

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - ICIAG

RENATO GONZAGA OLIVEIRA

**Análise da acurácia de levantamento topográfico utilizando imagens  
aéreas capturadas por VANT's e seus usos**

Uberlândia - MG  
2020

RENATO GONZAGA OLIVEIRA

**Análise da acurácia de levantamento topográfico utilizando imagens  
aéreas capturadas por VANT's e seus usos**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto de Ciências  
Agrárias da Universidade Federal de  
Uberlândia, como requisito parcial  
para obtenção do título de bacharel  
em Engenharia Ambiental.

Orientador: Dr. Hudson de Paula  
Carvalho

Uberlândia - MG

2020

RENATO GONZAGA OLIVEIRA

**Análise da acurácia de levantamento topográfico utilizando imagens  
aéreas capturadas por VANT's e seus usos**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto de Ciências  
Agrárias (ICIAG) da Universidade  
Federal de Uberlândia, como  
requisito parcial para obtenção do  
título de bacharel em Engenharia  
Ambiental.

Uberlândia, 21 de agosto de 2020

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Hudson de Paula Carvalho – Orientador (UFU)

---

Prof. Dr. Claudionor Ribeiro da Silva – UFU

---

Prof. Dr. Nassau de Nogueira Nardez – UFU

Dedico este trabalho aos meus pais,  
pelo estímulo, carinho e compreensão  
durante toda jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao professor e amigo Dr. Hudson de Paula Carvalho o incentivo, motivação e orientação nesta caminhada acadêmica.

Aos colegas Lucas Stival e Henrique Braga pelo apoio na realização de infinitas tarefas que levaram à elaboração desse trabalho.

## RESUMO

A utilização de ferramentas para obtenção de dados de forma remota tem se mostrado essencial para o planejamento e gestão de ações e de interações entre o homem e ambiente. O presente estudo, desenvolvido no Campus Glória, da Universidade Federal de Uberlândia, é motivado pela necessidade de análise da qualidade de produtos cartográficos digitais, gerados a partir do uso dos RPAs. Os resultados apresentados evidenciam que esse recurso oferece condições para sua utilização em projetos de infraestrutura, cálculos de volumetria, dentre outros, que exijam rápida atuação e nível de acurácia condizente com os produzidos pelo método.

**Palavras-chave:** RPAs, GPS, Processamento de imagens, Modelos Digitais, Ortomosaico.

## **ABSTRACT**

The use of tools to obtain data remotely has been shown to be essential for the planning and management of actions and interactions between man and the environment. This study, developed at Campus Glória of the Federal University of Uberlândia – MG, is motivated by the need to analyze the quality of digital cartographic products, generated from the use of RPA. The results obtained show that this resource offers conditions for its use in infrastructure projects, volumetry calculations, among others, which require speed and accuracy consistent with those obtained by the method.

**Keywords:** RPA, GPS, Image Processing, Digital Models, Orthomosaic.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Receptor GNSS RTIK Topcon L1/L2 .....                                  | 26 |
| Figura 2 - Controlador GPS RTK TopCon Tools .....                                 | 26 |
| Figura 3 - Drone DJI Mavic 2 Pro com câmera Hasselblad Sensor CMOS 1" 20 MP ..... | 27 |
| Figura 4 - Alvo utilizado para identificação dos pontos .....                     | 37 |
| Figura 5 - Elipses de erro dos pontos de apoio .....                              | 39 |



## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Parâmetros de Processamento .....  | 29 |
| Tabela 2 - Parâmetros de Voo ajustados pelo <i>software</i> DroneDeploy .....                       | 33 |
| Tabela 3 - Correção das altitudes geométricas para ortométricas dos pontos de apoio utilizados..... | 38 |
| Tabela 4 - Pontos de Controle RMSE Easting, Y - Northing, Z – Altitude .....                        | 40 |
| Tabela 5 - Pontos de Controle RMSE X - Easting, Y - Northing, Z – Altitude... ..                    | 40 |
| Tabela 6 - Discrepâncias aferidas nos Pontos de Controle ( <i>Control Points</i> )....              | 41 |
| Tabela 7 - Discrepâncias aferidas nos Pontos de Cheque ( <i>CheckPoints</i> ) .....                 | 41 |
| Tabela 8 - Parâmetros estatísticos calculados para as coordenadas .....                             | 44 |
| Tabela 9 - Valores de "t" obtidos para teste de tendência.....                                      | 44 |
| Tabela 10 - Valores de referência da PEC PCD - Escala 1:1000.....                                   | 45 |
| Tabela 11 - Resultados obtidos para planimetria .....   | 45 |
| Tabela 12 - Valores de referência da PEC PCD para altimetria.....                                   | 45 |
| Tabela 13 - Resultados obtidos para altimetria .....  | 46 |

## LISTA DE MAPAS

|   |    |
|---|----|
| Mapa 1 - Área de Estudo .....                   | 25 |
| Mapa 2 - Distribuição dos Pontos de Apoio ..... | 31 |
| Mapa 3 - Posicionamento das Bases do GNSS ..... | 32 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|         |  |
|---------|--|
| ABNT    | Associação Brasileira de Normas Técnicas                             |
| GSD     | <i>Ground Sample Distance</i>  |
| GPS     | <i>Global Positioning System</i> / Sistema de Posicionamento Global  |
| GNSS    | <i>Global Navigation Satellite System</i>                            |
| MDE     | Modelo Digital de Elevação   |
| MDS     | Modelo Digital de Superfície   |
| MDT     | Modelo Digital de Terreno  |
| NBR     | Norma Brasileira   |
| PEC PCD | Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais |
| RBMC    | Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo                            |
| RTK     | <i>Real Time Kinematic</i> / Posicionamento Cinemático em Tempo-Real |
| VANT    | Veículo Aéreo Não Tripulado  |
| RPA     | Aeronave Remotamente Pilotada  |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 14 |
| 2. OBJETIVOS.....  | 16 |
| 2.1 Objetivos específicos.....   | 16 |
| 3. JUSTIFICATIVA.....  | 17 |
| 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....  | 18 |
| 4.1 Topografia.....  | 18 |
| 4.2 Fotogrametria.....   | 19 |
| 4.3 Modelos Digitais.....  | 21 |
| 4.7 Curvas de Nível.....   | 22 |
| 4.8 Ortomosaico.....   | 22 |
| 4.9 Pontos de Controle e Checagem.....   | 22 |
| 4.10 Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC).....  | 23 |
| 4.11 RPAs (Veículos Remotamente Pilotados).....  | 23 |
| 5. MATERIAL E MÉTODOS.....   | 24 |
| 5.1 Área de Estudo.....  | 24 |
| 5.2 Aspectos físicos e biológicos.....   | 25 |
| 5.3 Caracterização da área mapeada.....  | 25 |
| 5.4 Material Utilizado.....  | 26 |
| 5.5 Rede Geodésia de Referência.....   | 27 |
| 5.6 Modelo Geoidal.....  | 28 |
| 5.7 Processamento de Dados GNSS.....   | 28 |
| 5.8 Processamento de imagens e ajustamento de dados GNSS.....  | 28 |
| 5.9 Planejamento dos pontos de apoio.....  | 30 |
| 5.10 Planejamento do posicionamento do GNSS RTK.....   | 31 |
| 5.11 Planejamento dos parâmetros de voo.....   | 32 |
| 5.12 Classificação da carta topográfica digital segundo PEC PCD (Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais)..... | 33 |
| 5.13 – Análise Estatística.....  | 34 |
| 5.14 – Análise de Precisão.....  | 35 |
| 5.15 – Análise de Tendências.....  | 36 |
| 5.16 Posicionamento dos alvos para apontamento.....  | 37 |
| 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 37 |

|  |    |
|--|----|
| 6.1 Mosaico .....  | 37 |
| 6.2 Transformação das altitudes geométrica em altitudes ortométricas ..... | 38 |
| 6.3 Processamento de imagens e pontos de apoio .....                       | 39 |
| 6.4 Modelos digitais .....   | 42 |
| 6.5 Planta topográfica .....   | 43 |
| 6.6 Classificação da carta topográfica segundo PEC PCD .....               | 43 |
| 6.7 Utilização dos produtos cartográficos gerados .....                    | 46 |
| 7. CONCLUSÃO .....   | 48 |
| 8. BIBLIOGRAFIA .....  | 49 |
| 9. ANEXOS .....  | 51 |
| ANEXO A - ROTAS DE VOO EXECUTADAS NA ÁREA DE ESTUDO .....                  | 52 |
| ANEXO B - ORTOMOSAICO .....  | 54 |
| ANEXO C - CURVAS DE NÍVEL .....  | 56 |
| ANEXO D - MODELO DIGITAL DE TERRENO .....                                  | 58 |
| ANEXO E - MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE .....                               | 60 |
| ANEXO F - PLANTA TOPOGRÁFICA .....   | 62 |
| ANEXO G - MAPA HIPSOMÉTRICO A PARTIR DO MDT .....                          | 64 |
| ANEXO H - MAPA HIPSOMÉTRICO A PARTIR DO MDS .....                          | 66 |
| ANEXO H – RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO AGISOFT METASHAPE .....               | 68 |

## 1. INTRODUÇÃO

A evolução das ciências e tecnologia do século XXI facilitou o trabalho na realização de levantamentos de dados espaciais, uma vez que a utilização de *softwares* especialistas e novas formas de coleta desses dados permitiram a acurácia dos cálculos realizados pelos métodos convencionais. Trata-se então de ferramentas que possibilitaram ao homem realizar diferentes estudos a respeito do relevo e outras características das áreas de forma mais simples e com nível de precisão aceitável.

A demanda pela aquisição de informações topográficas tem se intensificado à medida que a atividade humana tem modificado o ambiente. A aquisição desses dados pode ser realizada através do método topográfico convencional, ou através do método fotogramétrico. O uso do método fotogramétrico, utilizando-se de RPAs (Aeronave Remotamente Pilotada), possibilita a otimização de análises a serem realizadas, gerando dados confiáveis de maneira eficiente e mais ágil quando comparada aos métodos tradicionais. Neste trabalho se utilizará o termo RPAs (Aeronave Remotamente Pilotada), adotado pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), para se referir a esse tipo de veículo aéreo popularmente conhecido como drone. A utilização da fotogrametria e cartografia para elaboração de produtos cartográficos digitais, apresenta-se como uma nova forma de coleta e exposição de dados espaciais para uso em projetos de diferentes áreas da atividade humana.

Com relação aos mapeamentos topográficos via RPAs, o avanço tecnológico possibilitou sua utilização em diferentes áreas do conhecimento, permitindo assim diversos estudos de uma mesma área, podendo ser usado em coleta de informações no monitoramento de áreas com degradação ambiental, agricultura de precisão, monitoramento de florestas, cadastro imobiliário, mineração e demais fins que necessitem da realização de uma análise espacial para execução de projetos. A utilização do RPAs nesse contexto, é justamente na intenção de facilitar a realização dos levantamentos topográficos através da diminuição de custos e agilidade de execução, oferecendo assim resultados aceitáveis para seus diferentes usos.

Com a popularização do uso de RPAs para produção de produtos cartográficos digitais, surge a necessidade de realizar-se um controle de qualidade através de normas que estipulem níveis de acurácia aceitáveis para esses produtos. Essa demanda é suprida pelo Decreto Lei 89.817 de 1984, que estabeleceu padrões que asseguram a qualidade posicional dos produtos cartográficos produzidos pelo método convencional, porém aplicados aos produtos digitais.

Outro fator relevante com relação a topografia, é a ocupação de posição de destaque dentro da área ambiental. Sua aplicação está diretamente ligada as etapas do planejamento, por oferecer dados que possibilitem a análise de diferentes cenários diante a variedade de projetos executados nesse ramo. Diante da atual conjuntura, a questão ambiental tem ganhado cada vez mais destaque nas últimas décadas, o que tem demandado cada vez mais ações de caráter preventivo e responsável por parte das ações antrópicas.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo deste estudo foi avaliar a acurácia de um levantamento planialtimétrico experimental conduzido na Fazenda do Campus Glória – Uberlândia, utilizando-se de RPAs. Esse levantamento foi utilizado para verificação da classificação dos produtos cartográficos digitais gerados, segundo Padrões de Exatidão Cartográfica (PEC) - Decreto Lei 89.817 de 1984, de acordo com sua acurácia.

### **2.1 Objetivos específicos**

- Discutir o benefício da geração de um produto cartográfico via metodologia descrita para fins ambientais.
  
- Realizar a análise dos diferentes usos para os produtos cartográficos gerados via aeronaves remotamente pilotadas (RPA) conforme a acurácia alcançada.



### **3. JUSTIFICATIVA**

As técnicas e tecnologias necessárias para realização de levantamentos topográficos tornam-se de certa forma restritas, principalmente pelos custos e complexidade dos procedimentos necessários para sua realização. A ideia de realizar-se um levantamento planialtimétrico utilizando-se RPAs, surgiu como alternativa pela sua versatilidade, facilidade de operação e bons resultados obtidos. Surge então a necessidade de avaliar-se a qualidade dos levantamentos planialtimétricos elaborados a partir de imagens capturadas por RPAs, a fim de garantir que os resultados obtidos sejam condizentes com os demandados por determinada atividade.

No contexto ambiental, tem-se cada vez mais a necessidade da realização de estudos prévios de determinada área, no intuito de respaldar e otimizar o processo de tomada de decisão. Por exemplo, estudos prévios poderiam ter sido utilizados como prevenções para grandes tragédias ambientais ocorridas no Brasil, nos últimos anos. Isso tem demandado por parte de órgãos licenciadores, legisladores e até mesmo por parte dos prestadores de serviço cada vez mais a realização de estudos e análises no cenário ambiental.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O objetivo da revisão bibliográfica apresentada a seguir é reunir informações sobre os conceitos das ciências que fundamentam a prática dos levantamentos topográficos e mapeamento aéreo, na tentativa de elucidar alguns conceitos utilizados ao longo do trabalho.

### 4.1 Topografia

Essa área do conhecimento humano é a base a qual possibilitou a representação do relevo e elementos da superfície terrestre proporcionando a realização de estudos e projetos. Uma definição mais concisa é a que traz o conceito de Topografia como conjunto dos princípios, técnicas e convenções utilizadas para a determinação do contorno, das dimensões e da posição relativa de pontos sobre a superfície da terra ou no seu interior. Embasada na geometria e na trigonometria, a topografia é capaz de representar parte da superfície terrestre (BLITZKOW, 2004).

O levantamento topográfico tornou-se ferramenta importante nas áreas das engenharias, pois são a base dos projetos preliminares e executivos, além de contribuir para o desenvolvimento e alocações de objetos/fenômenos, otimizando sua execução.

Uma definição técnica do conceito de levantamento topográfico é dada pela NBR 13133:

“Conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas. A estes pontos se relacionam os pontos de detalhes visando à sua exata representação planimétrica numa escala predeterminada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também predeterminada e/ ou pontos cotados.” (NBR 13133, 1994, p.3).

Ainda sobre os levantamentos topográficos, temos alguns tipos como: planimétrico, altimétrico e planialtimétrico. As definições de cada um são colocadas a seguir segundo a NBR 13133 (1994):

Levantamento Topográfico Planimétrico (ou levantamento planimétrico, ou levantamento perimétrico):

“Levantamento dos limites e confrontações de uma propriedade, pela determinação do seu perímetro, incluindo, quando houver, o alinhamento da via ou logradouro com o qual faça frente, bem como a sua orientação e a sua amarração a pontos materializados no terreno de uma rede de referência cadastral, ou, no caso de sua inexistência, a pontos notáveis e estáveis nas suas imediações.” (NBR 13133, 1994, p.3).

Levantamento Altimétrico:

“Levantamento que objetiva, exclusivamente, a determinação das alturas relativas a uma superfície de referência, dos pontos de apoio e/ou dos pontos de detalhes, pressupondo-se o conhecimento de suas posições planimétricas, visando à representação altimétrica da superfície levantada.” (NBR 13133, 1994, p.3).

Levantamento Planialtimétrico:

“Levantamento topográfico planimétrico acrescido de determinação altimétrica do relevo do terreno e da drenagem natural.” (NBR 13133, 1994, p.3).

## 4.2 Fotogrametria

O conceito de fotogrametria definido pela ASPRS (*American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*) é resumido em arte, ciência e tecnologia de obter-se informações confiáveis sobre objetos físicos e meio ambiente através de processos de gravação, medição, interpretação de imagens e padrões de energia eletromagnética radiante e outros fenômenos. Brito e Coelho (2002) consideram a fotogrametria como ciência, uma vez que se utilizam de métodos científicos para o estudo do funcionamento de processos para captação de energia eletromagnética e análise desses registros.

Diante das variadas classificações que recebeu a fotogrametria (terrestre, aérea, orbital), a partir do posicionamento do sensor, o foco do estudo será a fotogrametria digital. Desenvolvida na década de 80, a fotogrametria digital utiliza-se de imagens digitais como fonte primária de dados. Já na década de 90, houve um considerável aumento no uso da fotogrametria devido ao desenvolvimento da capacidade de processamento dos computadores. Para

Brito e Coelho (2002), o objetivo da fotogrametria digital é a realização da reconstrução automática do espaço tridimensional (espaço-objeto), a partir de imagens bidimensionais (espaço-imagem) no formato digital. Trata-se, portanto, de uma transformação entre um sistema bidimensional (fotográfico) para um tridimensional (espaço-objeto), em que esse é representado pelo sistema de coordenadas do terreno sobre o qual se obtém as imagens. O sistema de coordenadas poderá estar representado em coordenadas geodésicas (latitude, longitude, altitude), planialtimétricas (*east*, *north*, altitude) ou cartesianas (X, Y, Z).

