadas com o avanço das geotecnologias, vem crescendo constantemente o uso de Drones, colaborando para o avanço de vantagens técnicas e econômicas em relação aos levantamentos convencionais.

Outro fator positivo é a acessibilidade ao público, a sua aplicação pelos profissionais que trabalham com as geotecnologias, no mapeamento de pequenas áreas com poucos hectares, monitoramento de obras de engenharia, estudos ambientais, cálculos de volumes em mineração, etc, tem crescido muito a cada ano (T.A.J. PEREIRA et al., 2014).

Além da elevada resolução espacial (GSD) e dados de MDSs –Modelos Digitais das Superfícies gerados, outro diferencial da plataforma Drone é a resolução temporal, pois permite a escolha do período de revisita e facilita o acompanhamento dos alvos ao longo do tempo (ISIOYE e JOBIN, 2012; FIGUEIRA e OLIVEIRA, 2013).

Apesar da grande facilidade de coletar dados com a plataforma Drone, ainda se é muito discutido a confiabilidade dos trabalhos realizados com ele. Por ser uma plataforma fotogramétrica muito mais leve e mais instável que as aeronaves tripuladas, há preocupação também com possíveis deformações nas medidas e áreas. Além disto, há o questionamento sobre os investimentos necessários para aplicação destes novos métodos, e se eles podem trazer o devido retorno em produtividade.

Desta forma se fazem necessários estudos comparativos com métodos já aplicados e testados, a fim de saber suas vantagens e desvantagem. Sendo assim, este estudo pretende contribuir para análise na aplicação de diferentes metodologias, com o objetivo de obter dados planialtimétricos de uma superfície de estudo.

1.1. OBJETIVO

Comparar, a cubagem volumétrica por meio de duas geotecnologias: i) GNSS/RTK e ii) Plataforma Drone com intuito de avaliar os dados topográficos e as suas funcionalidades.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as diferenças no cálculo de volume e altimetria de MDT através dos métodos de levantamento GNSS/RTK e Drone;

- Avaliar o custo e tempo de levantamento pelos 2 métodos;
- Gerar um relatório com os dados encontrados e criar um comparativo final entre eles.

1.2 ÁREA DE ESTUDO

A área utilizada como amostra para o estudo fica localizada no topo de uma célula de rejeito de carvão, à aproximadamente 5km ao Sul do centro do município de Forquilha, seguindo pela Rodovia Estadual SC-446, no estado de Santa Catarina. Antigamente a área era utilizada pela empresa Carbonífera Criciúma S.A., que já decretou falência e encerrou operações. Atualmente a área é de propriedade particular de Emerson Westrup, que autorizou o levantamento para a pesquisa deste trabalho.

A área escolhida proporciona um estudo bem amplo do detalhamento de superfície por MDT, pois possui um relevo irregular com muitas ondulações e desníveis, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1. Área de estudo (detalhe)



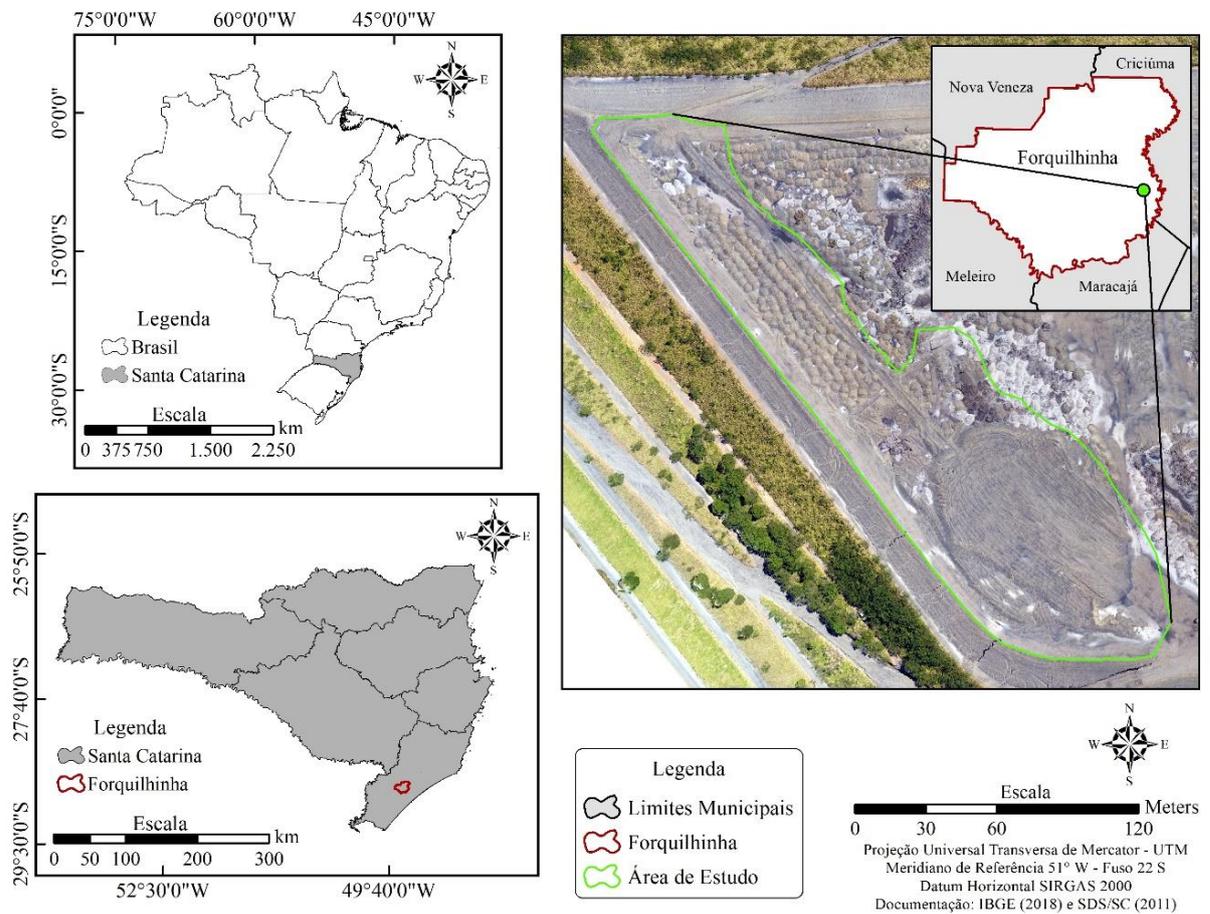
Fonte: O autor (2019).

Figura 2. Área de estudo (detalhe)



Fonte: O autor (2019).

Figura 3. Mapa de localização



Fonte: O autor (2019).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 GEODÉSIA

Geodésia é a ciência que se dedica a obtenção de informações mais precisas quanto ao formato da Terra, estudando suas dimensões e campo gravitacional. Ela faz parte de um conjunto de disciplinas denominadas “ciências geodésicas” que incluem a topografia, cartografia, fotogrametria, sensoriamento remoto e astronomia de posição.

Para realizar os seus objetivos e formular os modelos terrestres, a geodesia vale-se de operações matemáticas e geométricas, mensurando ângulos e distâncias, na superfície terrestre, associando isto às determinações astronômicas e medições gravimétricas, podendo também realizar rastreios da superfície terrestre por meio de satélites artificiais (GEMAEL, 1999).

A grande diferença da Geodésia para as outras ciências que tratam de mensuração da superfície terrestre está na dimensão de área estudada. A geodesia trata de mapear grandes porções de terra, enquanto as demais se limitam em porções menores, pois as distorções geradas pela curvatura da terra comprometeriam os resultados do mapeamento.

2.2 FOTOGRAMETRIA

Fotogrametria é a ciência aplicada para obter dados métricos e realizar estudos a partir de fotografias. Na engenharia é amplamente utilizada, dados extraídos de fotografias aéreas são essenciais para mapeamentos em grandes escalas. Para isto são necessárias informações como distância focal da câmara, altitude de voo da plataforma utilizada e filtros aplicados.

Alguns autores têm definições diferentes em diferentes épocas para a Fotogrametria:

“Fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes” (ASP, 1979).

“Fotogrametria é a ciência e tecnologia de obter informações confiáveis através de processos de registro, interpretação e mensuração de imagens” (ANDRADE, 1998).

“Fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de se obter informação confiável de imagens de sensores imageadores e outros, sobre a Terra e seu meio ambiente, e outros objetos físicos e processos através de gravação, medição, análise e representação” (ISPRS, 2017).

A Fotogrametria se estende a várias aplicações: produção de cartas topográficas, projetos de locação e manutenção de estradas, projetos de gasodutos, projetos ambientais, linhas de transmissão, mineração, arqueologia, geologia, planejamento e cadastro urbano, cadastro rural.

2.2.1 PONTOS DE CONTROLE

Pontos de controle ou GCP (Ground Control Points) são pontos demarcados, objetos ou alvos, coletados no terreno e identificáveis nas imagens aéreas. São utilizados para fazer a relação entre o sistema de coordenadas da imagem e o sistema de coordenadas do terreno.

Na utilização dos pontos de controle no processamento das imagens, obtém-se grande aumento na precisão do produto final gerado. Normalmente os Drones possuem o sistema GPS de navegação instalados, porém sua precisão está em torno de 5 a 10 metros. Isto significa que as coordenadas gravadas nas propriedades das imagens no momento da coleta, possuem uma margem de erro muito grande. Na utilização dos pontos de controle, a confiabilidade do georreferenciamento é muito maior.

Figura 4. Pontos de Controle



Fonte: Horus aeronaves, 2019.

2.3 MODELO DIGITAL DE TERRENO

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) é uma representação matemática da superfície de um terreno. Este é gerado a partir de dados planialtimétricos.

A representação digital do relevo ou terreno é uma ferramenta muito importante na criação de modelos tridimensionais para várias aplicações: criação de mapas topográficos de altimetria, análise de geomorfologia, mapas de erosão, mapas de bacias hidrográficas, classificação de tipos de vegetação e apresentação tridimensional do terreno.

A partir do MDT é possível a criação e elaboração de projetos, criação de perfil transversal, geração de cálculos de volume, delimitação de bacias hidrográficas.

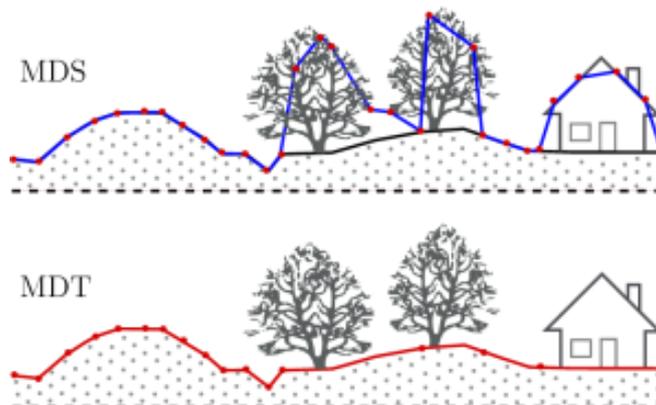
Para geração dos MDTs existem duas principais funções de interpolação, a malha triangular e a malha retangular.

O cálculo por malha triangular (TIN) utiliza os pontos coletados, sem alteração de valores, ligando-os entre si, de forma que os mesmos gerem superfícies triangulares. Este método deve ser utilizado quando há a necessidade de saber o volume de projetos de movimentação de solo, como estradas, plataformas, barragens de terra, etc.

Ao utilizar a malha retangular, o software cria uma nova malha poligonal, com um maior número de pontos interceptivos. Através da nova superfície de faces retangulares, com espaçamento definido pelo operador, pode-se calcular a elevação com os dados amostrados.

Ao utilizar o MDT para estudo de relevo, surge a necessidade de diferenciar o tipo de modelo utilizado. O Modelo Digital do Terreno (MDT) corresponde ao modelo do terreno, no nível do solo, já o Modelo Digital de Superfície (MDS) representa todos os objetos 3D existentes sobre o terreno (vegetação, edificações, etc.), conforme mostra a Figura 5.

Figura 5. Diferença entre MDT e MDS



Fonte: CPE Tecnologia, 2019.

3. MATERIAIS

Diversos materiais e equipamentos foram utilizados para aquisição dos dados em campo (Receptor GNSS/RTK, Drone, alvos, e etc.), e para o processamento dos dados, foi necessário à utilização de um computador com alguns softwares instalados.

3.1 DRONE

Para a realização do voo e aquisição das fotografias, foi utilizado o Drone Parrot Anafi (Figura 6), produzido pela empresa francesa Parrot, uma das maiores empresas do mundo no segmento de Drones.

Figura 6. Drone Parrot Anafi



Fonte: Amazon, 2019.

Dentre suas características, eis as principais (Parrot, 2019):

- Tamanho compactado (para transporte) 244x67x65mm, tamanho descompactado (para voo) 175x240x65mm;
- Raio de alcance de 4 km;
- Câmera RGB de 21MP, resolução 4K HDR, controlada manualmente e automaticamente;
- Distância focal da lente da câmara de 4mm;
- Autonomia de aproximadamente 25 minutos de voo, por bateria;
- Tipo de bateria: High Density Lipo (2 cells) com 2700mAh;
- Velocidade de cruzeiro de 36-55 km/h (10-15m/s);
- Resistência a ventos de até 50 km/h (13,90 m/s);
- Peso total de 320g (0.7 lbs) quando pronto para decolagem;
- Software de controle *Pix4D capture*.

3.2 RECEPTOR GNSS/RTK

Para obtenção das coordenadas planialtimétricas em campo utilizou-se o receptor Topcon Hiper II (Figura 7). Este funciona com um par de receptores de sinal de satélite, que ficam conectados entre si por sinal de rádio com alcance de aproximadamente 3 km. Quando um receptor do par de receptores está rastreando o sinal de satélite, é possível realizar a coleta de pontos com o segundo receptor. O receptor responsável pela coleta dos pontos, fica conectado à coletora através de sinal bluetooth e os pontos coletados vão sendo salvos em um cartão de memória na coletora.

