



UNIVERSIDADE DE CRUZ ALTA - UNICRUZ

Norton Faccenda

**PRECISÃO E ACURÁCIA DE UM LEVANTAMENTO
FOTOGRAFAMÉTRICO: UMA ANÁLISE A PARTIR DA
QUANTIDADE DE PONTOS DE CONTROLE UTILIZADOS**

Dissertação de Mestrado

CRUZ ALTA- RS, 2022

Norton Faccenda

**PRECISÃO E ACURÁCIA DE UM LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO: UMA
ANÁLISE A PARTIR DA QUANTIDADE DE PONTOS DE CONTROLE
UTILIZADOS**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural da Universidade de Cruz Alta – UNICRUZ como requisito para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Rural.

Orientador: Prof. Dr. João Fernando Zamberlan
Coorientador: Prof. Dr. Jackson Ernani Fiorin

Cruz Alta –RS, Agosto de 2022.

F137p Faccenda, Norton
Precisão e acurácia de um levantamento fotogramétrico: uma análise a partir da quantidade de pontos de controle utilizados / Norton Faccenda. – 2023.
55f. : il.; color. : PDF.

Dissertação (mestrado) – Universidade de Cruz Alta / Unicruz, Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural, Cruz Alta, 2022.

Orientador: Prof. Dr. João Fernando Zamberlan.
Coorientador: Prof. Dr. Jackson Ernani Fiorin.

1. Aerofotogrametria. 2. Topografia. I. Zamberlan, João Fernando. II. Fiorin, Jackson Ernani. III. Título.
CDU 528.425:631(816.5)

Catálogo Bibliotecária Eliane Catarina Reck da Rosa CRB-10/2404

Universidade de Cruz Alta - UNICRUZ
Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão.
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* - Mestrado Profissional em
Desenvolvimento Rural

**PRECISÃO E ACURÁCIA DE UM LEVANTAMENTO FOTOGRAF MÉTRICO: UMA
ANÁLISE A PARTIR DA QUANTIDADE DE PONTOS DE CONTROLE
UTILIZADOS**

Elaborado por
Norton Faccenda

Como requisito parcial para obtenção do título de
Mestre de Desenvolvimento Rural

Banca Examinadora



Prof. Dr. João Fernando Zamberlan
Universidade de Cruz Alta – Unicruz

Prof. Ms. Marco Ivan Rodrigues Sampaio
AgroUrbis

Dr. Roberto Schoproni Bichuetti
Universidade Federal de Santa Maria

Cruz Alta - RS, 29 de setembro de 2022.

Dedico o presente trabalho aos meus avós (In memoriam). Que sempre acompanharam e auxiliaram na minha trajetória, mesmo quando estiveram ausentes fisicamente, sua presença espiritual sempre esteve presente.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me dado força e sabedoria para enfrentar este desafio.

Ao meu pai Odacir, e minha mãe Suzete, pela criação, pelos valores que me ensinaram, e apesar das dificuldades que passaram, com os 3 filhos cursando universidade particular, nunca nos deixaram faltar nada, minha eterna gratidão.

As minhas irmãs Thaís e Paloma, por toda a força e carinho principalmente nos momentos difíceis, nada é maior que amor de irmão.

Aos meus cunhados, Rafael e Igor, por fazerem parte da família.

Aos meus sobrinhos, Augusto e João, que fazem meus dias ficarem melhores, amores da minha vida.

Aos meus avós Ari e Aurélia (In Memoriam).

A minha esposa Susan, que sempre esteve apoiando e ajudando a superar este desafio, nada disso seria possível sem ela ao meu lado, pessoa maravilhosa que eu amo muito.

Ao meu sogro Sandro, meu melhor amigo, que sempre esteve presente acompanhando.

Ao meu orientador Dr. João Fernando Zamberlan, por todos os ensinamentos e orientações, uma das melhores pessoas que tive o prazer de conhecer, minha referência como profissional e principalmente como pessoa.

Ao meu coorientador Dr. Jackson Ernani Fiorin, pelos ensinamentos e todo o auxílio que foi prestado.

Ao professor Ms. Marco Ivan Rodrigues Sampaio, pelos ensinamentos e a solicitude.

A professora Dra. Claudia Maria Prudêncio de Mera, por todo o carinho e atenção.

Ao professor Wagner Danton Vilhalba, pela disponibilidade e auxílio.

A empresa Georref., pela disponibilidade e auxílio.

Ao Loacir Rossetto, pelo auxílio e parceria.

A todos os docentes e funcionários do programa de Pós-graduação do Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural da Universidade Cruz Alta - Unicruz que, de alguma forma, colaboraram para que esta pesquisa fosse realizada.

Aos membros da banca examinadora, pelas contribuições e sugestões pertinentes para a finalização da dissertação.

À Universidade de Cruz Alta - Unicruz, pela oportunidade.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta pesquisa, meus sinceros agradecimentos.

“A gente tem que sonhar, senão as coisas não acontecem.”
(Oscar Niemeyer).

RESUMO

PRECISÃO E ACURÁCIA DE UM LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO: UMA ANÁLISE A PARTIR DA QUANTIDADE DE PONTOS DE CONTROLE UTILIZADOS

Autor: Norton Faccenda

Orientador: Prof. Dr. João Fernando Zamberlan

Coorientador: Dr. Jackson Ernani Fiorin

A utilização de ARP's (Aeronaves Remotamente Pilotadas) para geração de produtos cartográficos é uma ferramenta que está em ascendência no mercado, em função do baixo custo operacional e da facilidade de acessar locais de difícil acesso. O objetivo do estudo consiste em avaliar a precisão e acurácia de dois levantamentos aerofotogramétricos com diferentes quantidades de pontos de controle, realizados no mesmo dia em uma propriedade rural localizada no município de Cruz Alta/RS, região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, com a utilização de ARP e um par de receptores GNSS (Global Navigation Satellite System). Foram gerados dois ortomosaicos georreferenciados, sendo um deles com a utilização de 8 pontos de controle e o outro com a utilização de 4 pontos de controle. Foi realizado um comparativo da influência da quantidade de pontos de controles quanto a acurácia posicional planimétrica (Eixo E e N) e acurácia altimétrica (Eixo Z). O ortomosaico com 8 pontos de controle apresentou erros posicionais maiores nos eixos E e N e menores no eixo Z, em comparação com o ortomosaico onde foram utilizados 4 pontos de controle. O levantamento contendo 4 pontos de controle obteve melhores resultados em função da melhor distribuição espacial dos pontos de controle.

Palavras-Chave: Topografia. Aerofotogrametria. Ortomosaico.

ABSTRACT

PRECISION AND ACCURACY OF A PHOTOGRAMMETRIC SURVEY: AN ANALYSIS BASED ON THE QUANTITY OF CONTROL POINTS USED

Author: Norton Faccenda

Advisor: Prof. Dr. João Fernando Zamberlan

Co-advisor: Prof. Dr. Jackson Ernani Fiorin

The use of ARP's (Remotely Piloted Aircraft) to generate cartographic products is a tool that is on the rise in the market, due to the low operating cost and the ease of accessing difficult to reach places. The objective of the study is to evaluate the precision and accuracy of two aerial photogrammetric surveys with different amounts of control points, carried out on the same day in a rural property located in the municipality of Cruz Alta/RS, northwest region of the State of Rio Grande do Sul, using ARP and a pair of GNSS receivers (Global Navigation Satellite System). Two georeferenced orthomosaics were generated, one using 8 control points and the other using 4 control points. A comparison was made of the influence of the number of control points on planimetric positional accuracy (Axis E and N) and altimetric accuracy (Axis Z). The orthomosaic with 8 control points presented higher positional errors in the E and N axes and smaller ones in the Z axis, in comparison with the orthomosaic where 4 control points were used. The survey containing 4 control points obtained better results due to the better spatial distribution of the control points.

Keywords: Topography. Aerophotogrammetry. orthomosaic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ARTIGO

Figura 1	Área do Estudo.....	21
Figura 2	Coleta dos pontos de apoio.....	22
Figura 3	Coleta dos pontos de apoio.....	23
Figura 4	Receptor GNSS Hiper GGD Topcon.....	23
Figura 5	Pontos de controle.....	24
Figura 6	Pontos de controle.....	25
Figura 7	ARP Phantom 4 Pro da DSI.....	26
Figura 8	Localização dos 8 pontos de controle.....	30
Figura 9	Localização dos 4 pontos de controle.....	31
Quadro 1	Coordenadas obtidas através do Receptor GNSS Hiper GGD Topcon.....	27
Quadro 2	Coordenadas obtidas através do ARP com 8 pontos de controle.....	28
Quadro 3	Coordenadas obtidas através do ARP com 4 pontos de controle.....	28
Quadro 4	Discrepância do ortomosaico utilizando 8 pontos de controle.....	29
Quadro 5	Discrepância do ortomosaico utilizando 4 pontos de controle.....	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Justificativa	11
1.2 Objetivo	122
1.3 Metodologia	12
2 PRECISÃO E ACURÁCIA DE UM LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO: UMA ANÁLISE A PARTIR DA QUANTIDADE DE PONTOS DE CONTROLE UTILIZADOS	178
CONSIDERAÇÕES GERAIS	34
REFERÊNCIAS	35
APÊNDICES	38

1 INTRODUÇÃO

O levantamento topográfico é uma importante ferramenta para a obtenção de dados geográficos coletados em campo, que servem de apoio para diversas áreas e finalidades, mas principalmente utilizado nas engenharias. O método consiste na representação gráfica da superfície, contendo as informações referentes a planimetria ou altimetria, informações sobre o relevo e acidentes geográficos.

O avanço da tecnologia é o principal responsável pelas grandes mudanças que a área da geodesia e topografia vem sofrendo nos últimos anos. Equipamentos topográficos dotados de alta performance tecnológica, como A Estação Total e os Receptores GNSS (Global Navigation Satellite System), tomaram conta do mercado e substituíram os equipamentos mecânicos como o teodolito. Entretanto, nos últimos anos, as tecnologias de sensoriamento remoto vêm ganhando espaço, uma vez que proporcionam resultados cada vez mais rápidos e precisos, aonde ganha destaque o ARP (Aeronave Remotamente Pilotada), capaz de gerar Modelo Digital do Terreno (MDT) de alta acurácia.

À medida que os ARPs vão se tornando ferramenta essencial nos serviços de aerolevantamento, paira a discussão quanto a confiabilidade dos dados obtidos e qual a precisão alcançada nos produtos gerados. Para atingir melhores resultados, são introduzidos no processamento dados mais precisos, coletados por técnicas de posicionamento providas da Topografia Convencional. Esses dados coletados em solo são os chamados “Pontos de Controle”. Pontos de controle são pontos foto identificáveis, ou seja, são objetos, alvos, detalhes no terreno, que irão aparecer nas imagens aéreas e são utilizados para fazer a relação entre o sistema de coordenadas da imagem obtida através de ARPs, com o sistema de coordenadas levantadas no terreno obtidas através de receptores GNSS. Basicamente são pontos de referência no solo que são utilizados no pós-processamento das imagens, aumentando assim a precisão e acurácia do levantamento (podemos citar GALVÃO e ROSALEN, 2013; GAWSKI et al., 2013; BARRY e COAKLEY, 2013).

“ Destaca-se que pontos de controle são pontos cujas coordenadas são, preferencialmente, determinadas em campo através de métodos de posicionamento; na atualidade são utilizados métodos de posicionamento GNSS que garantam qualidade compatível com os objetivos propostos do voo. Por exemplo, o posicionamento relativo rápido estático permite atingir à qualidade de centímetros na determinação de coordenadas em campo (MONICO, 2008 apud GALVÃO e ROSALEN, 2013) ”.

Ultimamente, o intuito de reduzir o tempo para a confecção de mapas e diminuição dos custos de operação, tem gerado um debate na comunidade que utiliza produtos de cartografia sobre quais os melhores métodos e processos. A fotogrametria é utilizada em diversos ramos das engenharias, planejamento de áreas rurais e do solo urbano, prevenção de catástrofes, monitoramentos de área ambientais, enfim, em diversas atividades (SATO, 2003).