Portanto, essa arte/ciência que se iniciou na França por volta do ano de 1850, sofreu profundas modificações devido aos avanços tecnológicos, passando por diferentes fases até a atualidade em que se experimenta a fotogrametria digital. Com o advento de câmeras digitais, restituidores e do processo de escaneamento de imagens as informações passaram a ser armazenadas em pixels, substituindo os processos analógicos necessários. A seguir serão apresentados alguns conceitos relacionados as fotografias.

### ***Pixel***

*Pixel* é um termo oriundo do inglês que pode ser entendido como “*picture element*”, ou seja, é a representação da menor unidade de uma imagem digital. Deve-se entender uma imagem digital como uma matriz formada por células denominadas pixels. O *pixel* está diretamente relacionado à resolução da imagem, pois nele são armazenados valores ponderados referentes a energia correspondente a área do terreno que formarão a imagem.

### ***GSD***

O *GSD* sigla em inglês para *Ground System Distance* corresponde ao pixel da imagem representado em unidades do terreno. O *GSD* define o nível de detalhamento do mapeamento, assim, quanto menor for o *GSD*, maior será o nível de detalhamento dos objetos.

### 4.3 Modelos Digitais

Segundo Brito (2007), as pesquisas iniciais na área de modelagem digital de terreno foram realizadas pelo professor Charles L. Miller, do *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, e tinha como objetivo a execução de projetos de estradas auxiliados por computação. Desde então, ampliou-se o horizonte para o uso desses modelos além da utilização em obras rodoviárias.

Assim, a representação do relevo, a partir de um modelo digital, contribui na execução de estudos e análises de diferentes características como declividade, geologia e vegetação. Nesse sentido, foram desenvolvidas técnicas para representação e modelagem matemática da superfície para diferentes usos na engenharia. Além disso, poderão ser realizadas análises quantitativas e qualitativas de determinado fenômeno, produzindo dados que serão utilizados para fins de simulações e tomadas de decisão no contexto de projetos e estudos.

Os conceitos de modelo digital em alguns países diferem de certa forma dos utilizados no Brasil, criando uma confusão a respeito do que se trata cada um. Serão apresentadas a seguir os conceitos de MDS (Modelo Digital de Superfície), MDE (Modelo Digital de Elevação), e MDT (Modelo Digital de Terreno), na tentativa de elucidar suas diferenças.

O conceito de MDS, é dado por Tolentino et al. (2017) em que se define como o modelo digital o qual contém informações apenas sobre objetos existentes sobre a superfície do relevo, como edificações e vegetação. Ainda de acordo com Tolentino et al. (2017), o MDE é tratado como a representação da superfície a qual considera-se toda e qualquer elevação do terreno e objetos existentes sobre ele. A geração do MDE oferece a possibilidade de realização de diferentes tipos de análises como cálculos de corte e aterro, geração de mapas de drenagem e escoamento, dentre outros.

Sobre o modelo digital de terreno (MDT), Tolentino (2017) et al. o define como um modelo utilizado para representar as variações de altitude da superfície do terreno, sem a inclusão de objetos e detalhes existentes sobre ela, como vegetação e feições antrópicas.

#### **4.7 Curvas de Nível**

Conforme Diniz (2002) afirma, as curvas de nível são linhas resultantes da interseção de uma série de planos horizontais paralelos e equidistantes com o terreno a ser representado, projetadas num único plano. Define-se então a curva de nível como sendo o lugar geométrico de pontos de mesma cota ou altitude. De grosso modo, as curvas de nível representam a altitude do relevo em um espaço de duas dimensões. Quanto a sua utilização, as curvas de nível cumprem papel importante em projetos que necessitem a compreensão da declividade do terreno. Pode-se citar exemplos de projetos de irrigação, terraceamento, barramentos dentre outros.

#### **4.8 Ortomosaico**

A ortofoto resume-se à uma fotografia na qual as imagens dos objetos encontram-se em suas posições ortográficas verdadeiras. Segundo Wolf (1983), as ortofotos são geometricamente equivalentes aos mapas convencionais planimétricos de linhas e símbolos.

De modo análogo a ortofoto ou ortofotografia é o produto resultante da transformação de uma foto original em uma foto em que os deslocamentos devido ao relevo e a inclinação da fotografia é eliminada, ou seja, as fotos apresentam-se em uma posição ortogonal em relação ao terreno.

Conforme afirma Andrade (1998), a ortofoto digital é definida como uma imagem digital submetida à projeção cartográfica, podendo esta ser gravada em mídia digital ou impressa em papel. São, portanto, imagens que podem ser tratadas com as inúmeras ferramentas disponíveis nos *softwares* de processamento digital de imagens (PDI). Portanto, o ortomosaico é o resultado do processamento das imagens ortoretificadas e georreferenciadas a partir da sobreposição lateral e longitudinal das imagens de toda a área mapeada.

#### **4.9 Pontos de Controle e Checagem**

Os pontos de apoio são pontos foto identificáveis, podendo ser objetos, alvos ou detalhes do terreno que irão ser exibidos nas imagens. Esses pontos são utilizados para relacionar-se o sistema de coordenadas do terreno com o sistema de coordenadas das imagens, conferindo assim maior precisão nos produtos cartográficos gerados.

Há a necessidade de realização da coleta desses pontos no sentido de aumentar-se a acurácia dos dados levantados ampliando assim os usos dos produtos cartográficos obtidos. Sabe-se que os RPAs possuem um GPS de navegação embarcado, porém esse GPS apresenta uma precisão na faixa dos 5 a 10 metros segundo fabricante, o que não se mostra satisfatório para alguns tipos de projetos. Com a utilização dos pontos de apoio coletados via GPS RTK a acurácia e precisão podem chegar até 1 cm.

Os pontos de apoio são divididos em duas classes: os pontos de controle e pontos de checagem. Enquanto os pontos de controle são utilizados no processamento das imagens para ajuste de coordenadas, os pontos de checagem são utilizados apenas para efeito de comparação e verificação dos produtos gerados. Portanto, os pontos de checagem são utilizados para comparar as coordenadas do GPS de alta precisão com as coordenadas obtidas no processamento das imagens.

#### **4.10 Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC)**

Conforme afirma Rocha et al. (2010), o Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984 estabeleceu as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Brasileira através de procedimentos a serem obedecidos na elaboração de produtos cartográficos. A aplicação de padrões e normas a serem seguidos faz com que os produtos cartográficos gerados sejam enquadrados em classes para melhor identificação de sua qualidade posicional.

Segundo Dalmolin e Leal (2001), o PEC não apresenta diretrizes para avaliação de trabalhos hoje ofertados pela cartografia digital visto que o decreto foi promulgado na década de 80 e nesta data poucas eram as experiências produzidas nessa área. Porém o PEC poderá ser aplicado independente da natureza do produto cartográfico (analógico ou digital), uma vez que neste decreto não existem definições sobre o tamanho das amostras e testes de campo para avaliação.

#### **4.11 RPAs (Veículos Remotamente Pilotados)**

De acordo com a legislação brasileira, RPA é definido como toda e qualquer aeronave que tenha sido projetada para operação sem piloto a bordo, de caráter não recreativo e com carga útil embarcada. Esse conceito diferencia

os RPAs dos modelos utilizados para fins de lazer ou esporte, que por sua vez se enquadram como aeromodelos segundo a legislação pertinente.

Segundo Nonami (2007), a partir da década de 1970 é que o andamento da pesquisa e desenvolvimento dos RPAs se intensificou, principalmente por parte de Estados Unidos e Israel. Porém, foi a partir do século XX que a pesquisa se concentrou nos RPAs para uso civil, o que proporcionou a popularização desses veículos e a diversificação de seu uso. No setor civil, o RPA tem sido utilizado nas áreas das engenharias, meio ambiente e agricultura, por ser um recurso de fácil operação e grande versatilidade. Angelov (2012) destaca que o mercado de RPAs apresenta uma grande variedade de modelos, com diferentes especificações e finalidades. A classificação dos RPAs se dá de acordo com suas características técnicas como material de fabricação, peso, dimensões, autonomia de voo, dentre outras especificações.

No Brasil, a regulamentação da utilização dessas aeronaves é realizada por agências nacionais como ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) e ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) e por órgãos do governo como DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo).

## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

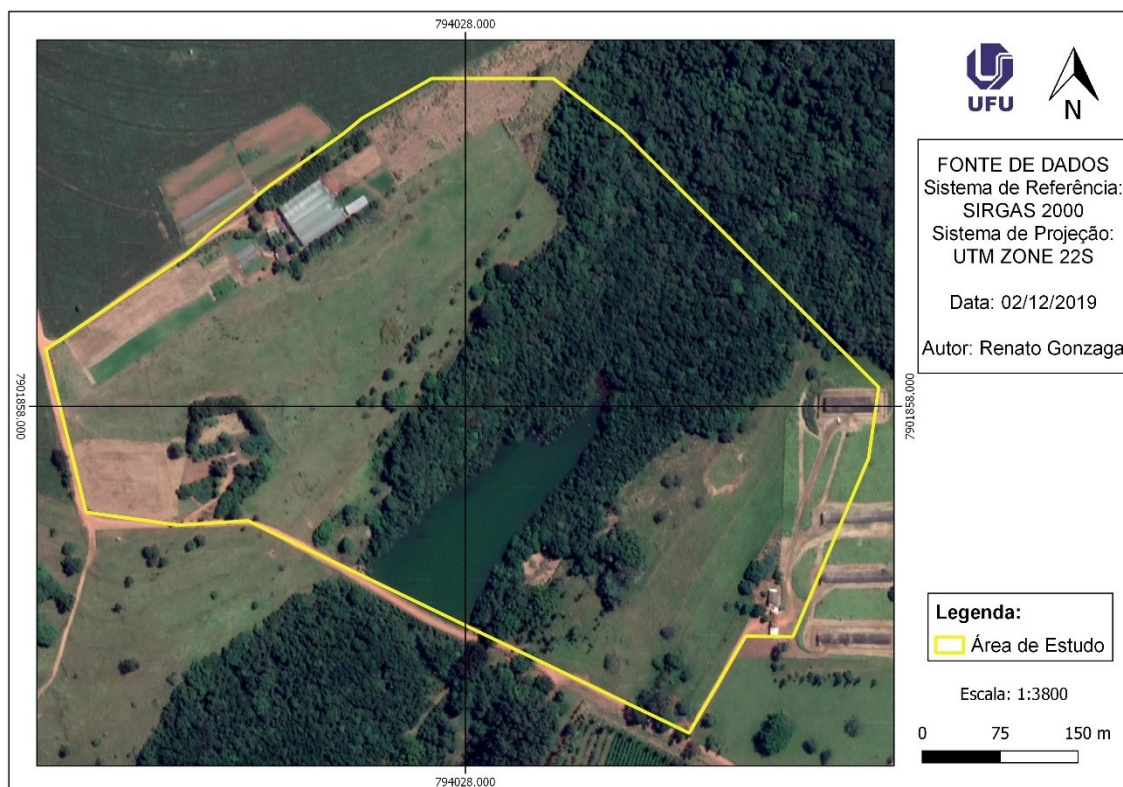
### **5.1 Área de Estudo**

**Nome do Imóvel Rural:** Fazenda Experimental do Glória

**Endereço completo, localidade:** Fazenda Experimental do Glória, na margem da BR-050, km 78. Limite a leste do perímetro urbano do município de Uberlândia, Minas Gerais. A área utilizada para realização do estudo está representada pelo Mapa 1.



## Mapa 1 - Área de Estudo



Fonte: Google Earth

### 5.2 Aspectos físicos e biológicos

“O município de Uberlândia localiza-se na porção sudoeste do estado de Minas Gerais, na Mesorregião do Triângulo Mineiro, com uma altitude média de 872 metros” (BERNARDES, 2007).

O clima da cidade é caracterizado como tropical, com estações seca e chuvosa bem definidas com precipitação anual aproximada é em torno de 1200 mm. Segundo Carrijo e Baccaro (2000), o bioma predominante é do tipo Cerrado, onde é constituído por Floresta Estacional semidecidual do tipo savana e florestas de galeria ao longo dos cursos de água. Possui relevo típico de chapada (suavemente ondulado sobre formações sedimentares, apresentando vales espaçados e raros).

### 5.3 Caracterização da área mapeada

A área mapeada em questão é composta por duas áreas de pasto a montante e a jusante da represa, juntamente com a mata ciliar presente do corpo

d'água. A área escolhida apresenta-se com relevo declivoso, o que oferece a possibilidade de testar as metodologias em diferentes altitudes.

#### 5.4 Material Utilizado

A seguir, será apresentado o material utilizado para cada etapa do mapeamento aéreo.

Para realização da etapa de coleta de pontos de apoio no terreno, foram utilizados dois receptores GNSS Hiper SR L1/L2 representado na Figura 1.

Figura 1 - Receptor GNSS RTIK Topcon L1/L2



Fonte: Google Imagens

Juntamente aos receptores, foram utilizadas duas bases nivelantes e dois tripés para instalação do equipamento denominado base e o outro responsável pela captura dos pontos (*rover*). Para captura dos pontos foi utilizado o controlador ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Controlador GPS RTK TopCon Tools



Fonte: Google Imagens

Para realização das fotografias aéreas foi utilizado um RPA DJI Mavic 2 Pro com câmera Hasselblad Sensor CMOS 1" 20 MP com autonomia de voo de

aproximadamente 24 minutos. As fotografias foram capturadas no dia 01/09/2019 as 17:41pm. O equipamento utilizado está representado no Figura 3.

Figura 3 - RPA DJI Mavic 2 Pro com câmera Hasselblad Sensor CMOS 1" 20 MP



Fonte: Autor

Para o processamento de imagens da câmera RGB, produção de elementos como nuvens de pontos densos, modelos poligonais texturizados, ortomosaicos verdadeiros georreferenciados e MDTs/MDSs foi utilizado o *software* Agisoft Metashape. O *software* ainda pode ser utilizado para cálculo de índices de vegetação e extração de informações para produção de mapas. Com os produtos obtidos no processamento das imagens, utilizou-se o QGIS para produção de mapas a partir de recursos como vetorização de feições do ortomosaico, elaboração dos mapas e da planta topográfica presente nesse estudo. O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Código Aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU e muito utilizado por órgãos governamentais e instituições de ensino e pesquisa.

### 5.5 Rede Geodésia de Referência

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS, é um conjunto de estações geodésicas, equipadas com receptores GNSS de alto desempenho, que proporcionam observações para a determinação de coordenadas

diariamente ou em tempo real. Dentre os arquivos gerados pelo procedimento com o GNSS RTK estão:

- arquivo de navegação no formato RINEX.
- relatório de informação da estação contendo identificação, coordenadas referentes ao SIRGAS 2000 e dados do receptor e antena.

A RBMC desempenha um papel relevante no que diz respeito a sua utilização por parte de profissionais na obtenção de coordenadas de boa qualidade e confiabilidade. As coordenadas disponibilizadas são calculadas e monitoradas através do processamento de dados, utilizando-se o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas – SIRGAS 2000.

### **5.6 Modelo Geoidal**

O modelo geoidal utilizado no trabalho foi o MAPGEO2015 atualmente utilizado no Brasil. O *software* disponibilizado pelo IBGE permite a transformação de altitudes geométricas, que possuem como referência o elipsoide terrestre, em altitudes ortométricas, as quais possuem como referência o geóide. A utilização das altitudes ortométricas na etapa do processamento representa uma melhora significativa nos resultados obtidos.

### **5.7 Processamento de Dados GNSS**

O processamento de dados GNSS foi realizado por empresa responsável pelo aluguel do equipamento RTK. Nessa etapa realizou-se a obtenção dos pontos salvos no GPS RTK, através do *software* TopCon *Tools*. Após o processamento e ajustamento de dados GNSS coletados, foram disponibilizados os pontos em lista em formato .txt. Posteriormente os pontos foram inseridos no *software* MAPGEO 2015, disponibilizado pelo IBGE, para obtenção da ondulação geoidal do local e consequente cálculo das altitudes ortométricas.