Suas principais características são descritas a seguir:

- Indicado para levantamentos estáticos e cinemáticos;
- 72 canais universais, capaz de rastrear sinais de satélites GPS e Glonass;
- Taxa de atualização de 1 Hz a 20 Hz;
- Memória expansível através de cartão SD removível e tecnologia Bluetooth integrada CA+L1+L2+Glonass com intervalo de 5");
- Co-OpTracking System (melhor recepção dos sinais em condições desfavoráveis);
- Advanced Multipath Mitigation (redução dos efeitos de multicaminhamento) e Interface MINTER;

- Precisão horizontal de 3mm+0.5ppm para levantamento estático e rápido-estático e de 10mm + 1ppm para levantamentos cinemáticos e RTK;
- Resistente à água e poeira, classificação IP67 – quedas de até 2 metros e submersão temporária de até 1m.

Figura 7. Receptor GNSS/RTK Topcon Hiper II



Fonte: Topomap, 2019.

3.3 SOFTWARE DE PROCESSAMENTO DE DADOS GNSS

As coordenadas brutas obtidas com o receptor GNSS/RTK são tratadas e corrigidas através do *software Topcon Tools*. *Topcon Tools* suporta todos os instrumentos de pesquisa e coletores de dados da Topcon. É um software modular que inclui os módulos Total Station, RTK, Pós-processamento, GIS, Design e Imaging.

Principais funções do software (TOPCON CARE, 2019):

- Suporta todos os instrumentos de pesquisa e coletores de dados da Topcon;

- Software modular incluindo os módulos Total Station, RTK, Pós-processamento, GIS, Design e Imaging;
- Importação dados do CORS da Internet;
- Importação formatos padrão da indústria (shp, dxf, dgn, LandXML, ASCII);
- Processamento de dados GPS e GLONASS;
- Processamento de dados RINEX de receptores de outros fabricantes;
- Suporte para formatos de imagem comuns (jpeg, tiff, bmp, dwg, MrSID);
- Conversão imagens para um novo sistema de coordenadas, incluindo coordenadas terrestres;
- Imagens georreferenciadas com ajuste de mínimos quadrados (jpeg, tiff, bmp);
- Exportação de imagens georreferenciadas para coletores de dados;
- Detecção de erros interativos;
- Ajustes 1D, 2D ou 3D;
- Ajuste de coordenadas geográficas, de grade e / ou de solo;
- Criação de MDTs e contornos;
- Visualizações CAD e 3D;
- Coordenar cálculos de geometria incluindo comparação de superfície, inversa, ponto na direção, interseção, transversal, curva de melhor ajuste e melhor alinhamento de ajuste;
- Exportação para os formatos padrão da indústria (shapefile ESRI, DXF, DWG, LandXML e ASCII);
- Exportação para formato de arquivo KML do Google Earth.

3.4 SOFTWARE DE PROCESSAMENTO DE DADOS FOTOGRAMÉTRICOS

O planejamento de voo é feito através do aplicativo de smartphone *Pix4D capture*, onde é definida uma série de fatores para o voo, como: área a ser levantada, tamanho do pixel no terreno (GSD) e altitude de voo, sobreposições lateral e longitudinal, direção das linhas de voo e etc.

Durante o voo ainda é possível realizar alguns comandos através do link de rádio entre o controle conectado ao smartphone e o Drone, podendo acompanhar a aquisição dos dados em tempo real, sabendo o tempo restante de levantamento.

Para geração dos produtos fotogramétricos, foi utilizado o *software Pix4D*, resultando nos seguintes produtos finais:

- Densa geração de nuvem de pontos e classificação;
- Ortomosaico, Geração de Modelo Digital de Terreno e Modelo Digital de Superfície;
- Altimetria e geração de curvas de nível;
- Georreferenciamento usando log de voo e pontos de controle.

3.5 SOFTWARE DE DESENHO E GERAÇÃO DE MDT

O *AutoCAD civil 3D* é um software voltado para análise e geração de projetos, principalmente da área de engenharia civil. Este possui ferramentas para desenvolver projetos na área de SIG, transportes, meio ambiente, projetos hidráulicos e hidrológicos. A aplicabilidade e funções são muitas, neste trabalho ele foi utilizado para geração dos MDTs, cálculos de volumetria, geração de mapas e visualização 3D.

3.6 COMPUTADOR

O hardware utilizado tem como seus principais componentes: processador Intel Core i7-4770 com 3.40GHz, memória RAM de 32GB e placa gráfica NVIDIA GeForce GTX-660.

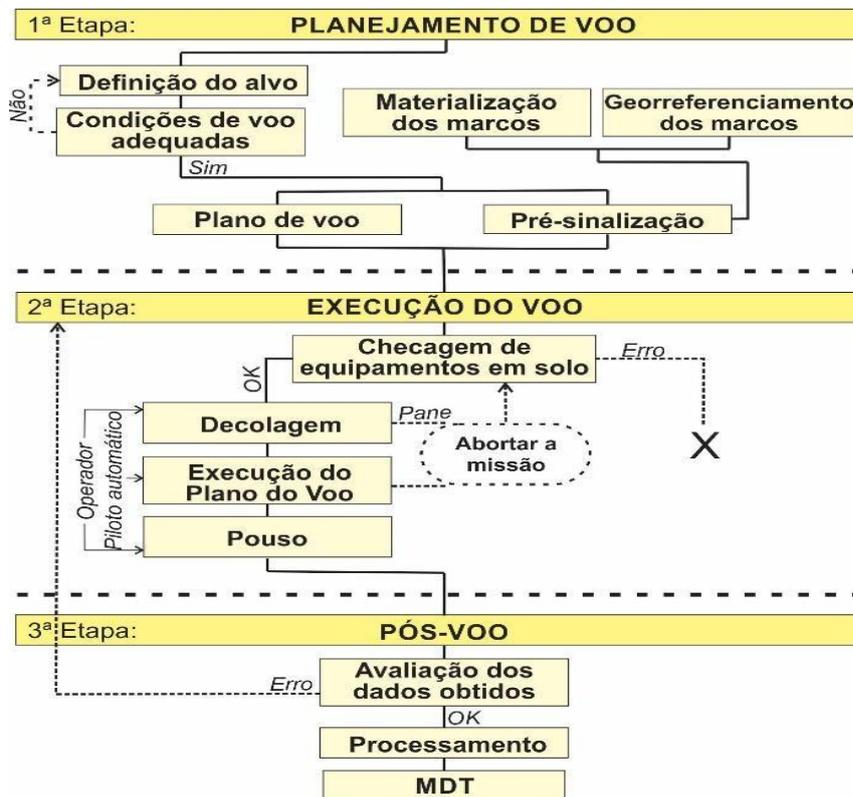
4 PROCEDIMENTOS

4.1 LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO

4.1.1 PLANEJAMENTO

Para realização da coleta de dados através da fotogrametria por Drone, é necessário um planejamento prévio conhecendo a área de estudo, visando a melhor forma de coletar os dados e preservar o equipamento do mal tempo ou condições adversas do terreno. A Figura 8, mostra resumidamente a ordem dos procedimentos.

Figura 8. Fluxograma das etapas



Fonte: Adaptado de Silva (2014).

4.1.2 PROCEDIMENTOS DE CAMPO

Após uma visita prévia no local de estudo e utilizando imagens de satélite, foi possível fazer a determinação de alguns pontos cruciais, tais como:

- Distribuição adequada dos pontos de controle, em áreas limpas com boa visibilidade, com recobrimento ideal para área sobrevoada;
- Determinar ponto de decolagem e aterrissagem do Drone, com raio de 50m de área limpa, localizado em um ponto onde o sinal de rádio do controle do equipamento permanece no raio de alcance;
- Local para instalar a base com o receptor GNSS.

Os pontos de controle foram materializados através de alvos de Cal para pintura, com linhas em formato de “X”, conforme mostra a Figura 9, com aproximadamente 1,00m de comprimento. Posteriormente estes pontos são utilizados na etapa de aerotriangulação, e tem suas coordenadas horizontais (H) e verticais (V) conhecidas, assim, sendo denominados HV.

A distribuição dos pontos foi determinada com auxílio prévio do programa *Google Earth*, e confirmadas com a visita em campo, tendo como objetivo cobrir em toda a área de estudo.

Figura 9. Pré-sinalização de ponto de controle no terreno (detalhe ortofoto)

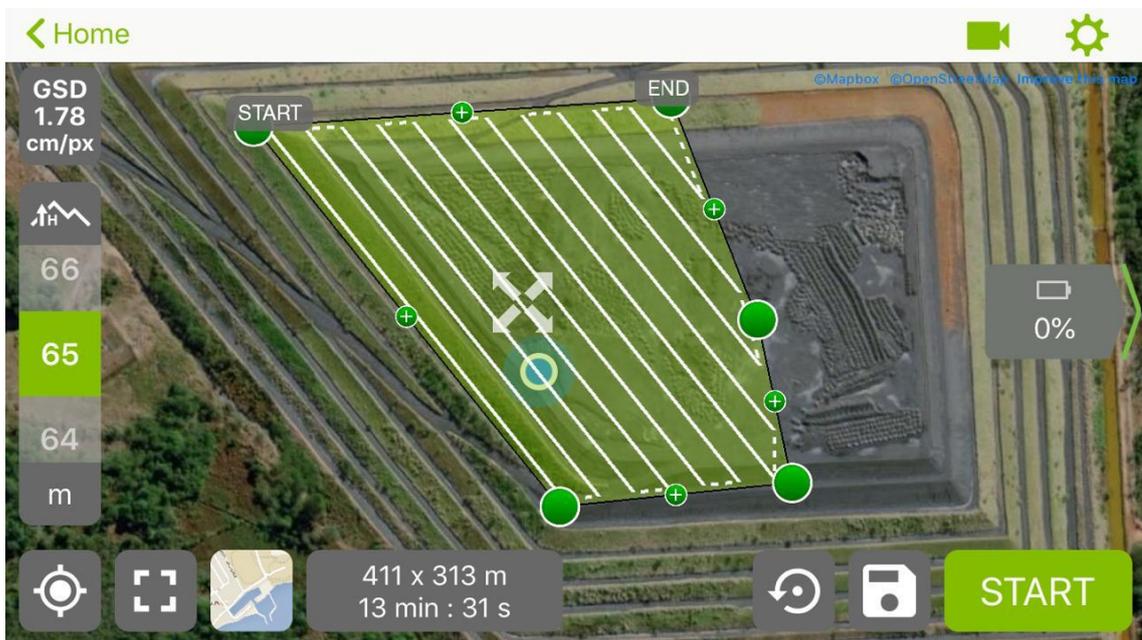


Fonte: O autor (2019).

4.1.3 REALIZAÇÃO DO VOO

Através do aplicativo *Pix4D capture*, inicialmente é delimitada a área que será sobrevoada desenhando o polígono por meio de imagem de satélite, no próprio aplicativo, ou utilizando um arquivo kml previamente importado para o Smartphone, conforme mostra a Figura 10. Após definida a área de interesse, é informado os demais parâmetros de voo, sobreposição das imagens, velocidade do equipamento, GSD (tamanho equivalente do pixel no terreno) que determinará a altitude de voo, e direção das linhas de voo.

Figura 10. Planejamento do voo através do aplicativo *Pix4D capture*



Fonte: O autor (2019).

Com o plano de voo pronto, é colocado o Drone no ponto determinado como base, em seguida o equipamento grava as coordenadas da base. Após isto, pode-se iniciar o voo que será feito de forma autônoma. O voo tem a duração máxima de 25 minutos, caso precise continuar o levantamento, o Anafi volta automaticamente a base para troca da bateria, então retorna ao ponto onde o levantamento foi interrompido. O operador acompanha toda a coleta de dados em tempo real, sendo informado da posição do Drone e tempo para término do levantamento. Finalizado o voo, o Anafi volta à base, os dados das imagens ficam armazenados no cartão de memória acoplado ao equipamento.

4.2 LEVANTAMENTO GEODÉSICO

Ao iniciar esta etapa, primeiramente foi escolhido o melhor local para instalação do receptor base, este deve ser um local limpo sem obstáculos bloqueadores de sinal de satélites, em um ponto alto próximo da área de estudo. Escolhido o local de ponto base, foi implantado um piquete sinalizador e instalado o equipamento.

Com a base instalada no ponto mais alto possível, se deu início ao primeiro rastreo, com duração de aproximadamente 3 horas, este foi interrompido devido aos problemas na bateria do equipamento. Quando isto ocorreu, os dados do rastreo não foram salvos, sendo necessário novo rastreo. Após trocada a bateria, por uma secundária de menor capacidade, foi instalada novamente a base, sendo rastreada por mais 1hr 03m 40s. Após este tempo no segundo rastreo, a bateria secundária da base estava com pouca carga, para não ocorrer o mesmo problema novamente, foi decidido salvar os dados, e encerrar o rastreo.

Inicialmente foram coletados os pontos de controle instalados para realização do voo com o Drone, após término destes, foi iniciado o levantamento da superfície escolhida para amostra. Nesta etapa procurou-se detalhar o terreno da melhor forma possível, sendo coletados pontos no pé e crista de todas as pilhas encontradas no local, e nas áreas mais planas, foi feito o método de secção, em linhas de aproximadamente 10m de afastamento.

O levantamento foi interrompido juntamente com o término do segundo rastreo de ponto base. A intenção do autor era uma amostra maior de pontos, porém, não sendo mais possível, o levantamento foi encerrado. No total foram coletados 768 pontos.