Existe um fator complicador na geração de ortomosaicos, que é a falta de pesquisas quanto a quantidade e a disposição dos pontos de controle, e de que forma isto afeta diretamente na qualidade posicional da geração dos produtos. Acredita-se que a distribuição dos pontos de controle e também a quantidade utilizada, são responsáveis por afetar a acurácia posicional. Um dos principais elementos constantes no controle de qualidade de dados cartográfico é a acurácia posicional (SANTOS, 2010). A avaliação da acurácia posicional de produtos cartográficos é realizada através de pontos de checagem, onde a determinação da qualidade é obtida através da comparação entre pontos homólogos e dados referenciais de campo. Quando a quantidade e a distribuição dos pontos não são satisfatórias, deixando de atingir toda a extensão geográfica, uma outra possibilidade é a aplicação de feições lineares, onde em uma base de dados cartográfica, de uma forma generalizada cerca de 80% das feições são lineares (MOZAS E ARIZA, 2011).

Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo, avaliar a precisão e acurácia de levantamentos aerofotogramétricos, com diferentes quantidades de pontos de controle, realizados em uma propriedade rural na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

1.1 Justificativa

Mediante a rápida evolução dos equipamentos, técnicas de levantamento e processamento de dados para geração de produtos cartográficos, a utilização da aerofotogrametria através de ARPs vem tomando conta do mercado em função da agilidade e baixo custo operacional. O trabalho permite observar a influência da quantidade de pontos de controle utilizados em um levantamento aerofotogramétrico, com a finalidade de avaliar a precisão e acurácia de ortomosaicos georeferenciados. Esses dados obtidos com o estudo, contribuirão para auxiliar no desenvolvimento de novas técnicas e melhoramento da precisão e acurácia na geração de produtos cartográficos, assim como servir de base para outras pesquisas na área, visando atingir melhores resultados com maior facilidade e menor custo operacional.

1.2 Objetivo

Avaliar a precisão e acurácia de levantamentos aerofotogramétricos, com diferentes quantidades de pontos de controle, realizados em uma propriedade rural na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

1.3 Procedimentos Metodológicos

Para o presente estudo de caso que resultara em uma Dissertação de um Projeto do curso de Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural da Universidade de Cruz Alta-UNICRUZ, será adotado o seguinte método: quanto à natureza, será uma pesquisa aplicada, pois contou com a coleta de dados na propriedade, que serviu de parâmetro comparativo para a análise do resultado. Segundo Oliveira Neto e Melo (2006, p. 11), a pesquisa é aplicada quando “objetiva a aplicação do conhecimento básico, podendo ou não ser reservada, e gerando novas tecnologias e conhecimentos resultantes do processo de pesquisa, que poderá gerar produtos, processos e patentes”.

Classifica-se também quanto aos objetivos como uma pesquisa de campo de acordo com Oliveira Neto e Melo (2006, p. 11).

Será uma pesquisa quantitativa, pois segundo Mezzaroba e Monteiro (2005, p. 108 a 118) a “quantidade representa tudo aquilo que pode ser medido, o mensurável. [...] O perfil desse tipo de pesquisa é altamente descritivo, o investigador pretende sempre obter o maior grau de correção possível em seus dados, assegurando assim a confiabilidade de seu trabalho. Descrição rigorosa das informações obtidas é condição vital para uma pesquisa que se pretenda quantitativa” (MEZZAROBA e MONTEIRO 2005, p. 108).

“[...] Explora as características e situações de que dados numéricos podem ser obtidos e faz uso da mensuração e estatísticas” (MOREIRA; CALEFFE, 2008, p. 73).

Quanto aos métodos de procedimento, será operacional. De acordo com Oliveira Neto e Melo (2006, p. 12 - 13 - 14): A pesquisa operacional trata através do uso de ferramentas estatísticas e métodos matemáticos da otimização para a seleção do meio mais adequado para se obter o melhor resultado.

E por fim, quanto a análise dos dados obtidos, será utilizado o método de abordagem indutiva e dedutiva. De acordo com Oliveira Neto e Melo (2006, p. 11) o método indutivo parte dos fatos particulares para conclusões genéricas. É o inverso do dedutivo: parte de fatos

singulares para chegar a uma conclusão ampla. O método dedutivo parte de enunciados gerais dispostos em ordem, como premissas de um raciocínio para chegar a uma conclusão particular.

1.4 Revisão de Literatura

1.4.1 Levantamento Planialtimétrico

A análise topográfica de uma superfície engloba diversos tipos de levantamentos, entre eles está o levantamento planialtimétrico, que se divide em levantamento planimétrico e levantamento altimétrico. Portanto a planialtimetria é a junção das análises planimétricas e altimétricas de forma integrada, desta forma, um estudo com uma maior riqueza de detalhes (SÁ; MOLINA, 1995).

O levantamento Planimétrico consiste em uma representação gráfica que traz informações da projeção horizontal na superfície plana. O levantamento altimétrico determina as diferenças de nível ou as distâncias verticais entre pontos da superfície, em resumo é a medida da altura relativa (GARCIA; PIEDADE, 1983). O nivelamento não é composto apenas pela determinação dos níveis, também está incluso o transporte de cotas ou altitude dos pontos coletados em campo, também conhecidos como RN (Referência de Nível) para um ponto de referência. Segundo Bandalize (2006), altitude é um ponto vertical em relação a superfície média dos mares, denominada Geoide. Já cota pode ser definido como um ponto com referência qualquer, não necessariamente o geoide.

1.4.2 Levantamento por GNSS (Global Navigation Satellite System)

A década de 50 ficou marcada por uma revolução tecnológica, onde foram lançados os primeiros satélites artificiais na órbita terrestre. Nos anos 90 surge o termo GNSS (KRUEGER, 2011). O sistema possibilita um rastreamento em qualquer lugar da terra, dispondo de no mínimo quatro satélites (MONICO, 2008). O sistema de posicionamento por satélites GNSS é composto por vários sistemas de satélites, onde ganha destaque o GPS dos EUA, que possui as tecnologias mais avançadas, alcançando o maior número de usuários (SILVEIRA, 2008). Apesar do sistema GPS ser o sistema de satélites mais utilizado, com a maior constelação, o sistema GNSS engloba outras constelações de satélites também disponíveis aos usuários, entre elas o sistema GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System) da Rússia, CNSS (Compass Navigation Satellite System) da China, GALILEO (European Satellite Navigation System) da Europa, são as mais conhecidas.

A utilização do GNSS resume-se a utilização para fins de navegação ou para fins topográficos na área da geodésia. Na navegação a localização é obtida através do processamento de dados em tempo real seja ele para fins náuticos, aéreos ou terrestres. No que tange os levantamentos topográficos a localização dos pontos coletados em campo é obtida através do pós-processamento de dados utilizando procedimentos computacionais (PRADO; KRUEGER, 2003). Devido aos avanços da tecnologia, houve a criação de inovações no sistema de posicionamento GNSS, onde podemos citar o método RTK (Real Time Kinematic) (PRADO; KRUEGER, 2003).

O RTK (Real Time Kinematic) é um produto oriundo da necessidade da correção das coordenadas em tempo real, através do método de posicionamento cinemático, onde um dos receptores é estacionado na base geodésica de referência com coordenadas conhecidas, transmitindo os dados para o receptor móvel, conhecido por rover, através de um sistema de comunicação utilizando internet ou rádio, onde a correção das coordenadas é realizada instantaneamente.

A sincronia entre o sistema GNSS (Global Navigation Satellite System) e o levantamento topográfico está associado a utilização, em um primeiro momento, de um sistema cartesiano global geocêntrico (X,Y,Z), posteriormente transformado em um sistema de coordenadas geodésicas representando latitude, longitude e altitude geométrica ou por um sistema de coordenada baseados no plano cartesiano representados por latitude e longitude conhecido por UTM (Universal Transversa de Mercator) (AZAMBUJA, 2007).

1.4.3 ARP (Aeronave Remotamente Pilotado)

A utilização de VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) vem ganhando cada vez mais espaço na área da topografia, esta propulsão é decorrente dos avanços significativos quanto a melhora na precisão e acurácia. Este sistema possui uma plataforma que pode ser operada sem maiores complexidades, gerando produtos de alta qualidade, somados a agilidade de execução dos levantamentos. Para Da Silva (2016), ao fazer um comparativo entre levantamentos realizados por Estação Total e GNSS, com levantamentos realizados por VANT, o VANT aparece como uma tecnologia mais rápida e precisa quanto a aplicação na área da topografia.

Bhardwaj (2016) faz a definição de VANT como um conjunto constituído por uma divisão em solo operando remotamente o voo e uma divisão aérea operada por sensores remotos coletando dados da superfície terrestre, com a alternativa da utilização de fotografias métricas dos dados coletados.

No Brasil as aeronaves não tripuladas eram mencionadas como VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) e após a regulamentação da ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) passou a ser denominada como ARP (Aeronave Remotamente Pilotada). Podemos citar (ANAC,2022).

“[...] Aeronave Remotamente Pilotada (Remotely-Piloted Aircraft – RPA) significa a aeronave não tripulada pilotada a partir de uma estação de pilotagem remota com finalidade diversa de recreação [...]”.

1.4.4 Fotogrametria

A considerável evolução do sensoriamento remoto, fez com que esta tecnologia se transformasse em um valioso banco de dados da superfície terrestre, usados principalmente de apoio para área topográfica (SANTOS, 2016).

Para Wolf (2000), a ciência responsável pela aquisição de dados sobre produtos e ambientes realizado através de um sistema de armazenamento, medição e interpretação de imagens é conhecida como fotogrametria.

Segundo Meneses & Almeida (2012), o procedimento de obtenção de dados da superfície terrestre aonde o sensor e o objeto não são contatados fisicamente, é a forma mais notória de definir sensoriamento remoto.

Para que seja feita a análise da fotogrametria, duas concepções necessitam estar bem definidas: estereoscopia e paralaxe. A estereoscopia é um processo fotográfico aonde é obtida a percepção de profundidade utilizando simultaneamente duas câmeras de captação fotográficas. A paralaxe é um evidente afastamento posicional do objeto, por consequência da alteração no local de visualização (TOMMASELLI, 2004).

Existe uma grande variedade de sensores aonde sua utilização será determinada conforme a necessidade da aplicação. Os VANTs são utilizados na grande maioria em trabalhos destinados as engenharias, monitoramentos, aerolevantamentos, sensoriamento remoto (LINHARES, 2016).

As câmeras fotográficas são divididas em 2 grupos, denominados câmeras métricas e câmeras não métricas. As câmeras métricas diferem do outro grupo devido a características especiais (SOUZA, 2015).

As câmeras métricas, de uma forma convencional passaram a ser chamadas de câmeras fotogramétricas devido a sua exclusividade quanto ao uso, onde são desenvolvidas e calibradas principalmente para a fotogrametria. Os parâmetros que determinam a câmera possuem maior rigidez referente as questões métricas em sua definição, alcançando produtos com maior precisão, possibilitando a extração de informações métricas das imagens obtidas pela câmera.

As câmeras fotogramétricas geralmente são utilizadas para mapear aerolevantamentos, aonde ganham maior relevância as câmeras aéreas, por serem as mais utilizadas, no entanto, as câmeras podem ser terrestres, onde são utilizadas para fotogrametria arquitetônica ou até para a obtenção de imagens oblíquas (SOUZA, 2015).

1.4.5 Modelo Digital de Terreno – MDT

Os dados gerados a partir da elaboração do MDT (Modelo Digital de Terreno) são de suma importância na aplicação de geoprocessamento e usuários de SIG (Sistema de Informação geográfica), por permitir a criação de vários produtos como mapas cartográficos, objetos em 3d, curvas de nível, tornando o sistema muito utilizado na ciência geodésica. Portanto, quando o produto é confeccionado sem os devidos cuidados de concentração e sem a verificação de equívocos referentes ao processamento, acabam gerando dados com pouca confiabilidade (CHAGAS *et al.*, 2010).

A referência ao modelo, trata de representar a realidade de uma forma integral, aonde será feita a reprodução de várias informações do objeto e do sistema originário. Contudo, o sistema de representação do objeto de uma forma mais complexa, define, modelo (FELICÍSIMO, 1994).

O processo de elaboração de um do MDT (Modelo Digital de Terreno), passa pela adoção de dois métodos: malha retangular e TIN (Rede Triangular Irregular).

A malha retangular quadrada consiste em um conjunto de pontos, aonde a geração da implica em estimar valores de cada ponto da malha, contudo a homogeneidade dos pixels não concede a caracterização fisiográfica da superfície terrestre (ALMEIDA, 2012).