### **5.8 Processamento de imagens e ajustamento de dados GNSS**

Como já citado no item 5.4, o *software* Agisoft Metashape foi utilizado para obtenção dos produtos cartográficos digitais. Esse *software* ainda pode ser utilizado para cálculo de índices de vegetação e extração de informações para produção de mapas. Os parâmetros utilizados na rotina de processamento das imagens estão detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de Processamento

|                          |                 |   |
|--------------------------|-----------------|---|
| <b>Align Photo</b>       | <b>General</b>  | <i>Accuracy: Medium</i>   |
|                          |                 | <i>Reference preselection: Yes</i>                                  |
|                          | <b>Advanced</b> | <i>Key point limit: 40,000</i>                                      |
|                          |                 | <i>Tie point limit: 10,000</i><br><i>Filter points by mask: Yes</i> |
| <b>Build Dense Cloud</b> | <b>General</b>  | <i>Adaptive camera model fitting: Yes</i><br><i>Quality: Lowest</i> |
|                          | <b>Advanced</b> | <i>Filtering mode: Moderate</i>                                     |
| <b>Build Mesh</b>        | <b>General</b>  | <i>Surface type: Height field</i>                                   |
|                          | <b>Advanced</b> | <i>Source data: Dense cloud</i>                                     |
| <b>Build Texture</b>     | <b>General</b>  | <i>Mapping mode: Adaptive orthophoto</i>                            |
|                          |                 | <i>Blending mode: Mosaic</i><br><i>Texture size: 4,096</i>          |
|                          | <b>Advanced</b> | <i>Enable hole filling: Yes</i>                                     |
| <b>Build DEM</b>         | <b>General</b>  | <i>Source data: Dense cloud</i><br><i>Interpolation: Enabled</i>    |
|                          |                 |   |
| <b>Build Orthomosaic</b> | <b>General</b>  | <i>Blending mode: Mosaic</i><br><i>Surface: DEM</i>                 |
|                          |                 |   |

Fonte: Autor

Para melhor compreensão das funções operadas pelo *software* Agisoft Metashape, as etapas contidas na Tabela 1 serão detalhadas a seguir.

**Align Photos (Alinhamento de fotos):** esse é o primeiro procedimento a realizar-se ao adicionar as fotos no *software*. Basicamente é adotada uma técnica aerofotogramétrica denominada de fototriangulação em que se determina as coordenadas do terreno em relação a um referencial localizado no mesmo (pontos de apoio). Como resultado gera-se o que se chama de nuvem de pontos, a qual tem-se a materialização do sistema de coordenada do terreno.

**Build Dense Cloud (Construção da Nuvem Densa):** nessa etapa o *software* adiciona pontos à nuvem de pontos de forma a torná-la mais densa, cobrindo espaços vazios e melhorando a representação do terreno.

**Build Mesh (Construção da Malha):** é nessa etapa em que ocorre a modelagem 3D do terreno utilizando-se a nuvem densificada obtida pelo processo anterior.

**Build Texture (Texturização):** uma vez construído o modelo 3D, aplica-se nessa etapa uma textura para melhoramento visual do modelo, aprimorando assim a representação de detalhes da área.

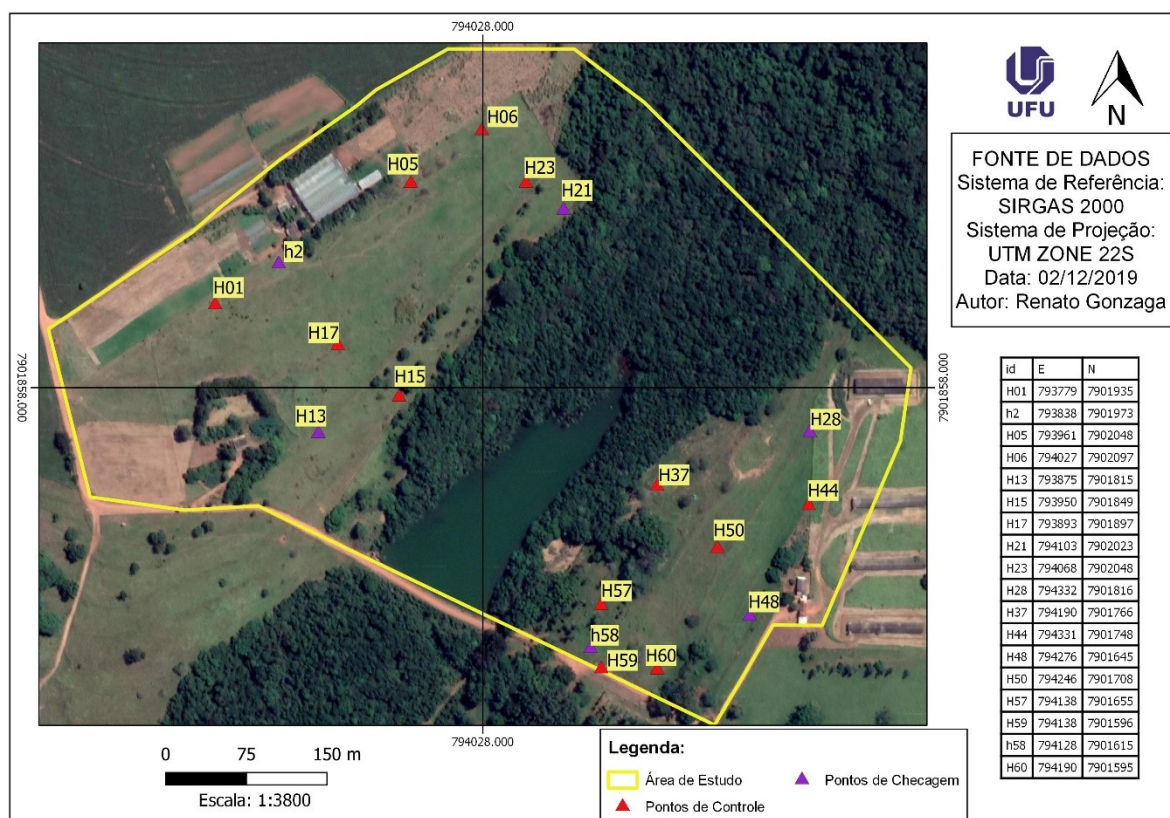
**Build DEM (Construindo o Modelo de Elevação):** a elaboração do modelo de elevação se dá através dos modelos 3D já construídos (terreno e superfície). Como resultado obtém-se um modelo 2D da área, porém com informações da altimetria da área na imagem (*raster*). Nessa etapa também são geradas as curvas de nível.

**Build Orthomosaic (Construção do Ortomosaico):** nessa última fase do processamento ocorre a correção posicional das imagens de forma que representem a área de forma ortogonal, esse processo é denominado de ortoretificação. É necessário realizar-se tal etapa para que não haja deslocamentos relativos à posição da câmera e do relevo do terreno.

## 5.9 Planejamento dos pontos de apoio

A distribuição dos pontos de apoio pela área de interesse é importante na caracterização da área mesmo que ela se mostre homogênea. Torna-se interessante coletar pontos em locais que representem a totalidade da área como partes mais baixas e partes mais altas, melhorando o processo de modelagem do terreno. Outro detalhe importante é a presença de pontos de apoio em locais onde haverá sobreposições de voo, evitando assim problemas como surgimento de “degraus” e buracos no ortomosaico gerado. Utilizando-se de imagens do *Google Earth* o Mapa 2 foi elaborado para ilustrar a distribuição desses pontos no terreno.

Mapa 2 - Distribuição dos Pontos de Apoio



Fonte: Google Earth

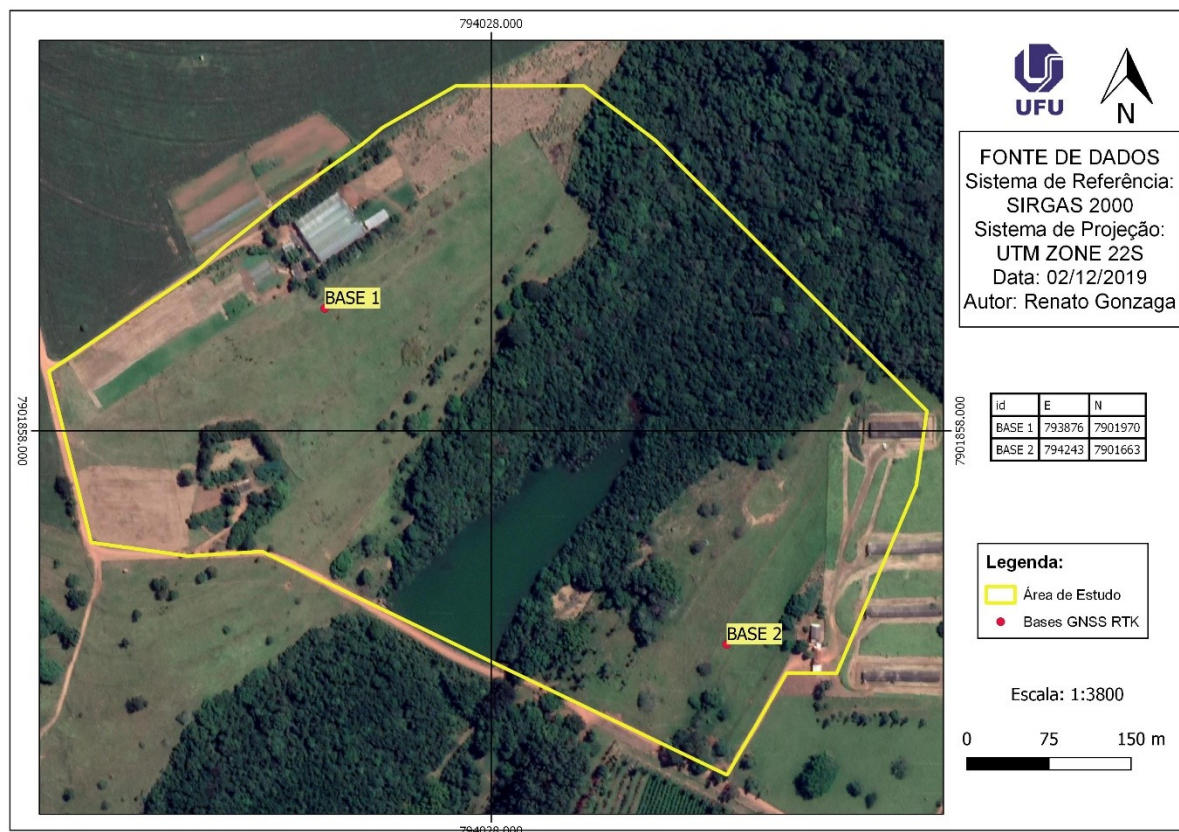
Foram coletados ao todo 18 pontos de apoio para verificação de coordenadas e processamento junto as imagens georreferenciadas. Utilizou-se essa quantidade de pontos no intuito de trazer-se maior acurácia para o levantamento visto que esse se destina para análise científica.

### 5.10 Planejamento do posicionamento do GNSS RTK

O planejamento dessa atividade foi de fundamental importância uma vez que o modelo de equipamento utilizado (GNSS Hiper SR L1/L2) é composto por uma base a qual permanece estática e deve possuir comunicação direta com ao outra unidade (*rover*), o qual é levado no momento da coleta dos pontos. Essa etapa exigiu uma análise prévia da área pois o equipamento possui uma limitação de funcionamento em um raio de 700 metros e apresenta falhas de sinal em locais de relevo acidentado e vegetação densa. Feita essa análise, decidiu-se dividir a coleta dos pontos em dois momentos, em que primeiro realizou-se a coleta dos pontos a montante e posteriormente a jusante,

justamente pela presença de mata densa na área. O local de fixação das bases é mostrado no Mapa 3.

Mapa 3 - Posicionamento das Bases do GNSS



Fonte: Google Earth

### 5.11 Planejamento dos parâmetros de voo

Os parâmetros de voo estabelecidos foram a altitude de voo, a sobreposição de imagens vertical e lateral e a velocidade de voo. Esses parâmetros foram calculados com base na escolha da resolução espacial (GSD) definida para o projeto utilizando-se a equação (1):

$$\text{Altura de voo} = \frac{(\text{Dist. Focal} \cdot \text{GSD})}{\text{Pixel}} \quad (1)$$

Percebe-se que a altura de voo envolve os dados da distância focal da câmera embarcada no RPA, da resolução espacial e do tamanho do pixel da imagem. O tamanho do pixel da câmera é informado pelos fabricantes, porém é possível ser calculado com as informações técnicas do equipamento, como o tamanho do sensor e da imagem gerada por ele.



Com base em levantamentos realizados anteriormente sabe-se que é recomendável trabalhar com GSD de até 10 centímetros para esse tipo de mapeamento. Porém, para se alcançar um maior detalhamento nas imagens foi adotado um GSD de 2,4 centímetros. Quanto à velocidade do voo, foi definida uma velocidade de 7 m/s com base em experiências anteriores, no intuito de evitar o fenômeno de arrastamento nas imagens proporcionada pela adoção de altas velocidades no mapeamento.

Para realização desse mapeamento encontrou-se uma limitação no tempo de voo do equipamento utilizado (DJI Mavic 2 Pro), assim optou-se pela realização de três voos para que compreendesse toda área de interesse. A partir de ajustes realizados pelo próprio *software* DroneDeploy, os parâmetros de voo utilizados estão descritos na Tabela 2. Ainda sobre o planejamento do voo, as rotas realizadas no voo em questão estão dispostas no Anexo A.

Tabela 2 - Parâmetros de Voo ajustados pelo *software* DroneDeploy

| Parâmetros              | Valores   |
|-------------------------|-----------|
| Altura de voo           | 106 m     |
| Ground Resolution (GSD) | 2,4 cm/px |
| Velocidade de voo       | 7 m/s     |

Fonte: Autor

### 5.12 Classificação da carta topográfica digital segundo PEC PCD (Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais)

Os produtos cartográficos elaborados na última década do Século XX utilizavam-se de processos óptico-mecânico-manuais. A evolução tanto na parte de *hardware* quanto de *softwares* produziu mudanças significativas transformando o processo de produção de um documento cartográfico.

O Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, estabelece critérios para classificação de cartas quanto à sua precisão e acurácia contabilizando a distribuição de erros ao longo desses parâmetros. Utiliza-se um indicador estatístico da qualidade posicional (Padrão de Exatidão Cartográfica, PEC). O objetivo foi assegurar a exatidão cartográfica do produto analógico da época, observando as características de cada escala de representação. A metodologia utilizada nesse trabalho é a mesma aplicada por Galo e Camargo (1994) em que se realiza a análise estatística de tendência e precisão para avaliação da carta.

Relaciona-se a análise de tendência da distribuição *t-Student* a precisão obtida, baseada na distribuição qui-quadrado.

### 5.13 – Análise Estatística

Primeiramente foram calculadas as diferenças entre as coordenadas obtidas pelo GPS RTK e as coordenadas obtidas nas imagens, obtendo-se assim um valor para as coordenadas E (east) e N (north), segundo as Equações 2 e 3.

$$\Delta E = E_{gps} - E_{im} \quad (2)$$

$$\Delta N = N_{gps} - N_{im} \quad (3)$$

Em que:

- $\Delta E$  e  $\Delta N$  são as discrepâncias entre as coordenadas Este (E) e Norte (N) respectivamente.
- $E_{gps}$  e  $N_{gps}$  são as coordenadas obtidas por GPS RTK.
- $E_{ima}$ ;  $N_{ima}$  são as coordenadas obtidas pelo conjunto câmera/GPS RPA (imagem).

Posteriormente, realizou-se o cálculo da média e do desvio padrão das discrepâncias. Os cálculos foram realizados utilizando-se as Equações 4 e 5, em que  $\overline{\Delta N}$  e  $\overline{\Delta E}$  são as discrepâncias médias calculadas para cada ponto.

$$\overline{\Delta E} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta E_i}{n} \quad \text{e} \quad \overline{\Delta N} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta N_i}{n} \quad (4) \text{ e } (5)$$

Já o desvio padrão da média para  $\Delta N$  e  $\Delta E$  foi calculado utilizando-se das Equações 6 e 7, em que “n” representa o número de pontos de checagem utilizados:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\Delta E_i - \overline{\Delta E})^2}{(n-1)}} \quad \text{e} \quad \hat{\sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\Delta N_i - \overline{\Delta N})^2}{(n-1)}} \quad (6) \text{ e } (7)$$

### 5.14 – Análise de Precisão

Na realização da análise da precisão do produto se faz necessário recorrer aos valores de Erro Padrão estabelecidos pelo Decreto nº 89.817/84 (Padrões de Exatidão Cartográfica) na escala desejada. Tais valores serão apresentados na parte dedicada aos resultados e ao enquadramento do produto cartográfico. Seguindo a metodologia necessária para realização da análise, a precisão foi aferida comparando-se o desvio padrão das discrepâncias obtidos, com o Erro Padrão (EP). Desse modo, o teste a ser comprovado se resume em aplicar as Equações 8 e 9:

$$H_0: \hat{\sigma}_{\Delta E} = \sigma \quad \text{e} \quad \hat{\sigma}_{\Delta N} = \sigma \quad (8)$$

$$H_1: \hat{\sigma}_{\Delta E} > \sigma \quad \text{e} \quad \hat{\sigma}_{\Delta N} > \sigma \quad (9)$$

Em que  $\sigma$  é o desvio padrão esperado, calculado pela Equação 10:

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

Para constatação da hipótese  $H_0$  ou  $H_1$ , é necessária a realização de um teste qui-quadrado amostral afim de se comparar o valor teórico e o calculado através dessa distribuição de probabilidade. Esse valor teórico é obtido em tabelas com valores de referência para o teste qui-quadrado, em que o grau de liberdade (GL) utilizado é igual a  $(n-1)$ , sendo “n” o número de observações (pontos de checagem) utilizadas, e o nível de confiança  $(1-\alpha)$ .