4.3 PROCEDIMENTOS EM ESCRITÓRIO

4.3.1 PROCESSAMENTO DOS DADOS GNSS/RTK

Através do software Topcon Tools, foi realizado o processamento dos dados coletados pelo equipamento GNSS/RTK. Primeiramente são inseridos os dados pré-processados no software, em seguida são carregados os dados das RBMCs mais próximas da região, Lages – SC e Imbituba – SC, para realização da correção da Base. Junto com os dados das RBMCs, são carregados os dados das efemérides rápidas extraídas do site da NASA. Com base corrigida, é feito a correção dos pontos cinemáticos coletados.

Todos os pontos coletados foram corrigidos juntos, pontos de cota e pontos de controle do aerolevanteamento, sendo que posteriormente foram separados pelas suas descrições.

Figura 11. Relatório de precisões do rastreo

Resultado Ajustamento						
Sub-rede ADRIONO11 , SCLA , IMBT (Horizontal Retrição + Vertical Retrição)						
Tipo	Ajustado Pontos	Fixo Pontos	Ponderados Pontos	Equações (Usadas/Rejeitadas)	UWE	UWE Saltos
				GPS		
Horz	3	0	2	2 / 1	1.00	[1.00,1.00]
Vert	3	0	2	2	1.67	[0.20,1.40]

Resíduos Pontos Ponderados							
Nome	Estado Rejeitado	Resíduos(m)			Resíduos Normais		
		N	E	H	N	E	H
SCLA		0.000	0.000	0.001	0.00	0.00	0.12
IMBT		0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.10

Observações Rejeitadas				
Nome	Tipo	Resíduo N(m)	Resíduo E(m)	Resíduo H(m)
ADRIONO11-SCLA	GPS	0.065	-0.123	0.070

CQ Falha Pontos			
Nome	DesvPadr n(m)	DesvPadr e(m)	DesvPadr u(m)
ADRIONO11	0.014	0.016	0.056

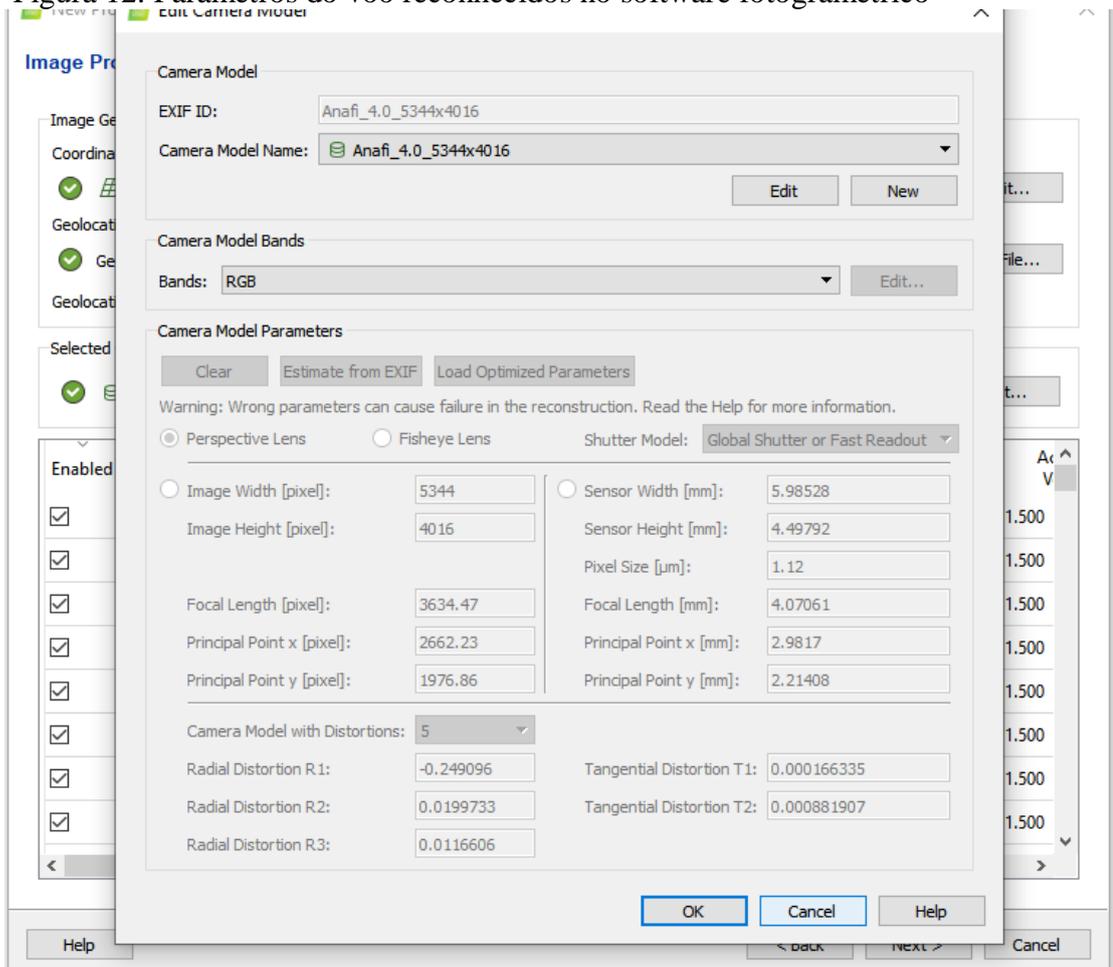
OK

Fonte: O autor (2019).

4.3.2 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DO AEROLEVANTAMENTO

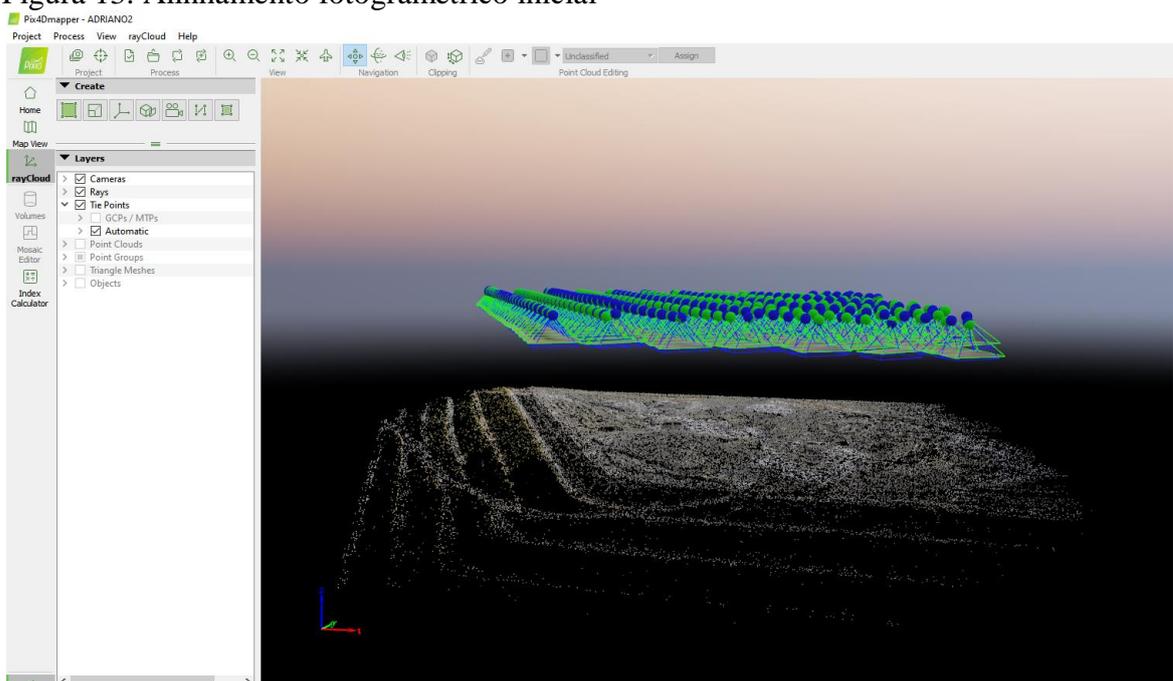
Ao carregar as imagens no software Pix4D, automaticamente são reconhecidos diversos parâmetros do voo salvos nas propriedades das imagens, Figura 12, um dos parâmetros reconhecidos são as coordenadas do Drone no momento de captura de cada imagem, isto permite um posicionamento inicial das fotos no software. Após as imagens reconhecidas e carregadas, é feito um alinhamento inicial de baixa precisão, Figura 13.

Figura 12. Parâmetros do voo reconhecidos no software fotogramétrico



Fonte: O autor (2019).

Figura 13. Alinhamento fotogramétrico inicial



Fonte: O autor (2019).

Feito o alinhamento inicial das imagens, são inseridas as coordenadas dos pontos de controle. Nesta etapa realizam-se manualmente os ajustes do posicionamento das imagens em relação aos pontos inseridos. Finalizados os ajustes, elaboram-se um novo processamento para alinhamento e fototriangulação, desta vez com maior precisão e correlacionando o ajustamento posicional proporcionado pelos pontos de controle.

Ao final do processamento obteve-se como resultado os arquivos de nuvem de pontos densa, a ortofoto e o MDT da área levantada, a partir destes é possível gerar diversos produtos derivados, como curvas de nível, perfis, mapas de elevação e cálculos de volume. Todos os parâmetros de processamento constam no relatório gerado pelo próprio software, no Anexo 1.

No caso deste levantamento, não foi necessário a utilização de filtros para limpeza de vegetação e demais objetos 3D da superfície para geração de MDT e nuvem densa de pontos. Da área total levantada, há pontos em que se encontra o solo coberto por vegetação, porém a superfície delimitada de interesse, utilizada para comparação neste estudo, é totalmente exposta e limpa, sem vegetação ou construções, conforme mostra a ortofotocarta no Apêndice 2, sendo assim, o produto final foi automaticamente gerado a nível do solo.

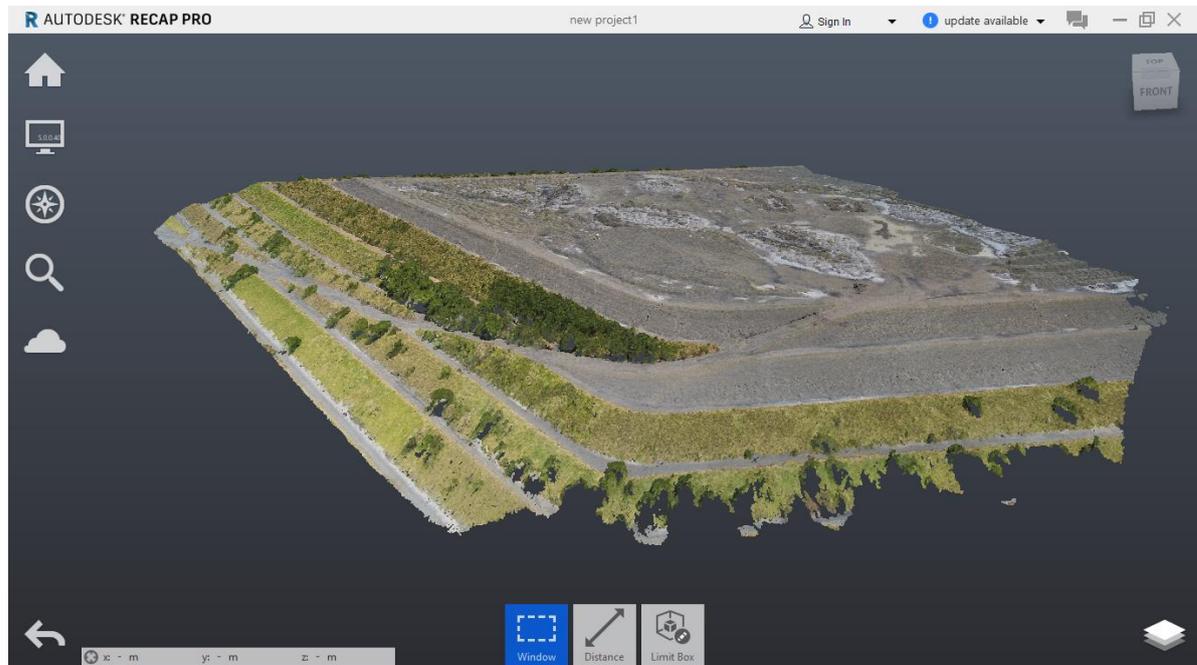
5 RESULTADOS E ANÁLISE

5.1 PRODUTOS GERADOS

5.1.1 NUVEM DE PONTOS

Em ambos os métodos de levantamento, após o processamento dos dados obteve-se o arquivo com a nuvem de pontos. Utilizando as nuvens de pontos, foi possível a interpolação no software *AutoCAD civil 3D*, gerando as superfícies TIN (triangulated irregular network).

Figura 14. Nuvem de pontos densa gerada a partir do levantamento com Drone



Fonte: O autor (2019).

5.1.2 ORTOMOSAICO

Como resultado final da mosaicagem das fotos do aerolevanteamento, obteve-se um Ortomosaico com área total recoberta de 16,0041 ha e GSD de 2,21 cm. O produto final trouxe boa qualidade visual, o valor baixo de GSD proporciona maior detalhamento e melhor resolução espacial, atingindo o esperado para este estudo.

As áreas com recobrimento de maior número de fotografias trouxeram boa qualidade visual, conforme mostra Figura 15. Já nas bordas da imagem, áreas com menor recobrimento, acontecem às distorções da imagem, tornando estas partes inutilizáveis, conforme mostra Figura 16, algo que naturalmente ocorre nestes tipos de trabalho.

Figura 15. Ortofoto (detalhe)



Fonte: O autor (2019).

Figura 16. Ortofoto (detalhe)



Fonte: O autor (2019).