A TIN (Rede Triangular Irregular) é uma rede de triangulação dos vértices, composta por pontos ligados três a três, formando um conjunto de triângulos, e mantendo o valor dos pontos. Os pontos utilizados representam um conjunto de localizações no terreno. (ALMEIDA, 2012).

1.4.6 Controle de Qualidade

A análise e classificação das limitantes de onde serão utilizados os materiais elaborados a partir da cartografia, é de suma importância, por isso faz-se necessária a avaliação qualitativa dos produtos gerados a partir da cartografia (ZANARDI, 2006).

Segundo BRASIL (1984) para classificar um produto cartográfico, dois processos devem ser acolhidos conforme o Decreto-Lei 89.817: o primeiro estabelece que 90% dos pontos experimentados na superfície terrestre, devem apresentar resultados divergente igual ou

menores ao PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica), referente a escala e classe testada. O segundo o RMS (Root Mean Square) das discrepâncias deve ser igual ou inferior à tolerância EP (Erro-padrão) definido pela norma.

2 PRECISÃO E ACURÁCIA DE UM LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO: UMA ANÁLISE A PARTIR DA QUANTIDADE DE PONTOS DE CONTROLE UTILIZADOS¹

PRECISION AND ACCURACY OF A PHOTOGRAMMETRIC SURVEY: AN ANALYSIS BASED ON THE QUANTITY OF CONTROL POINTS USED

Norton Faccenda²;
João Fernando Zamberlan³

RESUMO: A utilização de ARP's (Aeronaves Remotamente Pilotadas) para geração de produtos cartográficos é uma ferramenta que está em ascendência no mercado, em função do baixo custo operacional e da facilidade de acessar locais de difícil acesso. O objetivo do estudo consiste em avaliar a precisão e acurácia de dois levantamentos aerofotogramétricos com diferentes quantidades de pontos de controle, realizados no mesmo dia em uma propriedade rural localizada no município de Cruz Alta/RS, região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, com a utilização de ARP e um par de receptores GNSS (Global Navigation Satellite System). Foram gerados dois ortomosaicos georreferenciados, sendo um deles com a utilização de 8 pontos de controle e o outro com a utilização de 4 pontos de controle. Foi realizado um comparativo da influência da quantidade de pontos de controles quanto a acurácia posicional planimétrica (Eixo E e N) e acurácia altimétrica (Eixo Z). O ortomosaico com 8 pontos de controle apresentou erros posicionais maiores nos eixos E e N e menores no eixo Z, em comparação com o ortomosaico onde foram utilizados 4 pontos de controle. O levantamento

¹ Artigo desenvolvido durante a pesquisa para obtenção parcial do título de Mestre em Desenvolvimento Rural.

²Universidade de Cruz Alta, Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural, Cruz Alta, Rio Grande do Sul, Brasil. construtorafaccenda@gmail.com

³Universidade de Cruz Alta, Centro de Ciências da Saúde e Agrárias, Cruz Alta, Rio Grande do Sul, Brasil. jfzamberlan@gmail.com

contendo 4 pontos de controle obteve melhores resultados em função da melhor distribuição espacial dos pontos de controle.

Palavras-chave: Topografia. Drone. Aerofotogrametria. Ortomosaico. .

ABSTRACT: The use of ARP's (Remotely Piloted Aircraft) to generate cartographic products is a tool that is on the rise in the market, due to the low operating cost and the ease of accessing difficult to reach places. The objective of the study is to evaluate the precision and accuracy of two aerial photogrammetric surveys with different amounts of control points, carried out on the same day in a rural property located in the municipality of Cruz Alta/RS, northwest region of the State of Rio Grande do Sul, using ARP and a pair of GNSS receivers (Global Navigation Satellite System). Two georeferenced orthomosaics were generated, one using 8 control points and the other using 4 control points. A comparison was made of the influence of the number of control points on planimetric positional accuracy (Axis E and N) and altimetric accuracy (Axis Z). The orthomosaic with 8 control points presented higher positional errors in the E and N axes and smaller ones in the Z axis, in comparison with the orthomosaic where 4 control points were used. The survey containing 4 control points obtained better results due to the better spatial distribution of the control points.

Keywords: Topography. Aerophotogrammetry. orthomosaic.

1 Introdução

O levantamento topográfico é uma importante ferramenta para a obtenção de dados geográficos coletados em campo, que servem de apoio para diversas áreas e finalidades, mas principalmente utilizado nas engenharias. O método consiste na representação gráfica da superfície, contendo as informações referentes a planimetria ou altimetria, informações sobre o relevo e acidentes geográficos.

O avanço da tecnologia é o principal responsável pelas grandes mudanças que a área da geodesia e topografia vem sofrendo nos últimos anos. Equipamentos topográficos dotados de alta performance tecnológica, como A Estação Total e os Receptores GNSS (Global

Navigation Satellite System), tomaram conta do mercado e substituíram os equipamentos mecânicos como o teodolito. Entretanto, nos últimos anos, as tecnologias de sensoriamento remoto vêm ganhando espaço, uma vez que proporcionam resultados cada vez mais rápidos e precisos, aonde ganha destaque o ARP (Aeronave Remotamente Pilotada), capaz de gerar Modelo Digital do Terreno (MDT) de alta acurácia.

À medida que os ARPs vão se tornando ferramenta essencial nos serviços de aerolevantamento, paira a discussão quanto a confiabilidade dos dados obtidos e qual a precisão alcançada nos produtos gerados. Para atingir melhores resultados, são introduzidos no processamento dados mais precisos, coletados por técnicas de posicionamento providas da Topografia Convencional. Esses dados coletados em solo são os chamados “Pontos de Controle”. Pontos de controle são pontos foto identificáveis, ou seja, são objetos, alvos, detalhes no terreno, que irão aparecer nas imagens aéreas e são utilizados para fazer a relação entre o sistema de coordenadas da imagem obtida através de ARPs, com o sistema de coordenadas levantadas no terreno obtidas através de receptores GNSS. Basicamente são pontos de referência no solo que são utilizados no pós-processamento das imagens, aumentando assim a precisão e acurácia do levantamento (podemos citar GALVÃO e ROSALEN, 2013; GAWSKI et al., 2013; BARRY e COAKLEY, 2013).

“ Destaca-se que pontos de controle são pontos cujas coordenadas são, preferencialmente, determinadas em campo através de métodos de posicionamento; na atualidade são utilizados métodos de posicionamento GNSS que garantam qualidade compatível com os objetivos propostos do voo. Por exemplo, o posicionamento relativo rápido estático permite atingir à qualidade de centímetros na determinação de coordenadas em campo (MONICO, 2008 apud GALVÃO e ROSALEN, 2013) ”.

Ultimamente, o intuito de reduzir o tempo para a confecção de mapas e diminuição dos custos de operação, tem gerado um debate na comunidade que utiliza produtos de cartografia sobre quais os melhores métodos e processos. A fotogrametria é utilizada em diversos ramos das engenharias, planejamento de áreas rurais e do solo urbano, prevenção de catástrofes, monitoramentos de área ambientais, enfim, em diversas atividades (SATO, 2003).

Existe um fator complicador na geração de ortomosaicos, que é a falta de pesquisas quanto a quantidade e a disposição dos pontos de controle, e de que forma isto afeta diretamente na qualidade posicional da geração dos produtos. Acredita-se que a distribuição dos pontos de controle e também a quantidade utilizada, são responsáveis por afetar a acurácia posicional. Um dos principais elementos constantes no controle de qualidade de dados cartográfico é a acurácia posicional (SANTOS, 2010). A avaliação da acurácia posicional de produtos cartográficos é realizada através de pontos de checagem, onde a determinação da qualidade é

obtida através da comparação entre pontos homólogos e dados referenciais de campo. Quando a quantidade e a distribuição dos pontos não são satisfatórias, deixando de atingir toda a extensão geográfica, uma outra possibilidade é a aplicação de feições lineares, onde em uma base de dados cartográfica, de uma forma generalizada cerca de 80% das feições são lineares (MOZAS E ARIZA, 2011).

Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo, avaliar a precisão e acurácia de levantamentos aerofotogramétricos, com diferentes quantidades de pontos de controle, realizados em uma propriedade rural na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

2 Material e métodos

A área do estudo se deu na Área Experimental da Universidade de Cruz Alta, localizada na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul. A escolha da área foi motivada pelas características do relevo e por ser uma área experimental de várias culturas agrícolas, conforme Figura 1.

Figura 1, Área do estudo.



Fonte: Autor, 2020.

Primeiramente foi realizado um levantamento planialtimétrico, onde foram coletadas as coordenadas geodésicas de 15 pontos de apoio localizados na área de estudo, conforme Figuras 2 e 3, com a utilização de dois receptores GNSS Hiper GGD da Topcon, conforme Figura 4, utilizando método relativo estático com precisão horizontal de $3\text{mm} + 0,5\text{ppm}$,

adotando o Datum SIRGAS 2000. Após a coleta dos dados em campo, o levantamento foi pós-processado através da utilização do software Topcon Tolls, para a obtenção das coordenadas planialtimétricas.

Figura 2, Coleta dos pontos de apoio



Fonte: Autor, 2020.

Figura 3, Coleta dos pontos de apoio



Fonte: Autor, 2020.

Figura 4, Receptor GNSS Hiper GGD Topcon



Fonte: Google.

Dos 15 pontos de apoio coletados em campo, 8 deles foram utilizados como ponto de controle no formato de alvo, com as dimensões de 60 x 60cm, nas cores vermelha, laranja e branco, conforme figuras 5 e 6, que são ponto foto identificáveis que servem como elemento para controle de qualidade de dados cartográfico e a acurácia posicional (SANTOS, 2016).

Figura 5, Pontos de Controle



Fonte: Autor, 2020.

Figura 6, Pontos de Controle.



Fonte: Autor, 2020.

Após a coleta dos pontos de apoio, foi utilizado um ARP Phantom 4 Pro da DJI, embarcado com um sensor RGB com resolução espacial de 20 MP, conforme a Figura 6, para a realização de 2 voos aerofotogramétricos onde foram coletadas as fotos para a elaboração do ortomosaico.

Figura 7, ARP Phantom 4 Pro da DJI.



Fonte: Autor, 2020.

Através da utilização do software DRONEDEPLOY foram elaborados os planos de voo. O primeiro voo ocorreu as 12:00 horas e foram utilizados 8 pontos de controle, velocidade de voo de 8m/s, altura de 39,60m, GSD (Ground Sample Distance) de 1,94cm, e foram capturadas 513 imagens. O Segundo voo ocorreu as 12:40 horas e foram utilizados 4 pontos de controle, velocidade de voo de 8m/s, altura de 37,20m, GSD (Ground Sample Distance) de 1,92cm, e foram capturadas 513 imagens.

Após captura das imagens, foi realizado o pós-processamento através do software METASHAPE AGISOFT para a geração de 2 ortomosaicos e com o auxílio do software Excel foram obtidas as coordenadas geodésicas.

3 Resultados e discussão

Através da coleta de amostras em campo foram obtidos os dados que possibilitaram a realização do comparativo de 3 produtos cartográficos. Após verificar a confiabilidade das amostras para a elaboração do estudo, foi executado um comparativo aferindo a acurácia posicional através, demonstrando a discrepância entre as coordenadas obtidas dos pontos de verificação (receptor GNSS) e um ortomosaico utilizando 8 pontos de controle e outro ortomosaico utilizando 4 pontos de controle.

O primeiro produto cartográfico gerado, com a função de testemunho, foi um levantamento planialtimétrico, demonstrado no Quadro 1, onde foram coletados em campo 15 pontos de verificação através da utilização de um Receptor GNSS geodésico L1/L2 e posteriormente pós-processado por meio do software Topcon Tolls.

Quadro 1 – Coordenadas obtidas através do receptor GNSS Hiper GGD Topcon.

GNSS Hiper GGD L1/L2 Topcon			
PONTOS	Coord. E (m)	Coord. N (m)	Altitude (m)
P1	244.165,5100	6.836.200,8485	455,2436
P2	244.164,2230	6.836.126,9145	458,7296
P3	244.135,7310	6.835.909,1885	462,5116
P4	244.127,7870	6.835.838,6625	461,2646
P5	244.014,9350	6.835.833,8545	465,8026
P6	243.894,7230	6.835.833,4335	469,3896
P7	243.954,7890	6.835.908,1015	469,0286
P8	243.897,6520	6.835.903,1155	469,2426
P9	243.839,2880	6.835.906,7265	467,2176
P10	243.892,1720	6.836.055,5255	464,5966
P11	243.822,1260	6.836.055,5255	462,0966
P12	243.941,8260	6.836.123,8835	460,7866
P13	244.033,7110	6.836.129,8675	460,8886
P14	244.062,9170	6.836.199,8665	455,7936
P15	244.120,7340	6.836.221,4545	454,6796

Fonte: Autor, 2020.