Para o teste do qui-quadrado amostral foram utilizadas as Equações 11 e 12 para as coordenadas E (*east*) e N (*noth*) em que “n” representa o número de observações (pontos de checagem):

$$\hat{X}^2 = \frac{\widehat{\sigma_{\Delta E}}^2}{\hat{\sigma}^2} (n-1) \quad \text{e} \quad \hat{X}^2 = \frac{\widehat{\sigma_{\Delta N}}^2}{\hat{\sigma}^2} (n-1) \quad (11) \text{ e } (12)$$

Posteriormente é realizado o teste para verificar se valor calculado se enquadra no intervalo de aceitação. As Equações 13 e 14 mostram a situação testada, com grau de liberdade (GL) igual a  $(n-1)$ , em que “n” representa o

número de pontos de checagem utilizados, e o nível de confiança está representado por  $(1-\alpha)$ ..:

$$\widehat{X}_{\Delta E}^2 \leq \widehat{X}_{1-\alpha}^{2 \text{ GL}=n-1} \quad \text{e} \quad \widehat{X}_{\Delta N}^2 \leq \widehat{X}_{1-\alpha}^{2 \text{ GL}=n-1} \quad (13) \text{ e } (14)$$

Desse modo pode-se enquadrar a ortofoto e outros produtos cartográficos no PEC PCD, a partir de padrões estabelecidos pela norma.

### 5.15 – Análise de Tendências

Na etapa de análise de tendências é realizada a verificação da magnitude das médias das discrepâncias observadas entre os pontos da carta e de referência, e se elas podem ser consideradas desprezíveis. Portanto as hipóteses a serem analisadas são representadas pelas Equações 15 e 16:

$$H_0: \overline{\Delta E} = 0 \quad \text{e} \quad \overline{\Delta N} \neq 0 \quad (15)$$

$$H_1: \overline{\Delta E} \neq 0 \quad \text{e} \quad \overline{\Delta N} \neq 0 \quad (16)$$

Para constatação da hipótese H0 ou H1, é necessária a realização de teste de probabilidade *t-Student*, em que se calcula um valor t amostral e compara-se com o valor teórico obtido. Esse valor teórico consta em tabelas de referência do teste em questão, em que o grau de liberdade (GL) utilizado é igual a  $(n-1)$  e o nível de confiança  $(1-\alpha/2)$ .

O valor de t amostral é obtido com as Equações 17 e 18:

$$\hat{t}_{\Delta E} = \frac{\overline{\Delta E}}{\hat{\sigma}_{\Delta E}} \sqrt{n} \quad \text{e} \quad \hat{t}_{\Delta N} = \frac{\overline{\Delta N}}{\hat{\sigma}_{\Delta N}} \sqrt{n} \quad (17) \text{ e } (18)$$

Posteriormente é realizado o teste para verificar se o valor calculado se enquadra no intervalo de aceitação. As Equações 19 e 20 mostram a situação testada:

$$|\hat{t}|_{\Delta E} \leq t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{\text{GL}=n-1} \quad \text{e} \quad |\hat{t}|_{\Delta N} \leq t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{\text{GL}=n-1} \quad (19) \text{ e } (20)$$

Uma vez que as expressões 19 e 20 são satisfeitas, rejeita-se a hipótese H1 e considera-se a hipótese H0 como sendo válida, e assim os produtos gerados se tornam livres de tendências significativas.

### 5.16 Posicionamento dos alvos para apontamento

Nessa etapa, fixou-se o alvo no ponto a ser coletado com o GNSS RTK e prendeu-se o alvo elaborado pela equipe. Esse procedimento é necessário para que esses pontos se tornem identificáveis nas imagens. Dessa forma une-se os dados do GPS RTK junto às informações das fotografias para processamento posterior. A Figura 4 exibe o alvo e piquete utilizados nessa etapa.

Figura 4 - Alvo utilizado para identificação dos pontos



Fonte: Autor

É importante lembrar que nas imagens aéreas os alvos estejam foto-identificáveis e que seja possível visualizar seu centro e realizar o procedimento de apontamento desse pixel para processamento.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Mosaico

O mosaico obtido no processo de mosaicagem pelo *software* Agisoft Metashape está representado no Anexo C. A imagem está em alta resolução (600 dpi) permitindo a visualização de detalhes e objetos do terreno.

Considerou-se os resultados obtidos no ortmosaico satisfatórios em termos de resolução de imagem. A edição de distorções colaborou para a qualidade do produto obtido. Outro aspecto importante foi a pouca presença de sombreamento tanto pelos objetos e elementos presentes no terreno quanto pela

presença de nuvens. Além disso, a velocidade utilizada no mapeamento pelo RPA evitou os fenômenos de arraste de imagens, outro aspecto importante para avaliação da qualidade do produto.

## 6.2 Transformação das altitudes geométrica em altitudes ortométricas

Após o ajustamento das coordenadas UTM a partir de bases RBMC, estes se encontram disponíveis para utilização na etapa de processamento de imagens. A Tabela 3 traz as informações de ondulação geoidal dada pelo modelo MAPGEO 2015 (IBGE), juntamente com as altitudes ortométricas de cada ponto.

Tabela 3 - Correção das altitudes geométricas para ortométricas dos pontos de apoio utilizados

| <b>Coordenadas UTM - Fuso 22S - SIRGAS 2000</b> |                         |                        |                            |                         |                             |
|---|-------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| <b>ID DO PONTO</b>                              | <b>Coord. Norte (N)</b> | <b>Coord. Este (E)</b> | <b>Alt. Geométrica (m)</b> | <b>Ond. Geoidal (m)</b> | <b>Alt. Ortométrica (m)</b> |
| H1  | 793779                  | 7901935                | 874,951                    | -10,11                  | 885,061                     |
| H2  | 793838                  | 7901973                | 876,189                    | -10,11                  | 886,299                     |
| H5  | 793961                  | 7902048                | 876,933                    | -10,11                  | 887,043                     |
| H6  | 794027                  | 7902097                | 877,381                    | -10,11                  | 887,491                     |
| H13   | 793875                  | 7901815                | 865,359                    | -10,11                  | 875,469                     |
| H15   | 793950                  | 7901849                | 862,814                    | -10,11                  | 872,924                     |
| H17   | 793893                  | 7901897                | 869,667                    | -10,11                  | 879,777                     |
| H21   | 794103                  | 7902023                | 867,633                    | -10,11                  | 877,743                     |
| H23   | 794068                  | 7902048                | 871,726                    | -10,11                  | 881,836                     |
| H28   | 794332                  | 7901816                | 867,405                    | -10,10                  | 877,505                     |
| H37   | 794190                  | 7901766                | 859,953                    | -10,10                  | 870,053                     |
| H44   | 794331                  | 7901748                | 870,464                    | -10,10                  | 880,564                     |
| H48   | 794276                  | 7901645                | 870,631                    | -10,10                  | 880,731                     |
| H50   | 794246                  | 7901708                | 866,684                    | -10,10                  | 876,784                     |
| H57   | 794138                  | 7901655                | 861,292                    | -10,10                  | 871,392                     |
| H58   | 794128                  | 7901615                | 862,113                    | -10,10                  | 872,213                     |
| H59   | 794138                  | 7901596                | 863,086                    | -10,10                  | 873,186                     |
| H60   | 794190                  | 7901595                | 866,779                    | -10,10                  | 876,879                     |

**Fonte: Autor**

A Figura 5 mostra as elipses de erro em ordem centimétrica referentes aos pontos de apoio utilizados. Essa representação é obtida no relatório de processamento gerado pelo *software* Agisoft Photoscan e serve como base para análise da qualidade dos pontos de apoio coletados.

Figura 5 - Elipses de erro dos pontos de apoio

## Ground Control Points



Fonte: *Software* Agisoft Metashape

O erro em Z é representado pela cor da elipse, e os erros em X e Y são representados pela forma da elipse. Os locais estimados do GCP (*Ground Control Points*) são marcados com um ponto ou cruzamento. O detalhamento dos erros de cada ponto está contido nas Tabelas 6 e 7.

### 6.3 Processamento de imagens e pontos de apoio

Após o processamento das imagens em conjunto com os dados gerados pela coleta dos pontos através do GPS RTK, o *software* produz um relatório de processamento com os parâmetros adotados e resultados obtidos quanto à precisão e outras variáveis. As Tabelas 4 e 5 apresentam um resumo dos resultados finais de precisão e acurácia obtidos pelo processamento das imagens.

Os valores contidos na Tabela 4 dizem respeito à precisão dos pontos de apoio coletados em campo. Tais pontos são inseridos na etapa de processamento das imagens, enquanto os pontos de cheque são apenas para efeito de comparação e determinação da acurácia do projeto.

Tabela 4 - Pontos de Controle RMSE  
Easting, Y - Northing, Z – Altitude

| <b>Número de Pontos</b> | <b>X error (cm)</b> | <b>Y error (cm)</b> | <b>Z error (cm)</b> | <b>XY error (cm)</b> | <b>Total (cm)</b> |
|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-------------------|
| 12                      | 19,3637             | 21,0089             | 4,02269             | 28,5714              | 28,8532           |

Fonte: *Software* Agisoft Metashape

Os resultados exibidos na Tabela 4, representam a acurácia obtida na etapa da coleta dos pontos de controle e dão noção da qualidade posicional dos pontos utilizados na etapa do processamento. Nas tabelas 4 e 5 estão representados os erros obtidos nas coordenadas X, Y e Z, além do erro XY obtido pela raiz quadrada média do erro das coordenadas X e Y dos pontos de controle e checagem.

Tabela 5 - Pontos de Checagem RMSE  
X - Easting, Y - Northing, Z – Altitude

| <b>Número de Pontos</b> | <b>X error (cm)</b> | <b>Y error (cm)</b> | <b>Z error (cm)</b> | <b>XY error (cm)</b> | <b>Total (cm)</b> |
|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-------------------|
| 6                       | 40,8499             | 39,8981             | 14,458              | 57,1014              | 58,9034           |

Fonte: *Software* Agisoft Metashape

Já os valores contidos na Tabela 5 representam a discrepância entre as coordenadas obtidas por GPS RTK em campo e as coordenadas obtidas nas imagens. A seguir serão apresentados os resultados mais detalhados das discrepâncias dos pontos de controle e pontos de checagem nas Tabelas 6 e 7, bem como a análise desses resultados. Através dos valores da Tabela 7 que se realiza a avaliação do produto cartográfico segundo Padrão de Exatidão Cartográfica.



Tabela 6 - Discrepâncias aferidas nos Pontos de Controle (Control Points)

| ID DO PONTO  | X error (cm)  | Y error (cm)  | Z error (cm) | Total (cm)    | Image (pix)  |    |
|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|--------------|----|
| H1           | -1,994        | -10,386       | -1,782       | 10,725        | 0,318        | 14 |
| H5           | -1,704        | -12,966       | 3,519        | 13,543        | 0,395        | 8  |
| H6           | -9,433        | -21,745       | -8,834       | 25,296        | 0,398        | 12 |
| h15          | 12,256        | 14,456        | 3,343        | 19,245        | 0,496        | 35 |
| H17          | -22,521       | 25,833        | 2,146        | 34,338        | 0,215        | 16 |
| H23          | 19,127        | 25,820        | 6,488        | 32,781        | 0,455        | 28 |
| H37          | 30,783        | -10,720       | -3,969       | 32,837        | 0,255        | 32 |
| H44          | -3,731        | 23,055        | 0,290        | 23,357        | 0,343        | 10 |
| h50          | -39,497       | -12,605       | -1,524       | 41,487        | 0,32         | 18 |
| H57          | 28,056        | -36,283       | -1,919       | 45,905        | 0,365        | 32 |
| h59          | -5,559        | 27,314        | -1,241       | 27,902        | 0,355        | 19 |
| h60          | -6,385        | -11,697       | 4,395        | 14,032        | 0,28         | 10 |
| <b>Total</b> | <b>19,364</b> | <b>21,009</b> | <b>4,023</b> | <b>28,853</b> | <b>0,371</b> |    |

Fonte: *Software* Agisoft Metashape

Tabela 7 - Discrepâncias aferidas nos Pontos de Cheque (CheckPoints)

| ID DO PONTO  | X error (cm)   | Y error (cm)   | Z error (cm)  | Total (cm)     | Image (pix)  |    |
|--------------|----------------|----------------|---------------|----------------|--------------|----|
| h2           | 70,6187        | -76,713        | 0,30542       | 104,269        | 0,308        | 14 |
| H13          | 9,42224        | -24,2975       | -18,1915      | 31,7817        | 0,423        | 24 |
| H21          | -26,4122       | -5,95163       | 26,3039       | 37,7481        | 0,338        | 24 |
| H28          | 9,98986        | 33,6513        | -12,3798      | 37,2219        | 0,226        | 13 |
| H48          | 19,7956        | 28,0741        | 8,65724       | 35,4256        | 0,36         | 15 |
| h58          | 61,2145        | -33,4652       | -1,75225      | 69,7869        | 0,418        | 18 |
| <b>Total</b> | <b>40,8499</b> | <b>39,8981</b> | <b>14,458</b> | <b>58,9034</b> | <b>0,362</b> |    |

Fonte: *Software* Agisoft Metashape

Como já mencionado, os valores de X e Y são relativos ao erro encontrado na planimetria, assim como o valor de Z refere-se ao erro altimétrico do levantamento. A coluna *Image (pix)* representa o erro em pixels na imagem, juntamente com o número de imagens utilizadas no apontamento dos pontos de apoio. A Tabela 7 é utilizada para realização da avaliação da qualidade posicional da nuvem de pontos gerada.

Observando os dados obtidos na Tabela 5, percebe-se que alguns pontos apresentaram considerável discrepância entre as coordenadas do ponto obtido

via GPS GNSS RTK e as coordenadas da imagem. Analisando na prática o processo de realização do levantamento como um todo, pode-se elencar alguns fatores que podem ter influenciado o resultado. Recomenda-se que o resultado da acurácia de um mapeamento desse tipo seja de 1 a 1,5 vezes o valor do GSD utilizado na planimetria para que o produto se enquadrasse na Classe A da PEC PCD, e na altimetria de 2 a 3 vezes o valor do GSD.

Entre os fatores que podem ter influenciado os resultados obtidos, destaca-se o fato que os pontos de controle não apresentarem casas decimais na planimetria contribuindo assim para a elevação dos erros diagnosticados. Avaliando outros trabalhos semelhantes, constatou-se que em estudos que atingiram a Classe A segundo a PEC, os pontos de apoio contavam com três casas decimais, o que colabora com o aumento da precisão dos pontos obtidos via GPS GNSS RTK.

Com relação ao erro altimétrico, percebeu-se que os erros obtidos foram menores quando comparados à planimetria. Tais erros podem estar atribuídos a presença de uma estaca de madeira no centro do alvo como mostrado na Figura 6. Essa estaca foi utilizada para fixação do alvo no terreno, porém o correto seria utilizar-se de outro instrumento, como ponteiros de ferro para fixação das extremidades do alvo. Acredita-se que esse fator foi relevante pois na etapa de apontamento dos pontos no processamento das imagens, a região central do alvo deveria representar o nível do solo para que o *software* faça a leitura da altimetria do terreno corretamente.

#### **6.4 Modelos digitais**

Quanto aos modelos digitais produzidos, foram analisadas algumas questões a respeito da qualidade e representatividade de cada um. Com relação ao modelo digital de terreno, este foi obtido no processamento de imagens, após a geração e filtragem do MDS (Modelo Digital de Superfície).

Analisando os modelos digitais obtidos, considerou-se que todos eles (superfície, terreno e elevação) representaram fielmente a área de estudo para sua respectiva finalidade. O modelo digital de terreno (MDT) apresentou boa filtragem dos objetos acima do solo tal como árvores, edificações e outros elementos. Já o modelo digital de superfície (MDS) conseguiu apresentar os elementos da área com fidelidade, representando áreas de mata, construções e

outros objetos com detalhamento considerado satisfatório e com poucas distorções.

Quanto ao modelo digital de elevação (DEM), este foi produzido a partir dos dois modelos elaborados anteriormente (terreno e superfície). Considerando esse modelo e os mapas hipsométricos elaborados, pode-se perceber que o modelo de elevação obtido através do modelo digital de terreno (MDT) apresentou melhores resultados, uma vez que esse considerou apenas os elementos respectivos à superfície do terreno. Constatou-se que o aspecto do mapa se apresenta mais uniforme, o que não ocorreu no modelo de elevação obtido através do modelo digital de superfície (MDS) que apresentou detalhes como árvores da área, justamente por esse não sofrer o processo de filtragem desses elementos.

### **6.5 Planta topográfica**

Constatou-se que a planta topográfica elaborada a partir do mosaico de ortofotos, conseguiu representar satisfatoriamente a área de estudo em questão e seus detalhes. Os elementos representados com maior detalhamento como árvores isoladas, torres de eletricidade dentre outros são resultados da praticidade que essa técnica de mapeamento oferece, pois através de um mosaico de fotos representa-se toda área em seu estado atual, conseguindo assim representar-se os detalhes presentes em uma planta topográfica georreferenciada sem a necessidade de marcação com GPS de cada detalhe separadamente como é feito na topografia convencional.

O mapa topográfico impresso na escala 1:3800 conforme padrões ABNT, mais precisamente NBR 10068/87 a qual trata das convenções cartográficas estão apresentados no Anexo F.