5.2 CÁLCULO DE VOLUMES

A nuvem de pontos gerada a partir dos dados do aerolevanteamento com Drone foi filtrada pelo software *AutoCAD civil 3D*, pelo fato de ser desnecessariamente muito densa, gerando uma sobrecarga. A filtragem dos pontos feita pelo software foi bem significativa. Originalmente a densidade da nuvem de pontos era de 297,05 pontos/m², conforme citado no Anexo 1, após a filtragem este valor caiu para 2,294 pontos/m², conforme mostra a Tabela 1.

Apesar da grande diminuição da densidade dos pontos na geração da superfície, as principais características do detalhamento foram mantidas.

Para obtenção do volume comparativo deste estudo, inicialmente avaliou-se a altitude mínima obtida para os dois métodos, haja visto que a cubagem terá a mesma cota de referência altimétrica. Sendo assim, a partir da altitude 55,00 metros (altitude inferior à mínima encontrada nas superfícies topográficas de estudo), se criou um plano topográfico de corte. Ao interpolar esta superfície de projeto com os MDTs do GNSS/RTK e Drone, obteve-se um valor volumétrico de corte, possibilitando analisar a diferença de ambos.

Tabela 1. Estatísticas gerais das superfícies

Estatísticas Gerais	DRONE	GNSS/RTK	Diferença Total (DRONE - GNSS)
Área 2D (m ²)	17.408,44	17.408,44	0,00
Área 3D (m ²)	17.993,07	17.792,26	200,94
Volume (m ³)	79.257,39	78.560,99	696,40
Elevação Máxima (m)	62,533	62,322	0,21
Elevação Mínima (m)	57,173	57,336	-0,16
Elevação Média (m)	59,553	59,563	-0,01
Nuvem de Pontos (un)	39.927	768	39.159
Densidades da Nuvem de Pontos (un/m ²)	2,294	0,044	2,25
Triangulações TIN (un)	77.439	1451	75.988

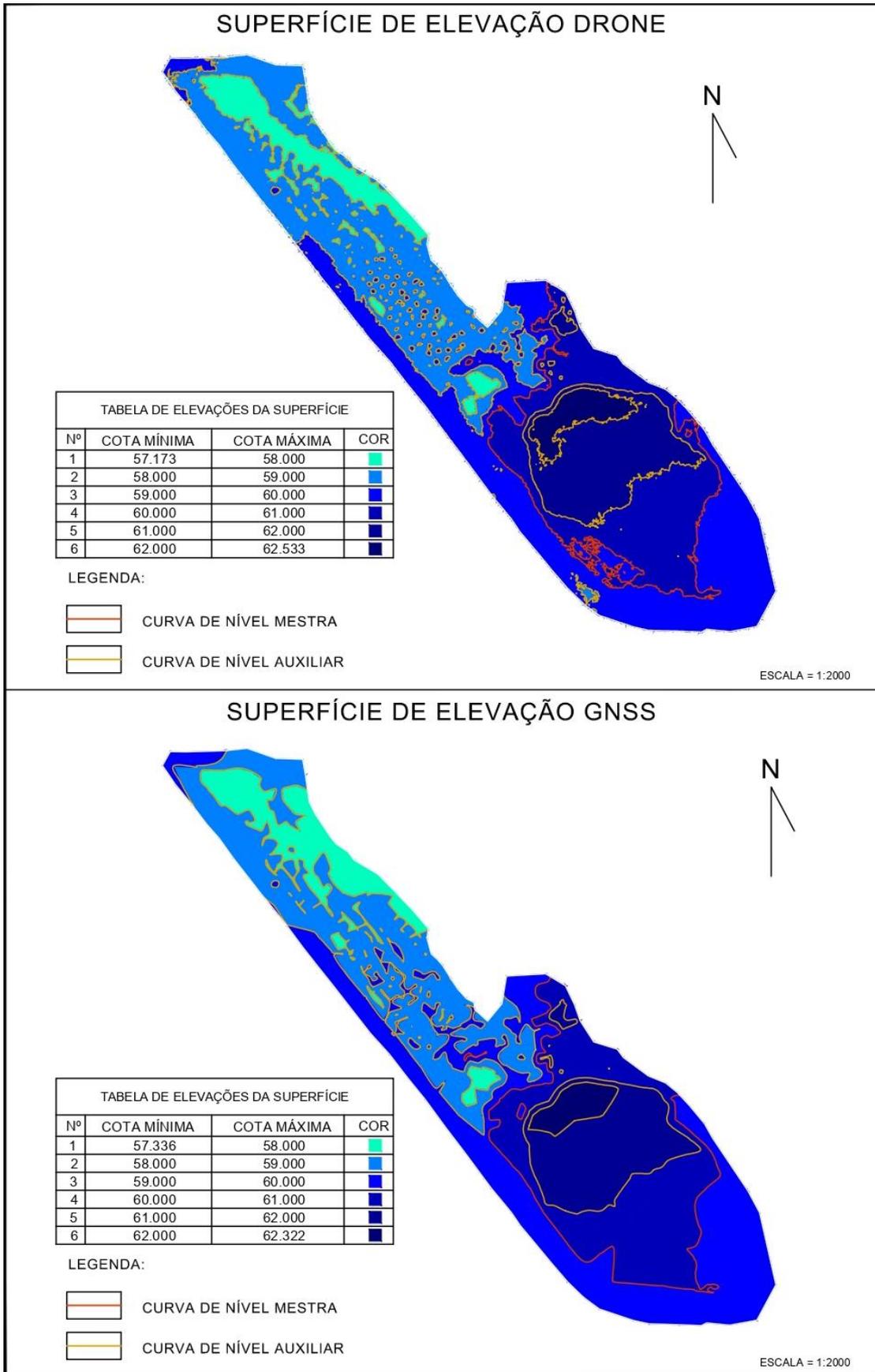
Fonte: O autor (2019).

As superfícies amostradas trouxeram em suas comparações, valores muito parecidos de volumetria, porém ao analisar as diferenças em outros dados muito importantes, como Densidade da nuvem de pontos e Triangulações, a superfície gerada a partir dos dados obtidos com a plataforma Drone apresenta números muito maiores, fatores determinantes em um bom detalhamento da superfície no produto final.

5.3 SUPERFÍCIES DE ELEVAÇÃO

Utilizando as superfícies TIN, é possível analisar informações altimétricas dos MDTs. Neste caso é interessante a visualização das diferenças quando representadas em um mapa de elevação (Figura 17), onde as altitudes estão representadas por cores (hipsometria).

Figura 17. Mapas de elevações

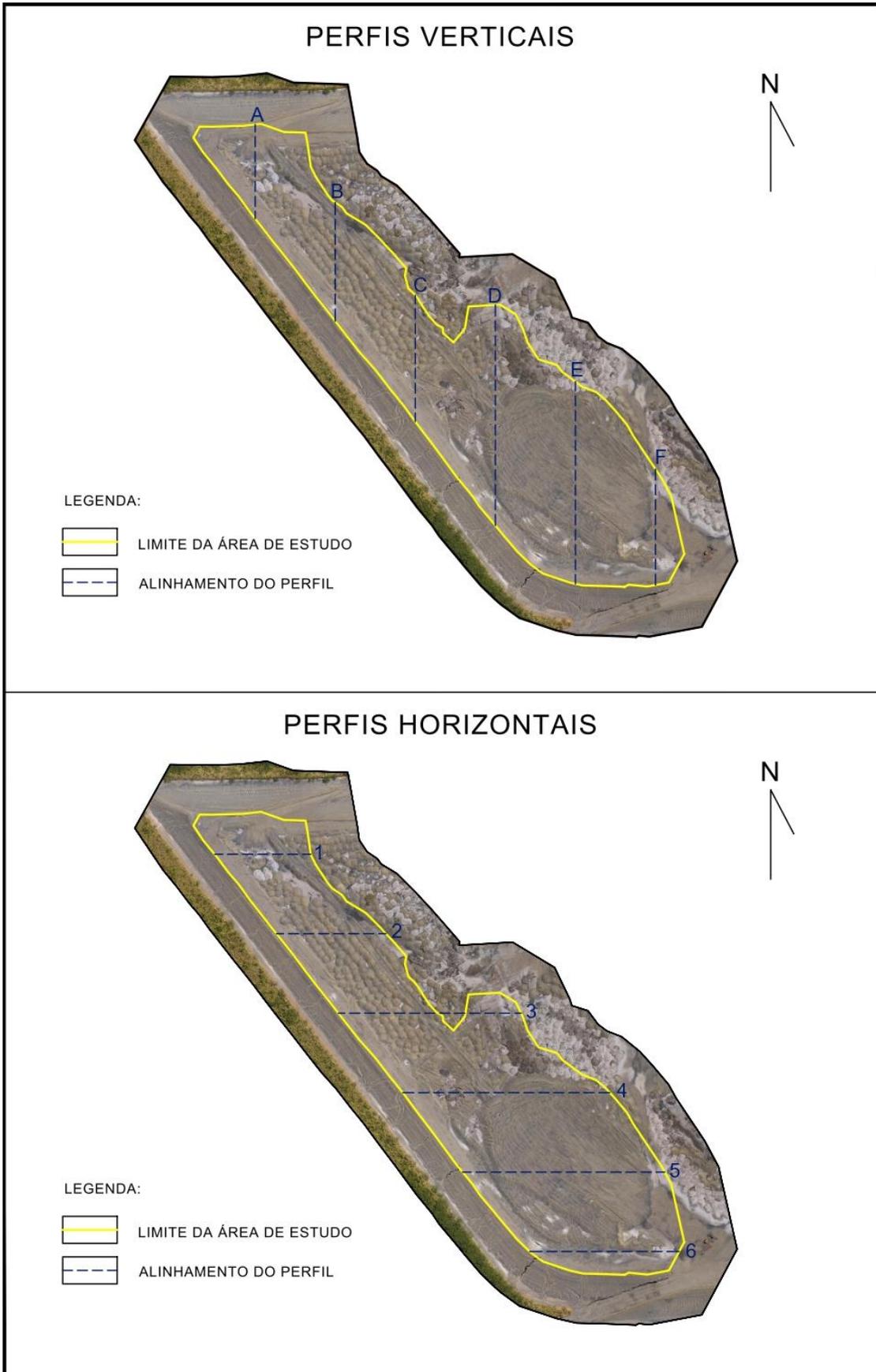


Fonte: O autor (2019).

5.4 PERFIS SOBREPOSTOS DAS SUPERFÍCIES

Para aprofundar as análises comparativas, foram gerados perfis verticais e horizontais na área de estudo. Estes perfis ilustram diretamente as divergências no resultado entre os métodos de levantamento. A Figura 18, indica como os perfis foram distribuídos, e o Apêndice 1 contém os perfis utilizados na comparação.

Figura 18. Perfis verticais e horizontais



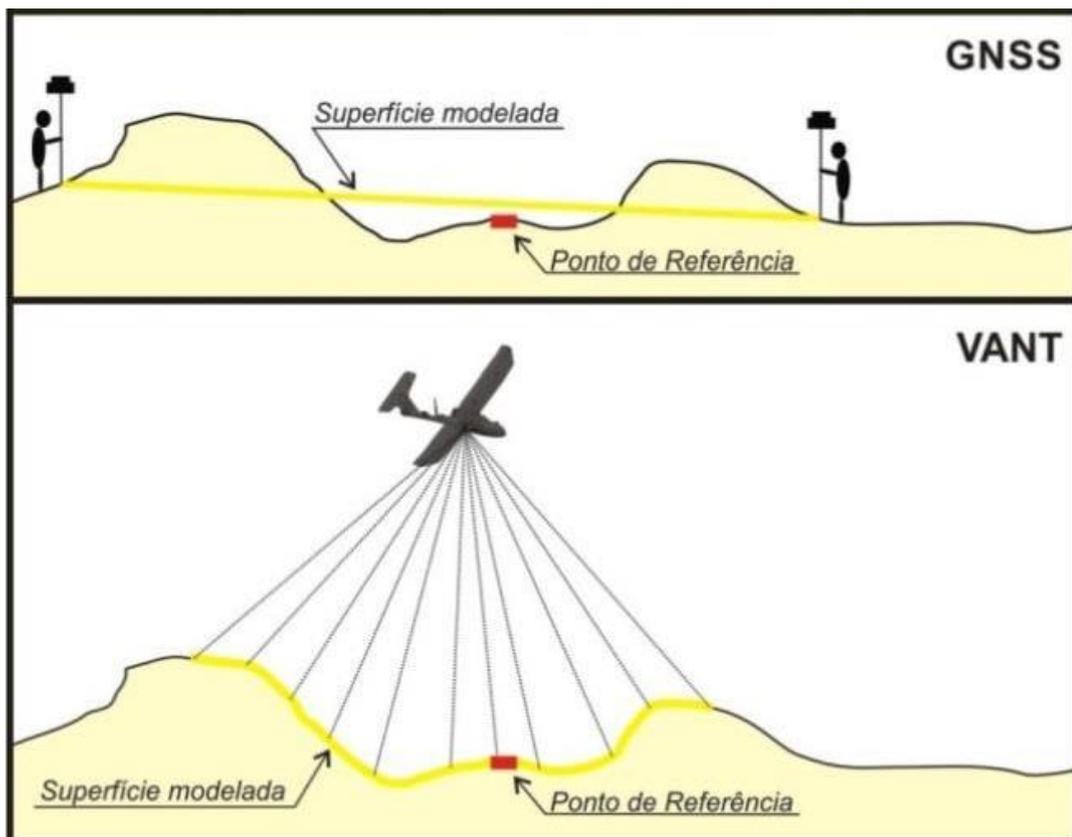
Fonte: O autor (2019).