O segundo produto gerado é um ortomosaico, onde foram utilizados 8 pontos de controle obtidos em campo através da utilização de um Receptor GNSS geodésico L1/L2 e posteriormente pós-processado no software Topcon Tolls. O Quadro 2 demonstra os 12 pontos planialtimétricos que foram obtidos através do levantamento em campo realizado com uma ARP Phantom 4 PRO e posteriormente pós-processado no software METASHAPE AGISOFT, onde foram relatados os erros posicionais e com o auxílio do software Excel forma obtidas as coordenadas de cada ponto.

Quadro 2 – Coordenadas obtidas através do ARP com 8 Pontos de Controle.

Phantom 4 PRO - 8 Pontos de Controle			
PONTOS	Coord. E (m)	Coord. N (m)	Altitude (m)
P1	244.165,5030	6.836.200,8423	455,2561
P2	244.164,2360	6.836.126,9154	458,7414
P3	244.135,7303	6.835.909,1927	462,5351
P4	244.127,7847	6.835.838,7019	461,2274
P5	244.014,5578	6.835.834,2145	465,2786
P6	243.894,7189	6.835.833,4282	469,4216
P7	243.954,8466	6.835.908,1936	467,6255
P8	243.897,4496	6.835.903,0964	468,1058
P9	243.839,2927	6.835.906,7280	467,2036
P10	243.892,1530	6.836.055,4576	463,4078
P11	243.822,1264	6.836.055,5262	462,0950
P14	244.062,9126	6.836.199,8709	455,7760

Fonte: Autor, 2020.

O terceiro produto gerado é um ortomosaico, onde foram utilizados 4 pontos de controle obtidos em campo através da utilização de um Receptor GNSS geodésico L1/L2 e posteriormente pós-processado no software Topcon Tolls. O Quadro 3 demonstra os 12 pontos planialtimétricos que foram obtidos através do levantamento em campo realizado com uma ARP Phantom 4 PRO e posteriormente pós-processado no software METASHAPE AGISOFT, onde foram relatados os erros posicionais e com o auxílio do software Excel foram obtidas as coordenadas de cada ponto.

Quadro 3 – Coordenadas obtidas através do ARP com 4 Pontos de Controle.

Phantom 4 PRO - 4 Pontos de Controle			
PONTOS	Coord. E (m)	Coord. N (m)	Altitude (m)
P1	244.165,5128	6.836.200,8537	455,2498
P2	244.164,4010	6.836.126,9791	462,1214
P3	244.135,7555	6.835.909,1925	466,0998
P4	244.127,7888	6.835.838,6585	461,2479
P5	244.014,7520	6.835.834,2612	467,2939
P6	243.894,7185	6.835.833,4271	469,4050
P7	243.954,8812	6.835.908,3264	474,6619
P8	243.897,4308	6.835.903,2120	472,8623
P9	243.839,1998	6.835.906,7589	467,0228
P10	243.892,1839	6.836.055,6419	469,1300
P11	243.822,1238	6.836.055,5266	462,0868
P14	244.062,8334	6.836.200,0222	456,6872

Fonte: Autor, 2020.

O Quadro 4 demonstra o resultado das discrepâncias do ortomosaico com a utilização de 8 pontos de controle P1, P2, P3, P4, P6, P9, P11 e P14. Ao realizar o comparativo no restante dos pontos, P5, P7, P8 e P10, foram encontrados os seguintes resultados. Em relação ao eixo E, a menor discrepância foi constatada no P10, com 1,90cm e a maior discrepância no P5 com 37,71cm. Em relação ao eixo N, a menor discrepância foi constatada no P8, com 1,91cm e a maior discrepância no P5, com 36,00cm. Em relação a altitude, a menor discrepância foi constatada no P9, com 19,47cm e a maior discrepância no P7, com 563,32cm. O resultado da média total das discrepâncias no eixo E, com 21,61cm, no eixo Z, com 18,91cm, na altitude, com 107,45cm e erro linear EN, com 28,72cm.

Quadro 4: Discrepância do ortomosaico utilizando 8 pontos de controle.

PONTOS	GNSS Hiper GGD L1/L2 Topcon			Phanton 4 PRO - 8 Pontos de Controle			DISCREPÂNCIAS		
	Coord. E (m)	Coord. N (m)	Altitude (m)	Coord. E (m)	Coord. N (m)	Altitude (m)	Coord. E (m)	Coord. N (m)	Altitude (m)
PONTOS DE CONTROLE									
P1	244.165,5100	6.836.200,8485	455,2436	244.165,50304756	6.836.200,8423	455,2561	0,00695244	0,00623786	-0,0124948
P2	244.164,2230	6.836.126,9145	458,7296	244.164,23599150	6.836.126,9154	458,7414	-0,0129915	-0,000872194	-0,0118058
P3	244.135,7310	6.835.909,1885	462,5116	244.135,73033382	6.835.909,1927	462,5351	0,000666177	-0,00416156	-0,023478
P4	244.127,7870	6.835.838,6625	461,2646	244.127,78471936	6.835.838,7019	461,2274	0,00228064	-0,039448254	0,0371683
P6	243.894,7230	6.835.833,4335	469,3896	243.894,71886979	6.835.833,4282	469,4216	0,00413021	0,00532926	-0,0320146
P9	243.839,2880	6.835.906,7265	467,2176	243.839,29272963	6.835.906,7280	467,2036	-0,00472963	-0,00145423	0,0139987
P11	243.822,1260	6.836.055,5255	462,0966	243.822,12644349	6.836.055,5262	462,0950	-0,000443492	-0,000660159	0,00163474
P14	244.062,9170	6.836.199,8665	455,7936	244.062,91256450	6.836.199,8709	455,7760	0,00443355	-0,00438071	0,0176231
TOTAL							0,00593779	0,00365951	0,0216862
PONTOS DE CHECAGEM									
P5	244.014,9350	6.835.833,8545	465,8026	244.014,55780700	6.835.834,2145	465,2786	0,37719300	-0,360014	0,524015
P7	243.954,7890	6.835.908,1015	469,0286	243.954,84659730	6.835.908,1936	467,6255	-0,05759730	-0,0921051	1,40313
P8	243.897,6520	6.835.903,1155	469,2426	243.897,44955000	6.835.903,0964	468,1058	0,20245000	0,0191232	1,13681
P10	243.892,1720	6.836.055,5255	464,5966	243.892,15295020	6.836.055,4576	463,4078	0,01904980	0,0679061	1,18881
TOTAL							0,216183	0,189123	1,07459

Fonte: Autor, 2020.

O Quadro 5 demonstra o resultado das discrepâncias do ortomosaico com a utilização de 4 pontos de controle P1, P4, P6 e P11. Ao realizar o comparativo no restante dos pontos, P2, P3, P5, P7, P8, P9, P10 e P14, foram encontrados os seguintes resultados. Em relação ao eixo E, a menor discrepância foi constatada no P10, com 1,18cm e a maior discrepância no P8 com 22,11cm. Em relação ao eixo N, a menor discrepância foi constatada no P3, com 0,40cm e a maior discrepância no P5, com 40,67cm. Em relação a altitude, a menor discrepância foi constatada no P9, com 19,47cm e a maior discrepância no P7, com 563,32cm. O resultado da média total das discrepâncias no eixo E, com 13,13cm, no eixo N, com 18,31cm, na altitude, com 340,63cm e erro linear EN, com 22,53cm.

Quadro 5: Discrepância do ortomosaico utilizando 4 pontos de controle.

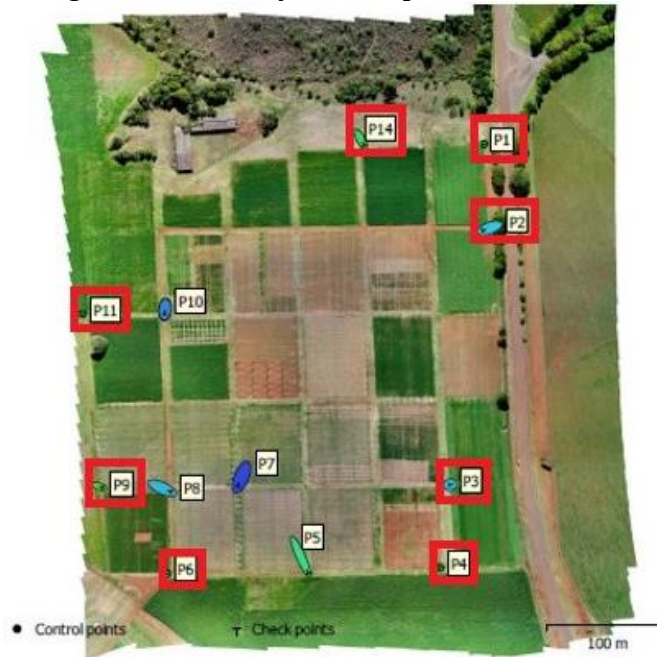
PONTOS	GNSS Hiper GGD L1/L2 Topcon			Phanton 4 PRO - 4 Pontos de Controle			DISCREPÂNCIAS		
	Coord. E (m)	Coord. N (m)	Altitude (m)	Coord. E (m)	Coord. N (m)	Altitude (m)	Erro E (m)	Erro N (m)	Erro Altitude (m)
PONTOS DE CONTROLE									
P1	244.165,5100	6.836.200,8485	455,2436	244.165,51284988	6.836.200,8537	455,2498	-0,00284988	-0,00520824	-0,00615371
P4	244.127,7870	6.835.838,6625	461,2646	244.127,78876596	6.835.838,6585	461,2479	-0,00176596	0,00397214	0,0167304
P6	243.894,7230	6.835.833,4335	469,3896	243.894,71852537	6.835.833,4271	469,4050	0,00447463	0,00644129	-0,0153672
P11	243.822,1260	6.836.055,5255	462,0966	243.822,12378863	6.836.055,5266	462,0868	0,00221137	-0,00109135	0,0097647
TOTAL							0,00300636	0,00462561	0,0138835
PONTOS DE CHECAGEM									
P2	244.164,2230	6.836.126,9145	458,7296	244.164,40097900	6.836.126,9791	462,1214	-0,177979	-0,0646002	-3,39181
P3	244.135,7310	6.835.909,1885	462,5116	244.135,75551220	6.835.909,1925	466,0998	-0,0245122	-0,00396981	-3,58818
P5	244.014,9350	6.835.833,8545	465,8026	244.014,75204900	6.835.834,2612	467,2939	0,182951	-0,406719	-1,49134
P7	243.954,7890	6.835.908,1015	469,0286	243.954,88124200	6.835.908,3264	474,6619	-0,092242	-0,224852	-5,63325
P8	243.897,6520	6.835.903,1155	469,2426	243.897,43082200	6.835.903,2120	472,8623	0,221178	-0,0964746	-3,61974
P9	243.839,2880	6.835.906,7265	467,2176	243.839,19981420	6.835.906,7589	467,0228	0,0881858	-0,0323971	0,194759
P10	243.892,1720	6.836.055,5255	464,5966	243.892,18385940	6.836.055,6419	469,1300	-0,0118594	-0,11641	-4,53339
P14	244.062,9170	6.836.199,8665	455,7936	244.062,83343730	6.836.200,0222	456,6872	0,0835627	-0,155715	-0,893564
TOTAL							0,131376	0,18314	3,41383

Fonte: Autor, 2020.

Em relação a distribuição espacial dos pontos de controle, as Figuras 8 e 9, demonstram as suas localizações representadas por retângulos na cor vermelha. O levantamento

contendo 8 pontos de controle, conforme a Figura 8, apresenta a sua distribuição localizada no perímetro externo da área de estudo, com agrupamento dos pontos nas extremidades e ausência de pontos na área central do terreno. O levantamento contendo 4 pontos de controle, conforme a Figura 9, também apresenta a sua distribuição localizada no perímetro externo da área de estudo, não havendo o agrupamento dos pontos, e apesar da ausência de pontos na área central do terreno, sua geometria de distribuição é melhor do que o outro levantamento.