### **6.6 Classificação da carta topográfica segundo PEC PCD**

Após o processamento das imagens junto aos pontos de apoio, o *software* Agisoft Photoscan gerou um relatório com os resultados obtidos, necessários para o enquadramento dos produtos junto ao padrão estabelecido.

Analisa-se agora os resultados para planimetria e altimetria primeiramente utilizando-se das equações (4), (5), (6) e (7) do item 5.13. Portanto na análise planimétrica, as variáveis estatísticas calculadas a partir das discrepâncias observadas nas coordenadas N (*north*) e E (*east*) estão contidas na Tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros estatísticos calculados para as coordenadas

| Parâmetro Estatístico | Coordenadas |           |              |
|-----------------------|-------------|-----------|--------------|
|                       | Norte (N)   | Este (E)  | Altitude (H) |
| Média                 | 0,04820957  | -0,026234 | 0,000981     |
| Desvio Padrão         | 0,17922258  | 0,1795079 | 0,0657558    |

Fonte: Autor

Utilizando-se do teste de tendência descrito no item 5.15 analisa-se as hipóteses das equações (15) e (16), e calcula-se a estatística amostral (t) via equações (17) e (18) para aceitação ou rejeição da hipótese. Com auxílio da valores tabelados referentes à distribuição *t-student* obteve-se os resultados exibidos na Tabela 9:

Tabela 9 - Valores de "t" obtidos para teste de tendência

| T-Student | t Tabela    | t Calculado  | Resultado       |
|-----------|-------------|--------------|-----------------|
| tE        | 2,015048373 | 0,658894856  | Não Tendencioso |
| tN        | 2,015048373 | -0,357977914 | Não Tendencioso |
| tH        | 2,015048373 | 0,036543679  | Não Tendencioso |

Fonte: Autor

Analisando os resultados contidos na Tabela 9, percebe-se que os valores encontrados se encontram dentro do intervalo de aceitação, podendo-se considerar a carta topográfica digital livre de tendências significativas.

A segunda análise a ser realizada é referente à precisão, comparando-se os valores do desvio padrão das discrepâncias observadas com os valores de Erro Padrão da PEC PCD para a classe que se deseja testar, através da estatística qui-quadrado apresentada no item 5.14, pelas equações (11) e (12). Os valores de referência da PEC utilizados foram o da escala 1:1000, uma vez que esse é o maior valor de escala apresentada da PEC PCD, ou seja, a escala que representa um maior detalhamento dos produtos cartográficos digitais.

Embora os valores de escala de produtos cartográficos para fins ambientais sejam maiores, da ordem de 1:5000, optou-se por realizar uma avaliação mais rígida quanto à qualidade posicional dos produtos elaborados.

Os valores de referência da PEC PCD bem como os resultados obtidos para planimetria estão dispostos na Tabela 10 e 11:

Tabela 10 - Valores de referência da PEC PCD - Escala 1:1000

| <b>PLANIMÉTRICO (Metros)</b> |                |               |                          |
|------------------------------|----------------|---------------|--------------------------|
| <b>Classe</b>                | <b>PEC (m)</b> | <b>EP (m)</b> | <b>D.P. Esperado (m)</b> |
| Classe A                     | 0,28           | 0,17          | 0,120208153              |
| Classe B                     | 0,5            | 0,3           | 0,212132034              |
| Classe C                     | 0,8            | 0,5           | 0,353553391              |
| Classe D                     | 1              | 0,6           | 0,424264069              |

Fonte: [www.geoportal.eb.mil.br](http://www.geoportal.eb.mil.br) › PDF › ADGV\_Defesa-Forca\_terrestre\_2015

Tabela 11 - Resultados obtidos para planimetria

| <b>Qui-Quadrado (90%) - Planimétrico</b> |               |                 |                 |                 |                 |
|--|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|  | <b>Tabela</b> | <b>Classe A</b> | <b>Classe B</b> | <b>Classe C</b> | <b>Classe D</b> |
| XE                                       | 9,236357      | 11,11444        | 3,568970537     | 1,284829        | 0,89224263      |
| XN                                       | 9,236357      | 11,14985        | 4,231041331     | 2,538625        | 0,89508554      |

Fonte: Autor

A partir dos resultados obtidos conclui-se que os produtos cartográficos obtidos se enquadram na Classe B segundo a PEC PCD/84 em que o valor calculado para a Classe B é inferior ao tabelado, comprovando o enquadramento nesta classe. Lembrando que, quanto maior a precisão obtida na etapa do processamento melhor será seu enquadramento, por ordem sequencial de A a D.

Em sequência são apresentados os resultados e valores de referência na escala 1:2000 com equidistância de um metro entre as curvas de nível para o teste de altimetria nas Tabelas 12 e 13. O valor de 1:2000 foi testado, por ser uma escala que apresenta um bom nível de detalhamento e pela equidistância das curvas de nível obtidas estipuladas na PEC PCD.

Tabela 12 - Valores de referência da PEC PCD para altimetria

| <b>ALTIMÉTRICO (Metros)</b> |                |               |                          |
|-----------------------------|----------------|---------------|--------------------------|
| <b>Classe</b>               | <b>PEC (m)</b> | <b>EP (m)</b> | <b>D.P. Esperado (m)</b> |
| Classe A                    | 0,5            | 0,33          | 0,2357                   |
| Classe B                    | 0,6            | 0,4           | 0,2828                   |
| Classe C                    | 0,75           | 0,5           | 0,3536                   |
| Classe D                    | 1,00           | 1,00          | 0,7071                   |

Fonte: [www.geoportal.eb.mil.br](http://www.geoportal.eb.mil.br) › PDF › ADGV\_Defesa-Forca\_Terrestre\_2015

Tabela 13 - Resultados obtidos para altimetria

| <b>Qui-Quadrado (90%) - Altimétrico</b> |                 |                 |                 |                 |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Tabela</b>                           | <b>Classe A</b> | <b>Classe B</b> | <b>Classe C</b> | <b>Classe D</b> |
| XH 9,2363569                            | 0,3891          | 0,2702          | 0,1730          | 0,0432          |

Fonte: Autor

Os resultados apresentados mostram que a altimetria dos produtos gerados pode ser enquadrada na Classe “A” segundo PEC PCD/84, em que o valor calculado para classe é inferior ao tabelado.

### **6.7 Utilização dos produtos cartográficos gerados**

Uma das discussões propostas nesse trabalho diz respeito à utilização dos produtos cartográficos digitais gerados. O levantamento topográfico, como citado na revisão bibliográfica, é uma importante ferramenta na execução de projetos e estudos nas mais diferentes áreas da atividade humana.

Dentre os setores já conhecidos e que se utilizam desse tipo de levantamento topográfico em suas atividades pode-se citar o setor da construção civil, mineração, atividades agrícolas e a área ambiental dentre outras.

Compreende-se que diferentes projetos de diferentes setores têm características próprias, porém a economia de tempo nas etapas de análises e estudos prévios representa também a economia de recursos na maioria dos casos. A opção de reduzir custos utilizando-se de mão de obra qualificada e metodologia adequada são fatores relevantes para se obter êxito em projetos de quaisquer setores.

Pode-se perceber tal fato no caso do setor público, em ocasiões que envolvam licitações as quais o projeto base deverá ser elaborado no menor tempo e orçamento possível. Dessa maneira torna-se relevante aplicar-se a tecnologia descrita nesse trabalho pois acredita-se que ela contribua para as atividades da área ambiental, visto que se apresenta como um novo método de levantamento topográfico ágil e com acurácia suficiente para os projetos desse ramo.

Considera-se então, que essa tecnologia tem o intuito de colaborar na otimização dos procedimentos necessários para realização de um levantamento topográfico por sua praticidade e eficiência. Tal praticidade é demonstrada em casos de áreas de difícil acesso, áreas extensas em que se leva muito tempo

para percorrer toda sua extensão, áreas montanhosas dentre outros casos. Porém é necessário analisar a viabilidade e as limitações desse tipo de levantamento, pois alguns aspectos podem influenciar no processo e assim não apresentar os resultados esperados.

A respeito das limitações do método, pode-se citar algumas situações que a tecnologia apresenta falhas e resultados fora do padrão desejado. Uma dessas situações são áreas com grande quantidade de cobertura vegetal, ocasionando assim o recobrimento de grande área do terreno. A consequência desse aspecto faz com que não haja informações suficientes nas imagens para que o *software* faça a modelagem digital do terreno, contribuindo para o não reconhecimento de características como altitude na parte coberta pela vegetação, o que interfere diretamente na acurácia do projeto.

Outra característica limitante são os mapeamentos realizados em grandes centros urbanos, quando esses apresentam grande densidade de construções (principalmente prédios), ocasionam a obstrução do sinal do rádio, responsável pela comunicação entre a aeronave e o controle remoto, influenciando assim as rotas pré estabelecidas ocasionando perda da qualidade das imagens e até acidentes. Uma vez apresentado os aspectos limitantes dessa metodologia, se irá discutir então os usos e benefícios da tecnologia utilizada nos diferentes setores.

Como já mencionado, o setor da construção civil utiliza-se do levantamento topográfico para o planejamento de projetos de rede de drenagem, estudo de traçado para estradas e rodovias, inspeções e acompanhamentos de obras, cálculos de área inundada para pequenas e médias barragens e em termos gerais para projetos de infraestrutura. Já no setor da mineração a tecnologia pode ser utilizada para mensuração de volume de pilhas de minério, planejamento de rotas de veículos de transporte de carga, além de utilizar-se das informações geradas para formulação de seus planos de cava. Esse aspecto aplica-se não somente para área da mineração, podendo ser útil a todos aqueles empreendimentos que se faça necessário mensurar volumes como é o caso de usinas de compostagem e aterros sanitários.

Já a área agrícola vem fazendo uso dos RPAs para diferentes atividades do setor, podendo-se citar a detecção de falhas de plantio, contagem de plantas, planejamento de plantios mecanizados, implementação de curvas de nível e

ainda a avaliação da saúde vegetal aliado ao uso de câmeras multiespectrais. Em relação a esse último tópico, deve-se destacar que a avaliação da saúde vegetal via RPAs proporciona economia de insumos como fertilizantes e pesticidas, pois esses serão aplicados somente em áreas que demandem sua utilização, gerando benefícios econômicos ao produtor e ao meio ambiente através da redução do uso de agroquímicos.

E por último, a área ambiental beneficia-se dessa metodologia uma vez que é possível realizar-se de forma remota mensurações de área de preservação para fins de cadastros ambientais, detecção da ocorrência de focos de incêndios e desmatamento, planejamentos de planos de recuperação de áreas degradadas, dentre outras demandas mostrando-se útil para órgãos fiscalizadores e agentes de gestão ambiental.

## **7. CONCLUSÃO**

Considera-se, portanto, que a realização de um novo método para levantamentos planialtimétricos contribui para atividades de diversos setores, principalmente na área ambiental, oferecendo assim uma alternativa prática e eficiente.

Quanto a qualidade dos produtos gerados, o presente trabalho verificou o enquadramento na classe B para planimetria, e classe A para altimetria do Padrão de Exatidão Cartográfica reforçando a validação do método, levando em consideração a aplicabilidade desses produtos para projetos de cálculo de volume e projetos que exijam rápida atuação, além dos possíveis usos já citados em diferentes atividades.

A respeito das limitações e da utilização desse tipo de levantamento, essa tecnologia não tem por objetivo substituir os métodos convencionais de levantamento topográfico, mas sim otimizar o desempenho em casos que o nível de acurácia demandado por um projeto alinha-se com os produzidos por esse método. Tal fato abre espaço para reflexão acerca da qualificação profissional requerida para realização desse tipo de mapeamento.

A autonomia atribuída as geotecnologias atuais dispensam de certa forma a intervenção humana em algumas etapas do trabalho, através da presença de configurações e recursos automáticos desses equipamentos. Porém, é necessário destacar que torna-se imprescindível a criação de normas que



regulamentem o uso desse tipo de tecnologia em diferentes projetos, como é o caso da a Norma de Execução do Incra/DF/02 de 19 de fevereiro de 2018, a qual estabeleceu critérios para avaliação e aplicação de produtos cartográficos gerados por aerofotogrametria em trabalhos de georreferenciamento de imóveis rurais. Tais normas revelam-se importantes para manutenção do nível de profissionalismo demandado na realização de diferentes projetos, evitando a banalização do fator humano na atividade profissional.

Por último, a geração do ortomosaico é um produto exclusivo do equipamento e da metodologia, oferecendo a possibilidade de uso para diferentes propósitos, como já mencionado no caso de órgãos de fiscalização. A realização de monitoramentos de forma remota em menor tempo e maior frequência, não exclui a exigência dos monitoramentos *in situ*, contudo há de se considerar a contribuição que essa ferramenta traz a essa e demais atividades supra citadas.

## 8. BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY (ASP). Manual of Photogrammetry, 1966.

ANDRADE, J. B. Fotogrametria, SBEE, Curitiba, 1989, p.258.

ANGELOV, P. Sense and Avoid in UAS: Research and Applications. John Wiley & Sons, 30 de abr. de 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10068: Folha de desenho – Leiaute e dimensões. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13133: Execução de Levantamento Topográfico. Rio de Janeiro, 1994.

BERNARDES, M. B. Bacia hidrográfica do rio Uberabinha: a disponibilidade de água e uso do solo sob a perspectiva da educação ambiental. 2007. Tese (Doutorado em Geografia) - UFU. Uberlândia - MG.

BLITZKOW. D; FONSECA JR. E. S.; CINTRA. J. P.; NETTO. N. P. Apostila PTR - 2202 - Informações Espaciais. PTR. LTG. USP. São Paulo. 2004 <<http://www.leg.ufpr.br/lib/exe/fetch.php/disciplinas:verao2007:pdf:ptr2202-conceitos-2004.pdf>>. Acessado em Janeiro/2020.

BRASIL. Decreto n. 89.817, de 20 de jun. de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional., Brasília, DF, jun 1984.

BRITO, J.; COELHO, L. Fotogrametria Digital. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

BRITO, L. C. Fotogrametria Digital. Rio de Janeiro: UERJ, 2007.

BRITO, J. Precision of digital orthoimages: assessment and application to the occlusion detection problem. Columbus: The Ohio State University, 1997.

CARRIJO, B.R; BACCARO, C.A.D. Análise sobre a erosão hídrica na área urbana de Uberlândia. Revista Online Caminhos da Geografia do Programa de Pós Graduação em Geografia. Uberlândia, 2000.

DALMOLIN, Q; LEAL, E.M. Positional quality based on mapping bases generated from CAD. Bol. Ciênc. Geod., Curitiba, v. 7, no 1, p.21-40, 2001.

DINIZ, M. Â. Análise do relevo para otimização do uso e ocupação do terreno utilizando SIG. Belo Horizonte, 2002.

FREIRE, F.; PAREDES, E. A. Aplicação do *software* Global Mapper 8.0 na elaboração de mapas temáticos no planejamento territorial. Anais... I Seminário de Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2007.

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

MAUNE, D. F., Introduction In: Ed. Digital elevation model 64 technologies and applications: The DEM users manual. Bethesda: ASPRS, 2001.

NONAMI, K. Prospect and recent research and development for civil use autonomous unmanned aircraft as UAV and MAV. Journal of System Design and Dynamics. 2007. v. 1, p. 120–128.

ROCHA, D.S; MOVIO, S.C; FERREIRA, L.S. Considerações sobre a utilização do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) nos dias atuais. Curitiba, 2010.

SILVEIRA, C.T; FIORI, A.P; FERREIRA, A.M; GÓIS, J.R; MIO, G; SILVEIRA, R.M.P. Emprego de atributos topográficos no mapeamento da susceptibilidade a processos geoambientais na bacia do rio Jacareí, Paraná, 2013.

TOLENTINO, F. M. et al. Avaliação da acurácia posicional de redes de drenagem obtidas a partir de modelos SRTM e ASTER com uso dos *softwares* ArcGis e QGis. Revista Brasileira de Cartografia (2017), No 69/7: 1287-1301, 2017.

WOLF, P. R. Elements of Photogrammetry, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1983.