Ao observar os detalhes encontrados nos perfis, percebem-se alguns erros grosseiros na superfície gerada a partir dos dados coletados com receptor GNSS RTK, devido à falta de dados em locais importantes para definição do terreno. Estes erros acontecem devido a descuidos do operador no momento do levantamento. Pelo fato da superfície deste estudo conter muitas irregularidades, seria necessário um controle muito rigoroso para não ocorrer este tipo de falhas.

No Apêndice 1, por exemplo, onde apresenta-se os perfis horizontais, é possível ver no detalhe do perfil A, entre a estaca 0 e 1, uma pilha de material na qual o aerolevante com Drone mapeou, porém com receptor GNSS/RTK ocorreu uma falha e não foi mapeado.

Desta forma, o levantamento através do Drone, traz melhor detalhamento quando se há a necessidade de uma representação mais fidedigna da área de interesse.

Figura 19. Representação esquemática dos MDTs do Drone (Vant) e GNSS



Fonte: Adaptado de Silva, A.C., et al., (2016).

A partir do estaqueamento gerado no alinhamento dos perfis, foi possível criar uma tabela demonstrando a diferença altimétrica em cada estaca.

Tabela 2. Diferença altimétrica em cada estaca dos alinhamentos dos perfis

PERFIL	ESTACA	H GNSS (m)	H DRONE (m)	H GNSS (m) - H DRONE (m)
A	0	58,750	58,807	-0,057
	1	57,360	57,334	0,026
	2	58,750	58,730	0,020
B	0	58,060	58,062	-0,002
	1	58,440	58,436	0,004
	2	58,790	58,788	0,002
C	0	58,370	58,701	-0,331
	1	58,350	58,575	-0,225
	2	58,640	58,792	-0,152
	3	59,170	59,168	0,002
D	0	59,830	59,806	0,024
	1	60,070	59,943	0,127
	2	58,910	58,824	0,086
	3	62,200	62,167	0,033
	4	61,600	61,732	-0,132
	5	59,230	59,200	0,030
E	0	60,250	60,283	-0,033
	1	61,720	61,737	-0,017
	2	61,020	61,017	0,003
	3	60,700	60,891	-0,191
	4	60,060	60,000	0,060
	5	59,27	59,259	0,011
F	0	59,370	59,392	-0,022
	1	59,440	59,440	0,000
	2	59,330	59,358	-0,028
1	0	57,490	57,538	-0,048
	1	57,500	57,378	0,122
	2	58,720	58,792	-0,072
2	0	57,530	57,601	-0,071
	1	58,570	58,792	-0,222
	2	58,080	58,322	-0,242
3	0	60,290	60,457	-0,167
	1	59,820	59,271	0,549
	2			
	3	58,340	58,732	-0,392
	4	58,240	58,022	0,218
4	0	59,910	59,774	0,136
	1	61,810	62,035	-0,225
	2	62,140	62,21	-0,070
	3	60,470	60,418	0,052
	4	58,140	58,577	-0,437

	5	59,120	59,146	-0,026
5	0	59,500	59,502	-0,002
	1	60,080	60,077	0,003
	2	60,750	60,752	-0,002
	3	61,160	61,156	0,004
	4	61,410	61,410	0,000
	5	59,190	59,193	-0,003
6	0	58,320	59,319	-0,999
	1	59,520	59,525	-0,005
	2	59,270	59,629	-0,359
	3	59,130	59,134	-0,004

MÉDIA	-0,003
DESVIO PADRÃO	0,2076
MODA	0,004

Fonte: O autor (2019).

5.5 CUSTOS TOTAIS

Com base em valores consultados com a empresa que forneceu os equipamentos de topografia, foram elaboradas tabelas de simulação de custos de levantamento e processamento. Os valores podem sofrer alterações no caso de utilização de diferentes equipamentos, quantidade de pessoas envolvidas e área total levantada. Mesmo, diante das variações monetárias citadas acima, as Tabelas 3, 4, 5 e 6 apresentam dados de custos.

Para determinar o custo diário dos equipamentos Receptor GNSS/RTK, Drone e Veículo foram estimados valores médios de aluguel aplicados no mercado.

Tabela 3. Simulação dos custos no levantamento planialtimétrico com GNSS/RTK

Descrição	Qty.	Preço unitário / Salário Base	Custo diário	Dias de utilização	Total
Receptor GNSS/RTK	1	R\$ 80.000,00	R\$ 350,00	1	R\$ 350,00
Veículo	1	R\$ 30.000,00	R\$ 150,00	1	R\$ 150,00
Combustível (litros)	30	R\$ 4,00	-	-	R\$ 120,00
Alimentação	4	R\$ 20,00	-	-	R\$ 80,00
Eng. Agrimensor	1	R\$ 8.500,00	R\$ 340,00	1	R\$ 340,00
Auxiliar de campo	1	R\$ 1.800,00	R\$ 72,00	1	R\$ 72,00
TOTAL					R\$ 1.112,00

Fonte: O autor (2019).

Tabela 4. Simulação dos custos no levantamento planialtimétrico com Drone

Descrição	Qty.	Preço unitário / Salário Base	Custo diário	Dias de utilização	Total
Drone					
Aerofotogramétrico	1	R\$ 10.000,00	R\$ 500,00	0,5	R\$ 250,00
Receptor GNSS/RTK	1	R\$ 80.000,00	R\$ 350,00	0,5	R\$ 175,00
Veículo	1	R\$ 30.000,00	R\$ 150,00	0,5	R\$ 75,00
Cal de pintura (alvos)	1	R\$ 10,00	-	-	R\$ 10,00
Combustível	30	R\$ 4,00	-	-	R\$ 120,00
Alimentação	2	R\$ 20,00	-	-	R\$ 40,00
Eng. Agrimensor	1	R\$ 8.500,00	R\$ 340,00	0,5	R\$ 170,00
Auxiliar de campo	1	R\$ 1.800,00	R\$ 72,00	0,5	R\$ 36,00
TOTAL					R\$ 876,00

Fonte: O autor (2019).

Os valores encontrados nas Tabelas 3 e 4 utilizam apenas os custos de campo, sendo que não estão inclusas taxas administrativas e percentuais de lucro, que devem ser considerados em uma situação real de prestação deste tipo de serviço.

Ao analisar o valor total das etapas de campo de ambos os métodos, percebe-se que utilizando o método GNSS/RTK o custo é maior. O principal fator causador disto seria a quantidade de tempo necessária para a realização do serviço, o dobro quando comparada a metodologia Drone. O fato de o método de aerolevanteamento com Drone demandar menos tempo para aquisição dos mesmos dados possibilita ao profissional a realização de mais trabalhos, aumentando ainda mais a diferença no custo benefício entre os métodos nesta etapa do serviço.

Porém, apesar do maior custo e tempo de levantamento na utilização do receptor GNSS/RTK, ele apresenta melhor durabilidade e resistência quando comparado a tecnologia Drone, além de poder analisar alguns dados métricos em tempo real e contar com mais funcionalidades, como locação de pontos e alinhamentos.

Devido a maior fragilidade da tecnologia Drone, são comuns situações de perda total do equipamento em casos de colisão com objetos ou queda durante o voo, tornando este investimento mais arriscado.

O valor adotado para custo diário de Software de processamento GNSS/RTK, Software de desenho, Software de processamento fotogramétrico e Computador, demonstrados nas Tabelas 5 e 6, foram definidos através de uma estimativa quanto a necessidade de renovação da tecnologia, 5 anos. Desta forma, o valor é resultado de uma

equação em que o preço unitário da licença ou do equipamento é dividido pelo número total de dias no período de 5 anos.

Tabela 5. Simulação dos custos no processamento dos dados obtidos com GNSS/RTK

Descrição	Qnt.	Preço unitário / Salário Base	Custo diário	Dias de utilização	Total
Software de processamento GNSS/RTK	1	R\$ 5.000,00	R\$ 2,74	0,5	R\$ 1,37
Software de desenho	1	R\$ 7.500,00	R\$ 4,11	0,5	R\$ 2,05
Computador	1	R\$ 7.000,00	R\$ 3,84	0,5	R\$ 1,92
Eng. Agrimensor	1	R\$ 8.500,00	R\$ 340,00	0,5	R\$ 170,00
TOTAL					R\$ 175,34

Fonte: O autor (2019).

Tabela 6. Simulação dos custos no processamento dos dados obtidos com Drone

Descrição	Qnt.	Preço unitário / Salário Base	Custo diário	Dias de utilização	Total
Software de processamento GNSS/RTK	1	R\$ 5.000,00	R\$ 2,74	0,5	R\$ 1,37
Software de processamento fotogramétrico	1	R\$ 25.000,00	R\$ 13,70	2	R\$ 27,40
Software de desenho	1	R\$ 7.500,00	R\$ 4,11	0,5	R\$ 2,05
Computador	1	R\$ 7.000,00	R\$ 3,84	2	R\$ 7,67
Eng. Agrimensor	1	R\$ 8.500,00	R\$ 340,00	1	R\$ 340,00
TOTAL					R\$ 378,49

Fonte: O autor (2019).

Os valores encontrados nas Tabelas 5 e 6, seguindo o exemplo das Tabelas 3 e 4, não incluem percentuais de lucro de quem irá prestar o serviço. Também não são contabilizados os gastos de manter um local de trabalho, como um escritório comercial, que envolveria custos de aluguel, água, energia, telefone e etc.

Em contrapartida dos custos de levantamento dos dados de campo, o processamento é mais caro utilizando o método de aerolevamento com Drone. Isto ocorre devido à grande quantidade de dados digitais contidos nas imagens aerofotogramétricas. Estas requerem softwares mais caros, demandam maior capacidade de processamento e conseqüentemente levam mais tempo.

6 CONCLUSÃO

Visto que este trabalho possibilitou comparar a altimetria e volume, bem como o processo de geração destes resultados pelos diferentes métodos de levantamento, o objetivo proposto foi alcançado. Os produtos gerados podem servir de base para estudantes e profissionais que tiverem a necessidade de escolher um método de levantamento para uma área com as características da mesma deste estudo.

Visando o melhor detalhamento da área de estudo, a aplicação da tecnologia Drone, neste caso, trouxe melhores resultados de custo-benefício.

Apesar de maior custo e tempo de processamento, quando se trata de gerar uma representação mais fidedigna de uma superfície irregular, como a utilizada para este estudo, o aerolevamento com a plataforma Drone, apresenta vantagens tendo menor tempo de levantamento em campo com maior aquisição de dados, quando comparada com a tecnologia GNSS/RTK.

Outro fator muito importante que diferencia as metodologias aplicadas é a segurança e conforto do operador do equipamento, no momento da aquisição dos dados em campo. Enquanto a plataforma Drone cobre a área de estudo altivamente, para aquisição de dados com a tecnologia GNSS/RTK o operador precisa percorrer a superfície por inteira, se expondo as condições climáticas e situações de risco.

Sabendo-se das vantagens oferecidas pela plataforma de aerolevamento Drone, é importante observar que, neste caso, devido a utilização dos pontos de controle para atingir o produto final desejado, é indispensável a utilização conjunta do receptor GNSS/RTK no levantamento.

Durante a realização deste trabalho, foi possível expandir muito o conhecimento na área. O envolvimento durante todas as etapas do processo de planejamento, execução do levantamento e processamento, fez com que o conteúdo visto durante o curso de Engenharia de Agrimensura fosse colocado em prática. Desta forma, adquiriu-se experiência e confiança para futuramente ingressar no mercado de trabalho.

7 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J. B. Fotogrametria. Curitiba: SBEE. 1998.
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY (ASP) Manual of Photogrammetry, 1966, 1220p.
- AMAZON. Parrot Anafi. Disponível em: <<https://www.amazon.com/Parrot-Foldable-Quadcopter-Autonomous-vertical/dp/B07D5R2JKL>> acesso em 26 de outubro de 2019.
- DA SILVA, Cristiano Alves. AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DO CÁLCULO DE VOLUME DE PILHAS DE REJEITO UTILIZANDO VANT, GNSS E Lidar. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 22, n. 1, 2016.
- 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.
- FORTUNATO, J. C. Comparação entre topografia com drones x topografia tradicional. Disponível em: <<https://mundogeo.com/2018/06/26/artigo-comparacao-entre-topografia-com-drones-x-topografia-tradicional/>> acesso em 01 de outubro de 2019.
- GEMAEL, C. Introdução à Geodésia Física. Curitiba: UFPR. 1999.
- Horus Aeronaves. Pontos de Controle. Disponível em: <<https://horusaeronaves.com/pontos-de-controle-com-drones-como-utilizar/>> acesso em 17 de outubro de 2019.
- ISIOYE, A. O.; JOBIN, P. An Assessment of Digital Elevation Models (DEMs) From Different Spatial Data Sources. Asian Journal of Engineering, Sciences & Technology, v. 2, n. 1, 2012.
- ISPRS. *Internacional Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. Disponível em: <<http://www.isprs.org/society/>>. Acesso em 12 de outubro de 2019.
- PARROT, dados Drone Parrot Anafi. Disponível em: <<https://www.parrot.com/global/parrot-professional/anafi-work>> acesso em 01 de outubro de 2019.
- PETRIE, G., KENNIE, T. J. M., Terrain modelling in surveying and civil engineering. Caithness : Whittles, 1990.
- Pontos de Controle. Disponível em: <<https://www.dronevisual.com/single-post/2018/09/12/PONTOS-DE-CONTROLE-NO-MAPEAMENTO-AEREO-COM-DRONE>> acesso em 14 de outubro de 2019.
- SILVA, D.C.; TOONSTRA, G.W.A.; SOUZA, H.L.S.; PEREIRA, T.A.J. Qualidade de ortomosaicos de imagens de vant processados com os softwares aps, pix4d e photoscan. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO.

TOPCON TOOLS, dados funções do software Topcon Tools. Disponível em: <https://topconcare.com/en/software/office-applications/topcon-tools-8/> > acesso em 16 de outubro de 2019.