Figura 8, Localização dos 8 pontos de controle.



Fonte: Autor, 2020.

Figura 9, Localização dos 4 pontos de controle.



Segundo ZANETTI (2017), uma ortofoto utilizando 15 pontos de controle, enquadrou-se no Classe A para a escala 1:1000, conforme a classificação de acurácia posicional, utilizando métodos de feição linear, junto ao padrão de exatidão cartográfica, de acordo com o decreto-lei 89.817/ET-CQDG, enquanto outra ortofoto também utilizando 15 pontos de controle, porém com a sua distribuição de forma agrupada, obteve a Classe D para a escala 1:1000.

A considerar os resultados do presente estudo, fica entendido que a geometria dos pontos de controle impactou significativamente o resultado de precisão e acurácia dos ortomosaicos, comprovado através do resultado, que demonstra o maior erro posicional pertencer ao produto com a utilização da maior quantidade de pontos de controle. Os pontos de controle não foram distribuídos uniformemente, estão localizados, na sua grande maioria, nas extremidades do perímetro da área de estudo, não havendo a presença de pontos de controle nas áreas centrais. Outro aspecto que foi identificado, é a proximidade de alguns pontos de controle, que não causa efeito significativo para a melhora de precisão e acurácia no produto.

Conclusão

A geração de produtos cartográficos através da utilização de ARP's é uma tecnologia que está em ascendência, devido a sua agilidade e baixo custo operacional comparado aos outros métodos. Para a geração destes produtos, é fundamental a utilização de pontos de controle, que na aerofotogrametria tem a função de melhorar a precisão e acurácia do ortomosaico através de um processo estatístico, e também a utilização de pontos de verificação em solo, com a função de testemunho para detectar o erro posicional da imagem em relação ao terreno. Sabendo desta importância, foi realizada a avaliação da precisão e acurácia de 2 levantamentos aerofotogramétricos com diferentes quantidades de pontos de controle.

Os resultados obtidos demonstram que apenas a utilização de uma maior quantidade de pontos de controle em um levantamento aerofotogramétrico, não é o fator determinante para obter melhor precisão e acurácia em um ortomosaico. O estudo revela que o levantamento contendo 8 pontos de controle apresentou um erro posicional maior, comparado ao levantamento contendo 4 pontos de controle, ambos em condições similares, em relação ao clima, altura e velocidade de voo e resolução da câmera.

É importante destacar que antes da utilização de um ortomosaico, é indispensável conhecer o escopo e a finalidade do serviço a ser realizado, a fim de entregar um produto com qualidade satisfatória e dentro das especificidades desejadas. Como recomendação, é necessário para a geração de um bom produto cartográfico gerado através da utilização de ARP's, não

apenas realizar a avaliação da quantidade de pontos de controle a serem utilizados, mas também verificar o impacto da geometria e distribuição espacial dos pontos de controle dentro da área a ser mapeada, com o intuito de melhor precisão e acurácia no resultado final.

REFERÊNCIAS

BARRY, P; COAKLEY, R. FIELD ACCURACY TEST OF RPAS PHOTOGRAMMETRY. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W2, 2013. UAV-g2013, 4 – 6 September 2013, Rostock, Germany

GALVÃO, G. M; ROSALEN, D. L. Acurácia da mosaicagem gerada por veículo aéreo não tripulado utilizado na agricultura de precisão. In: FURLANI, C.E.A; SILVA, R.P; ROSALEN, D.L. (Org.). CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA (42. 2013, Fortaleza): Os desafios para o desenvolvimento sustentável. 1ed. Jaboticabal: SBEA, 2013, v. , p. 3-.

GAWSKI, M; COLETTA, P. C. D; ANDRADE, A. G; TANAKA, E. M. Validação de levantamento planialtimétrico realizado pelo veículo aéreo não tripulado SenseFly na cultura de cana-de-açúcar. In: ENCONTRO DE MECANIZAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2013, POMPEIA-SP. 3 EnqMap. Pompeia-SP: EnqMap, 2013. p.18-18.

MOZAS, A T. C, ARIZA, F. J. 2010. "Methodology for Positional Quality Control in Cartography Using Linear Features." Cartographic Journal. doi:10.1080/13658816.2010.545063. » <https://doi.org/10.1080/13658816.2010.545063>

SANTOS, L.F.B. Avaliação de modelo digital de terreno gerado através de vante em planícies pantaneiras. 2016. Cuiabá, MT. Disponível em: <<http://www.ufmt.br/fenf/arquivos/4caa2a47588e1720cff61d8f35a0e2ff.pdf>>. Acesso em: 19 de outubro de 2017.

SANTOS, A.P.; OLIVEIRA. L. F.; GUIMARÃES, W. D.; VIEIRA, C.A.O. Avaliação da acurácia planimétrica de imagens Ikonos ortorretificadas com diferentes MDEs. In Congresso Brasileiro de Cartografia, XXIV, 2010, Aracaju, Segipe. Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Cartografia, 2010.

SATO T, VIEIRA E, GIL C. Análise da confiabilidade de técnicas fotogramétricas para medir a flexão anterior do tronco. Rev Bras Fisioter. 2003; 7(1): 53-99.

ZANETTI, Juliette. Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por vant. 2017. 84 páginas. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

CONSIDERAÇÕES FINAIS GERAIS

A geração de produtos cartográficos através da utilização de ARP's é uma tecnologia que está em ascensão, devido a sua agilidade e baixo custo operacional comparado aos outros métodos. Para a geração destes produtos, é fundamental a utilização de pontos de controle, que na aerofotogrametria tem a função de melhorar a precisão e acurácia do ortomosaico através de um processo estatístico, e também a utilização de pontos de verificação em solo com a função de testemunho, detectando o erro posicional da imagem em relação ao terreno. Introduzindo as considerações finais, resgatar-se-á a pergunta norteadora. A quantidade de pontos de controle utilizados em um levantamento aerofotogramétrico, influencia na precisão e acurácia?

Os resultados obtidos neste estudo, demonstram que apenas a utilização de uma maior quantidade de pontos de controle em um levantamento aerofotogramétrico, não é o fator determinante para obter melhor precisão e acurácia em um ortomosaico. A pesquisa revela que o levantamento contendo 8 pontos de controle apresentou um erro posicional nos eixos E e N maior, comparado ao levantamento contendo 4 pontos de controle, ambos em condições similares, em relação ao clima, altura e velocidade de voo e resolução da câmera.

É importante destacar que antes da utilização de um ortomosaico, é indispensável conhecer o escopo e a finalidade do serviço a ser realizado, a fim de entregar um produto com qualidade satisfatória e dentro das especificidades desejadas. Com base nos dados deste estudo, é recomendado para a geração de um bom produto cartográfico gerado através da utilização de ARP's, não apenas realizar a avaliação da quantidade de pontos de controle a serem utilizados, mas também verificar a geometria e a distribuição espacial dos pontos de controle dentro da área a ser mapeada, com o intuito de melhor precisão e acurácia no resultado final.

Sugere-se que ampliem os estudos referente ao impacto da geometria e distribuição espacial dos pontos de controle relacionado a quantidade a serem utilizados, para a avaliação de precisão e acurácia de levantamentos aerofotogramétricos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Regulamento Brasileiro da Aviação Civil especial RBAC-E nº 94 Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/participacao-social/consultas-publicas/audiencias/2015/aud13/anexoi.pdf>>. Acesso em: 01 de julho de 2022.

ALMEIDA, I. C. ESTUDOS SOBRE O USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) PARA MAPEAMENTO AÉREO COM FINS DE ELABORAÇÃO DE PROJETO VIÁRIOS. 2014. 149 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) Universidade Católica de Pernambuco, Recife – PE.

AZAMBUJA, José Luiz Fay de; MATSUOKA, Marcelo Tomio. Topografia e GPS—conquistas e desafios. Série em geomática. 2007, Vol I, pp. 13-18.

BARRY, P; COAKLEY, R. FIELD ACCURACY TEST OF RPAS PHOTOGRAMMETRY. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W2, 2013. UAV-g2013, 4 – 6 September 2013, Rostock, Germany

BHARDWAJ, A.; SAM, L.; AKANKSHA; JAVIER M. T.; RAJESH K. UAVs as remote sensing platform in glaciology: Present applications and future prospects. Remote Sensing of Environment, 175, 196–204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.029> (In Press).

BRASIL. Decreto nº 89.817, de 20 de Junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm>. Acesso em: 19 de outubro de 2017.

CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; ROCHA, M. F.; CARVALHO JÚNIOR, W. D.; SOUZA NETO, N. C. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 14(2), p. 218-226, 2010.

DA SILVA, Cristiano Alves. Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando vant, gnss e lidar. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 22, n. 1, 2016.

FELICÍSIMO, A. M. Modelos digitales del terreno. Oviedo: Pentalfa. 1994.

GALVÃO, G. M; ROSALEN, D. L. Acurácia da mosaicagem gerada por veículo aéreo não tripulado utilizado na agricultura de precisão. In: FURLANI, C.E.A; SILVA, R.P; ROSALEN, D.L. (Org.). CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA (42. 2013, Fortaleza): Os desafios para o desenvolvimento sustentável. 1ed. Jaboticabal: SBEA, 2013, v. , p. 3-.

GARCIA, G. J.; PIEDADE, G. C. R. Topografia aplicada às ciências agrárias. 2. ed. São Paulo : Nobel, 1983. 256 p.

GAWSKI, M; COLETTA, P. C. D; ANDRADE, A. G; TANAKA, E. M. Validação de levantamento planialtimétrico realizado pelo veículo aéreo não tripulado SenseFly na cultura de cana-de-açúcar. In: ENCONTRO DE MECANIZAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2013, POMPEIA-SP. 3 EnqMap. Pompeia-SP: EnqMap, 2013. p.18-18.

KRUEGER, C.T.; GNSS – Parte IX (1/46). Laboratório de Geodésia Especial e Hidrografia. Universidade Federal do Paraná. 2011. 46p. Disponível em <http://www.lage.ufpr.br/downloads/levgeod2/Parte7_GNSS.pdf>. Acesso em: 19 de outubro de 2017.

LINHARES, Mayklyns Marcos de Almeida et al. Uso de veículo aéreo não tripulado na determinação de Índice de vegetação em área de pastagem em Nova Mutum-MT. 2016. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Goiana – GO.

MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto. 1. ed. Brasília: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2012. v. 1. 266p.

MEZZAROBBA, Orides; MONTEIRO, Cláudia Servilha. Manual de metodologia da pesquisa no direito. 2 ed. rev., 2. tir. São Paulo: Saraiva, 2005, p. 49-101,157-163.

MONICO, J.F.G. Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentações e Aplicações. Unesp, 2008. 476p. 2.ed.

MOREIRA, H. CALEFFE. L. G. Metodologia da pesquisa para o professor pesquisador. 2. ed. São Paulo: DP&A, 2008.

MOZAS, A. T. C, ARIZA, F. J. 2010. "Methodology for Positional Quality Control in Cartography Using Linear Features." Cartographic Journal. doi:10.1080/13658816.2010.545063. » <https://doi.org/10.1080/13658816.2010.545063>

OLIVEIRA NETO, A. A.; MELO, C. Metodologia da pesquisa científica: guia prático para apresentação de trabalhos acadêmicos. Florianópolis: Visual Books, 2006.

PRADO, A.; KRUEGER, C. P. Análise da acurácia nos posicionamentos diferenciais aplicando as técnicas DGPS e RTK. Revista Brasileira de Cartografia N° 55/01, Julho 2003.

SÁ, N.C. & MOLINA. E. C. O geóide gravimétrico no Estado de São Paulo: Resultados preliminares. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 1995.

SANTOS, L.F.B. Avaliação de modelo digital de terreno gerado através de vant em planícies pantaneiras. 2016. Cuiabá, MT. Disponível em: <<http://www.ufmt.br/fenf/arquivos/4caa2a47588e1720cff61d8f35a0e2ff.pdf>>. Acesso em: 19 de outubro de 2017.

SANTOS, A.P.; OLIVEIRA. L. F.; GUIMARÃES, W. D.; VIEIRA, C.A.O. Avaliação da acurácia planimétrica de imagens Ikonos ortorretificadas com diferentes MDEs. In Congresso Brasileiro de Cartografia, XXIV, 2010, Aracaju, Segipe. Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Cartografia, 2010.