## 9. ANEXOS

**ANEXO A - ROTAS DE VOO EXECUTADAS NA ÁREA DE ESTUDO**

Fonte das Imagens (*Software Drone Deploy*)

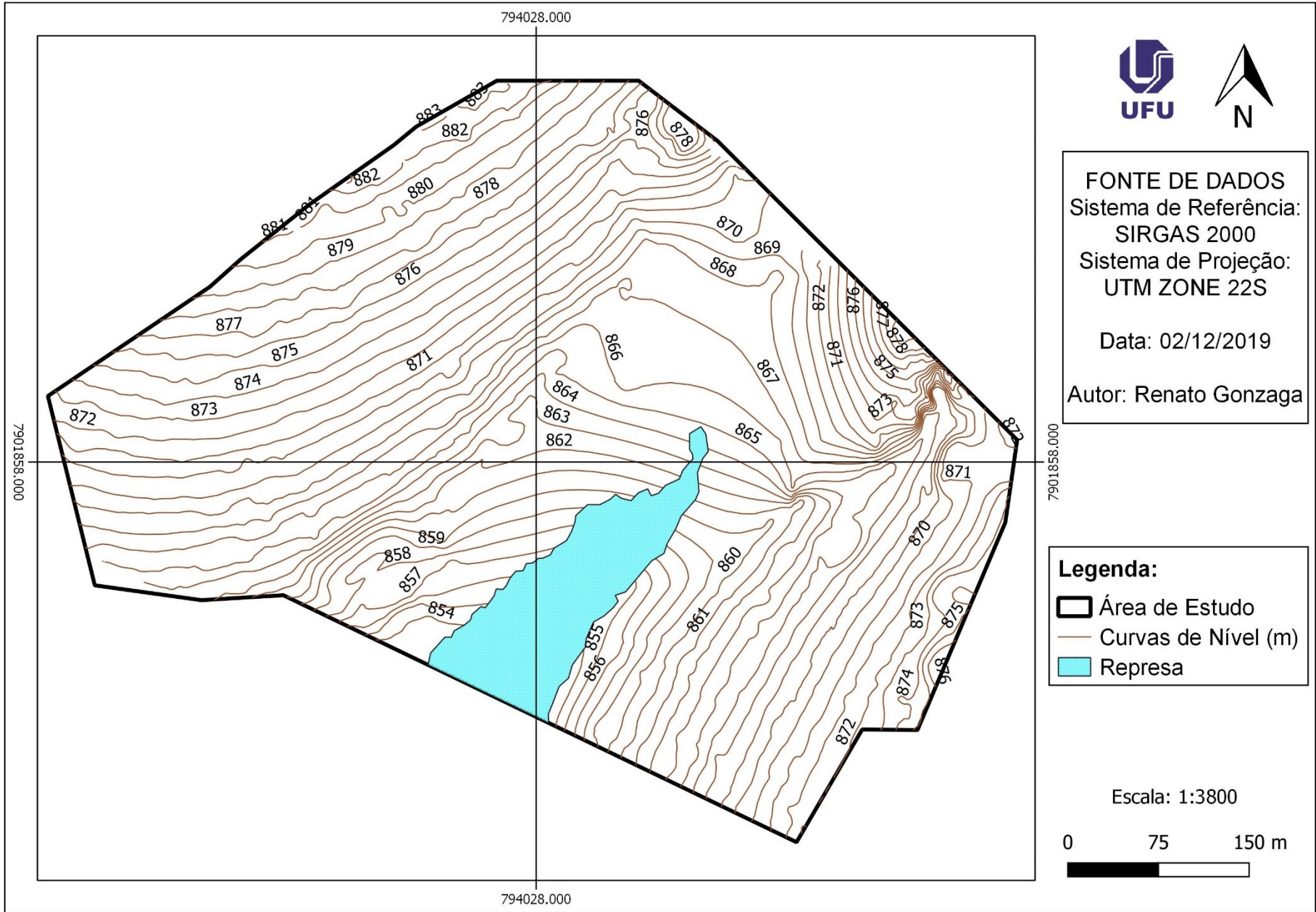


## **ANEXO B - ORTOMOSAICO**



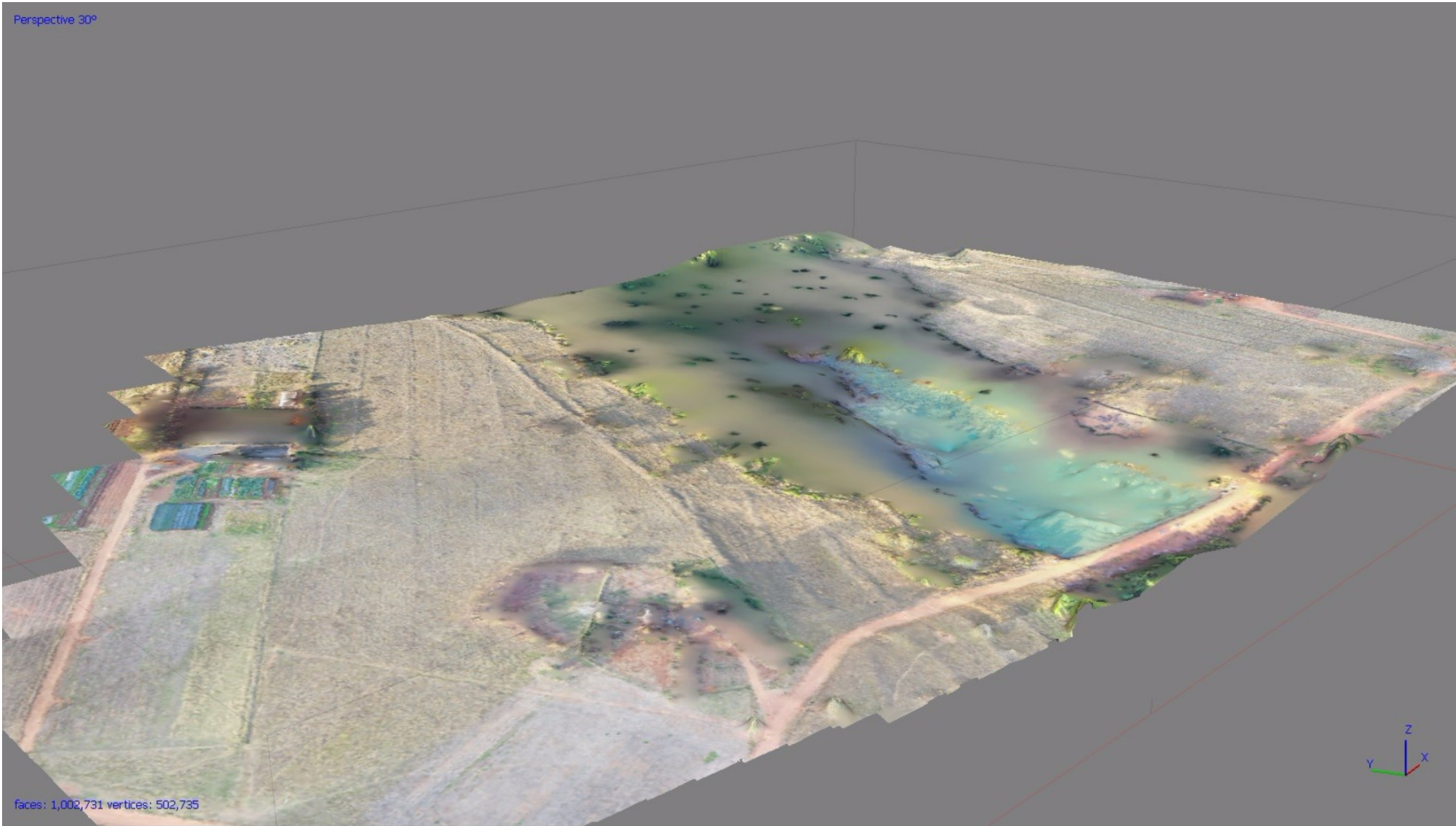
## **ANEXO C - CURVAS DE NÍVEL**





## **ANEXO D - MODELO DIGITAL DE TERRENO**

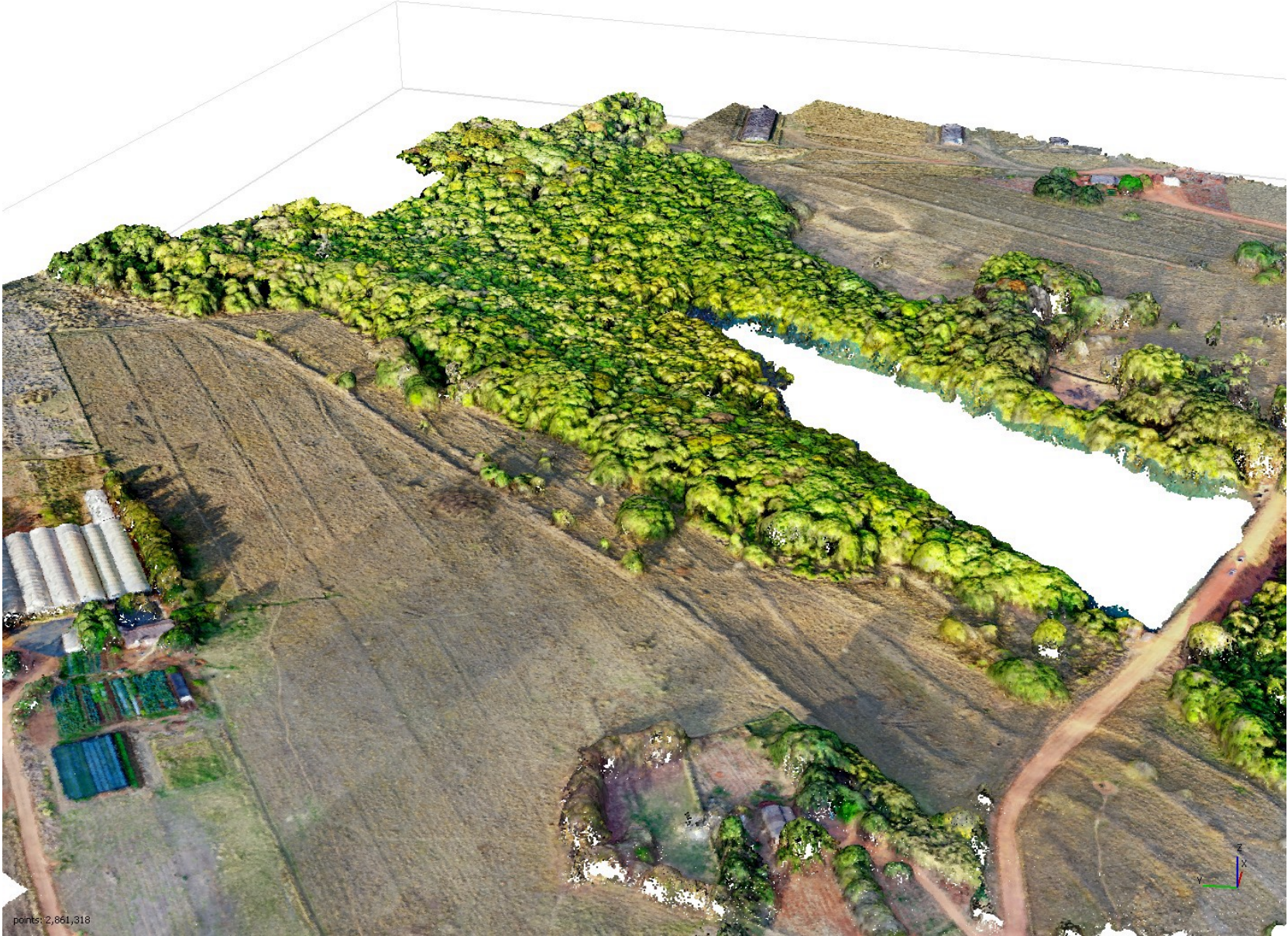
Perspective 30°



faces: 1,002,731 vertices: 502,735

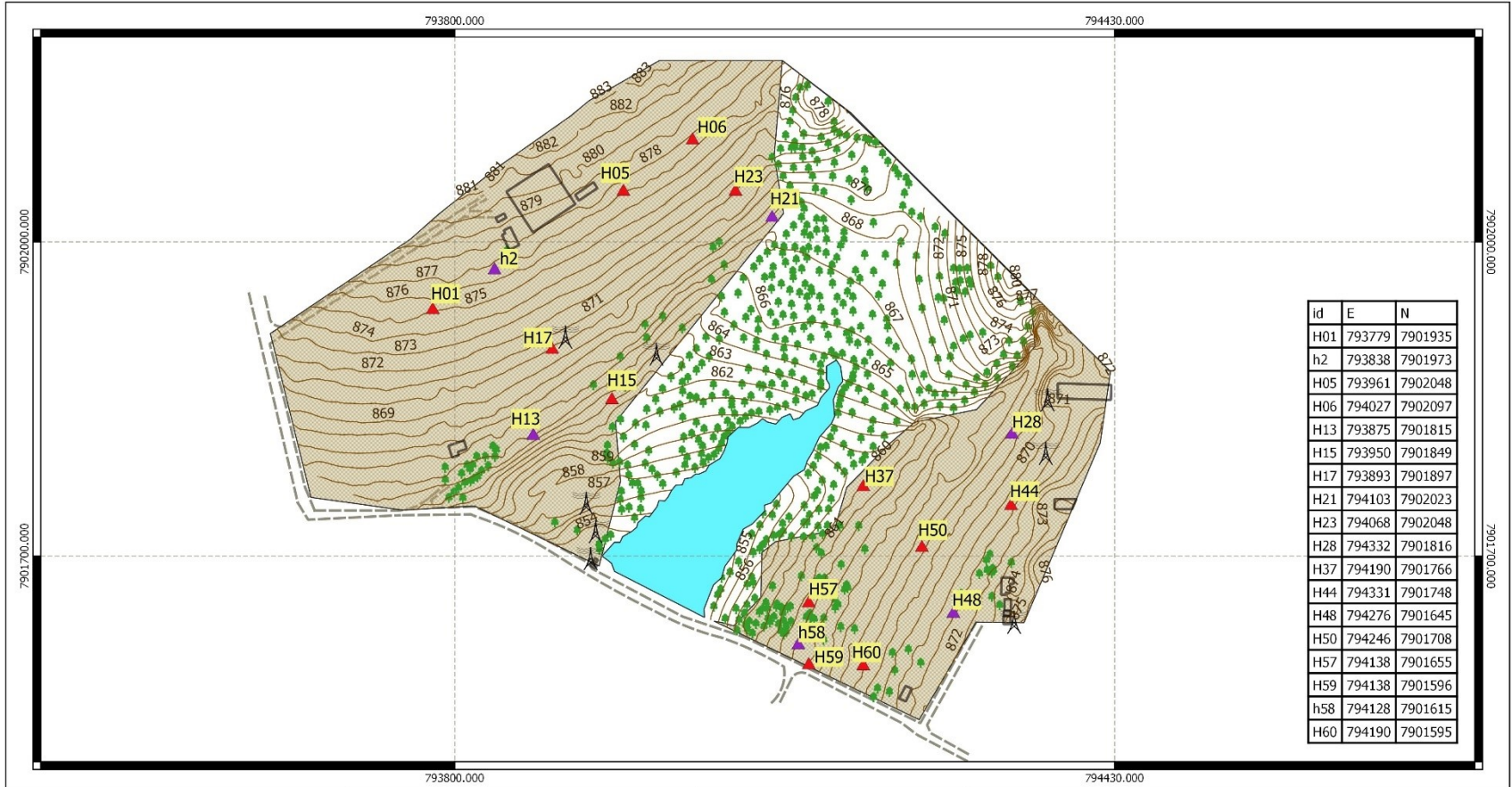
## **ANEXO E - MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE**

Perspective 30°



points: 2,861,318

**ANEXO F - PLANTA TOPOGRÁFICA**



| id  | E      | N       |
|-----|--------|---------|
| H01 | 793779 | 7901935 |
| h2  | 793838 | 7901973 |
| H05 | 793961 | 7902048 |
| H06 | 794027 | 7902097 |
| H13 | 793875 | 7901815 |
| H15 | 793950 | 7901849 |
| H17 | 793893 | 7901897 |
| H21 | 794103 | 7902023 |
| H23 | 794068 | 7902048 |
| H28 | 794332 | 7901816 |
| H37 | 794190 | 7901766 |
| H44 | 794331 | 7901748 |
| H48 | 794276 | 7901645 |
| H50 | 794246 | 7901708 |
| H57 | 794138 | 7901655 |
| H59 | 794138 | 7901596 |
| h58 | 794128 | 7901615 |
| H60 | 794190 | 7901595 |

**LEGENDA:**

- Curvas de Nivel (m)
- Edificações
- ▨ Pastagem
- Represa
- ▲ Pontos de Chegada GPS
- ▲ Pontos de Controle GPS
- ⚡ Postes de Eletricidade
- Vias de Acesso
- Vegetação



  
**FORNECEDOR DE DADOS**  
 Sistema de Referência: SIRGAS 2000  
 Sistema de Projeção: UTM Zone 22S  
 Base de Dados: Orthomosaico GSD 3cm  
 Data de Aquisição: 02/12/2019