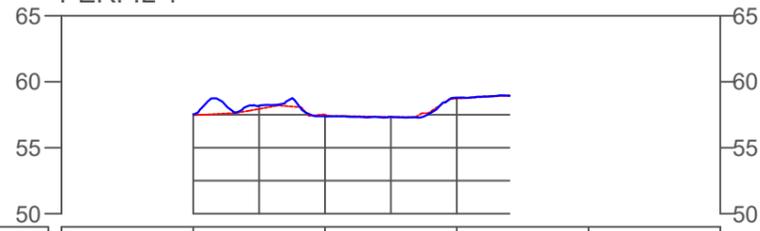
TOPOMAP. Topcon GPS Hiper II. Disponível em: <<http://topomapmg.com.br/shop/receptor-gnss-1112-topcon-hiper-ii/>> acesso em 28 de outubro de 2019.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Perfis verticais e horizontais comparativos da área de estudo, Folhas A3.

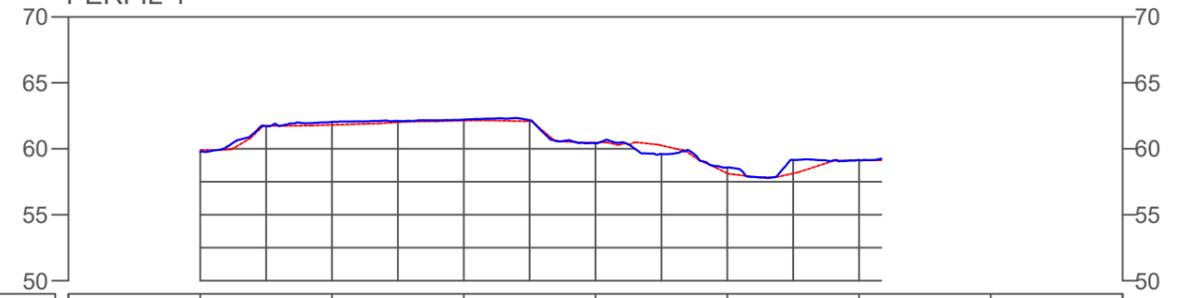
PERFIS HORIZONTAIS

PERFIL 1



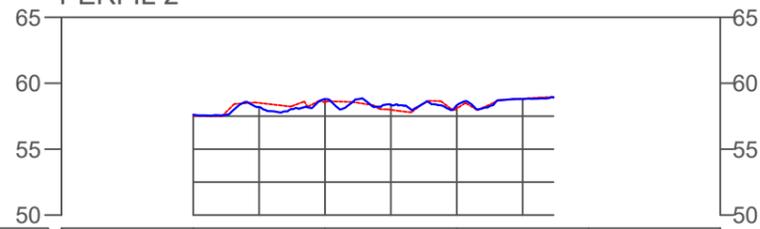
COTAS GNSS/DRONE	57,49 57,538	57,50 57,378	58,72 58,792	
ESTACAS	0	1	2	3

PERFIL 4



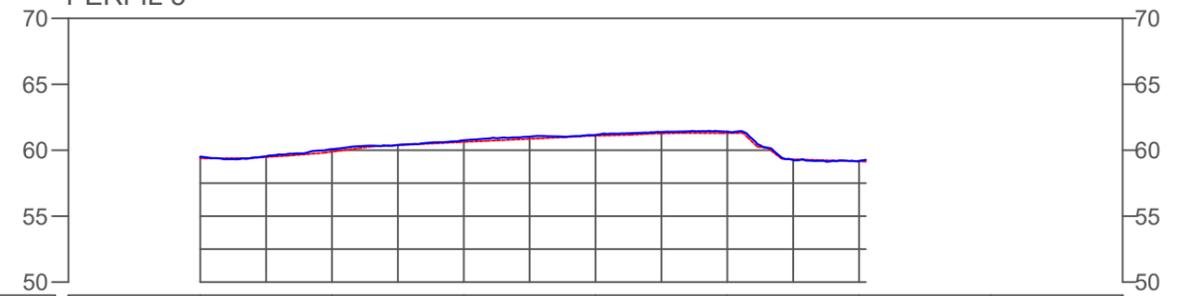
COTAS GNSS/DRONE	59,91 59,774	61,81 62,035	62,14 62,210	60,47 60,418	58,14 58,577	59,12 59,146	
ESTACAS	0	1	2	3	4	5	6

PERFIL 2



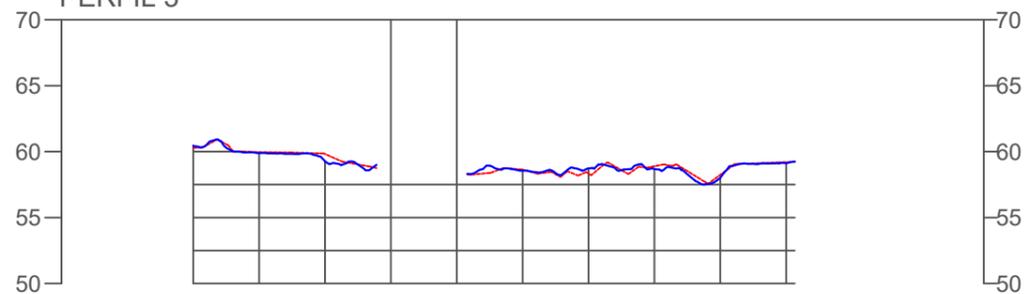
COTAS GNSS/DRONE	57,53 57,601	58,57 58,792	58,08 58,322	
ESTACAS	0	1	2	3

PERFIL 5



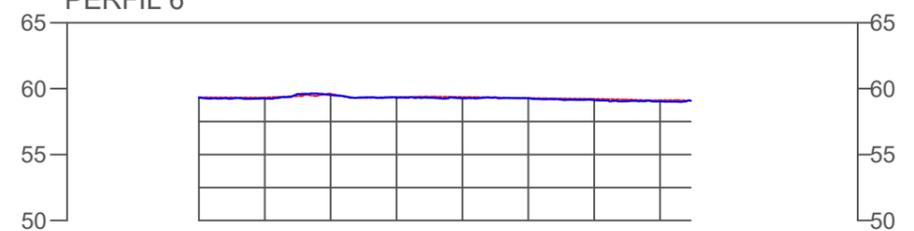
COTAS GNSS/DRONE	59,50 59,502	60,08 60,077	60,75 60,752	61,16 61,156	61,41 61,410	59,19 59,193	
ESTACAS	0	1	2	3	4	5	6