SATO T, VIEIRA E, GIL C. Análise da confiabilidade de técnicas fotogramétricas para medir a flexão anterior do tronco. Rev Bras Fisioter. 2003; 7(1): 53-99.

SILVEIRA, Gustavo Cruz da. Influência da geometria dos satélites na precisão das coordenadas geodésicas obtidas com o sistema GPS. 2008. Dissertação (Mestrado em Infra-Estrutura de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. doi:10.11606/D.18.2008.tde-28042009-171231. Acesso em: 2018-06-01.

SOUZA, Gabriel de. Análise de viabilidade do uso de vant para mapeamentos topográfico e de cobertura e uso da terra. 2015. 94 f. Monografia. (Bacharel em Engenharia Cartográfica) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

TOMMASELLI, A. M. G. ARMOD - Automação dos processos de reconstrução e orientação de modelos usando imagens digitais, CNPq, Proc. 472322/2004-4, 2004

ZANARDI, R. P. Análise da qualidade dos modelos digitais de terreno e de superfície do município de porto alegre. In: XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia. 2006. Gramado, RS. Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/4/190/CT04-5_1404439404.pdf>. Acesso em : 19 de outubro de 2017.

ZANETTI, Juliette. Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por vant. 2017. 84 páginas. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

WOLF, P.; DEWITT, B.; Wilkinson, B. Elements of Photogrammetry: with applications in GIS (Vol. 3). New York: McGraw-Hill. 2000.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Relatório de Processamento 4 Pontos de Controle.

Relatório 4 pontos

**Relatório de processamento
15 October 2020**



Survey Data

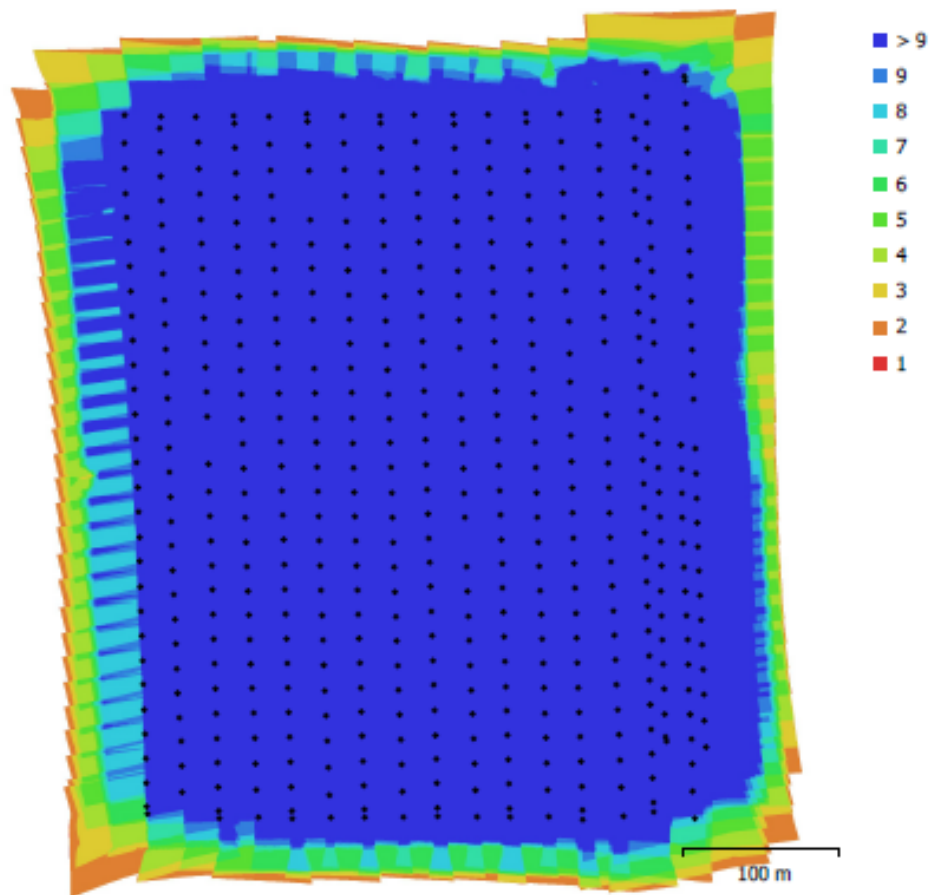


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	513	Camera stations:	513
Flying altitude:	37.2 m	Tie points:	121,471
Ground resolution:	1.92 cm/pix	Projections:	373,621
Coverage area:	0.256 km ²	Reprojection error:	3.07 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 μ m	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmera

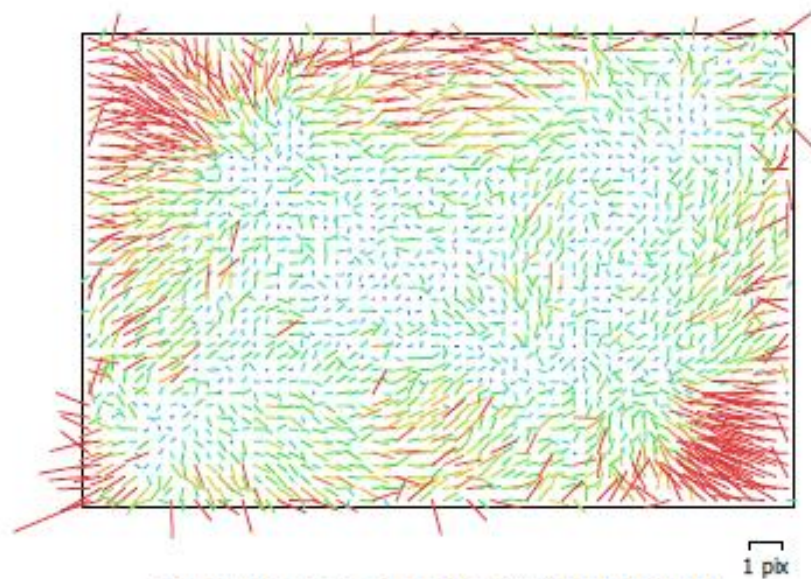


Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

513 images

Type Frame	Resolution 5472 x 3648	Focal Length 8.8 mm	Pixel Size 2.41 x 2.41 um
F:	863.208		
Cx:	56.5329	B1:	0.977747
Cy:	110.128	B2:	2.94309
K1:	-0.000690175	P1:	0.00032999
K2:	-0.000178612	P2:	4.4352e-005
K3:	1.77265e-005	P3:	0.0664392
K4:	-5.80708e-007	P4:	-0.00448089

Camera Locations

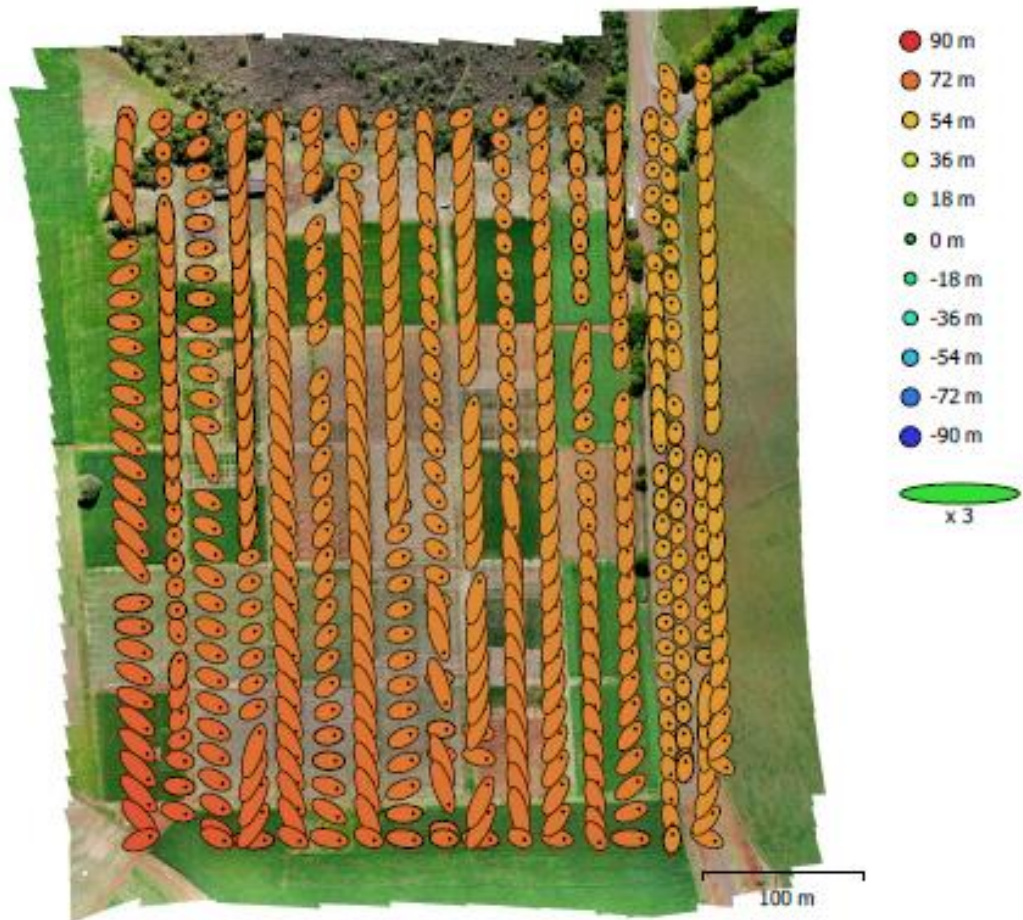


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

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)
1.90208	4.36369	68.4684	4.76022	68.6337

Table 2. Average camera location error.

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

Ground Control Points

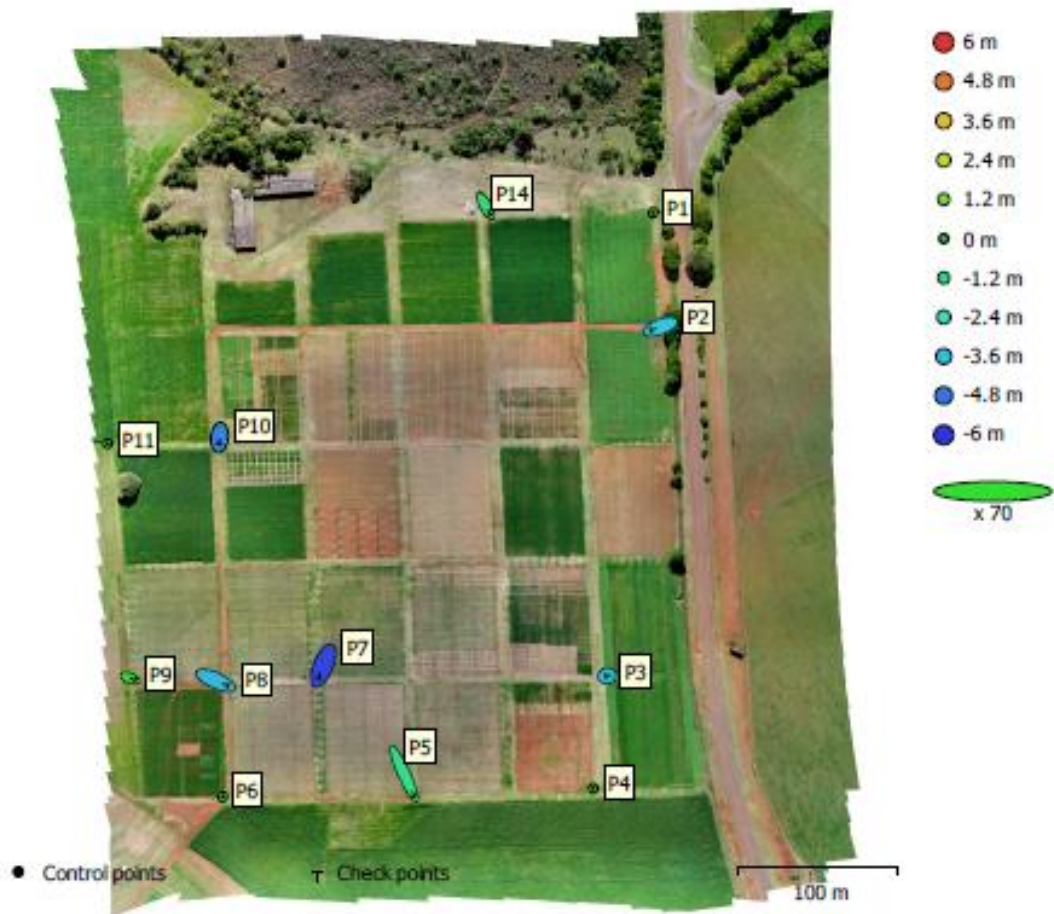


Fig. 4. GCP locations and error estimates.