Escala:  
 1:3800

0      100      200 m




**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**TÍTULO:**

**PLANTA TOPOGRÁFICA**

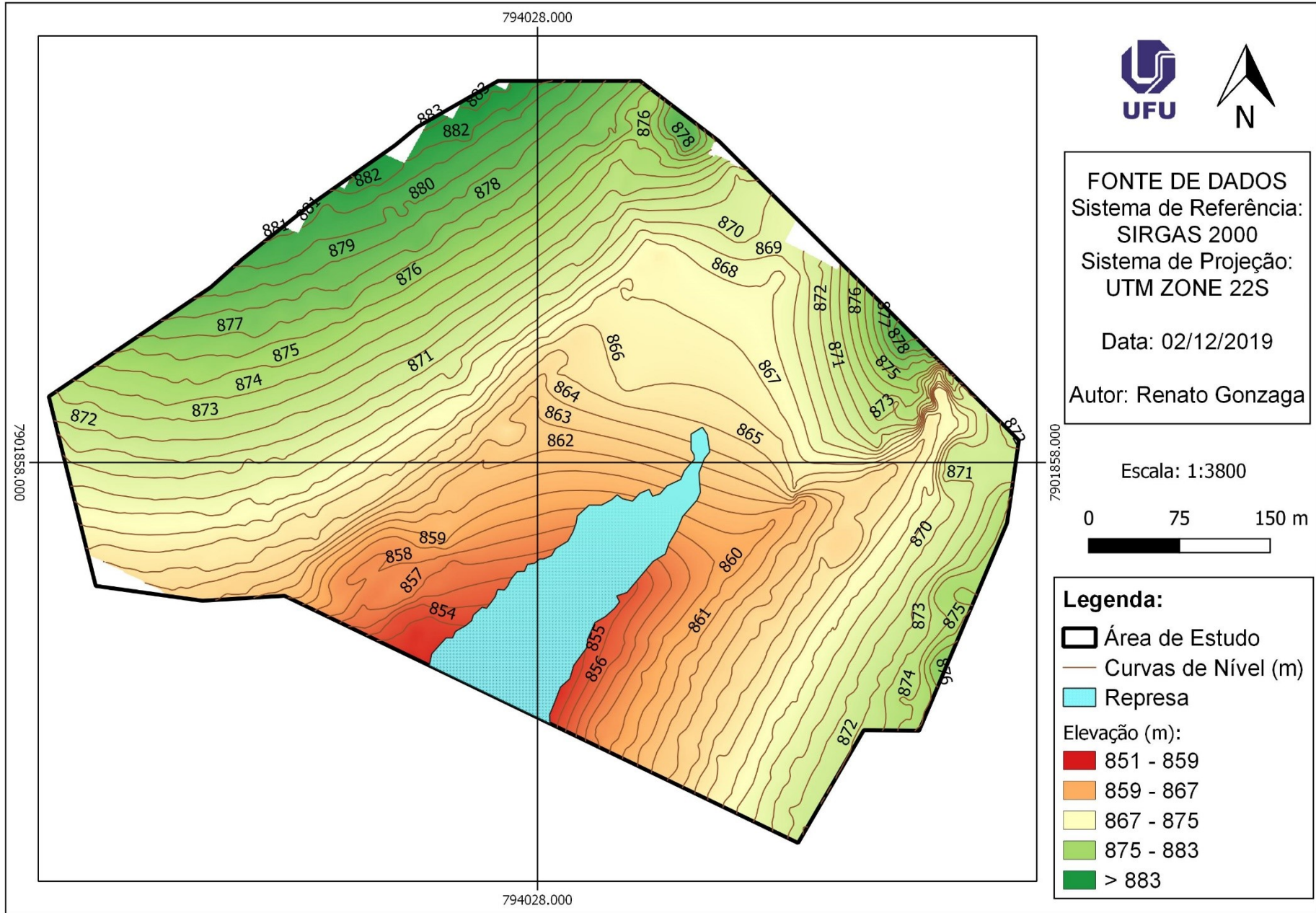
---

**PROPRIEDADE:**  
Campus Glória

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| <b>AUTOR:</b><br>Renato Gonzaga Oliveira        | <b>FOLHA</b><br>1/1           |
| <b>RESP.TÉCNICO:</b><br>Renato Gonzaga Oliveira | <b>ART</b><br>XXXXXXXX        |
| <b>MUNICÍPIO</b><br>Uberlândia                  | <b>ESTADO</b><br>Minas Gerais |
| <b>DATA</b><br>02/12/2019                       |                               |

**ANEXO G - MAPA HIPSOMÉTRICO A PARTIR DO MDT**





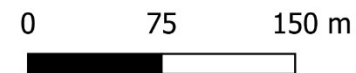
**ANEXO H - MAPA HIPSOMÉTRICO A PARTIR DO MDS**

794028.000



**FONTE DE DADOS**  
Sistema de Referência:  
SIRGAS 2000  
Sistema de Projeção:  
UTM ZONE 22S  
  
Data: 02/12/2019  
  
Autor: Renato Gonzaga

Escala: 1:3800



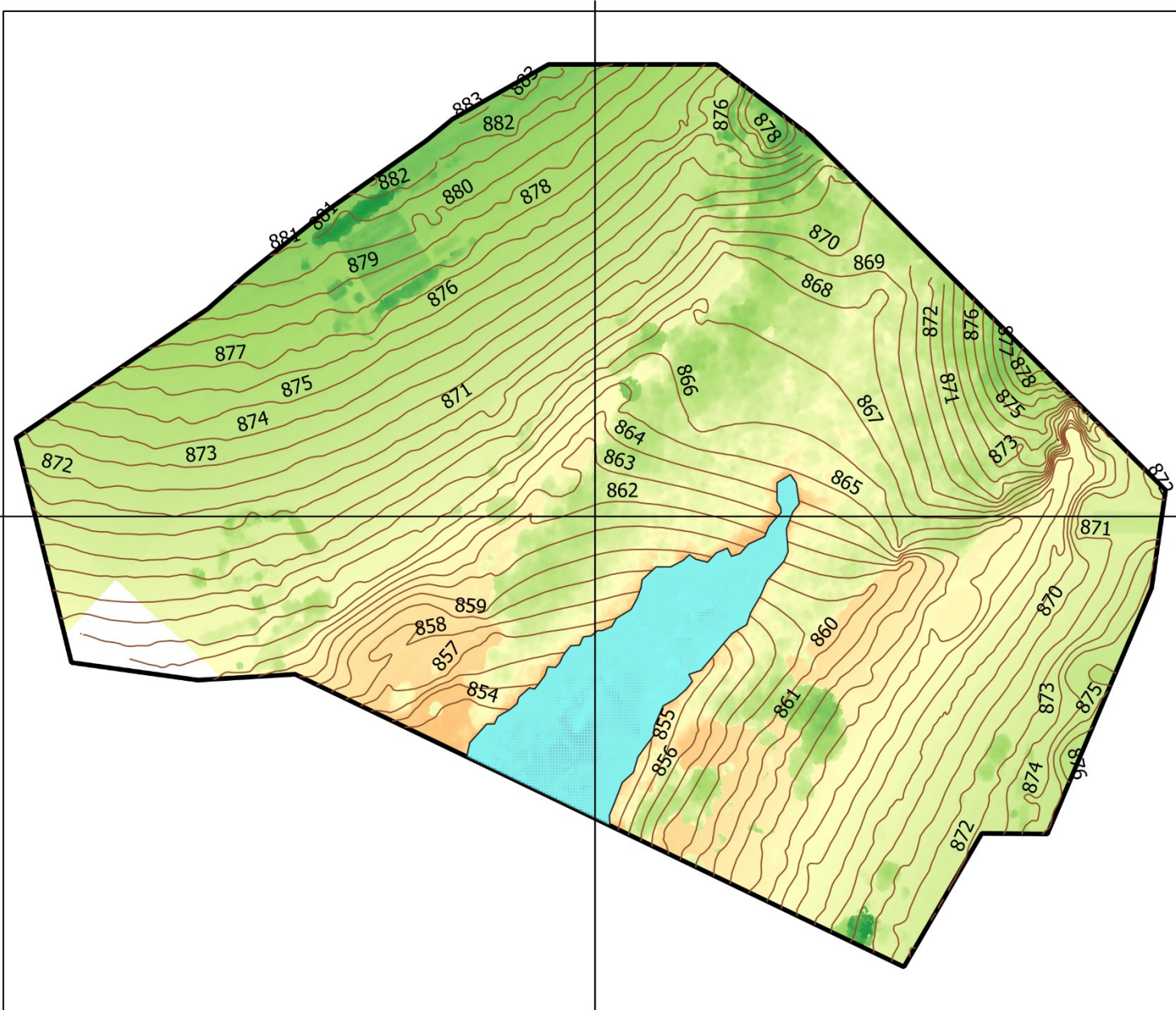
**Legenda:**

- Área de Estudo
- Curvas de Nível (m)
- Represa
- Elevação (m)
  - 852 - 860
  - 860 - 868
  - 868 - 876
  - 876 - 884
  - > 884

7901858.000

7901858.000

794028.000



## **ANEXO H – RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO AGISOFT METASHAPE**

# Agisoft Metashape

Processing Report  
01 September 2019



# Survey Data

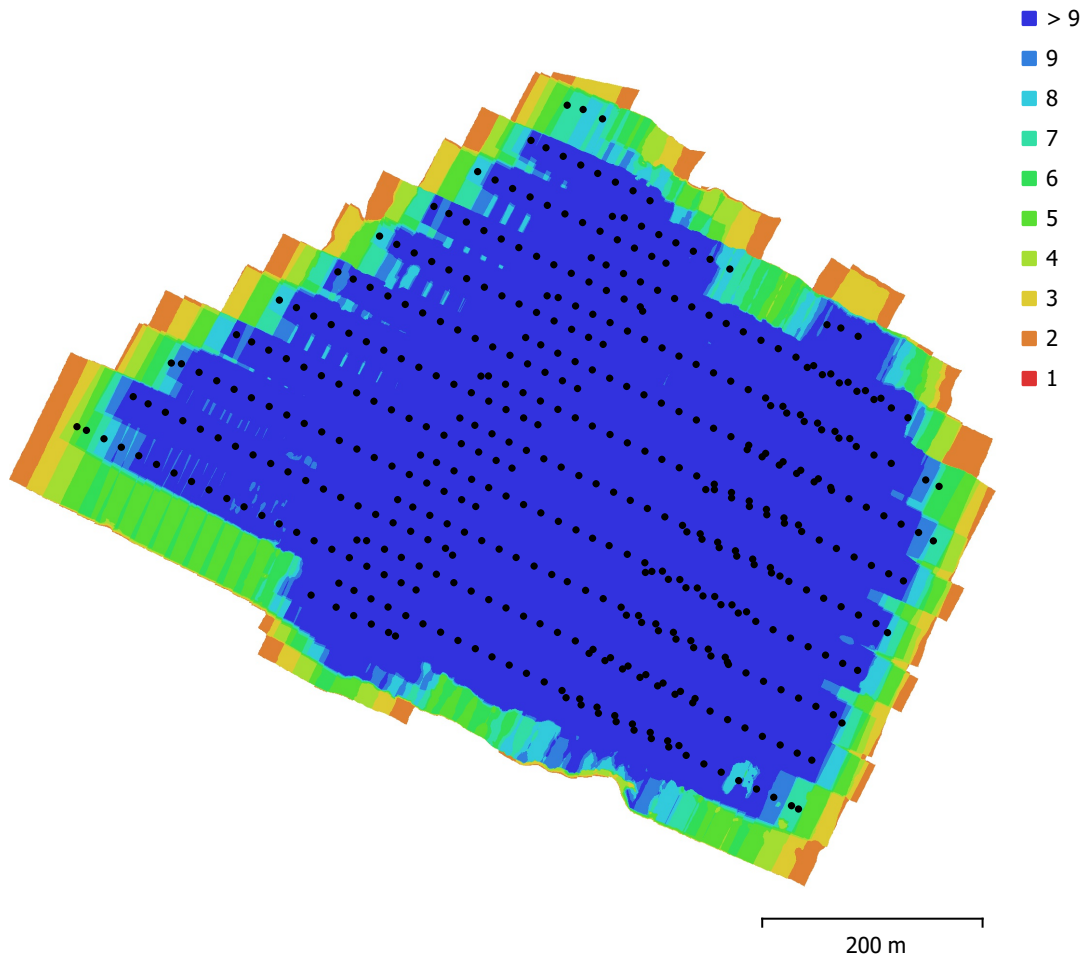


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

|                    |                       |                     |           |
|--------------------|-----------------------|---------------------|-----------|
| Number of images:  | 468                   | Camera stations:    | 467       |
| Flying altitude:   | 109 m                 | Tie points:         | 672,701   |
| Ground resolution: | 2.44 cm/pix           | Projections:        | 2,859,627 |
| Coverage area:     | 0.369 km <sup>2</sup> | Reprojection error: | 0.992 pix |

| Camera Model      | Resolution  | Focal Length | Pixel Size          | Precalibrated |
|-------------------|-------------|--------------|---------------------|---------------|
| L1D-20c (10.26mm) | 5472 x 3648 | 10.26 mm     | 2.41 x 2.41 $\mu$ m | No            |

Table 1. Cameras.

# Camera Calibration

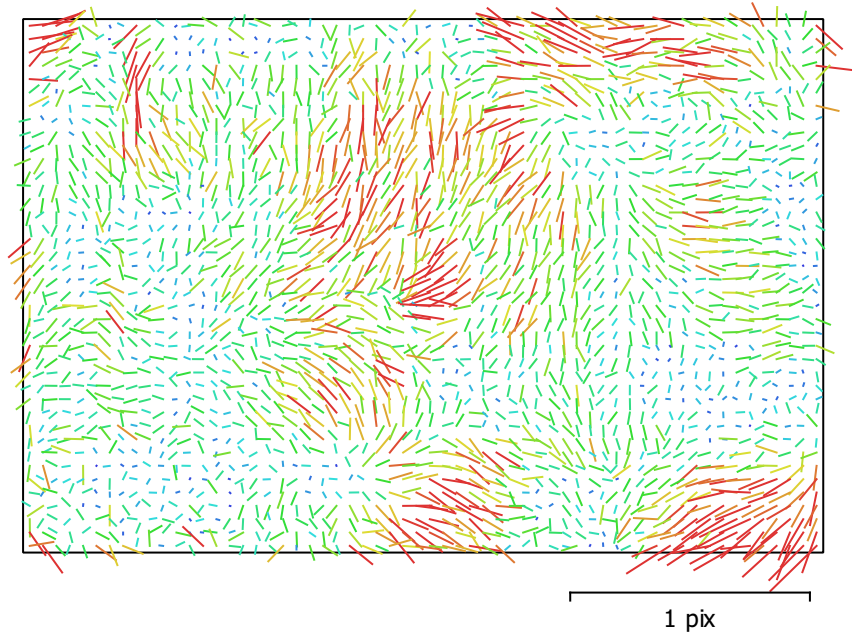


Fig. 2. Image residuals for L1D-20c (10.26mm).

## L1D-20c (10.26mm)

468 images

|              |                    |                 |                                      |
|--------------|--------------------|-----------------|--------------------------------------|
| Type         | Resolution         | Focal Length    | Pixel Size                           |
| <b>Frame</b> | <b>5472 x 3648</b> | <b>10.26 mm</b> | <b>2.41 x 2.41 <math>\mu</math>m</b> |

|           | Value               | Error    | F    | Cx    | Cy    | B1    | B2    | K1    | K2    | K3    | K4    | P1    | P2    | P3    | P4    |
|-----------|---------------------|----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>F</b>  | <b>4101.13</b>      | 1.2      | 1.00 | -0.77 | -0.49 | -0.34 | -0.30 | -0.03 | -0.01 | 0.05  | -0.08 | -0.04 | 0.06  | 0.04  | -0.03 |
| <b>Cx</b> | <b>-12.3929</b>     | 0.079    |      | 1.00  | 0.38  | 0.32  | 0.30  | 0.01  | 0.02  | -0.05 | 0.07  | 0.23  | -0.12 | 0.04  | -0.02 |
| <b>Cy</b> | <b>30.4244</b>      | 0.051    |      |       | 1.00  | 0.10  | 0.21  | 0.01  | 0.01  | -0.03 | 0.04  | -0.11 | 0.23  | -0.14 | 0.10  |
| <b>B1</b> | <b>-14.0404</b>     | 0.02     |      |       |       | 1.00  | 0.17  | 0.02  | -0.01 | -0.01 | 0.02  | 0.03  | -0.03 | -0.00 | 0.01  |
| <b>B2</b> | <b>-0.835516</b>    | 0.018    |      |       |       |       | 1.00  | 0.00  | 0.01  | -0.03 | 0.03  | 0.03  | -0.01 | 0.00  | -0.01 |
| <b>K1</b> | <b>-0.0040168</b>   | 6.5e-005 |      |       |       |       |       | 1.00  | -0.97 | 0.92  | -0.87 | -0.00 | -0.02 | 0.03  | -0.04 |
| <b>K2</b> | <b>-0.00454019</b>  | 0.0004   |      |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.99 | 0.96  | 0.00  | 0.01  | -0.03 | 0.04  |
| <b>K3</b> | <b>0.0294354</b>    | 0.00094  |      |       |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.99 | 0.00  | -0.01 | 0.04  | -0.05 |
| <b>K4</b> | <b>-0.0289248</b>   | 0.00076  |      |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.01 | 0.01  | -0.05 | 0.06  |
| <b>P1</b> | <b>-0.000865381</b> | 3.8e-006 |      |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.82 | 0.83  | -0.70 |
| <b>P2</b> | <b>0.000824614</b>  | 3.4e-006 |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.86 | 0.75  |
| <b>P3</b> | <b>0.76242</b>      | 0.017    |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.96 |
| <b>P4</b> | <b>-0.37662</b>     | 0.02     |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  |