PERFIL 3



COTAS GNSS/DRONE	60,29 60,457	59,82 59,271	58,34 58,732	58,24 58,022	
ESTACAS	0	1	2	3	4

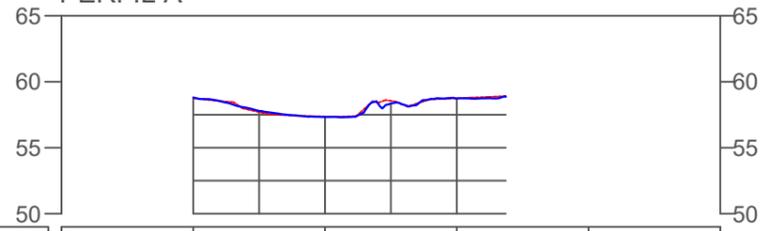
PERFIL 6



COTAS GNSS/DRONE	59,32 59,319	59,52 59,525	59,27 59,269	59,13 59,134	
ESTACAS	0	1	2	3	4

PERFIS VERTICAIS

PERFIL A



COTAS
GNSS/DRONE

58,75
58,807

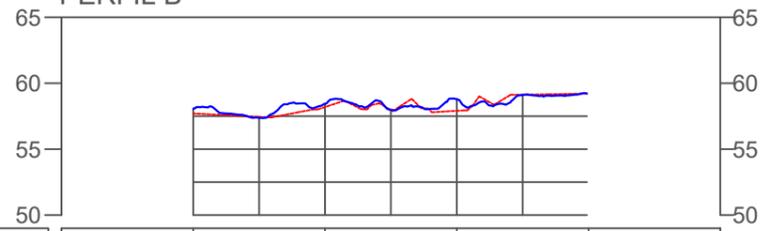
57,36
57,334

58,75
58,730

ESTACAS

0 1 2 3 4

PERFIL B



COTAS
GNSS/DRONE

58,06
58,062

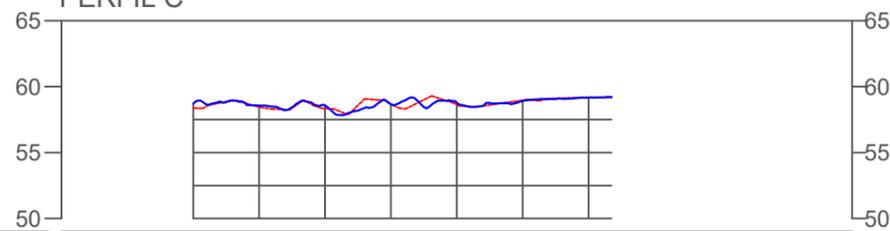
58,44
58,436

58,79
58,788

ESTACAS

0 1 2 3 4

PERFIL C



COTAS
GNSS/DRONE

58,37
58,701

58,35
58,575

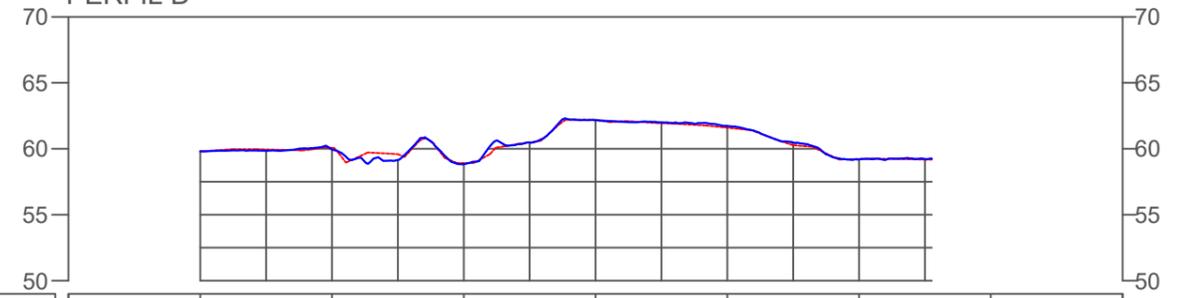
58,64
58,792

59,17
59,168

ESTACAS

0 1 2 3 4 5

PERFIL D



COTAS
GNSS/DRONE

59,83
59,806

60,07
59,943

58,91
58,824

62,20
62,167

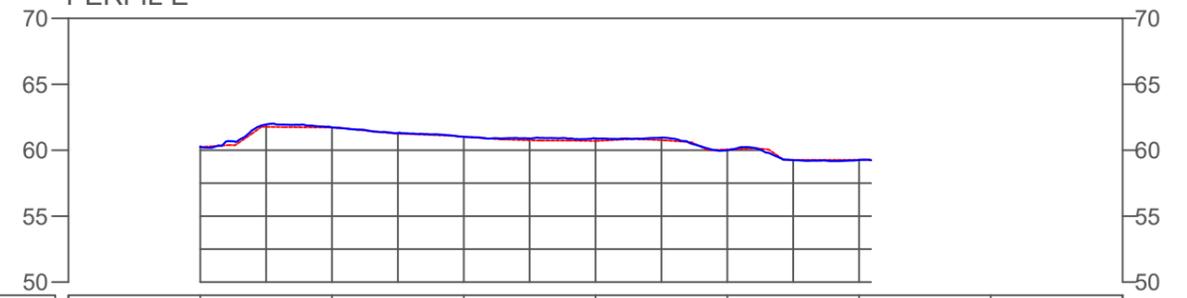
61,60
61,732

59,23
59,200

ESTACAS

0 1 2 3 4 5 6 7

PERFIL E



COTAS
GNSS/DRONE

60,25
60,283

61,72
61,737

61,02
61,017

60,70
60,891

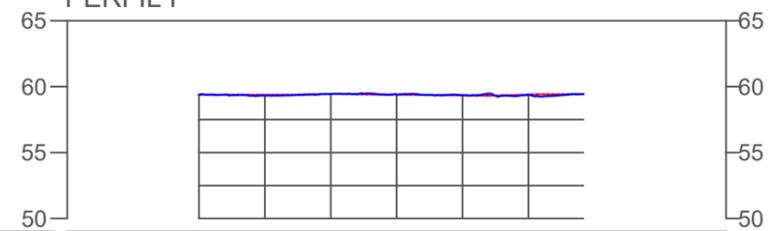
60,06
60,000

59,27
59,259

ESTACAS

0 1 2 3 4 5 6 7

PERFIL F



COTAS
GNSS/DRONE

59,37
59,392

59,44
59,440

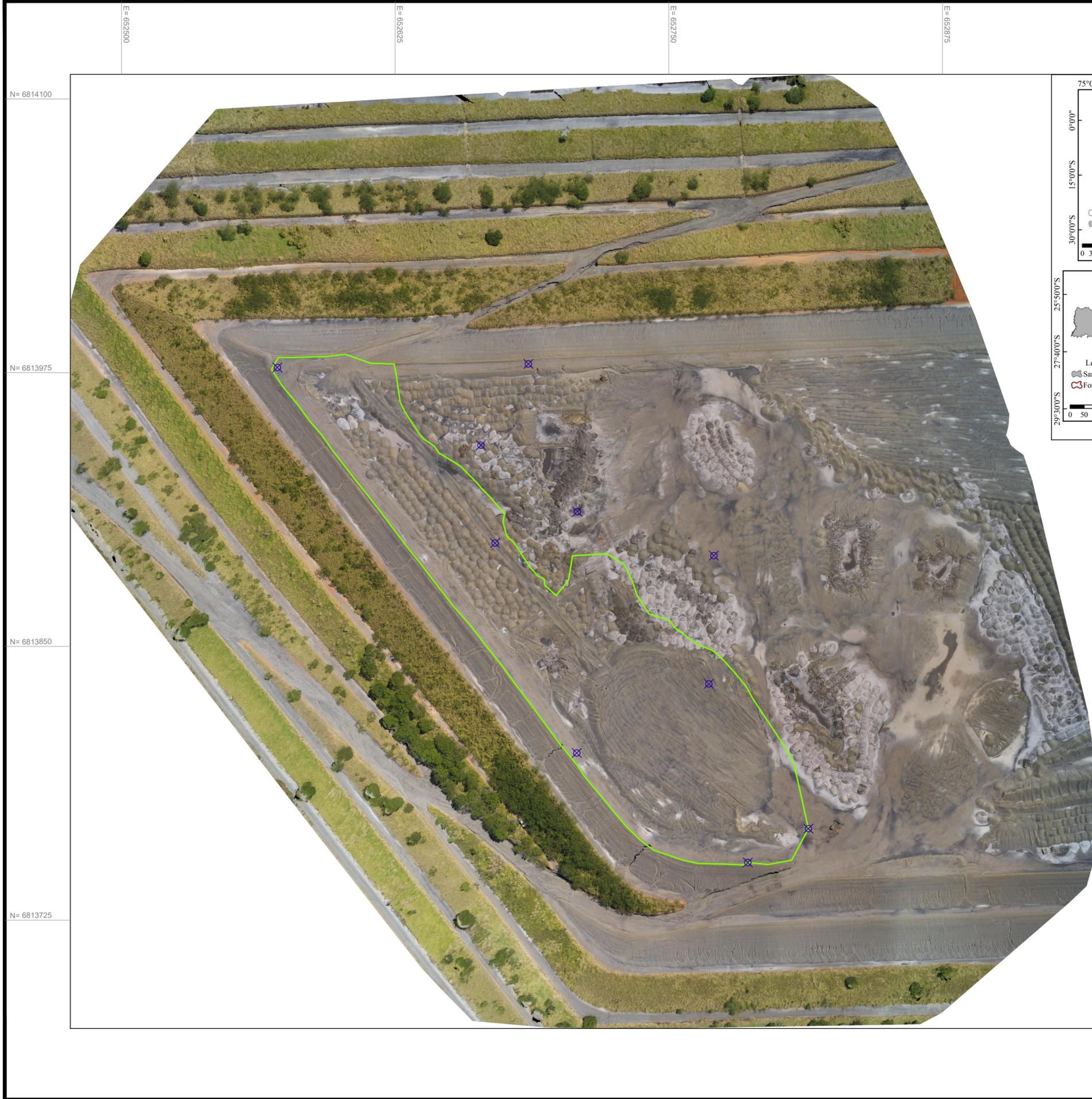
59,33
59,358

ESTACAS

0 1 2 3 4

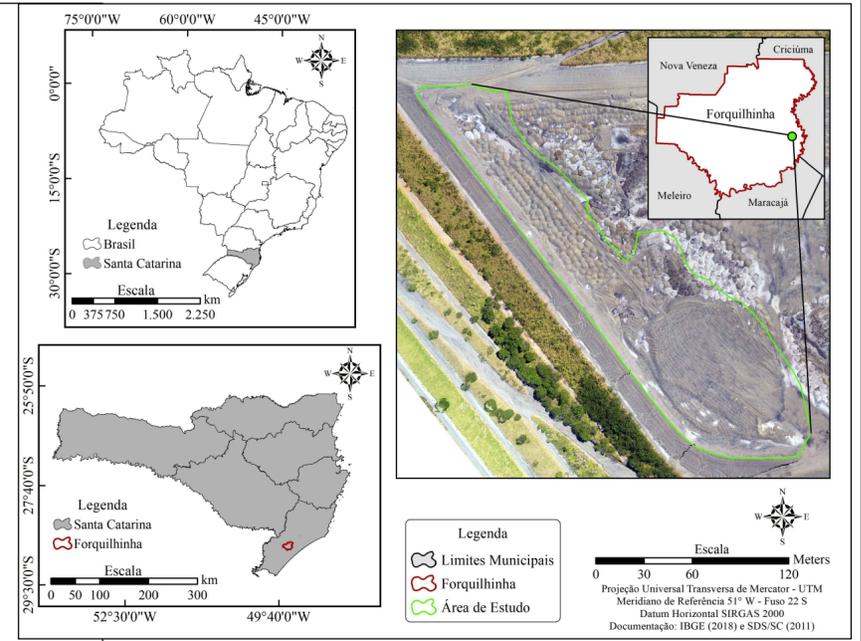
APÊNDICE 2 – Ortofotocarta da área total levantada – Folha A2, Escala 1:1250

LOCALIZAÇÃO



N= 6814100
 N= 6813975
 N= 6813850
 N= 6813725

E= 652600
 E= 652625
 E= 652750
 E= 652875



Legenda
 Limites Municipais
 Forquilha
 Área de Estudo

Escala
 0 30 60 120 Meters
 Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM
 Meridiano de Referência 51° W - Fuso 22 S
 Datum Horizontal SIRGAS 2000
 Documentação: IBGE (2018) e SDS/SC (2011)



LEGENDA:
 LIMITE DA ÁREA DE ESTUDO
 PONTO DE CONTROLE

INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS:
 Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000
 Sistema de Projeção: UTM
 Fuso: 22S (MC = 51° W)
 Tamanho do GSD: 2.21cm
 Área Total Recoberta: 16.0041 ha
 Área Total de Estudo: 1.7408 ha

UNESC - Universidade do Extremo Sul catarinense	
PRODUTO: ORTOFOTOCARTA PILHA DE REJEITO	
AUTOR: Adriano Turazi Exterckoetter	ESCALA: 1:1250
MUNICÍPIO: Forquilha/SC	DATA: NOV/2019

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

ANEXO

ANEXO 1 – Relatório de processamento fotogramétrico gerado automaticamente pelo Software Pix4D.



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	ADRIANO2
Processed	2019-10-28 23:12:39
Camera Model Name(s)	Anafi_4.0_5344x4016 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.21 cm / 0.87 in
Area Covered	0.160 km ² / 16.0041 ha / 0.06 sq. mi. / 39.5676 acres
Time for Initial Processing (without report)	59m:39s

Quality Check



Images	median of 42568 keypoints per image	
Dataset	234 out of 234 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	0.26% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 15721.4 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 10 GCPs (10 3D), mean RMS error = 0.04 m	

Preview

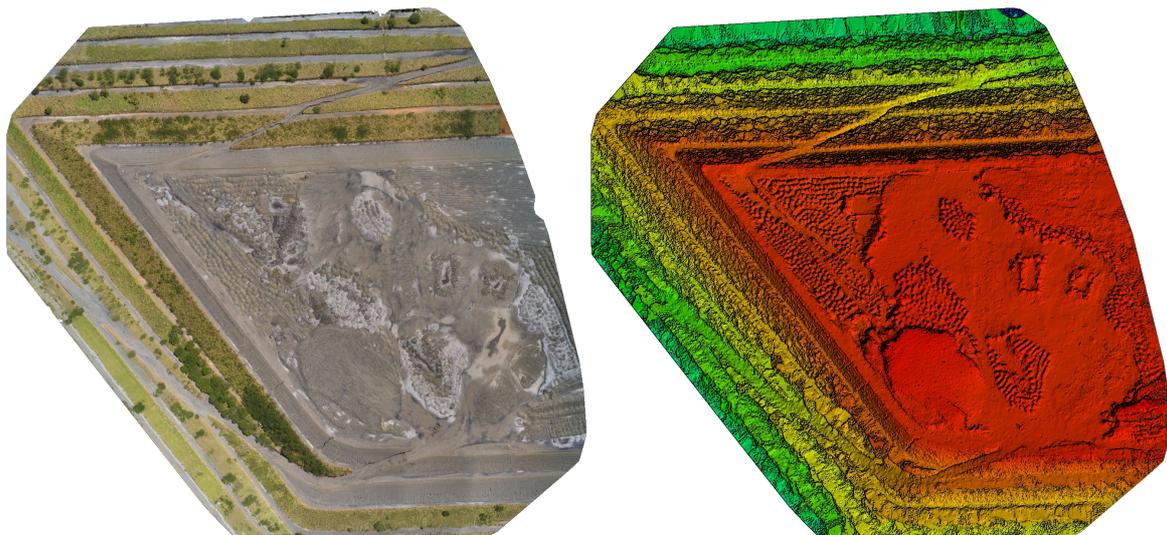


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details



Number of Calibrated Images	234 out of 234
Number of Geolocated Images	234 out of 234

Initial Image Positions

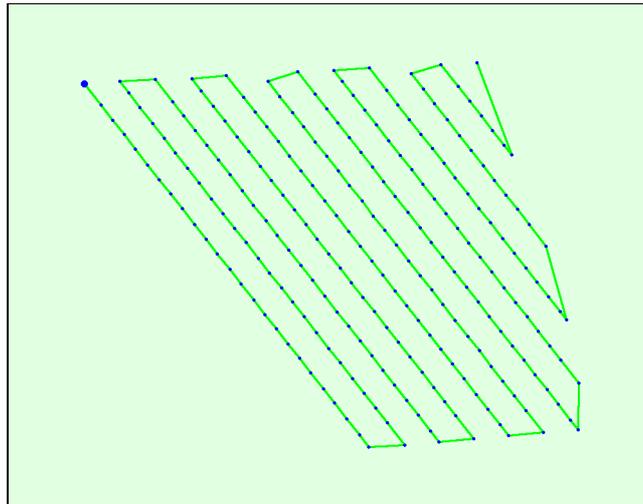
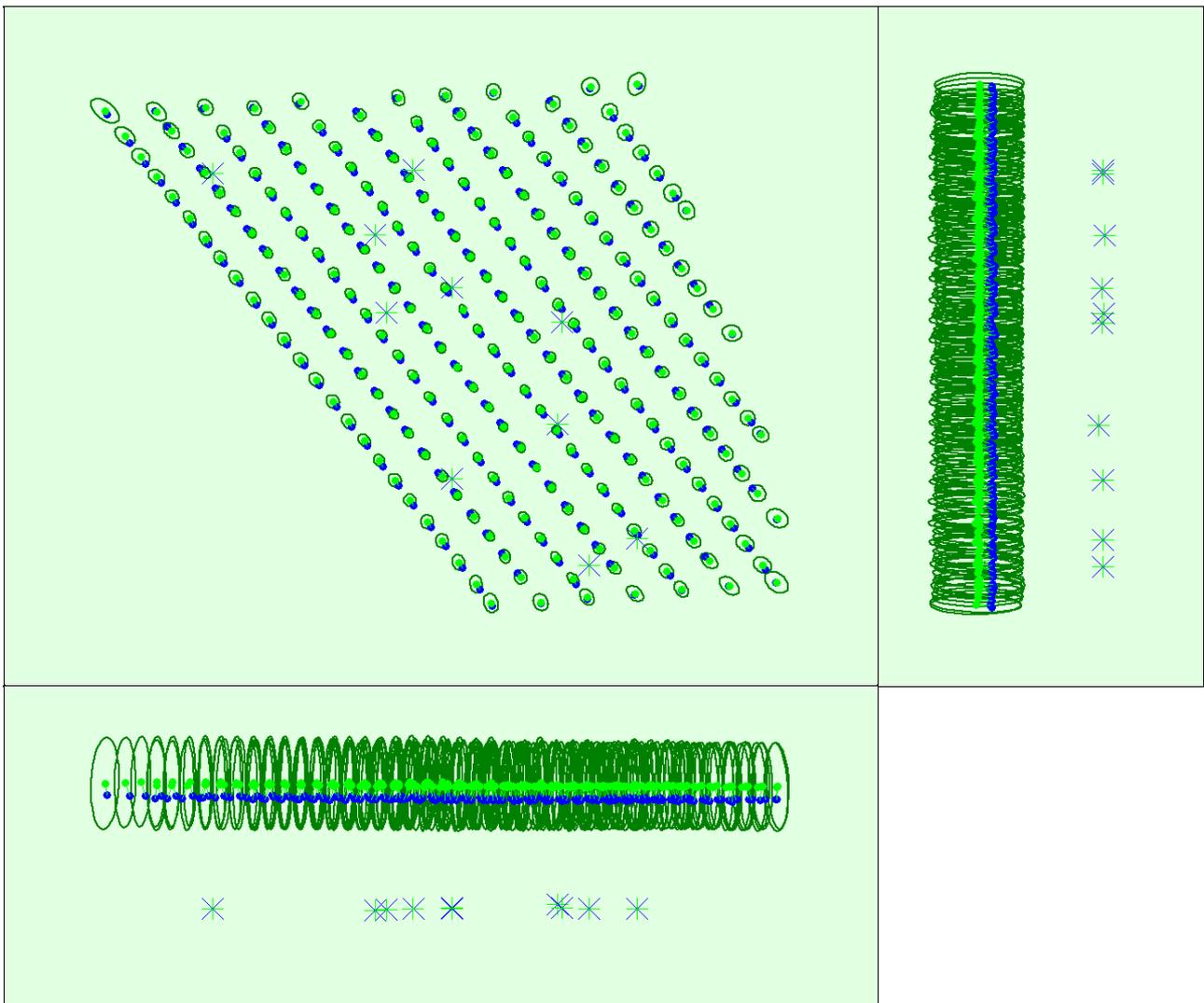