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.

Número	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total (m)
4	0.00300636	0.00462561	0.0127404	0.00551674	0.0138835

Table 3. Control points RMSE.

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

Número	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total (m)
8	0.131376	0.18314	3.40638	0.225388	3.41383

Table 4. Check points RMSE.

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

Rótulo	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Imagem (pix)
P1	-0.00284988	-0.00520824	-0.00615371	0.00855077	0.083 (22)
P4	-0.00176596	0.00397214	0.0167304	0.0172859	0.099 (17)
P6	0.00447463	0.00644129	-0.0153672	0.0172529	0.075 (13)
P11	0.00221137	-0.00109135	0.0097647	0.0100713	0.228 (5)
Total	0.00300636	0.00462561	0.0127404	0.0138835	0.107

Table 5. Control points.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Rótulo	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Imagem (pix)
P2	-0.177979	-0.0646002	-3.39181	3.39709	0.067 (20)
P3	-0.0245122	-0.00396981	-3.58818	3.58826	0.073 (17)
P5	0.182951	-0.406719	-1.49134	1.55659	0.105 (23)
P7	-0.092242	-0.224852	-5.63325	5.63849	0.075 (15)
P8	0.221178	-0.0964746	-3.61974	3.62778	0.076 (15)
P9	0.0881858	-0.0323971	0.194759	0.216235	0.041 (5)
P10	-0.0118594	-0.11641	-4.53339	4.5349	0.049 (10)
P14	0.0835627	-0.155715	-0.893564	0.910871	0.106 (9)
Total	0.131376	0.18314	3.40638	3.41383	0.080

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

Digital Elevation Model

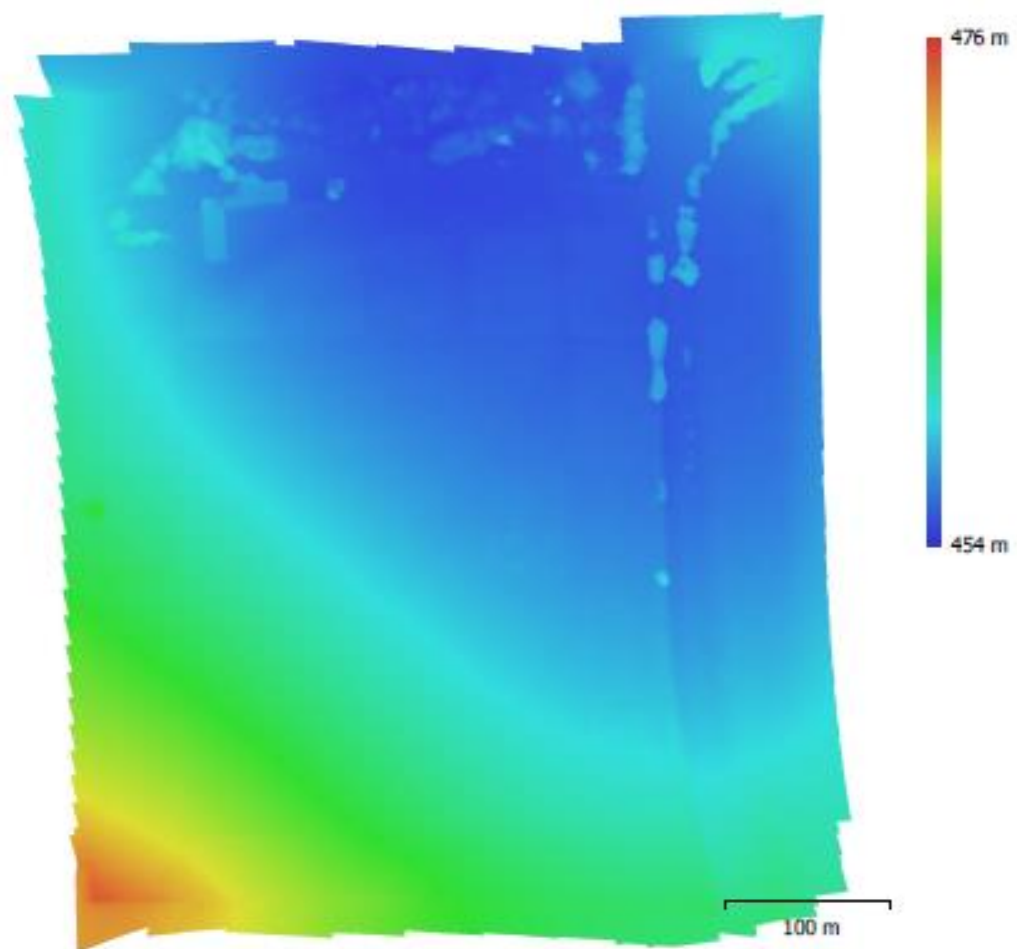


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 15.4 cm/pix
Point density: 42.4 points/m²

Processing Parameters

Geral

Câmaras	513
Aligned cameras	513
Marcadores	14
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Nuvem de Pontos

Pontos	121,471 of 150,255
RMS reprojection error	0.18597 (3.07472 pix)
Max reprojection error	4.69252 (52.4313 pix)
Mean key point size	16.9325 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	3.66775

Parâmetros de alinhamento

Precisão	Baixa
Generic preselection	Sim
Reference preselection	Sim
Key point limit	40,000
Tie point limit	10,000
Adaptive camera model fitting	Sim
Matching time	1 minutes 16 seconds
Alignment time	59 seconds

Optimization parameters

Parâmetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1- p4
Adaptive camera model fitting	Não
Optimization time	21 seconds

Dense Point Cloud

Pontos	9,316,723
Cores dos pontos	3 bands, uint8

Parâmetros de reconstrução

Qualidade	Baixa
Depth filtering	Aggressive
Depth maps generation time	5 minutes 56 seconds
Dense cloud generation time	6 minutes 19 seconds

DEM

Tamanho	4,252 x 5,129
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)

Parâmetros de reconstrução

Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Tempo de processamento	29 seconds

Orthomosaic

Tamanho	26,607 x 29,767
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Colors	3 bands, uint8

Parâmetros de reconstrução

Modo de combinação	Mosaico
Surface	DEM
Enable hole filling	Sim

Geral

Tempo de processamento

16 minutes 17 seconds

Software

Version

1.5.1 build 7618

Platform

Windows 64

APÊNDICE 2 – Relatório de Processamento 8 Pontos de Controle.

Relatório 8 pontos

**Relatório de processamento
15 October 2020**



Survey Data

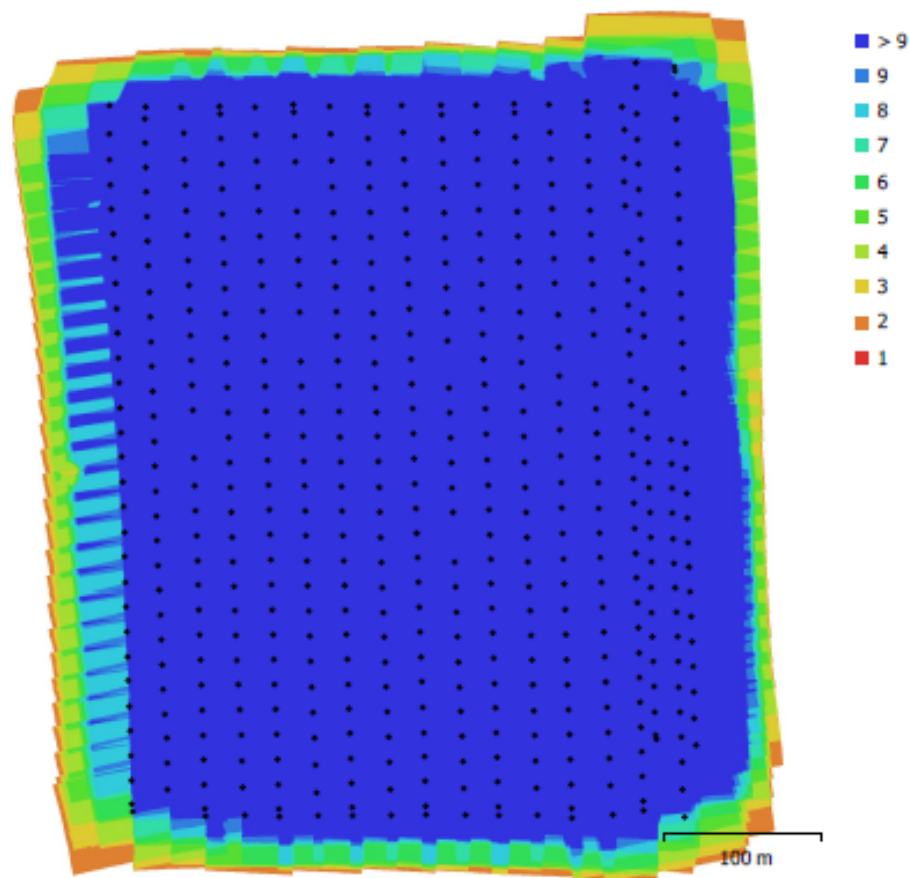


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	513	Camera stations:	513
Flying altitude:	39.6 m	Tie points:	121,471
Ground resolution:	1.94 cm/pix	Projections:	373,621
Coverage area:	0.246 km ²	Reprojection error:	3.27 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 um	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmera

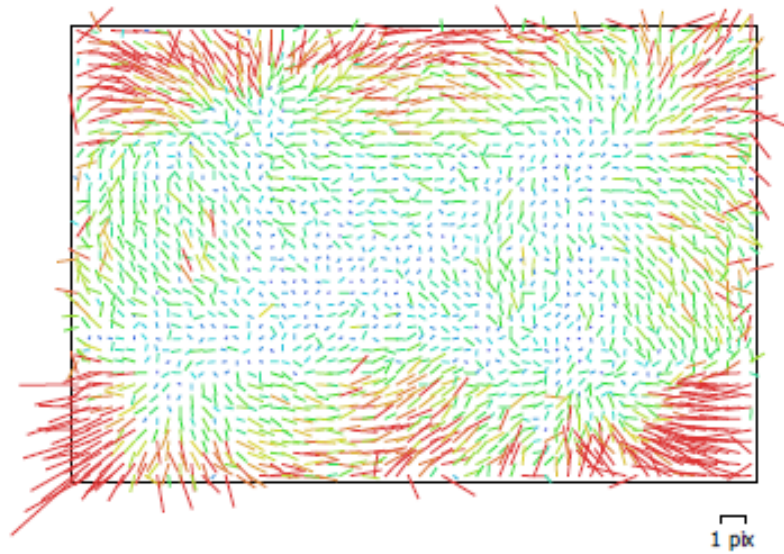


Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

513 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 um

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
F	1108.8	3.3	1.00	-0.03	-0.12	0.03	-0.14	0.08	-0.18	0.26	-0.30	0.04	-0.01	0.03	-0.07
Cx	52.6218	0.65		1.00	0.03	0.14	0.20	-0.01	0.02	-0.02	0.02	-0.03	0.00	0.02	-0.01
Cy	105.513	0.54			1.00	-0.11	0.15	-0.02	0.03	-0.04	0.04	0.02	-0.01	-0.01	0.02
B1	1.18388	0.046				1.00	0.12	0.02	-0.03	0.03	-0.02	-0.00	-0.03	-0.00	0.00
B2	3.45704	0.04					1.00	-0.01	0.04	-0.05	0.06	-0.02	-0.02	0.01	-0.00
K1	0.00228005	7.8e-005						1.00	-0.97	0.91	-0.85	-0.03	-0.01	0.05	-0.06
K2	-0.000651616	3.6e-005							1.00	-0.98	0.95	0.05	0.02	-0.08	0.10
K3	0.00010566	6.5e-006								1.00	-0.99	-0.07	-0.03	0.12	-0.14
K4	-5.60534e-006	4e-007									1.00	0.08	0.03	-0.15	0.17
P1	0.000518172	2.3e-005										1.00	0.35	-0.91	0.88
P2	6.3558e-005	6.3e-006											1.00	-0.38	0.36
P3	0.0704879	0.015												1.00	-0.99
P4	-0.0110378	0.0015													1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