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

# Camera Locations

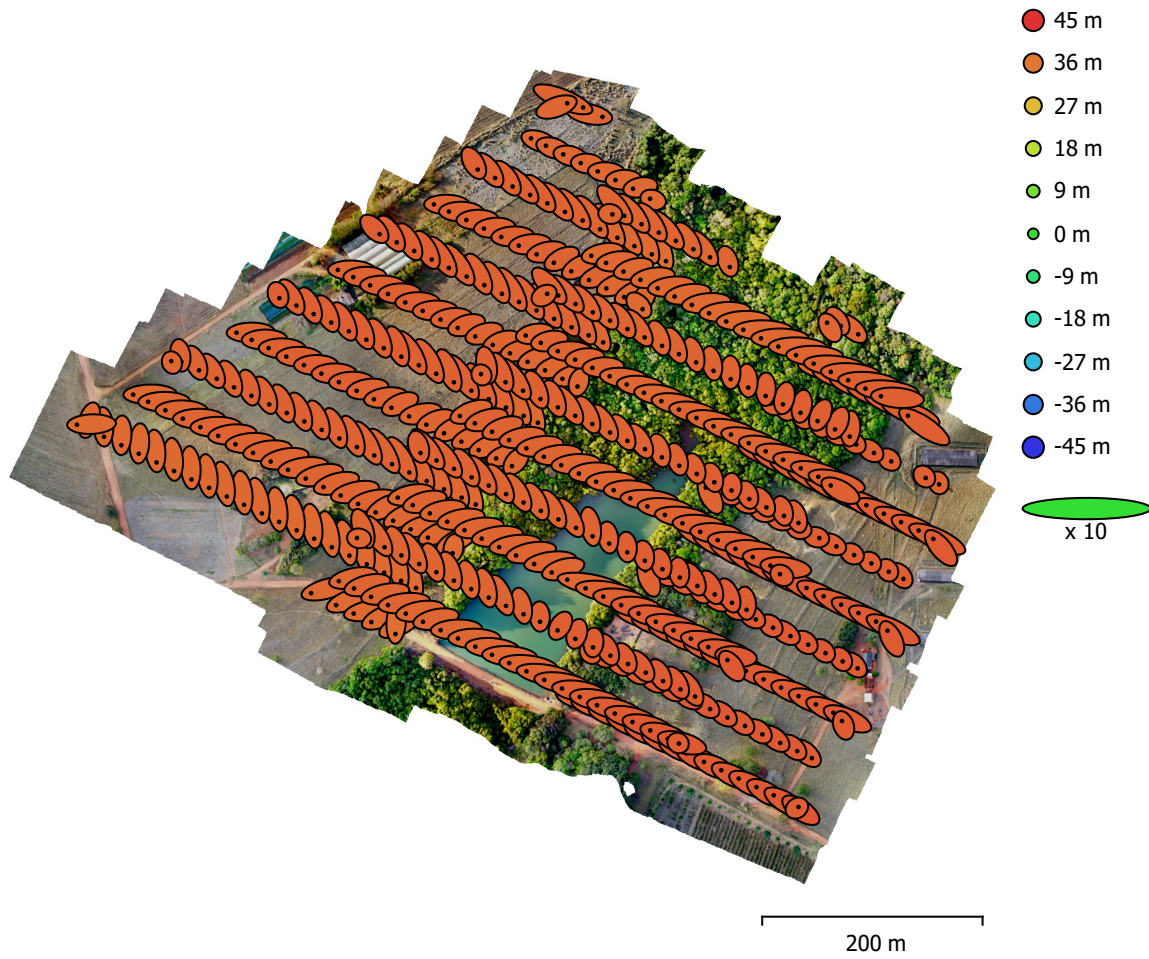


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.  
Estimated camera locations are marked with a black dot.

| X error (m) | Y error (m) | Z error (m) | XY error (m) | Total error (m) |
|-------------|-------------|-------------|--------------|-----------------|
| 1.94824     | 1.2178      | 38.8044     | 2.29753      | 38.8724         |

Table 3. Average camera location error.  
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.



# Ground Control Points

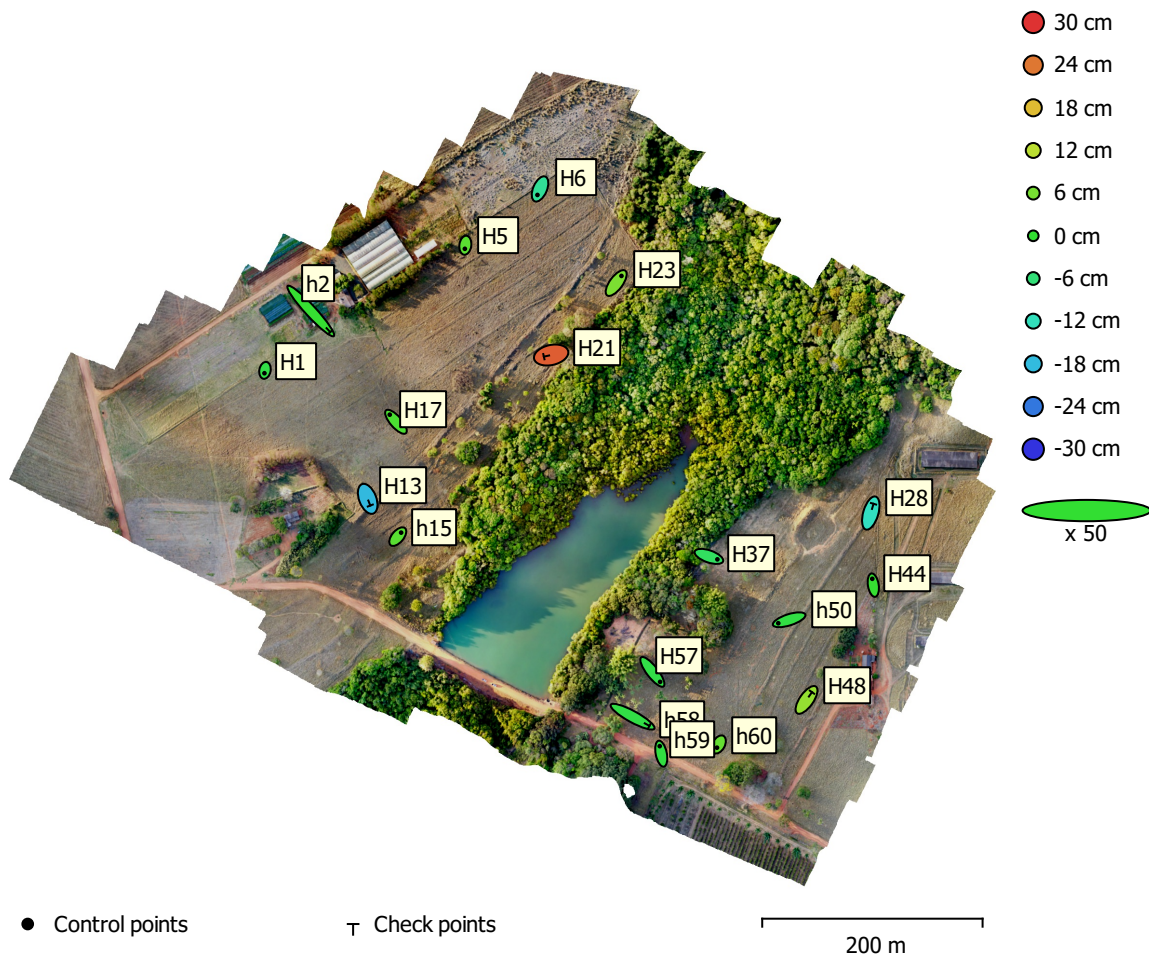


Fig. 4. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape. Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

| Count | X error (cm) | Y error (cm) | Z error (cm) | XY error (cm) | Total (cm) |
|-------|--------------|--------------|--------------|---------------|------------|
| 12    | 19.3637      | 21.0089      | 4.02269      | 28.5714       | 28.8532    |

Table 4. Control points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

| Count | X error (cm) | Y error (cm) | Z error (cm) | XY error (cm) | Total (cm) |
|-------|--------------|--------------|--------------|---------------|------------|
| 6     | 40.8499      | 39.8981      | 14.458       | 57.1014       | 58.9034    |

Table 5. Check points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

| <b>Label</b> | <b>X error (cm)</b> | <b>Y error (cm)</b> | <b>Z error (cm)</b> | <b>Total (cm)</b> | <b>Image (pix)</b> |
|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|--------------------|
| H1           | -1.99426            | -10.3861            | -1.78191            | 10.7249           | 0.318 (14)         |
| H5           | -1.70422            | -12.9664            | 3.51883             | 13.5431           | 0.395 (8)          |
| H6           | -9.43322            | -21.7454            | -8.83388            | 25.296            | 0.398 (12)         |
| h15          | 12.2564             | 14.4561             | 3.34347             | 19.2452           | 0.496 (35)         |
| H17          | -22.5206            | 25.8326             | 2.14625             | 34.3382           | 0.215 (16)         |
| H23          | 19.1269             | 25.8196             | 6.48829             | 32.7809           | 0.455 (28)         |
| H37          | 30.7832             | -10.7195            | -3.9694             | 32.8371           | 0.255 (32)         |
| H44          | -3.73071            | 23.055              | 0.289735            | 23.3567           | 0.343 (10)         |
| h50          | -39.4966            | -12.6052            | -1.52393            | 41.4873           | 0.320 (18)         |
| H57          | 28.0562             | -36.283             | -1.91941            | 45.9052           | 0.365 (32)         |
| h59          | -5.5594             | 27.3142             | -1.24078            | 27.9018           | 0.355 (19)         |
| h60          | -6.38524            | -11.6969            | 4.39547             | 14.0324           | 0.280 (10)         |
| <b>Total</b> | <b>19.3637</b>      | <b>21.0089</b>      | <b>4.02269</b>      | <b>28.8532</b>    | <b>0.371</b>       |

Table 6. Control points.  
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

| <b>Label</b> | <b>X error (cm)</b> | <b>Y error (cm)</b> | <b>Z error (cm)</b> | <b>Total (cm)</b> | <b>Image (pix)</b> |
|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|--------------------|
| h2           | 70.6187             | -76.713             | 0.30542             | 104.269           | 0.308 (14)         |
| H13          | 9.42224             | -24.2975            | -18.1915            | 31.7817           | 0.423 (24)         |
| H21          | -26.4122            | -5.95163            | 26.3039             | 37.7481           | 0.338 (24)         |
| H28          | 9.98986             | 33.6513             | -12.3798            | 37.2219           | 0.226 (13)         |
| H48          | 19.7956             | 28.0741             | 8.65724             | 35.4256           | 0.360 (15)         |
| h58          | 61.2145             | -33.4652            | -1.75225            | 69.7869           | 0.418 (18)         |
| <b>Total</b> | <b>40.8499</b>      | <b>39.8981</b>      | <b>14.458</b>       | <b>58.9034</b>    | <b>0.362</b>       |

Table 7. Check points.  
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

# Digital Elevation Model

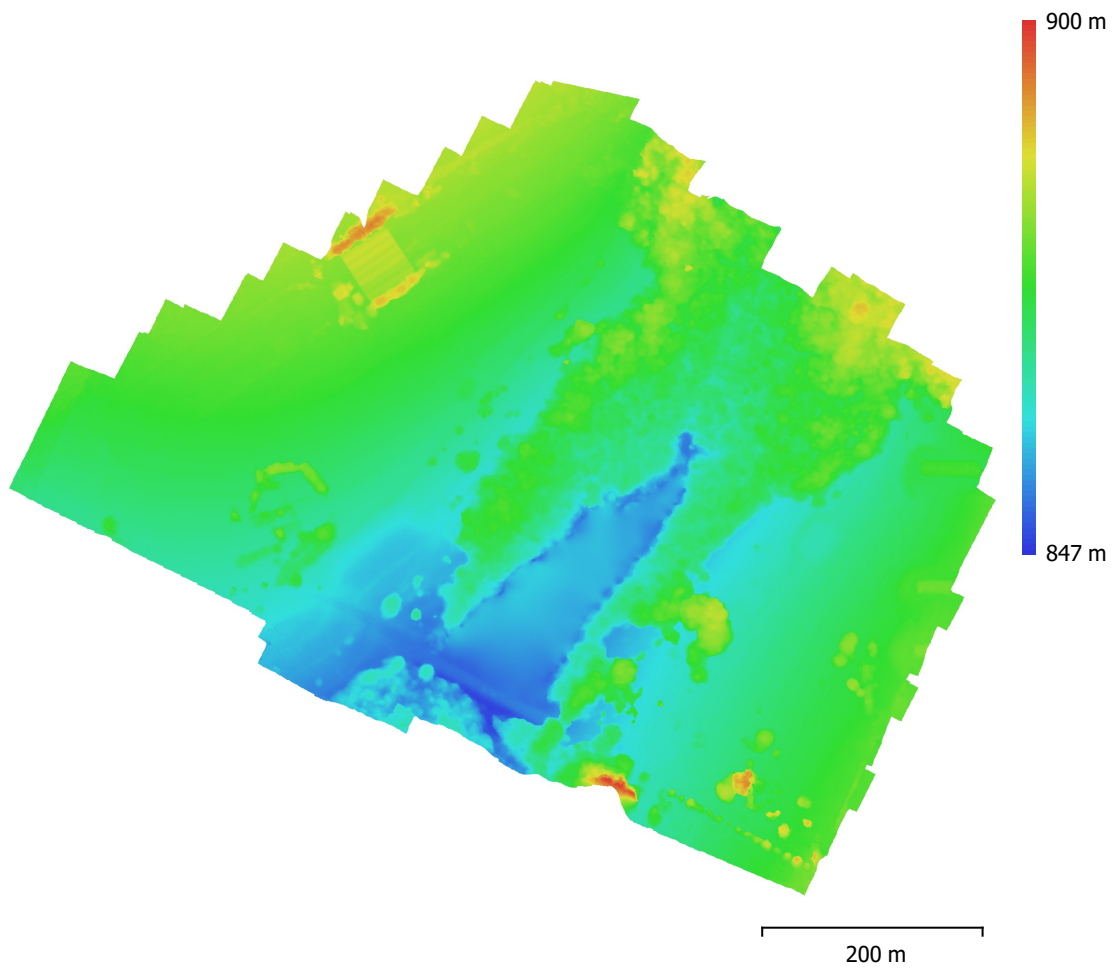


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 39.1 cm/pix  
Point density: 6.54 points/m<sup>2</sup>

# Processing Parameters

## General

|                   |  |
|-------------------|--|
| Cameras           | 468                                      |
| Aligned cameras   | 467                                      |
| Markers           | 18                                       |
| Coordinate system | SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982) |
| Rotation angles   | Yaw, Pitch, Roll                         |

## Point Cloud

|                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| Points                         | 672,701 of 896,015      |
| RMS reprojection error         | 0.157007 (0.992466 pix) |
| Max reprojection error         | 3.17122 (14.4789 pix)   |
| Mean key point size            | 6.17313 pix             |
| Point colors                   | 3 bands, uint8          |
| Key points                     | No                      |
| Average tie point multiplicity | 5.0524                  |

## Alignment parameters

|                               |                       |
|-------------------------------|-----------------------|
| Accuracy                      | Medium                |
| Generic preselection          | No                    |
| Reference preselection        | Yes                   |
| Key point limit               | 40,000                |
| Tie point limit               | 10,000                |
| Filter points by mask         | Yes                   |
| Mask tie points               | No                    |
| Adaptive camera model fitting | Yes                   |
| Matching time                 | 59 minutes 46 seconds |
| Alignment time                | 7 minutes 39 seconds  |

## Optimization parameters

|                               |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|
| Parameters                    | f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1-p4 |
| Adaptive camera model fitting | No                              |
| Optimization time             | 20 seconds                      |
| Software version              | 1.5.3.8469                      |

## Depth Maps

|       |     |
|-------|-----|
| Count | 467 |
|-------|-----|

## Depth maps generation parameters

|                  |                       |
|------------------|-----------------------|
| Quality          | Lowest                |
| Filtering mode   | Moderate              |
| Processing time  | 52 minutes 22 seconds |
| Software version | 1.5.3.8469            |

## Dense Point Cloud

|              |                |
|--------------|----------------|
| Points       | 2,861,318      |
| Point colors | 3 bands, uint8 |

## Depth maps generation parameters

|                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| Quality         | Lowest                |
| Filtering mode  | Moderate              |
| Processing time | 52 minutes 22 seconds |

## Dense cloud generation parameters

|                  |                      |
|------------------|----------------------|
| Processing time  | 4 minutes 21 seconds |
| Software version | 1.5.3.8469           |

## Model

|          |         |
|----------|---------|
| Faces    | 180,061 |
| Vertices | 91,433  |

**General**

Vertex colors 3 bands, uint8  
Texture 4,096 x 4,096, 4 bands, uint8

**Depth maps generation parameters**

Quality Lowest  
Filtering mode Moderate  
Processing time 52 minutes 22 seconds

**Reconstruction parameters**

Surface type Height field  
Source data Dense cloud  
Interpolation Enabled  
Strict volumetric masks No  
Processing time 6 seconds

**Texturing parameters**

Mapping mode Adaptive orthophoto  
Blending mode Mosaic  
Texture size 4,096  
Enable hole filling Yes  
Enable ghosting filter Yes  
UV mapping time 4 seconds  
Blending time 29 minutes 14 seconds  
Software version 1.5.3.8469

**DEM**

Size 2,736 x 2,194  
Coordinate system SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)

**Reconstruction parameters**

Source data Dense cloud  
Interpolation Enabled  
Processing time 13 seconds  
Software version 1.5.3.8469

**Orthomosaic**

Size 36,640 x 30,240  
Coordinate system SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)  
Colors 3 bands, uint8

**Reconstruction parameters**

Blending mode Mosaic  
Surface DEM  
Enable hole filling Yes  
Processing time 19 minutes 41 seconds  
Software version 1.5.3.8469

**Software**

Version 1.5.3 build 8469  
Platform Windows 64