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 500x magnified

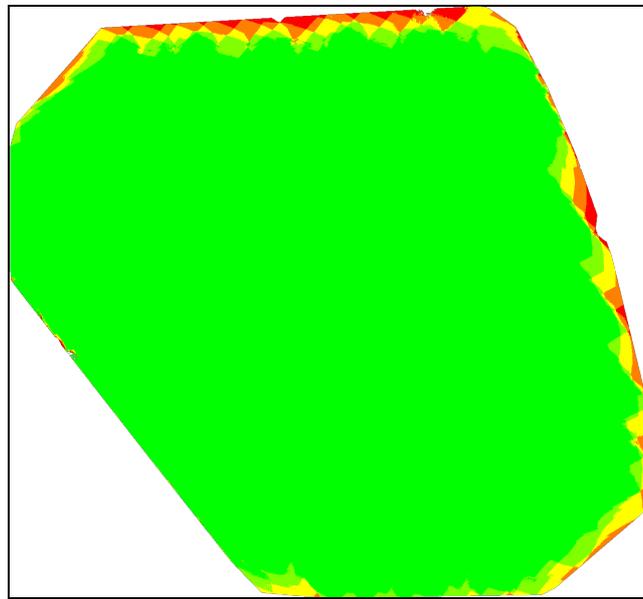
Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute

? Absolute camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.007	0.007	0.051	0.006	0.005	0.002
Sigma	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000

? Overlap



Number of overlapping images: 1 2 3 4 5+

Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	3701746
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	1075812
Mean Reprojection Error [pixels]	0.210

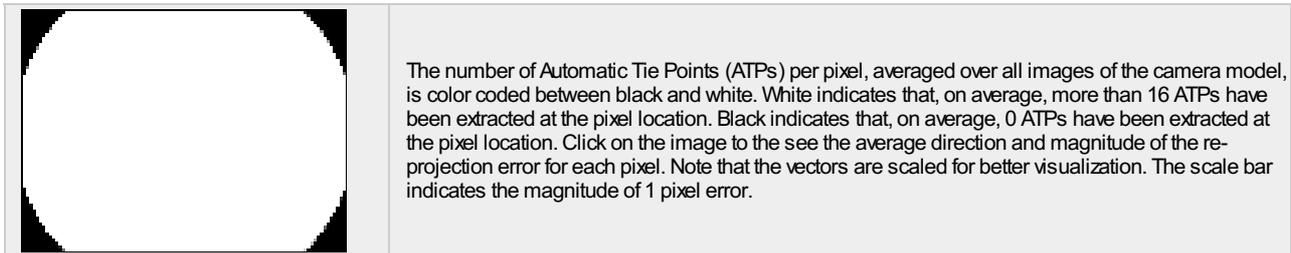
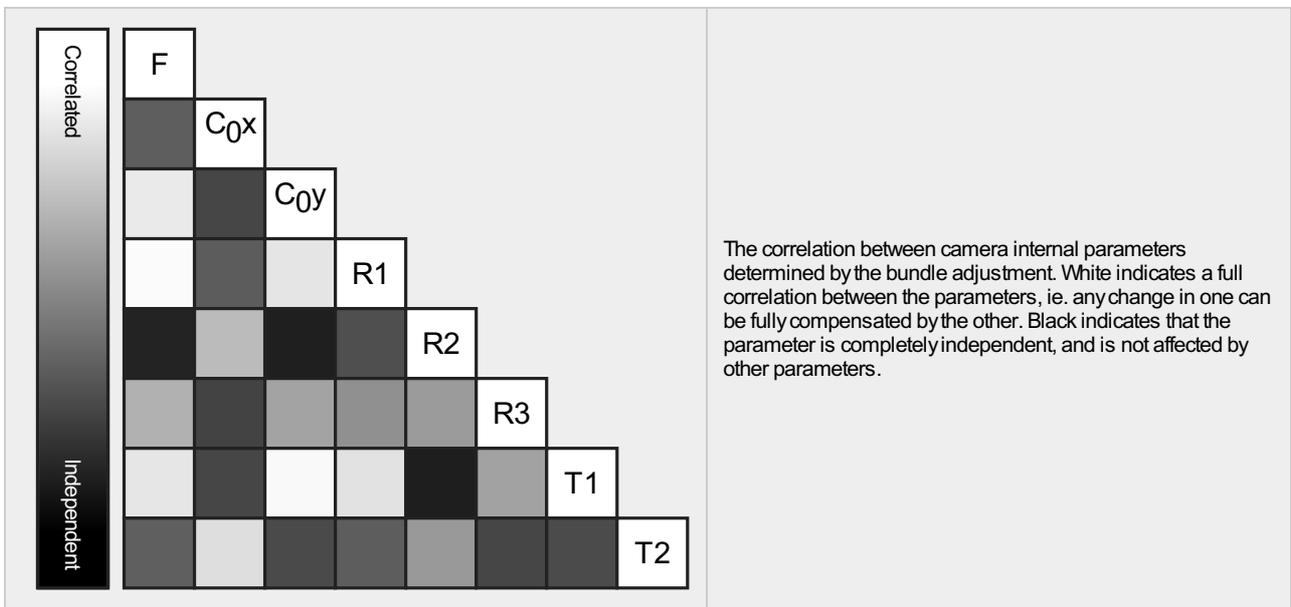
? Internal Camera Parameters

Anafi_4.0_5344x4016 (RGB). Sensor Dimensions: 5.985 [mm] x 4.498 [mm]



EXIF ID: Anafi_4.0_5344x4016

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3634.470 [pixel] 4.071 [mm]	2662.230 [pixel] 2.982 [mm]	1976.860 [pixel] 2.214 [mm]	-0.249	0.020	0.012	0.000	0.001
Optimized Values	3644.260 [pixel] 4.082 [mm]	2678.726 [pixel] 3.000 [mm]	2015.703 [pixel] 2.258 [mm]	-0.248	0.007	0.023	0.000	0.000
Uncertainties (Sigma)	2.601 [pixel] 0.003 [mm]	0.110 [pixel] 0.000 [mm]	0.220 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	42568	15721
Mn	20517	5533
Max	74107	26158
Mean	42711	15819

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	667388
In 3 Images	171204
In 4 Images	72858
In 5 Images	40107
In 6 Images	25797
In 7 Images	17834
In 8 Images	13688
In 9 Images	10306
In 10 Images	8530
In 11 Images	6966
In 12 Images	5863
In 13 Images	4958
In 14 Images	4239
In 15 Images	3627
In 16 Images	3090
In 17 Images	2731
In 18 Images	2440
In 19 Images	2195
In 20 Images	1863
In 21 Images	1724
In 22 Images	1527

In 23 Images	1293
In 24 Images	1064
In 25 Images	974
In 26 Images	779
In 27 Images	659
In 28 Images	632
In 29 Images	472
In 30 Images	403
In 31 Images	242
In 32 Images	167
In 33 Images	93
In 34 Images	59
In 35 Images	34
In 36 Images	3
In 37 Images	3

2D Keypoint Matches

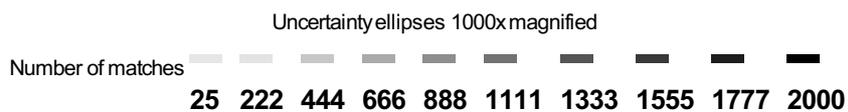
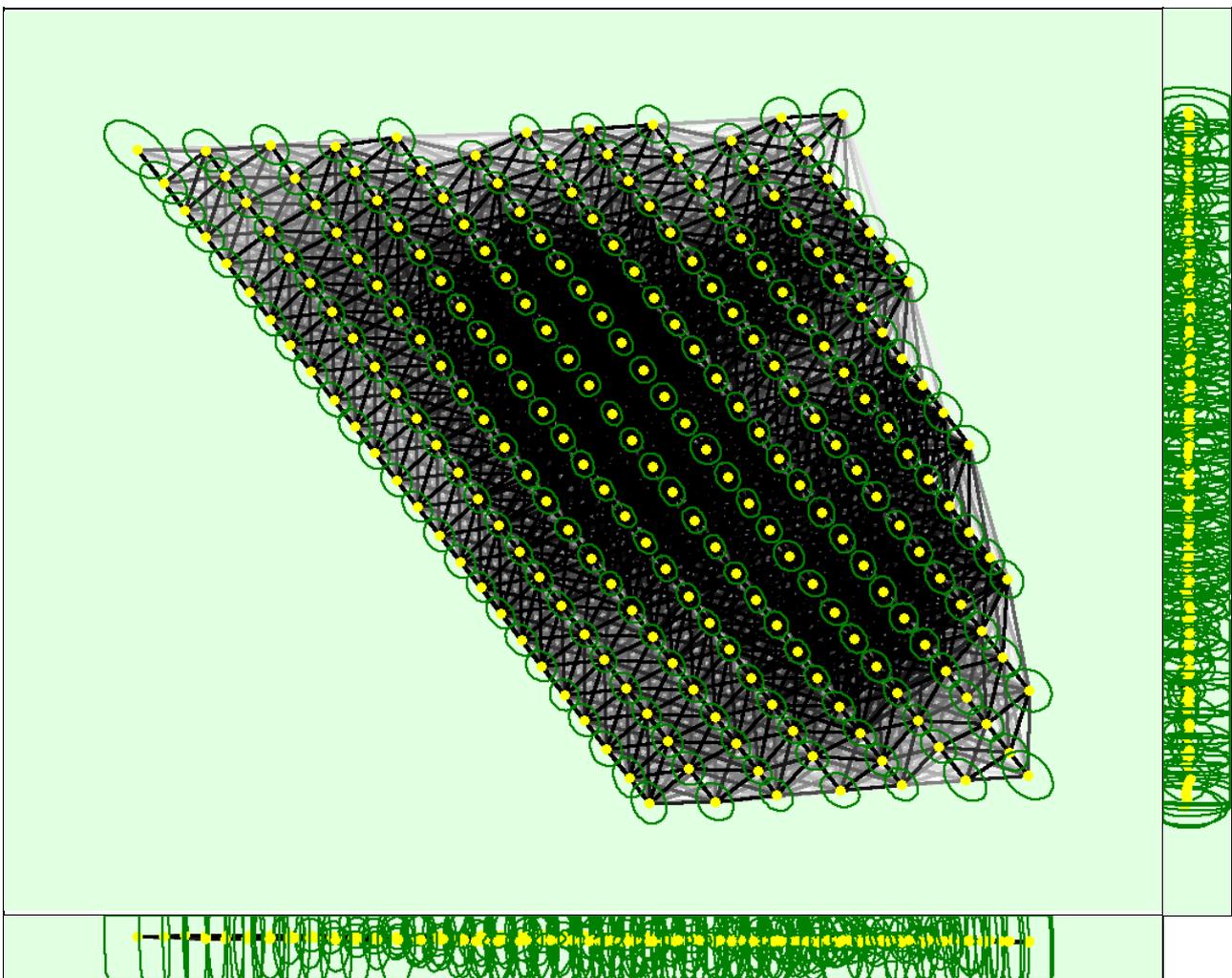


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
------	------	------	----------------	--------------	----------------

Mean	0.006	0.006	0.017	0.018	0.014	0.002
Sigma	0.001	0.001	0.012	0.011	0.007	0.000

Geolocation Details



Ground Control Points



GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
A (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	-0.035	-0.029	0.549	22 / 22
B (3D)	0.020/ 0.020	0.020	-0.019	0.002	0.676	37 / 37
C (3D)	0.020/ 0.020	0.094	0.020	0.017	0.566	30 / 30
D (3D)	0.020/ 0.020	-0.036	-0.046	-0.009	0.686	21 / 21
E (3D)	0.020/ 0.020	-0.082	-0.076	0.016	0.653	28 / 28
F (3D)	0.020/ 0.020	-0.047	-0.041	0.025	0.636	25 / 25
G (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	0.048	-0.026	0.588	22 / 22
H (3D)	0.020/ 0.020	0.043	0.032	-0.025	0.827	27 / 27
J (3D)	0.020/ 0.020	0.059	0.008	0.003	0.587	30 / 30
K (3D)	0.020/ 0.020	-0.043	0.109	0.010	0.550	35 / 35
Mean [m]		-0.000105	-0.000088	-0.001558		
Sigma [m]		0.051585	0.051888	0.018804		
RMS Error [m]		0.051585	0.051888	0.018869		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-2.25	8.55	31.20	0.00
-2.25	-1.80	27.78	15.81	0.00
-1.80	-1.35	6.41	1.71	0.00
-1.35	-0.90	0.85	0.43	1.28
-0.90	-0.45	1.28	0.43	8.97
-0.45	0.00	3.42	3.42	44.44
0.00	0.45	1.28	2.56	28.63
0.45	0.90	0.85	1.28	15.38
0.90	1.35	1.28	0.43	1.28
1.35	1.80	15.38	0.00	0.00
1.80	2.25	28.21	2.56	0.00
2.25	-	4.70	40.17	0.00
Mean [m]		-0.260963	-0.436281	-7.604496
Sigma [m]		1.938181	2.392835	0.416287
RMS Error [m]		1.955671	2.432283	7.615882

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-0.330575	-0.346750	-7.613564

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
[-1.00, 1.00]	5.98	7.26	100.00
[-2.00, 2.00]	14.53	8.55	100.00
[-3.00, 3.00]	91.88	48.29	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	0.799545	0.799545	1.361538
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.037401	0.037401	0.085080

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	1.668
Phi	1.835
Kappa	3.539

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details



System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-4770 CPU @ 3.40GHz RAM: 32GB GPU: NVDIA GeForce GTX660 (Driver: 26.21.14.3630)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	WGS 84 (EGM96 Geoid)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EGM96 Geoid)
Output Coordinate System	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EGM96 Geoid)

Processing Options



Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no

LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	58m:23s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	13m:09s

Results



Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	26764974
Average Density (per m ³)	297.05

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (2.21 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Grid DSM	Generated: yes, Spacing [cm]: 100
Time for DSM Generation	22m:30s
Time for Orthomosaic Generation	40m:58s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s