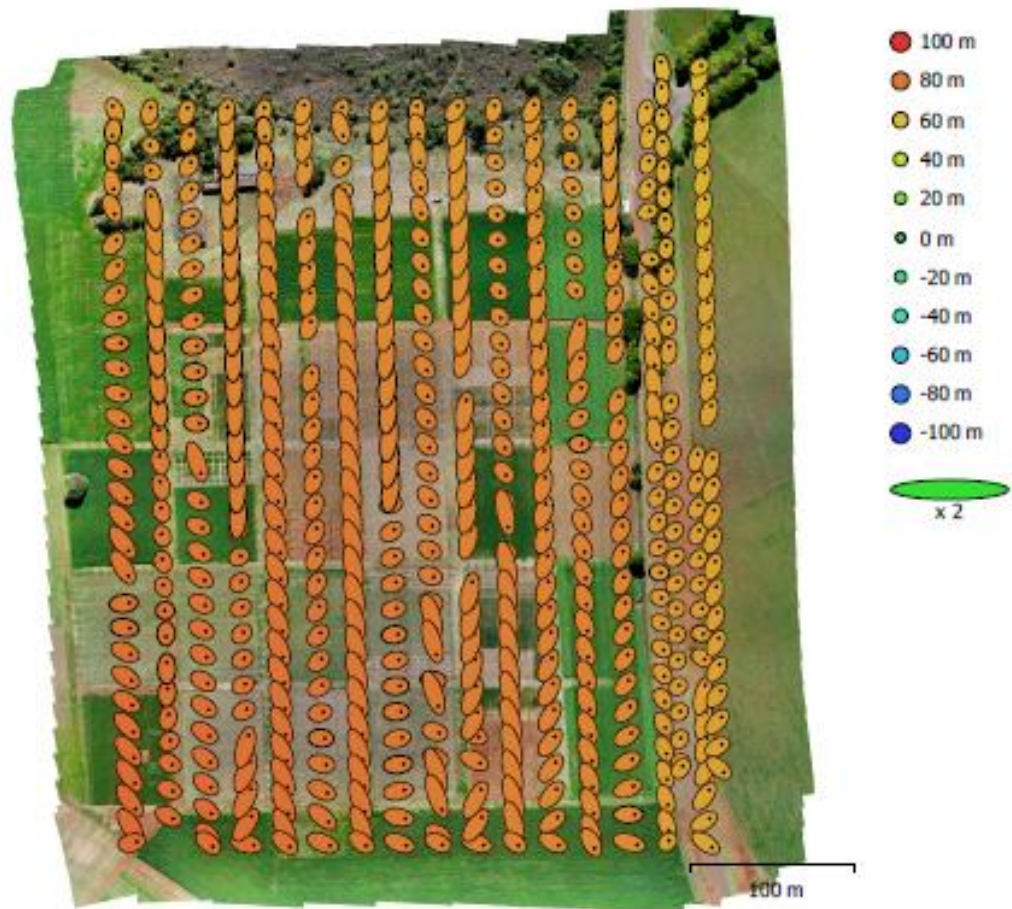


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

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)
1.91953	4.57504	75.1878	4.96141	75.3514

Table 3. Average camera location error.

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

Ground Control Points

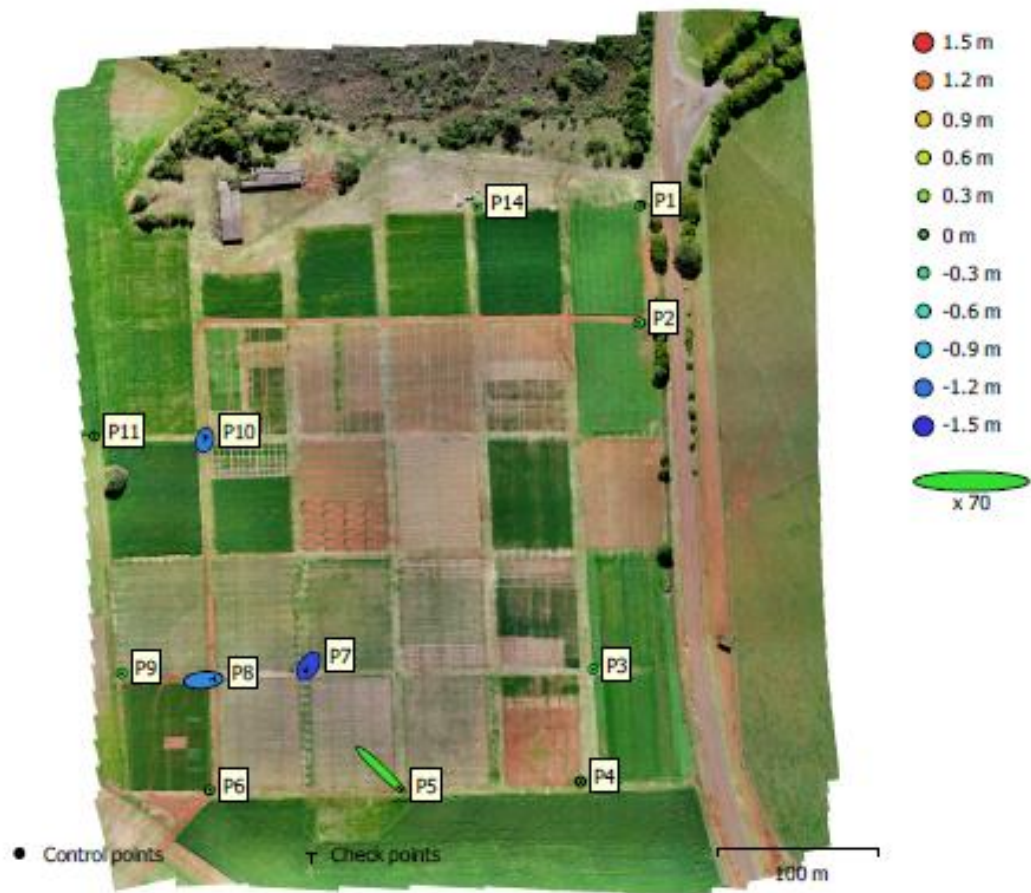


Fig. 4. GCP locations and error estimates.

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.

Número	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total (m)
8	0.00593779	0.00365951	0.0216862	0.00697491	0.0227803

Table 4. Control points RMSE.

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

Número	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total (m)
4	0.216183	0.189123	1.07459	0.287233	1.11231

Table 5. Check points RMSE.

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

Rótulo	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Imagem (pix)
P1	0.00695244	0.00623786	-0.0124948	0.0156002	0.013 (22)
P2	-0.0129915	-0.000872194	-0.0118058	0.017576	0.026 (20)
P3	0.000666177	-0.00416156	-0.023478	0.0238533	0.018 (17)
P4	0.00228064	-5.85464e-005	0.0371683	0.0372382	0.016 (17)
P6	0.00413021	0.00532926	-0.0320146	0.0327169	0.021 (13)
P9	-0.00472963	-0.00145423	0.0139987	0.0148475	0.014 (5)
P11	-0.000443492	-0.000660159	0.00163474	0.00181793	0.007 (5)
P14	0.0044355	-0.00438071	0.0176231	0.0186933	0.015 (9)
Total	0.00593779	0.00365951	0.0216862	0.0227803	0.018

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

Rótulo	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Imagem (pix)
P5	0.377193	-0.360014	0.052033	0.524015	0.015 (23)
P7	-0.0575973	-0.0921051	-1.39892	1.40313	0.019 (15)
P8	0.20245	0.0191232	-1.11847	1.13681	0.019 (15)
P10	0.0190498	0.0679061	-1.18672	1.18881	0.022 (10)
Total	0.216183	0.189123	1.07459	1.11231	0.018

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

Digital Elevation Model

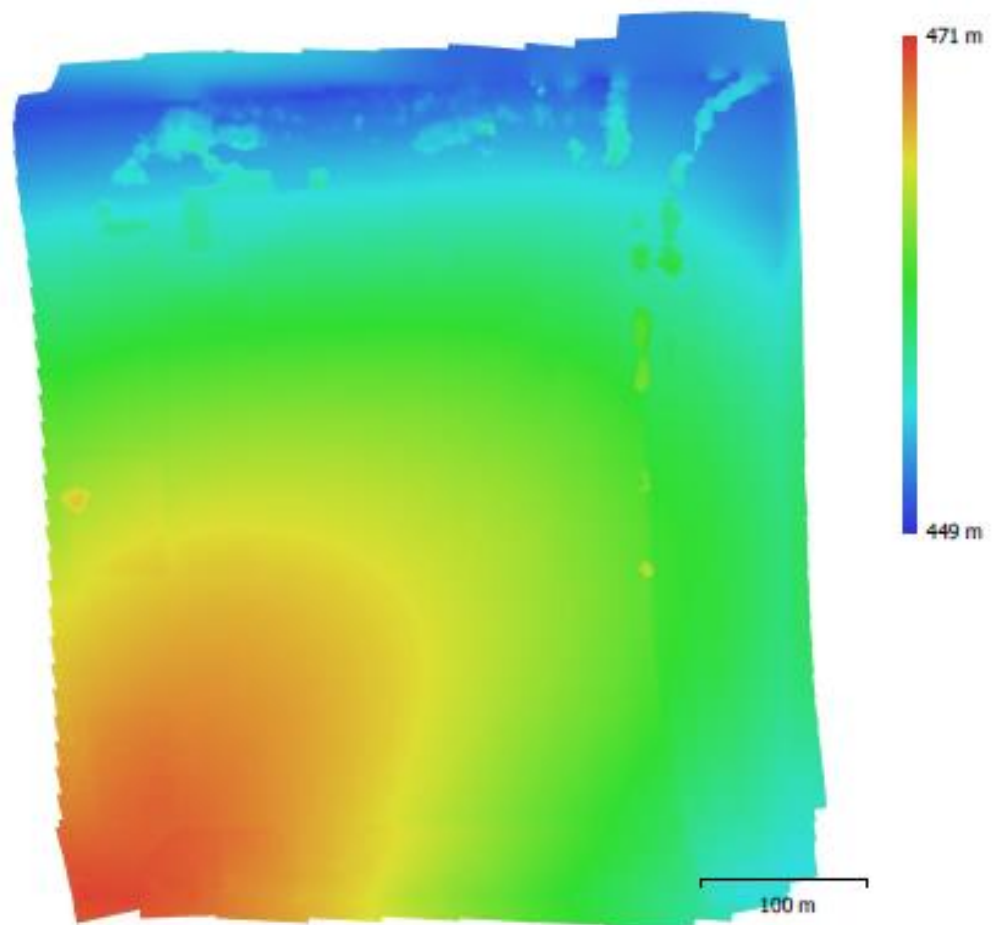


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 15.5 cm/pix
Point density: 41.7 points/m²

Processing Parameters

Geral

Câmaras	513
Aligned cameras	513
Marcadores	14
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Nuvem de Pontos

Pontos	121,471 of 150,255
RMS reprojection error	0.203289 (3.26777 pix)
Max reprojection error	4.45241 (47.7148 pix)
Mean key point size	16.9325 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	3.66775

Parâmetros de alinhamento

Precisão	Baixa
Generic preselection	Sim
Reference preselection	Sim
Key point limit	40,000
Tie point limit	10,000
Adaptive camera model fitting	Sim
Matching time	1 minutes 16 seconds
Alignment time	59 seconds

Optimization parameters

Parâmetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1- p4
Adaptive camera model fitting	Não
Optimization time	13 seconds

Dense Point Cloud

Pontos	9,278,216
Cores dos pontos	3 bands, uint8

Parâmetros de reconstrução

Qualidade	Baixa
Depth filtering	Aggressive
Depth maps generation time	6 minutes 29 seconds
Dense cloud generation time	6 minutes 23 seconds

DEM

Tamanho	4,219 x 5,077
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)

Parâmetros de reconstrução

Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Tempo de processamento	32 seconds

Orthomosaic

Tamanho	25,599 x 28,799
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Colors	3 bands, uint8

Parâmetros de reconstrução

Modo de combinação	Mosaico
Surface	DEM
Enable hole filling	Sim

Geral

Tempo de processamento

21 minutes 52 seconds

Software

Version

1.5.1 build 7618

Platform

Windows 64